

ANÁLISE DE INFLUÊNCIA DO TRANSPORTE NA COLETA SELETIVA UTILIZANDO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

L. A. Brasileiro e A. A. Martins Júnior

RESUMO

A coleta é ligada à etapa de transporte, independente do modo utilizado na condução dos resíduos. O objetivo deste trabalho é realizar uma análise de influência do transporte na etapa de coleta seletiva, por meio de simulação de rotas dos veículos de coleta, utilizando o Sistema de Informação Geográfica para Transportes denominado de TransCAD. Um estudo de caso foi realizado para a cidade de Ilha Solteira – SP, Brasil, cuja população é aproximadamente 25.000 habitantes. O sistema de coleta seletiva é operado por uma cooperativa, mas recebe subsídio da prefeitura municipal. A roteirização dos veículos é definida por método empírico e os veículos percorrem uma rota diferente em cada dia da semana, pois o serviço é realizado para 5 categorias de polos de geração. Os resultados demonstraram que o transporte apresenta influência significativa na etapa de coleta dos resíduos, pois é função direta dos custos do serviço.

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos é constituído pelas atividades de geração, acondicionamento, armazenagem, coleta, transporte e disposição final. A coleta é uma das atividades mais importantes no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos porque caracteriza um serviço de limpeza pública. Mas, a coleta é intrinsecamente ligada à etapa de transporte, independente do modo utilizado na condução dos resíduos.

Segundo Roviriego (2005), na maioria dos casos, o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos considera apenas a coleta regular. A coleta seletiva consiste no recolhimento dos resíduos sólidos que são recicláveis. Os resíduos recicláveis são aqueles suscetíveis ao processo de reciclagem. A reciclagem é o processo de transformação de um resíduo, por meio da modificação de sua forma, em outro produto com a mesma matéria prima.

Para CEMPRE (2004), a coleta seletiva nas cidades brasileiras é uma prática recente. Os sistemas existentes de coleta seletiva no Brasil ainda não apresentam sustentabilidade econômica, pois os custos de transporte são elevados, dificultando a autonomia financeira do sistema e, assim, necessitando de subsídio público para operar.

A etapa de transporte na coleta seletiva, geralmente, é realizada com roteirização dos veículos definida por método empírico, que considera apenas a experiência dos motoristas sobre a área de cobertura. O método matemático de roteirização de veículos considera parâmetros característicos da operação do sistema, tais como tempo e distância de viagem e, pode ser manual ou computacional.

2 COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

De uma forma geral, o serviço de coleta pode ser realizado em nós ou em arcos. A coleta em nós ocorre quando os pontos a serem visitados são desagregados sobre a malha urbana. A coleta em arcos ocorre quando os pontos a serem visitados se localizam continuamente sobre segmentos de vias.

A coleta dos resíduos sólidos urbanos, geralmente, é uma tarefa de responsabilidade da administração pública, cujo principal propósito é impedir o desenvolvimento de vetores transmissores de doenças que encontram alimento e abrigo no lixo.

Para o bom funcionamento do sistema e, conseqüentemente, para que ocorra a satisfação da população, o serviço deve ser prestado a todo cidadão, e os veículos coletores devem passar regularmente nos mesmos locais, dias e horários (ORSATI, 2006).

A coleta dos resíduos sólidos urbanos pode ser classificada em quatro tipos, que são: especial, particular, regular e seletiva.

2.1 Especial

A coleta especial realiza o recolhimento de resíduos sólidos urbanos gerados de atividade rotineiras especiais, tais como: entulhos, animais mortos e podas de jardim.

2.2 Particular

A coleta particular é de responsabilidade obrigatória do gerador, em decorrência da quantidade de resíduos ser superior à quantidade sob a responsabilidade da administração municipal.

Alguns exemplos de geradores que devem realizar a coleta particular são: construtoras, empreiteiras, indústrias, *shopping centers* e supermercados.

2.3 Regular

A coleta regular é o serviço de recolhimento dos resíduos sólidos urbanos que deve ser realizado pela administração pública, ou terceirizado a uma empresa privada, em dias e horários predeterminados.

2.4 Seletiva

A coleta seletiva tem por objetivo recolher os resíduos segregados no ponto de origem e pode ser realizada de forma espontânea ou institucional.

A coleta seletiva espontânea é realizada pela população ou empresa, geralmente, em regime de subsistência ou lucro, que recolhe e vende os resíduos recicláveis para empresas de reciclagem.

A coleta seletiva institucional, geralmente, tem como propósito a proteção ambiental e o incentivo da reutilização de produtos recuperados. Este tipo de coleta seletiva pode ter três linhas de ação: ser obrigatória por legislação específica; ser induzida e supervisionada pelo poder público; ou ser voluntária, através da ação comunitária, estimulada por instituições particulares.

Segundo Roviriego (2005), o maior propósito da coleta seletiva é a reintegração dos materiais constituintes dos bens de pós-consumo, contribuindo para o processo de adequação da destinação dos resíduos urbanos.

A coleta seletiva, geralmente, começa com o processo de separação, na própria fonte geradora, dos materiais que podem ser recuperados, e o acondicionamento diferenciado para cada tipo ou grupo de materiais.

Roviriego (2005) afirmou que, apesar da coleta seletiva de resíduos sólidos ser apenas um instrumento auxiliar na gestão dos resíduos, e não uma medida definitiva para a solução do problema, tem a característica de familiarizar a população com a questão dos resíduos sólidos e reintroduzir materiais na cadeia produtiva. Esta atividade também gera empregos e melhora a qualidade de vida dos catadores, que muitas vezes participam destes programas por meio de cooperativas e sobrevivem com a renda gerada pela venda de materiais recicláveis.

Segundo Ariel (2006), o registro de programas de coleta seletiva no Brasil se deu na seguinte proporção: em 1994 existiam 81 programas, em 1999 existiam 135 programas, em 2002 existiam 192 programas, e em 2004 existiam 237 programas.

Esses números demonstram que o número de programas de coleta seletiva no Brasil é muito pequeno quando comparado ao número de municípios existentes, que totalizam 5.668 municípios e a prática de coleta seletiva é relativamente recente.

As peculiaridades de cada cidade ainda estão sendo descobertas e a sustentabilidade econômica ainda não foi alcançada pela maioria dos programas de coleta seletiva existentes no Brasil.

As condições para a operação eficiente de um programa de coleta seletiva são as seguintes:

- Cultura organizacional;
- Educação ambiental;
- Quantidade significativa de resíduos produzidos;
- Tipo, característica e composição dos resíduos;
- Hábitos, costumes e necessidades da população;
- Sistema, equipamentos e mão-de-obra operacional;
- Densidade populacional;
- Malha urbana;
- Transporte dos resíduos;
- Potencial econômico da população; e
- Relações políticas e sociais da população.

O recolhimento de resíduos sólidos urbanos recicláveis é classificado como coleta de nós, pois os resíduos são armazenados em pontos residenciais ou locais estratégicos previamente definidos e desagregados sobre a malha urbana.

3 TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A roteirização de veículos é o processo de determinação de um ou mais roteiros a serem cumpridos pelos veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de pontos geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, que necessitam de atendimento (CUNHA, 2006).

Segundo Brasileiro (2004), os custos do transporte de resíduos sólidos podem ser classificados em custos fixos e custos variáveis, da seguinte forma: os custos fixos são divididos em: custos relacionados com a frota, custos relacionados com instalações e equipamentos e custos de mão de obra; e os custos variáveis, que são proporcionais à utilização dos equipamentos, são divididos em: custo por quilômetro percorrido e custo por hora de operação dos veículos.

A análise da roteirização e otimização dos sistemas de coleta seletiva é uma maneira de reduzir os custos de transporte (ROVIRIEGO, 2005). Portanto, a etapa de coleta é intrinsecamente ligada à etapa de transporte, independente do modo utilizado na condução dos resíduos.

Cunha (2006) afirmou que quando a definição dos roteiros envolve não só aspectos espaciais e geográficos; mas, também, aspectos temporais, tais como restrições de horário de atendimentos nos pontos a serem visitados, os problemas de transporte passam a ser considerados como programação e roteirização de veículos.

Segundo Brito (2006), os resíduos sólidos precisam ser transportados mecanicamente do ponto de geração ao local de destino final. Neste caso, a otimização do sistema de transporte está relacionada à melhor seqüência de visita aos pontos, de forma a minimizar o percurso total, atendendo às restrições de circulação dos veículos e de horário do atendimento.

4 MÉTODOS DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS DE COLETA

A roteirização de veículos de coleta pode ser realizada utilizando método empírico ou matemático. O método empírico é considerado intuitivo; mas, é baseado em parâmetros topográficos e geográficos dos setores ou áreas a serem cobertas (CASTRO, 2006). O método matemático define rotas com base nas variáveis referentes aos pontos de visita, tais como distância e tempo de viagem, utilizando procedimentos metodológicos, que são os algoritmos.

O método matemático de roteirização de veículos de coleta pode ser utilizado através de processo manual ou processo computacional. O processo manual se caracteriza pela utilização de um algoritmo em forma matemática, que produz uma solução ótima ou próximo da ótima. O processo computacional se caracteriza pela utilização de um algoritmo em forma digital, que simula diversos cenários de transporte.

O processo manual apresenta as desvantagens de demora na obtenção dos resultados e produzir uma única solução, que pode ser inviável de implementação. O processo automatizado permite fazer análises espaciais com precisão e visualização das informações em mapas; mas, exige recursos consideráveis para aquisição de *softwares*.

Os *softwares* para roteirização de veículos de coleta podem ser dotados de Sistema de Informação Geográfica (SIG), que permite representar graficamente os dados do sistema viário e dos pontos de atendimentos.

De acordo com Parra *et al.* (2000), a obtenção de boas soluções através de sistemas de informação geográfica depende, não só do modelo matemático e do algoritmo de solução; mas, também, dos dados de entrada para o *software*, principalmente, dos dados que representam o sistema viário e as restrições de circulação dos veículos.

5 SOFTWARE TransCAD

O material utilizado no desenvolvimento da pesquisa foi um Sistema de Informação Geográfica para Transportes (SIG-T) denominado de TransCAD. Segundo Lacerda (2003), o TransCAD é uma ferramenta capaz de minimizar a extensão total a ser percorrida pelos veículos coletores de resíduos sólidos urbanos, pois possibilita a simulação de rotas alternativas.

Segundo Castro (2006), um Sistema de Informação Geográfica é amplamente utilizado no planejamento de transportes em busca de soluções para problemas de logística, pois é uma ferramenta que incorpora, além das funções básicas de um SIG, rotinas específicas de pesquisa operacional e de transporte em geral.

Lopes Filho (2006) apresentou duas características peculiares que um SIG-T deve possuir, que são as seguintes: esquemas de representação de rede mais adaptados para aplicações em transportes; e capacidades analíticas específicas, tal como a obtenção de caminhos mínimos.

As principais vantagens do uso de um SIG na roteirização de veículos são as seguintes:

- Produz solução de roteirização em menor tempo do que o método manual;
- Produz rotas alternativas para uma mesma circunstância;
- Possibilita mudança nos valores das variáveis; e
- Possibilita mudança das restrições.

O TransCAD é um SIG-T que pode ser utilizado para criar e personalizar mapas, construir e manter bases de dados geográficos e proporcionar vários tipos de análises espaciais e numéricas.

As aplicações do TransCAD englobam todos os modos de transporte e apresentam abrangência local, regional e nacional. O *software* TransCAD pode ser utilizado para dar suporte técnico a tomadas de decisões sobre diversos problemas de transporte. Alguns exemplos de aplicações do *software* TransCAD são as seguintes:

- Roteirização (rotas mais curtas, mais rápidas e com menor custo);
- Planejamento de transportes (caracterização da demanda de viagens);
- Análise de rede (operação de coleta e entrega); e
- Logística (armazenamento, distribuição e transporte).

O *software* TransCAD inclui bancos de dados referentes à rede de transporte e à rota dos veículos. As informações sobre redes de transporte são estruturas de dados especializados que representam as regras vigentes de trânsito sobre a malha viária. As informações sobre rotas apresentam os dados característicos sobre o itinerário, a localização dos pontos e o tempo de parada de veículos.

As informações sobre redes de transporte incluem características detalhadas, tais como:

- Restrições de conversão;
- Passagem por cima ou por baixo em viaduto;
- Sentido de tráfego;
- Pontos de transferência entre rotas; e
- Pontos de acesso e egresso.

6 ESTUDO DE CASO

Um estudo de caso foi realizado para a cidade de Ilha Solteira, localizada na região noroeste do Estado de São Paulo, Brasil. A cidade possui uma população de aproximadamente 25.000 habitantes.

O serviço é realizado por uma cooperativa (COOPERSELI) em parceria com a Prefeitura Municipal. Os resíduos recicláveis são armazenados nas calçadas por parte da população, que é a parcela que segrega os resíduos.

Portanto, a coleta dos resíduos recicláveis do caso estudado é realizada em nós. Os resíduos são coletados nos pontos geradores (locais onde a parcela da população separa os resíduos recicláveis – geralmente, residências e pontos comerciais e de serviços) e transportados para a cooperativa, que se localiza a 3 quilômetros do limite urbano.

A equipe de trabalho é composta por 2 funcionários, sendo 1 motorista e 1 coletor. A roteirização dos veículos é determinada, através de método empírico, pelo próprio motorista.

A coleta seletiva na cidade de Ilha Solteira – SP ocorre durante 5 dias da semana (de segunda-feira à sexta-feira). O percurso dos veículos é diferente nos 5 dias de coleta, mas é praticamente o mesmo para cada dia da semana. No dia de quarta-feira, o sistema opera com uma frota igual a 3 veículos e, nos demais dias opera com 1 veículo. Na quinta-feira, o veículo realiza 2 viagens, sendo uma no período da manhã e uma no período da tarde.

Assim, o sistema opera com 8 rotas diferentes. Quando da caracterização do sistema, as rotas foram enumeradas da seguinte forma:

Rota 1: Segunda-feira;

Rota 2: Terça-feira;

Rota 3: Quarta-feira (Veículo 1);

Rota 4: Quarta-feira (Veículo 2);

Rota 5: Quarta-feira (Veículo 3);

Rota 6: Quinta-feira (Manhã);

Rota 7: Quinta-feira (Tarde); e

Rota 8: Sexta-feira.

A coleta de dados foi realizada utilizando um formulário desenvolvido especificamente para a pesquisa. O formulário foi preenchido à medida em que se realizava cada viagem, com as seguintes informações: hora e quilometragem da saída do veículo da origem, número e endereço de cada ponto, hora e quilometragem na chegada em cada ponto, hora de saída de cada ponto, e hora e quilometragem de chegada na origem.

A Tabela 1 apresenta os dados sobre número de pontos, distância percorrida, tempo total de operação e velocidade média dos veículos para cada uma das rotas.

Tabela 1: Dados sobre as rotas da coleta de resíduos recicláveis em Ilha Solteira

Rota	Pontos	D (km)	T (h)	V (km/h)
1	26	29,7	1,8	21
2	31	38,6	3,3	21
3	50	53,7	5,6	16
4	50	21,4	2,8	15
5	41	21,1	3,1	14
6	21	29,9	3,5	19
7	14	32,4	2,4	33
8	14	19,4	2,6	20

A preparação dos arquivos de entrada do *software* TransCAD foi realizada da seguinte forma: importação do mapa da cidade executado em um programa CAD, nomeação das vias com a identificação dos sentidos de movimento, localização dos pontos de coleta e da cooperativa, atribuição da quantidade de resíduo gerado em cada ponto e especificação do veículo coletor.

Com todos os dados requeridos pelo *software*, realizou-se simulações para o serviço de coleta de resíduos sólidos recicláveis da cidade de Ilha Solteira – SP, Brasil. A Tabela 2 apresenta os resultados das simulações para as 8 rotas. Os resultados contemplam os valores simulados do tempo e da distância de viagem e, também, os percentuais da redução do tempo e da distância de viagem calculados para os valores obtidos pelas simulações em relação aos valores reais.

Tabela 2: Dados sobre as rotas simuladas para o sistema coleta analisado

Rota	D (km)	Red. D (%)	T (h)	Red. T (%)
1	25,2	15,2	1,6	6,6
2	26,6	31,1	2,8	16,7
3	32,9	38,7	4,5	19,0
4	20,9	2,3	2,3	16,3
5	20,0	5,2	2,6	16,0
6	29,3	2,0	3,4	3,8
7	25,7	20,7	2,2	5,6
8	15,5	20,1	2,4	7,2

A Figura 1 apresenta os valores de distância de percurso para as rotas realizadas atualmente e as rotas simuladas para o sistema. A Figura 2 apresenta os valores de

tempo de percurso para as rotas realizadas atualmente e as rotas simuladas para o sistema. Ambas as figuras apresentam as diferenças entre os valores dos dados coletados e dos resultados das simulações.

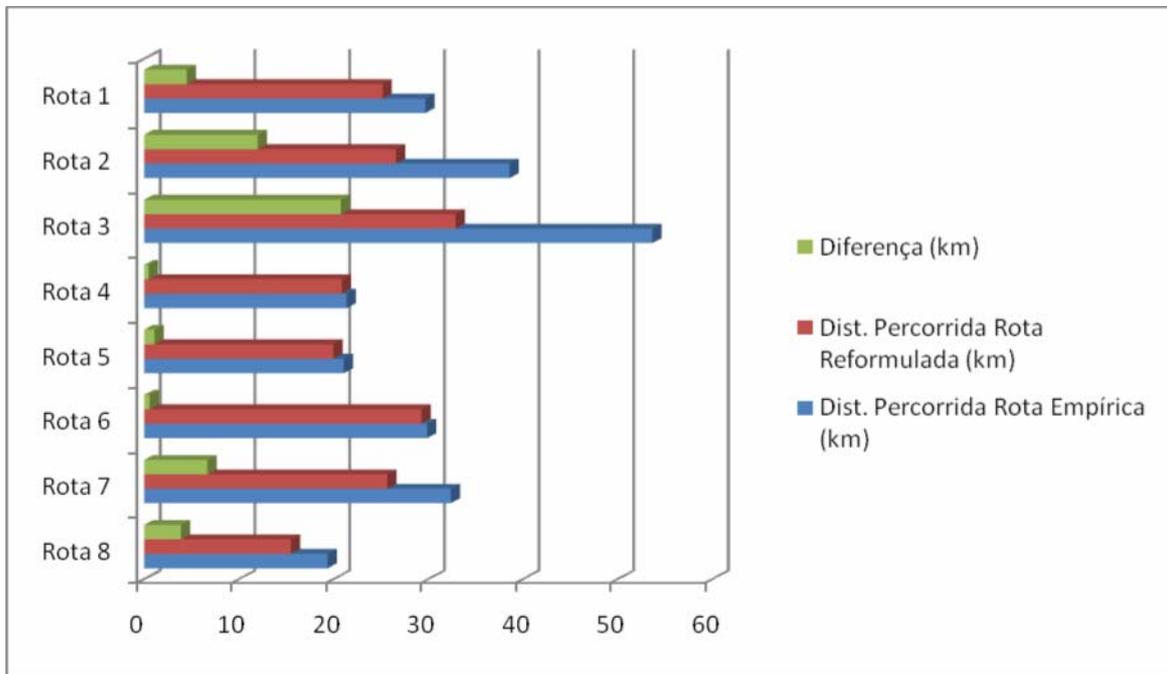


Fig. 1 Distância de percurso para as rotas empíricas e simuladas

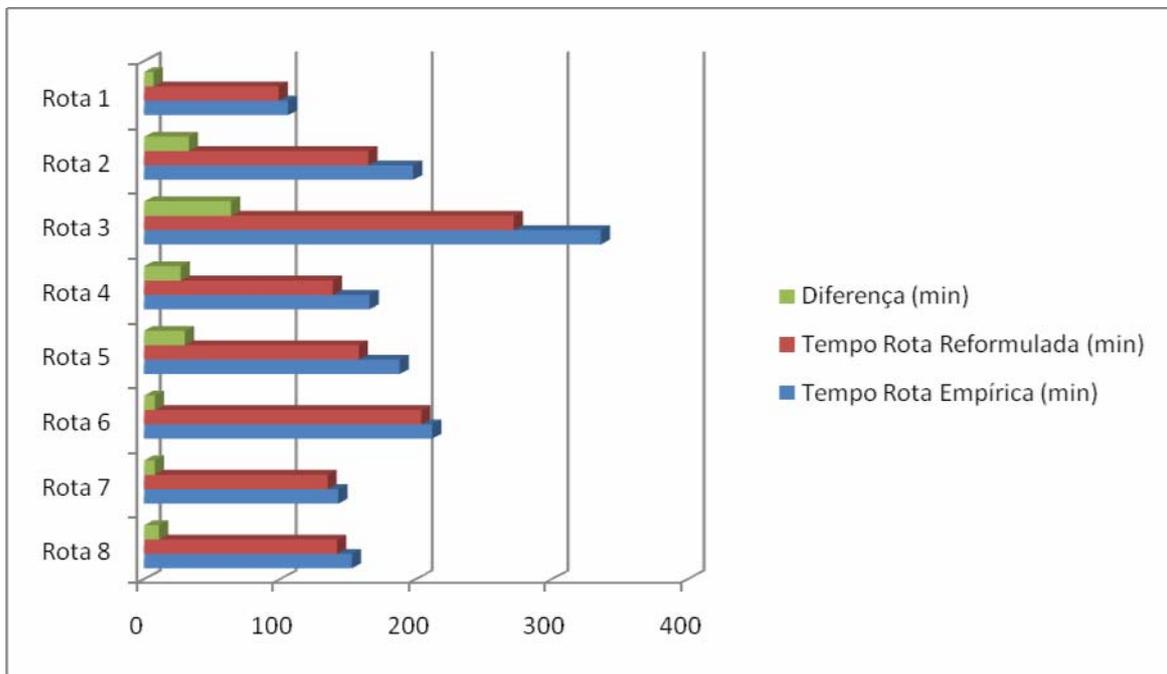


Fig. 2 Tempo de percurso para as rotas empíricas e simuladas

A Figura 3 apresenta a rota simulada para o dia de quinta-feira no período da manhã. A Figura 4 apresenta a rota simulada para o dia de quinta-feira no período da tarde. Estas figuras servem para exemplificar a roteirização de veículos obtida por simulação, através do *software* TransCAD, sobre o mapa da cidade.

7 CONCLUSÕES

O sistema de coleta de resíduos sólidos recicláveis existentes na cidade de Ilha Solteira – SP, Brasil apresenta pouca significância em relação ao sistema de coleta regular de resíduos sólidos urbanos porque somente uma pequena parcela da população contribui para o serviço de coleta seletiva, segregando os resíduos recicláveis e acondicionando-os separados dos demais.

Ainda assim, o sistema de coleta seletiva controlado pela cooperativa apresenta grande importância para a cidade como um todo; pois, além de contribuir com a geração de empregos, proporciona melhoria na qualidade de vida da população, reduzindo a quantidade de resíduos transportados para o local de destino final.

As simulações das rotas, através do *software* TransCAD, apresentaram reduções nos valores de distância e tempo de percurso para o sistema de coleta operar com a mesma quantidade de pontos visitados.

Assim, as rotas simuladas mostraram ser mais rápidas e econômicas do que as rotas atualmente praticadas, que são determinadas por método empírico. Desta forma, pode-se afirmar, com base nos resultados do estudo de caso, que apenas a experiência do motorista não é suficiente para tornar um serviço de coleta seletiva eficiente, mesmo que seja em cidade de pequeno porte.

O transporte dos resíduos, sendo realizado de forma racional, aumenta a produtividade do sistema de coleta seletiva, proporcionando melhores resultados econômicos e sociais para a cidade de uma forma geral.

A racionalização do sistema de coleta seletiva é de grande importância para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. Portanto, o transporte apresenta influência significativa na etapa de coleta dos resíduos recicláveis, pois é função direta dos custos do serviço.

A eficiência de um sistema de coleta seletiva é de grande importância para a comunidade como um todo; pois, além de reintroduzir matérias na cadeia produtiva, pode gerar empregos indiretos.

No Brasil, de uma maneira geral, poucos municípios fazem o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, realizando a coleta seletiva. Ainda, os poucos sistemas de coleta seletiva que existem são mal planejados, dificultando a operação, e tornando-os inviáveis.

Um sistema de coleta seletiva eficiente e viável economicamente requer um planejamento adequado. Mas, para isto, é necessário primeiramente que as características peculiares ao sistema de coleta seletiva sejam satisfatoriamente identificadas.

Portanto, a caracterização dos resíduos sólidos urbanos recicláveis é de grande importância para o gerenciamento do sistema de coleta seletiva.

REFERÊNCIAS

Ariel, C. M. E. (2006) **Proposta de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Comerciais para o Município de Santa Fé do Sul – SP**. Dissertação de Mestrado, UNESP – Ilha Solteira.

Brasileiro, L. A. (2004) **Análise do Roteamento de Veículos na Coleta de Resíduos Domésticos, Comerciais e de Serviços de Saúde**. Tese (Livre Docência) UNESP – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 94 p.

Brito, R. A. F. (2006) **Uso de sistema de informação geográfica para análise do transporte e disposição final dos resíduos sólidos**. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP.

Castro, L. B. (2006) **Avaliação do serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares em cidade de médio porte utilizando sistemas de informações geográficas e receptores do sistema de posicionamento por satélite**, Universidade Federal de Uberlândia.

CEMPRE (2004) **Pesquisa Ciclosoft**, Compromisso Empresarial para a Reciclagem. Disponível em <<http://www.cempre.org.br>>. Acesso em: 09 fev.2010.

Cunha, C. B. (2006) **Contribuição à Modelagem de Problemas em Logística e Transportes**. Tese (Livre-Docência) – Universidade de São Paulo.

Lacerda, M. G. (2003) **Análise de uso do SIG no sistema de coleta de resíduos sólidos domiciliares em uma cidade de pequeno porte**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 145p.

Lopes Filho, J. A. (2006) **O direito de ir e vir com independência**. Disponível em <<http://www.entreamigos.com.br>>. Acesso em: 22 fev.2010.

Orsati, A. S. (2006) **Análise de impactos ambientais e econômicos na escolha de locais para disposição final de resíduos sólidos**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP.

Parra, R.; Dantas, M. L. S.; Pichler, E. F. e Cunha C. B. (2000) **Acondicionamento e Coleta do Lixo**. In: **Lixo Municipal – Manual de Gerenciamento Integrado**. 2^a ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE, 370p.

Roviriego, L. F. V. (2005) **Proposta de uma Metodologia para a Avaliação de Sistemas de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Domiciliares**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 191p.