



### III-240 – OTIMIZAÇÃO DE ROTAS PARA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

**Eliane Viviani<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de São Carlos. Mestre em Transportes pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutora em Transportes pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos.

**Bruno Dieguez Pereira<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Ex-bolsista da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rodovia Washington Luís, km 235 – Caixa Postal 676 – São Carlos - SP - CEP: 13565-905 - Brasil - Tel: +55 (16) 3351-9666 - Fax: +55 (16) 3351-8262 - e-mail: eviviani@ufscar.br

#### RESUMO

Nos dias atuais um dos maiores problemas e desafios enfrentados pelas cidades está relacionado à produção, coleta e destinação dos resíduos sólidos, aspectos condicionados diretamente pela urbanização acelerada e fortemente impactantes no meio físico. No Brasil são geradas aproximadamente 157 mil toneladas/dia de resíduos sólidos domiciliares e em torno de 20% da população brasileira ainda não contam com serviços regulares de coleta. De uma forma geral as prefeituras comprometem aproximadamente 15% do orçamento com a questão do lixo e muitos municípios operam com sistemas de coleta de resíduos sólidos de forma sub ou superdimensionada. A roteirização dos veículos de coleta dos resíduos sólidos, de uma forma geral, é feita manualmente e definida aleatoriamente pelo motorista do caminhão coletor, resultando muitas vezes em serviços ineficientes e de baixa qualidade. Neste cenário é que foi desenvolvido o presente estudo, em que se objetivou racionalizar a etapa de coleta dos resíduos sólidos de um município de pequeno porte, visando a otimização dos custos (com conseqüente racionalização da frota e pessoal). O estudo foi desenvolvido no município de Agudos, na região centro-oeste do estado de São Paulo, Brasil, com 34.347 habitantes, dividido em 4 setores de coleta de lixo e itinerário estabelecido de forma empírica pelos próprios motoristas e coletores. Diariamente eram percorridos um total de 117 km, com duração de percurso entre 4,5 e 6 horas/setor e uma coleta de 6 a 8 toneladas/setor. Com a utilização do SIG-T (Sistema de Informações Geográficas com rotinas específicas para Transportes), uma das etapas foi a aplicação da rotina *Arc Routing*, rotina específica que consiste em um procedimento de roteamento em arco que visa minimizar a distância ou tempo de percurso, ligando o nó de origem ao nó de destino, utilizando o número mínimo possível de *links*, minimizando assim o número de *links* sem realização de serviço. Foram realizadas algumas simulações, tendo-se obtido redução da extensão total percorrida nos quatro setores de coleta de lixo analisados, obtendo-se um total diário de 106,43 km, que equivale a uma redução de 9% (ou 283,23 km mensais), mostrando a viabilidade da aplicação desse ferramental para a otimização das rotas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Coleta de resíduos, Resíduos domiciliares, Otimização de rotas, SIG-T.

#### INTRODUÇÃO

Atualmente um dos maiores problemas e desafios enfrentados pelas cidades está relacionado à produção, coleta e destinação dos resíduos sólidos, aspectos condicionados diretamente pela urbanização acelerada e fortemente impactantes no meio físico. Uma equivocada coleta e disposição dos resíduos podem acarretar em problemas irreversíveis tanto para a sociedade quanto para o meio ambiente (Rosa, 1999).

Prover as cidades com sistemas de coleta de resíduos sólidos com qualidade e quantidade suficientes constitui-se um extraordinário desafio ao planejamento urbano e às políticas de investimentos públicos. É de interesse do planejador assegurar a qualidade dos deslocamentos buscando a redução das distâncias a percorrer, dos tempos de viagens, dos custos operacionais (busca do menor caminho), do consumo energético (otimização do sistema evitando viagens ociosas) e do impacto ambiental (com uso de tecnologias adequadas) (Moura *et al.*, 2001).



No Brasil são geradas aproximadamente 157 mil toneladas/dia de resíduos sólidos domiciliares e em torno de 20% da população brasileira ainda não contam com serviços regulares de coleta. Estudos mostram que entre 1989 e 2000 a população cresceu 15,6% enquanto que a quantidade de lixo coletada sofreu um acréscimo de 54% (IBGE, 2002).

De uma forma geral as prefeituras comprometem em torno de 15% do orçamento com a questão do lixo e muitos municípios brasileiros operam com sistemas de coleta de resíduos sólidos de forma sub ou superdimensionada. Estima-se ainda que, dos recursos destinados aos serviços de limpeza urbana, cerca de 50% são gastos na coleta e no transporte dos resíduos sólidos urbanos (Carvalho, 2001).

Portanto, o crescimento populacional e o conseqüente desenvolvimento industrial e tecnológico são fortes estimulantes para que as administrações públicas (principalmente os governos municipais) busquem técnicas para minimizar os custos e melhorar a qualidade da coleta e disposição dos resíduos, já que os custos relacionados a esse aspecto representam uma quantia considerável nos gastos do município (Deluqui, 1998).

Na prestação desse serviço, um aspecto essencial é a roteirização dos veículos de coleta, porém em grande parte dos municípios brasileiros, tal fato se procede de maneira precária e inadequada, já que frequentemente estabelecidos de forma empírica, resultando quase sempre em serviços ineficientes e de baixa qualidade. Como exemplo disso, situações de rotas em que o próprio motorista é quem escolhe o trajeto do caminhão coletor, de maneira aleatória e intuitiva, muitas vezes passando mais de uma vez nas mesmas ruas.

Uma roteirização eficiente dos veículos de coleta de resíduos sólidos urbanos domiciliares pode diminuir os custos, pela redução do trabalho empregado nos serviços de coleta.

Neste cenário, é de significativa importância o empenho em estudos que viabilizem o manejo dos resíduos sólidos, especialmente a etapa de coleta, objetivando um aumento de produtividade, com a otimização de custos e racionalização da frota e pessoal.

## ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

Carvalho (2001) define o itinerário de coleta de resíduos sólidos como sendo o trajeto que o veículo coletor deve percorrer dentro de um mesmo setor, em um mesmo período, transportando o máximo de lixo em um mínimo de percurso improdutivo, com o menor desgaste possível para a guarnição e o veículo, denominando como percurso improdutivo aos trechos percorridos em que o veículo não realiza coleta, servindo apenas para o deslocamento de um ponto a outro.

As definições dos itinerários envolvem os conceitos relacionados à roteirização. Os problemas de roteirização podem ser classificados em três grupos principais: problemas de roteirização pura de veículos (PRV), problemas de programação de veículos e tripulações (PRVT) e problemas combinados de roteirização e programação de veículos (Bodin *et al.*, 1983; Naruo, 2003; Farkuh Neto e Lima, 2005).

O problema de roteirização pura de veículos é um problema espacial, onde as condicionantes temporais não são consideradas na geração dos roteiros para coleta e/ou entrega. Em alguns casos, a restrição de comprimento máximo da rota pode ser considerada. Nesse tipo de problema, existe um conjunto de nós e/ou arcos que devem ser atendidos por uma frota de veículos. O objetivo é definir uma sequência de locais (a rota) que cada veículo deve seguir a fim de se atingir a minimização do custo de transporte.

Os problemas de programação de veículos e de tripulações podem ser considerados como problemas de roteirização com restrições adicionais relacionadas aos horários em que várias atividades devem ser executadas.

Quando ocorrem aplicações com restrições de janelas de tempo (horário de atendimento) e de precedência de tarefas (coleta deve preceder a entrega e ambas devem estar alocadas ao mesmo veículo), o problema pode ser visto como uma questão combinada de roteirização e programação de veículos. Nesse caso, um número de pontos para atendimento tem uma ou mais janelas de tempo durante o qual o serviço pode ser executado. Assim, qualquer rota que envolva esta tarefa deve assegurar que o tempo de entrega esteja dentro dos limites de tempo especificados. Problemas combinados de roteirização e programação de veículos frequentemente



surtem na prática e são representativos de muitas aplicações do mundo real, como por exemplo, na roteirização e programação de ônibus escolares para atendimento de um conjunto de escolas e na definição de roteiros e programação de serviços de coleta de lixo e de varrição de ruas.

## SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

A análise de problemas do mundo real, em que a localização espacial da informação desempenha um papel relevante, apóia-se, via de regra, na construção de modelos complexos. Com o crescimento nas últimas décadas da utilização dos computadores e da capacidade de processamento dos mesmos, *software* específicos vêm sendo desenvolvidos para resolver os problemas de roteirização, denominados roteirizadores (Galvão, 1997). No entanto, muitos deles apresentam a deficiência de não serem capazes de abordar a componente espacial do problema, como por exemplo a localização geográfica exata dos pontos a serem atendidos (pontos de recolha dos resíduos sólidos domiciliares) ou a consideração das restrições de tráfego viário, trabalhando com médias ou distâncias euclidianas. Uma das alternativas para esse problema é a utilização de roteirizadores como módulos associados a uma plataforma de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (Farkuh Neto e Lima, 2005).

Neste sentido, os SIG representam poderoso ferramental de utilização pois, além de sua capacidade de manipular dados espaciais, são capazes de executar análises e operações espaciais complexas. O SIG, de modo mais geral, é uma ferramenta que permite manipular dados georreferenciados e alfanuméricos para, a partir de análises espaciais, apoiar a tomada de decisão espacial, como por exemplo, a definição do melhor roteiro para a coleta de resíduos sólidos domiciliares.

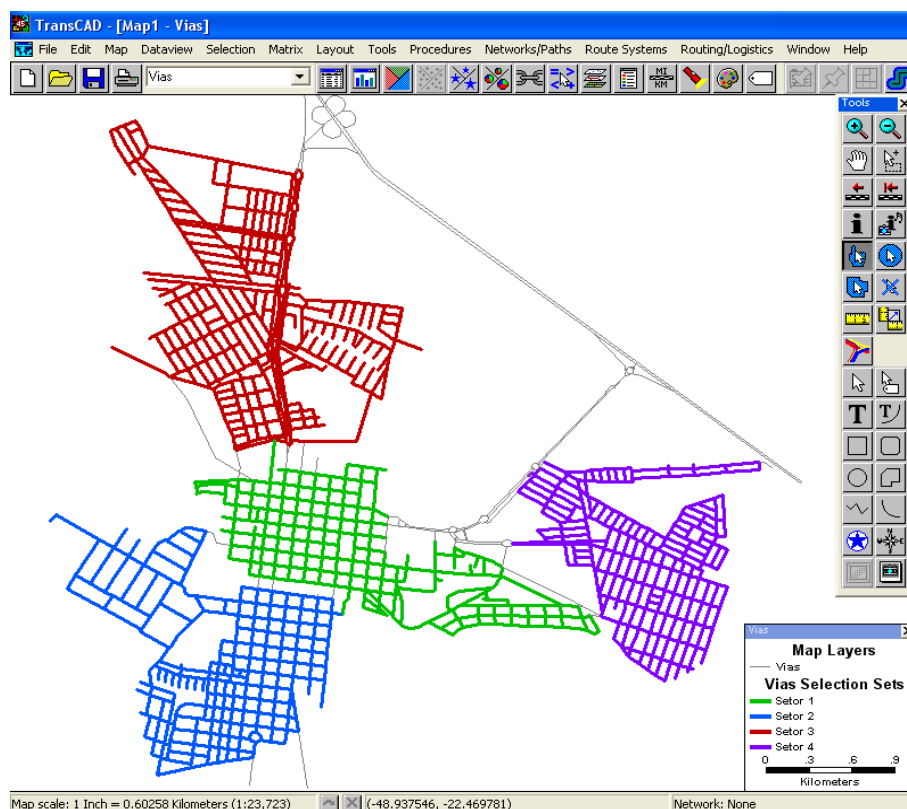
De um ponto de vista técnico, um SIG pode ser definido como um conjunto integrado de *hardware* e *software*, destinado à aquisição, armazenamento, estruturação, manipulação, análise e exibição gráfica de dados espacialmente referenciados em uma projeção cartográfica (Burrough, 1986). Assim, o que caracteriza um SIG é a integração, em uma única base de dados, da geometria e atributos de dados georreferenciados, oferecendo mecanismos que permitam a combinação dessas informações, além da consulta, recuperação e visualização do conteúdo dessa base de dados.

Algumas plataformas de SIG apresentam rotinas específicas para determinadas áreas, como, por exemplo, em aplicações mais voltadas à análise e planejamento de sistemas de transportes, sendo, nestes casos, denominados SIG-T (Sistema de Informações Geográficas para Transportes). Assim, os SIG-T incorporam, além das funções básicas de um SIG, rotinas específicas para soluções de problemas de logística, pesquisa operacional e de transportes em geral. Essas rotinas resolvem, por exemplo, diversos tipos de problemas de roteirização de veículos, atuando na fase preliminar de preparação dos dados, na resolução do problema em si de roteirização e programação de veículos e na elaboração das rotas, tanto na forma de relatórios quanto na forma gráfica. No trabalho em questão foi utilizado o SIG-T denominado comercialmente por TransCAD® (CALIPER, 1996).

## DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

A pesquisa foi realizada em um município com 34.347 habitantes, dos quais 95% residentes na área urbana. O município situa-se na região centro-oeste do estado de São Paulo, com posição geográfica de 22°53'20'' latitude sul e 47°04'39'' longitude oeste. . Quanto à coleta dos resíduos sólidos domiciliares, a cidade está dividida em 4 setores, dois deles percorridos no período da manhã e os outros dois percorridos no período da tarde. Cada setor é percorrido por um motorista e quatro coletores, o percurso é realizado em um período entre 4,5 a 6 horas e são coletadas de 6 a 8 toneladas/setor.

Por meio do SIG-T utilizado foram geradas as principais camadas digitais do município necessárias aos estudos e análises. Foram criadas camadas digitais com o limite administrativo do município e da área urbana além de todo o sistema viário, representado pelo eixo das vias. Na base de dados da camada do sistema viário foram inseridas informações referentes à nomenclatura das vias, tipo de cobertura da superfície, número de faixas e direção das vias. Sobre a camada do sistema viário foram identificados os quatro setores de coleta de resíduos sólidos domiciliares de Agudos (Figura 1), os quais foram analisados individualmente.



**Figura 1 – Setores de coleta de resíduos sólidos domiciliares na cidade de Agudos**

Para a análise dos itinerários percorridos para a coleta de lixo foi necessário criar a roteirização dos veículos em cada setor, o que foi feito por meio da criação de redes (*network*), que é uma estrutura que apresenta as características da rede viária, como o comprimento das vias e a direção das mesmas, executando-se, para essa finalidade, a rotina *Shortest Paths* (Caliper, 1996; Silva, 1998). Isso permitiu estabelecer a rota empírica percorrida pelos caminhões coletores (com respectiva extensão), em cada setor de coleta, considerando todos os pontos de parada do caminhão.

A próxima etapa foi aplicar a rotina *Arc Routing*, rotina específica contida no SIG-T utilizado, que consiste em um procedimento de roteamento em arco que visa minimizar a distância ou tempo de percurso, ligando o nó de origem ao nó de destino, utilizando um número mínimo possível de *links*, minimizando o número de *links* sem realização de serviço.

Ressalta-se que a versão TransCAD 3.6 apresentou diversos erros durante a execução da rotina *Arc Routing*, o que levou à necessidade de adoção de uma versão mais recente do programa, passando-se a utilizar a versão 4.5, com a qual a rotina foi executada satisfatoriamente.

Como resultado, além da saída gráfica mostrando um mapa com o traçado do percurso otimizado, a rotina *Arc Routing* apresenta também um relatório de saída de dados com a sequência das vias percorridas e respectivos movimentos necessários, bem como a indicação de realização ou não do serviço de coleta.

Para a execução da rotina deve ser escolhida a direção pela qual o caminhão coletor irá percorrer cada *link*, levando com isso a diversas possibilidades em diferentes combinações. No presente trabalho as simulações foram estabelecidas a partir da escolha de direções percorridas nos *links* segundo os seguintes critérios:

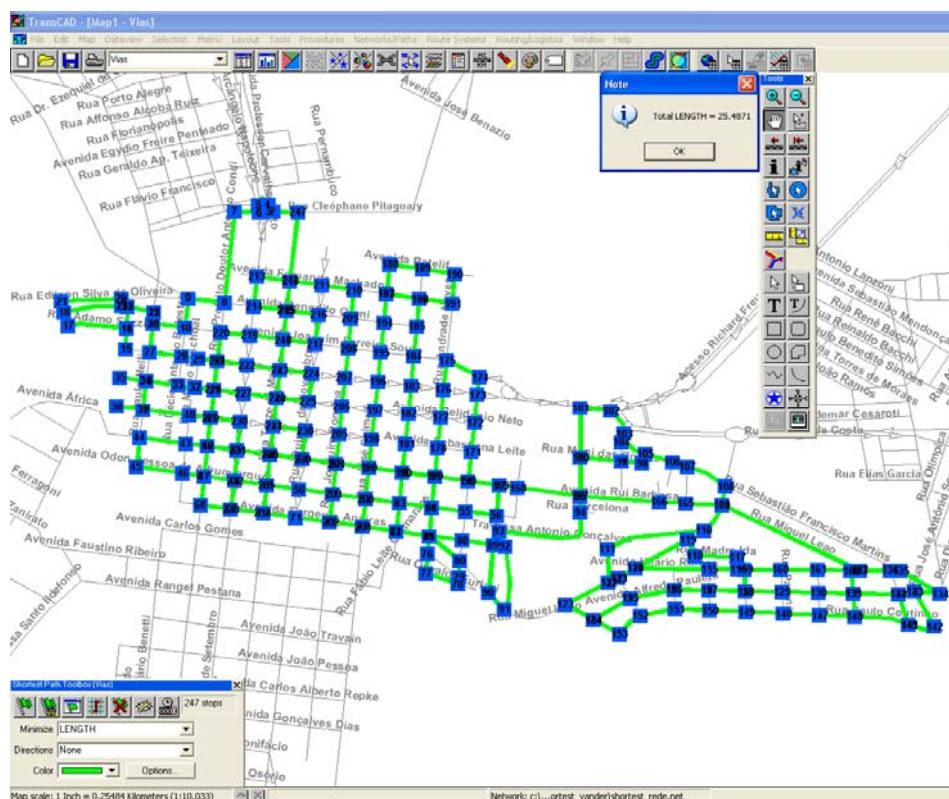
- Direções utilizadas atualmente na coleta: as direções foram escolhidas de forma coincidente com as que são percorridas presentemente (de forma empírica) no município;
- Direções levando em conta a topografia local: as direções foram escolhidas de modo que o caminhão de lixo se desloque pelas vias, sempre que possível, de uma cota mais alta para uma cota mais baixa, procurando-se evitar situações em que o veículo percorra uma subida quando estiver com uma carga alta no seu interior.



Assim, com as simulações realizadas na execução da rotina *Arc Routing*, obteve-se redução da extensão total percorrida nos quatro setores de coleta de lixo da cidade analisada. Os resultados encontram-se apresentados no item seguinte.

## RESULTADOS OBTIDOS

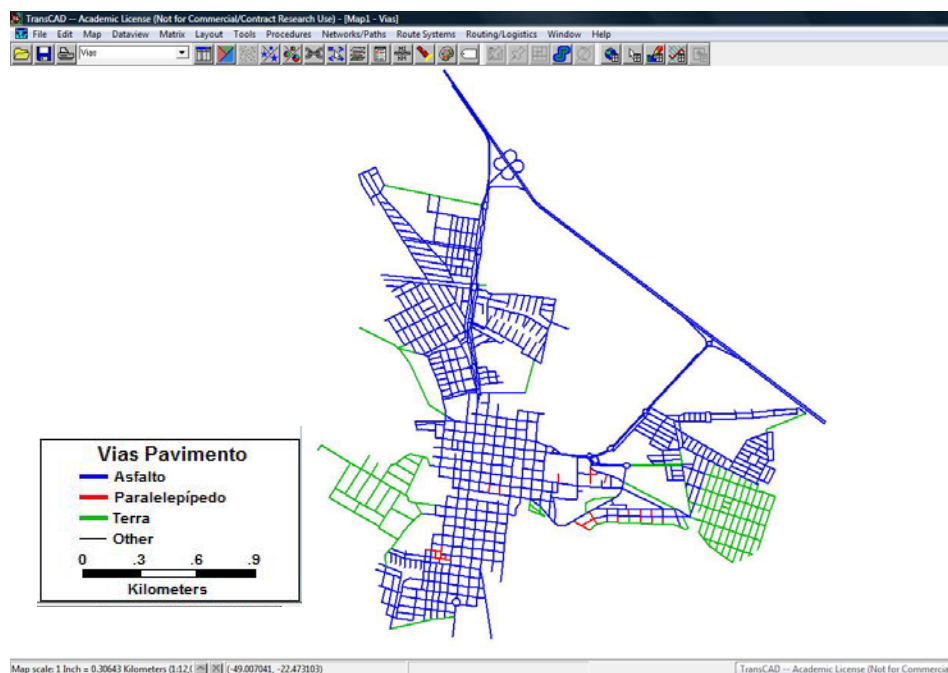
A aplicação da rotina *Shortest Paths* permitiu estabelecer a rota empírica percorrida pelos caminhões coletores em cada setor de coleta (com a respectiva extensão total percorrida), considerando todos os pontos de parada do caminhão. A figura 2 mostra, a título de exemplificação, o mapa com a rota empírica para o setor 1 (que apresentou extensão total de percurso de 25,49 km). Imagens similares foram obtidas para os setores 2, 3 e 4.



**Figura 2 – Rota empírica percorrida para a coleta de resíduos sólidos domiciliares no setor 1**

Complementando a análise referente ao percurso empírico em cada setor, foram avaliadas também as respectivas extensões percorridas em superfície não pavimentada. Na figura 3 tem-se um mapa temático mostrando os três tipos de superfície das vias do sistema viário da cidade de Agudos (vias pavimentadas, não pavimentadas e em paralelepípedos).

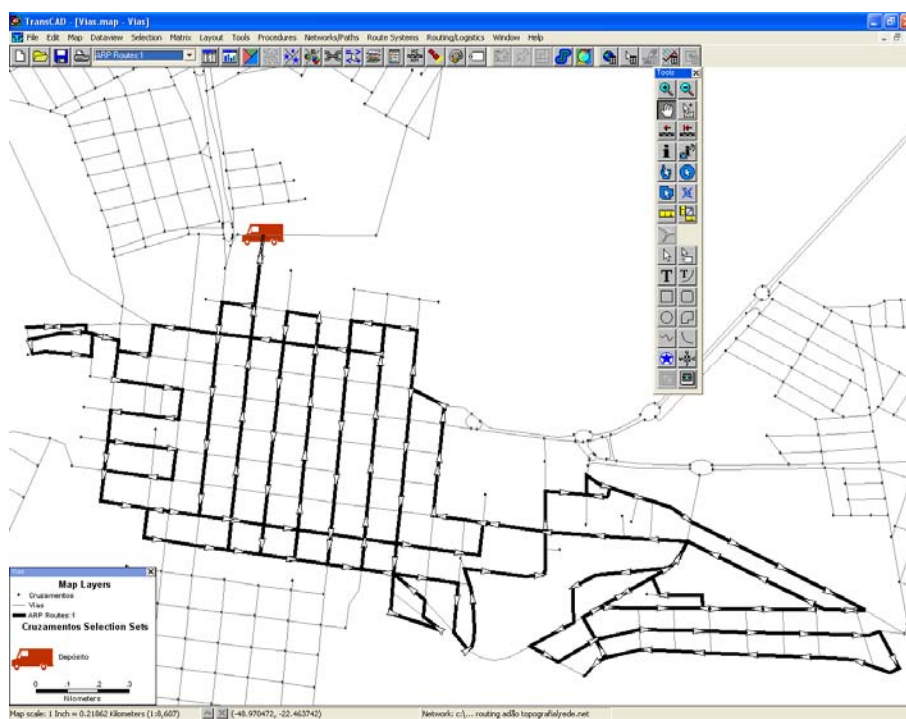




**Figura 3 – Mapa temático com os diferentes tipos de superfície das vias**

Resultante das simulações realizadas para o roteamento dos veículos, a figura 4 mostra o resultado de uma dessas simulações, objetivando a otimização da rota de coleta de lixo do setor 1, para a qual obteve-se uma extensão total de 23,96 km, ou seja, uma redução de 6% na extensão de percurso desse setor. A exemplo do setor 1, foram realizadas simulações nos demais setores, tendo-se obtido redução de percurso (em relação ao que é realizado atualmente, de forma empírica) em todos eles.

A figura 4 mostra, a título de exemplificação, o mapa com a rota otimizada obtida para o setor 1, simulando-se direções que levam em conta a topografia local. Imagens similares foram obtidas para os setores 2, 3 e 4, para todas as respectivas simulações realizadas.



**Figura 4 – Rota otimizada para o setor 1 (direções segundo a topografia local)**



Os resultados obtidos nas análises realizadas encontram-se expressos na tabela 1. Nela constam as extensões percorridas presentemente em cada setor, com o itinerário definido de forma empírica, bem como os resultados das simulações realizadas segundo os dois critérios adotados (direções coincidentes com as direções empíricas atuais e direções levando em conta a topografia local).

**Tabela 1 – Extensão das rotas atuais e das rotas otimizadas segundo os critérios de simulação adotados**

Setor	Rotas empíricas (km)	Arc Routing (direções atuais)	Arc Routing (direções segundo a
		(km)	topografia local) (km)
1	25,49	24,45	<b>23,96</b>
2	31,17	<b>29,35</b>	30,34
3	27,46	<b>26,66</b>	27,15
4	32,80	27,03	<b>26,46</b>
Σ	116,92	107,49	107,91

Complementando as análises realizadas foram avaliadas também as extensões percorridas especificamente em vias com superfície não pavimentada, considerando ser este um fator potencialmente prejudicial ao percorrido dos veículos, em razão das condições de superfície quase sempre não adequadas, decorrentes da frequente existência de defeitos como buracos, erosões, pó, atoleiros, dentre outros. As extensões totais e em superfície não pavimentada, para cada setor, estão mostradas na tabela 2.

**Tabela 2 – Extensão das rotas atuais e das rotas otimizadas com respectivas extensões em superfície não pavimentada**

Setor	Rotas empíricas (km)		Arc Routing (direções atuais)		Arc Routing (direções segundo topografia local) (km)	
	Extensão total (km)	Não pavimentadas (km)	Extensão total (km)	Não pavimentadas (km)	Extensão total (km)	Não pavimentadas (km)
1	25,49	1,97	24,45	2,16	<b>23,96</b>	<b>1,97</b>
2	31,17	4,81	<b>29,35</b>	<b>5,52</b>	30,34	5,43
3	27,46	1,11	<b>26,66</b>	<b>0,84</b>	27,15	1,11
4	32,80	7,39	27,03	6,69	<b>26,46</b>	<b>6,59</b>

Os resultados da tabela 2 demonstram a obtenção de redução de percurso em todos os setores analisados, resultantes da aplicação do módulo de roteirização do SIG-T utilizado. Os referidos valores estão sintetizados na tabela 3, que mostra os resultados das simulações que expressam as maiores reduções de extensão (rotas otimizadas), para cada setor analisado, além da indicação do percentual de redução total diária de percurso.

**Tabela 3 – Extensão das rotas atuais e das rotas otimizadas para a coleta de resíduos sólidos domiciliares da cidade de Agudos**

Setor	Rotas empíricas (km)	Rotas otimizadas (km)	Redução (%)
1	25,49	<b>23,96</b>	6,00
2	31,17	<b>29,35</b>	5,84
3	27,46	<b>26,66</b>	2,91
4	32,80	<b>26,46</b>	19,33
$\Sigma$	<b>116,92</b>	<b>106,43</b>	<b>8,98</b>

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal desse trabalho foi desenvolver uma análise integrada em plataforma SIG para a caracterização do sistema de coleta de resíduos sólidos de um município de pequeno porte, visando o registro formal (e digital) das rotas dos veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares vigentes atualmente, além de buscar uma otimização dessa trajetória.

Com os dados obtidos foi possível registrar as extensões das rotas presentemente percorridas, além da geração de diferentes simulações (variando-se as direções de percurso), objetivando a otimização das rotas, por meio da execução da rotina *Arc Routing*.

Os resultados obtidos mostram que, com a utilização de um SIG-T, foi possível obter a redução de percurso em todos os setores de coleta de resíduos sólidos domiciliares do município estudado. Analisando-se os setores individualmente, observou-se os seguintes aspectos relativos à otimização das rotas:

- Setor 1: redução de 1,53 km em cada percorrimto, mantendo-se constante a extensão percorrida em superfície não pavimentada;
- Setor 2: redução de 1,82 km em cada percorrimto com aumento de 0,71 km em superfície não pavimentada;
- Setor 3: redução de 0,80 km em cada percorrimto com redução de 0,27 km em superfície não pavimentada e
- Setor 4: redução de 6,34 km em cada percorrimto com redução de 0,80 km em superfície não pavimentada.

Embora se observe no setor 2 uma redução de percurso total de 1,82 km, com o ônus de acréscimo de percurso em superfície não pavimentada de 0,71 km, verifica-se que, ainda assim, considerando-se as extensões das rotas otimizadas para todos os setores conjuntamente, obtém-se uma redução de percurso em superfície não pavimentada de 0,36 km.

Portanto, considerando-se as rotas otimizadas com maiores reduções de percurso, obtém-se uma redução de extensão percorrida de 10,49 km/dia, representando uma redução mensal de 283,23 km, refletindo assim em potencial economia para a administração pública do município.

Há que se ressaltar ainda que, referente ao setor 2, é conveniente a realização de uma análise mais detalhada sobre as condições de trafegabilidade de suas vias não pavimentadas ao longo do tempo, como subsídio à decisão em se adotar a rota empírica atual (31,17 km, com 4,81 km não pavimentados) ou a rota otimizada (29,35 km, com 5,52 km não pavimentados).

Os resultados indicam ainda que o módulo de roteirização do *software* utilizado (TransCAD®) bem como as próprias ferramentas de análise espacial do SIG são valiosos apoios de suporte à decisão, consolidando o SIG como potencial ferramenta de auxílio ao planejamento e tomada de decisões, além de oferecer importante contribuição à administração municipal, na otimização das rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares com consequente redução de custos.





## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – pelo apoio financeiro concedido ao projeto de pesquisa que deu origem a esse trabalho e ao Prof. Dr. Renato da Silva Lima, da Universidade Federal de Itajubá, pelo auxílio durante o desenvolvimento da pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BODIN, L. D.; GOLDEN, B.; ASSAD, A. & BALL, M. Routing and scheduling of vehicle and crews: the state of the art. *Computers and Operations Research*, v. 10, n. 2, p.63-211. 1983.
2. BURROUGH, P. A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. New York, Oxford University Press. 193p. 1986.
3. CALIPER. *Routing and logistics with TransCAD 3.0*. Newton, Massachusetts, Caliper Corporation. 1986.
4. CARVALHO, L. E. X. *Desenvolvimento de solução integrada de sistemas de limpeza urbana em ambiente SIG*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2001.
5. DELUQUI, K. K. Roteirização para veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares utilizando um Sistema de Informações Geográficas – SIG. São Carlos. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 222 p. 1998.
6. FARKUH NETO, A.; LIMA, R. S. Roteirização de veículos de uma rede atacadista com o auxílio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). In: ENEGEP 2005 - XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Porto Alegre/RS, Brasil. p. 962-969. 2005.
7. GALVÃO, R. D. Roteamento de veículos com base em Sistemas de Informação Geográfica. *Gestão e Produção*, v. 4, n. 2, p. 159-173. 1997.
8. IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2002.
9. MOURA, M. C.; FONTES, A. A.; RIBEIRO, C. A. A. S. Determinação da melhor rota para coleta seletiva de lixo no campus da Universidade Federal de Viçosa utilizando dos Sistemas de Informações Geográficas. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu/PR, Brasil. p. 1119-1125. 2001.
10. NARUO, M. K. *O estudo do consórcio entre municípios de pequeno porte para disposição final de resíduos sólidos urbanos utilizando Sistemas de Informação Geográficas*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2003.
11. ROSA, S. L. Modelo Conceitual para Planejamento e Gerenciamento de Sistemas de Resíduos Sólidos Urbanos: Fixação de diretrizes básicas. Relatório Técnico. 1999.
12. SILVA, A. N. R. (Org) Ferramentas específicas de um Sistema de Informações Geográficas para Transportes. São Carlos: Edição do Autor. 83 p. 1998.