

ROTEIRIZAÇÃO EM ARCOS COM O USO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS: APLICAÇÃO EM COLETA SELETIVA DE MATERIAIS RECICLÁVEIS

Raquel Lopes de Oliveira

Renato da Silva Lima

Instituto de Engenharia de Produção e Gestão
Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Resumo

O objetivo deste trabalho é utilizar um Sistema de Informações Geográficas (SIG) como ferramenta para a roteirização em arcos (modelo porta a porta) de um programa de coleta seletiva de materiais recicláveis. A pesquisa utiliza dados reais de uma associação de catadores da cidade de Itajubá/MG. O método de pesquisa é a modelagem e simulação, o software utilizado é o TransCAD 4.8, que possui a rotina de roteirização em arcos. Foram simulados cenários nos quais procurou-se obter rotas mais eficientes (mais curtas e rápidas) do que os atuais trajetos realizados pela associação, que foram coletados em campo por meio de um aparelho GPS. Os resultados obtidos, quando comparados ao sistema atual, apresentaram índices melhores (distância, tempo e volume de materiais). Assim, com o auxílio do SIG, pode-se explicitar que os principais problemas logísticos observados na associação são consequência direta da forma pouco eficiente com que o processo de coleta seletiva está estruturado.

Abstract

The work objective is to use a Geographic Information System (GIS) as tool for arc routing of a selective collection of recyclable materials program. The research uses real data from an association of recyclable material gatherers from Itajubá/MG city. The research method is modeling and simulation, the software used is TransCAD 4.8, that has arc routing. Scenarios were simulated in which we tried to obtain more efficient routes (shorter and faster) than the current paths made by association. The real trajectories were collected in field using GPS. The simulation results, compared to the real system, have gotten higher levels (distance, time and volume of materials). Thus, by using GIS, it is possible to explain the observed major logistical problems are a direct consequence of the inefficient way the selective collection process is structured.

1. INTRODUÇÃO

Planejar um sistema de coleta e transporte para os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é uma atividade complexa, características como a quantidade e heterogeneidade de seus materiais, a forma de ocupação do solo, limitações de recursos e a falta de efetividade nas políticas públicas que regulem o setor (em 2 de Agosto de 2010 foi aprovada a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, mas a mesma não havia sido implementada durante a execução desta pesquisa). A escassez de locais e a elevação das distâncias percorridas para a destinação final dos resíduos são fatores também observados. Adicionalmente, a reparação de danos, na maioria dos casos, é mais complicada tecnicamente e envolve mais recursos do que a prevenção via investimentos técnico-financeiros (BRASILEIRO e LACERDA, 2008; MASSUKADO e ZANTA, 2006).

Dentro deste contexto, uma estratégia que está sendo cada vez mais utilizada, tanto pelo poder público quanto em instituições privadas, é a Logística Reversa (LR). Leite (2003) a define como a área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros. No âmbito dos RSU, seu conceito é visto como uma alternativa para a destinação final dos resíduos, que por meio da coleta seletiva e da reciclagem visa o reaproveitamento de matéria-prima e energia, a geração de emprego, de renda e a mitigação dos danos ao meio ambiente.

Especificamente no Brasil, observa-se dentro da cadeia reversa da reciclagem a participação de milhares de pessoas no processo de catção/coleta dos materiais recicláveis. Tal atividade é fonte de renda para famílias inteiras. Esses trabalhadores, conhecidos como catadores de materiais recicláveis, são um elemento fundamental da LR, sendo a base de sustentação dos índices de reciclagem dos RSU na indústria brasileira. Porém, esses catadores têm, ainda hoje, uma jornada de trabalho exaustiva, muitas vezes superior a 12 horas diárias, todos os dias da semana, percorrendo dezenas de quilômetros e sujeitos a intempéries. Ao mesmo tempo, as atividades presentes na LR (localização de atividades, transportes, roteirização, escolha da frota dos veículos etc.) são um desafio que está inserido na rotina desses empreendimentos ao exercerem a função de coletar e transportar os resíduos, desde a fonte geradora até o depósito onde é realizada a triagem e o processamento dos materiais para a comercialização. Especificamente, as atividades logísticas de coleta e transporte envolvem decisões que afetam diretamente a quantidade e qualidade dos materiais recicláveis, o tempo de operação, custos, além de questões relacionadas à ergonomia e impactos ambientais. Desta forma, se não realizadas a contento, uma das consequências é a introdução de custos adicionais que podem prejudicar o interesse do mercado por estes produtos, haja vista que muitos deles são itens de baixo valor agregado.

Constata-se assim a oportunidade para a utilização de ferramentas computacionais que apoiem esse processo de planejamento e tomada de decisões. Dentre os vários *softwares* existentes mercado, destacam-se os classificados como Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que permitem manipular dados referenciados geograficamente para, a partir de análises espaciais, apoiar a tomada de decisão. Em estudos envolvendo o manejo dos RSU, verifica-se a utilização dos SIG como ferramenta de auxílio ao dimensionamento de sistemas de coleta e transporte dos resíduos (GHOSE *et al.*, 2006; LIU, 2009). Assim, o objetivo deste trabalho é utilizar um Sistema de Informações Geográficas para transportes (SIG-T), como ferramenta para a roteirização em arcos (modelo porta a porta) de um programa de coleta seletiva de materiais recicláveis. A pesquisa utiliza dados reais de uma associação de catadores, da cidade de Itajubá/MG. Primeiramente, foi realizada a fundamentação teórica com os temas abordados (LR, RSU, SIG) e posteriormente realizado a aplicação do método da pesquisa, a análises dos resultados e feitas às conclusões, seguida da lista de referências bibliográficas.

2. A LOGÍSTICA REVERSA NO ÂMBITO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Xanthopoulos e Iakovou (2009) citam que a Logística Reversa (LR) é uma disciplina integrada e sistemática da cadeia de suprimentos e tem como meta promover o desenvolvimento sustentável, o manejo dos produtos em fim de vida de forma eficiente, lucrativa e em conformidade com as regulamentações ambientais. Já para Srivastava (2007), a LR integra um conceito mais amplo denominado “Gestão Verde da Cadeia de Suprimentos” que tem suas raízes na gestão ambiental inserida na cadeia de suprimentos e visa discutir a influência e conexão entre ambas as áreas. Conforme o autor, a LR é incentivada pela crescente deterioração do meio ambiente, como a diminuição de fontes de matérias-primas, esgotamento da vida útil dos aterros e aumento dos níveis de poluição. Especificamente neste trabalho, destaca-se a LR dos materiais recicláveis presentes nos RSU encaminhados para a reciclagem.

Estudos que envolvam a temática dos resíduos têm grande relevância no cenário nacional. Segundo pesquisas da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos

Especiais, a geração média diária de RSU no Brasil foi de 169.659 toneladas em 2008 e a geração per capita diária foi de 1,08 Kg (considerando para o cálculo somente a população urbana brasileira - 83,5%). Somente a região Sudeste representa o total de 54% dos RSU coletados no país (ABRELPE, 2008). Na cidade de Itajubá o valor da geração diária de RSU é em média de 60 toneladas. Outro dado relevante é que dentre uma amostra de 111 municípios, 91% deles demonstraram arrecadar recursos abaixo de 50% das necessidades anuais demandadas pelos serviços de limpeza urbana e apenas 9% arrecadavam o suficiente ou acima de 75% desses gastos (ABRELPE, 2005).

Especificamente nos RSU, a coleta e o transporte são responsáveis por uma substancial porcentagem do orçamento destinado a limpeza urbana, podendo chegar a mais de 70% dependendo da localização geográfica e do preço do combustível (GHOSE *et al.*, 2006). Por ser um serviço público, o lucro não é uma prioridade; no entanto, é uma atividade de custo elevado cujo planejamento requer atenção, em particular o que diz respeito à roteirização dos veículos (TAVARES *et al.*, 2009). Devido ao consumo de combustível fóssil (não renovável) e a consequente emissão de poluentes na atmosfera, o mínimo de transporte é o desejável.

2.1. Coleta Seletiva e os Catadores de Materiais Recicláveis

Diferentemente da coleta convencional, em que todas as frações dos RSU são coletadas misturadas, a coleta seletiva tem como objetivo remover os resíduos previamente separados pelos geradores, tendo em vista o reaproveitamento. Se realizada de forma correta possibilita várias opções de tratamento para os resíduos, ou seja, quais frações serão enviadas para métodos como a reciclagem (processamento industrial que fornece matéria-prima para a fabricação de novos produtos), compostagem (tratamento biológico dos resíduos facilmente degradáveis), incineração (tratamento térmico) e, por fim, os que serão encaminhados para aterros. No Quadro 1 são apresentadas as características entre os sistemas de coleta seletiva e o convencional, encontrados na literatura.

Coleta Seletiva	Coleta Convencional
⇒ Materiais mais limpos	⇒ Caminhões e coleta menos complicada, não há necessidade de separação
⇒ Maior qualidade	⇒ Pode utilizar sistemas compactadores
⇒ Menos perdas de materiais por contaminação	⇒ Coleta é mais fácil e mais rápida
⇒ Menos recursos necessários para triagem (pessoas, equipamentos, tempo, etc.)	⇒ Mais conveniente e fácil para os usuários
⇒ Necessidade de conscientização, conhecimento e participação dos usuários	⇒ Maiores quantidades de materiais coletados
⇒ Maiores custos	⇒ Economicamente mais eficiente
⇒ Menores quantidades coletadas	⇒ Maiores quantidade coletadas

Quadro 1 - Comparativo entre coleta seletiva versus coleta convencional

No Brasil, as estratégias mais utilizadas na coleta seletiva são: o modelo porta a porta, os PEVs (Postos de Entrega Voluntária) e a coleta realizada por catadores organizados ou autônomos. Conforme os dados disponibilizados pelo Compromisso Empresarial para Reciclagem, que reúne informações sobre os programas de coleta seletiva desenvolvidos nos municípios brasileiros, do total de municípios brasileiros que realizam a coleta seletiva 78% trabalham com o modelo porta a porta, 44% disponibilizam os PEVs e a parceria existente com associações/cooperativas de catadores de materiais recicláveis ocorre em 74% dos programas municipais (CEMPRE, 2010).

Para Dias e Teodósio (2006), o alcance de bons resultados na LR da reciclagem depende, sobretudo, do investimento nos dois extremos dessa cadeia: na coleta seletiva e no mercado para o produto. Neste aspecto um sistema de coleta adequado é um ponto chave para fazer o retorno do material a um novo processo de produção por meio da sua reciclagem ou reutilização desenvolvendo uma cadeia de suprimento reversa (KIPPER, *et al.*, 2009). Desta forma, com o objetivo de analisar e buscar melhores cenários e alternativas, a utilização de *softwares* específicos para questões logísticas pode possibilitar uma visão abrangente e uma maior compreensão de todo o sistema de coleta.

3. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA TRANSPORTES

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são *softwares* que fornecem armazenagem, recuperação, análise, visualização e criação de mapas com capacidades para informações espaciais, como um conjunto (rede) de caminhos (ruas), informações territoriais, localização de informações censitárias etc. (CHURCH, 2002). Dentre os vários tipos de SIG disponíveis no mercado, de particular interesse para este trabalho, é o denominado Sistema de Informações Geográficas para Transportes (SIG-T). O referido *software* possui rotinas específicas para pesquisas em logística. Como exemplo de um SIG-T tem-se o *software* TransCAD, que além de possuir funções básicas de um SIG, engloba rotinas específicas para logística e transportes em geral, como os problemas de roteirização de veículos, cálculo de distâncias percorridas e localização de atividades.

3.1. Roteirização de Veículos na coleta dos Resíduos Sólidos

Conforme Martinhon *et al.* (2004), Problemas de Roteirização de Veículos (PRV) é o nome genérico dado a uma classe vasta de problemas envolvendo a coleta e a distribuição física de mercadorias, serviços, informações e pessoas. A roteirização de veículos consiste na definição das rotas das coletas e/ou entregas, em que determina-se o trajeto que um veículo percorrerá para completar as exigências dos serviços de transportes (BOWERSOX *et al.*, 2006). No contexto da coleta dos RSU, em geral, três objetivos podem ser considerados na roteirização e programação de veículos: 1) minimizar a distância total de coleta; 2) minimizar o custo total de coleta; 3) minimizar o tempo total de coleta (CHANG, 1997).

Conforme Brasileiro e Lacerda (2008), a roteirização de veículos pode ser classificada em três classes: problema de cobertura de nós (quando a coleta é realizada em pontos específicos), problema de cobertura de arcos (quando a coleta é realizada em segmentos de vias) e problema geral de roteirização (quando a coleta é realizada em nós e arcos). Especificamente neste trabalho, será simulado a roteirização da coleta em arcos. Ainda segundo os autores, ao utilizarem o TransCAD para analisar a roteirização de veículos na coleta dos RSU na cidade de Ilha Solteira/SP, reduções percentuais de até 41% na distância total percorrida e de 68% no tempo total de percurso. Como conclusão, os autores afirmaram que a aplicabilidade de um SIG deve ser analisada não somente pelo aspecto econômico, mas também pelo aspecto ambiental a que estão relacionados os RSU, já que um eficiente sistema de coleta deve minimizar todo tipo de poluição, seja do solo, ar ou água.

Neste contexto, planejar de forma eficiente a programação dos veículos de coleta deve ser uma das preocupações dos gestores, pois os efeitos nos custos dos transportes são significativos, especificamente no caso da logística reversa, onde esses valores podem ser mais elevados (KARA *et al.*, 2007). Desta forma, um dos motivos para o sucesso da

utilização dos SIG neste setor é de ordem econômica, uma vez que rotas bem definidas podem proporcionar redução de custos, aumento da produtividade e maior controle da operação de sistemas de transporte (BRITO, 2006).

4. MÉTODO DA PESQUISA

Chwif e Medina (2007) afirmam que a simulação permite avaliar e analisar sistemas reais a partir da construção de modelos computacionais, por meio dos quais pode-se responder a perguntas do tipo “o que aconteceria se” (*what-if*), tornando-se assim uma poderosa ferramenta de apoio a tomada de decisão. Assim, conforme os objetivos deste trabalho, a principal razão para a utilização da modelagem e simulação foi devido este método permite a análise de um problema, a fim de encontrar soluções matemáticas, ótimas ou próximas ao ótimo global. Uma das vantagens de sua aplicação é que as propostas geradas podem auxiliar os tomadores de decisão no momento de suas escolhas, principalmente quando aplicado a problemas complexos.

4.1. Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por meio de entrevistas, observações diretas no objeto de estudo e, para auxiliar na obtenção de dados (georeferenciados) concernente ao sistema de coleta e transporte da ACIMAR, utilizou-se um aparelho GPS (Garmin Oregon 300). O mapeamento de cada roteiro, por meio do GPS, foi conduzido pela pesquisadora junto ao caminhão da coleta seletiva. Assim, foram levantados todos os pontos de parada do veículo, os bairros correspondentes a cada um deles, as distâncias e os tempos totais de cada trajeto, as velocidades nas vias etc. A obtenção de dados sobre cada um dos roteiros da ACIMAR ocorreu mais de uma vez, de modo a observar possíveis variações nos trajetos. Após a conclusão dessa etapa de coleta dos dados, em que foi possível identificar e conhecer as principais características do objeto estudo, partiu-se para a próxima etapa desta pesquisa: aplicação do método de pesquisa - Modelagem e Simulação.

4.2. Caracterização do Objeto de Estudo

Associação de Catadores Itajubenses de Materiais Recicláveis – ACIMAR localiza-se no sul de Minas Gerais (MG), na cidade de Itajubá. Foi fundada em 2007, e possui atualmente 25 catadores associados. Desde sua fundação recebe assessoria e auxílio da Incubadora Tecnológica de Cooperativas Populares - INTECOOP da Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI/MG e também da Prefeitura Municipal. A Prefeitura fornece equipamentos para o desenvolvimento das atividades de coleta seletiva, tais como, o galpão (sede da associação), equipamentos (empilhadeira, telefone, computador etc.), um funcionário técnico-administrativo, um caminhão (capacidade de 44 m³) com motorista e um ajudante, sendo esses últimos contratados da empresa terceirizada responsável pela Limpeza Pública da cidade (que fornece também o caminhão). Os associados dividem-se em dois grupos de trabalho: um permanece no galpão da associação e realiza atividades como segregar e prensar os materiais; já o outro grupo fica responsável pela coleta seletiva. O sistema de coleta praticado pela associação é o “híbrido”, em que os catadores são transportados pelo caminhão de coleta até pontos determinados e percorrem a pé as vias da cidade para coletarem os recicláveis. Durante a pesquisa de campo foi possível identificar três programações e rotas (trajetos) principais, a citar:

- Roteiro A → segunda, quarta e sexta-feira, no período da manhã;
- Roteiro B → terça e quinta-feira, no período da manhã;

- Roteiro C → realizado no centro da cidade com frequência diária, geralmente a coleta é iniciada a partir das 17h.

Para os roteiros A e B, o caminhão divide o seu trajeto em duas viagens: Na primeira delas, o veículo parte do galpão, transportando os catadores e os *bags* (sacos utilizados para o acondicionamento dos materiais coletados) e segue para os pontos de paradas já estabelecidos em cada bairro. Nestes locais os catadores descem do veículo e seguem a pé para efetuar a coleta dos materiais recicláveis (alguns já deixados separados pelos moradores e outros que terão que ser separados da parte não reciclável depositada para a coleta convencional). Após deixar todos os catadores nos pontos de parada, o caminhão vai ao aterro da cidade e realiza a pesagem do veículo descarregado (requisito da empresa terceirizada que presta o serviço de limpeza pública, pois a mesma recebe da Prefeitura Municipal por quilograma de material coletado.). Na sequência, retorna ao galpão, permanecendo em média 1h30min até realizar a segunda viagem, em que busca os catadores e os materiais coletados. Na segunda viagem o caminhão deixa o galpão, segue até os locais (pontos) escolhidos pelos catadores e efetua a coleta e o transporte dos materiais e dos catadores. Após passar por todos os pontos determinados, o veículo vai novamente ao aterro, efetua a pesagem do caminhão carregado e com os dados das duas pesagens é obtido o valor total da carga. O caminhão então retorna ao galpão, onde acontece a descarga dos recicláveis e inicia-se o processo de triagem. Já no Roteiro C, o caminhão após deixar os catadores nos pontos de paradas e realizar a pesagem no aterro, retorna para o centro da cidade e percorre as vias onde os catadores realizam as coletas, apresentando uma única viagem. Após o término das coletas também realiza a pesagem do veículo carregado e retorna ao galpão para descarregar os materiais. No período da tarde a ACIMAR realiza a coleta de doações de materiais em uma empresa (programada para ocorrer três vezes por semana) e em uma instituição de ensino (duas vezes por semana). Foi constatado, por exemplo, que a demanda de serviços dentro do galpão, coletas esporádicas de doações e a ausência de catadores ao trabalho podem influenciar na regularidade das coletas, que foram simuladas neste estudo.

A Figura 1 mostra duas rotas reais, coletadas por meio do aparelho GPS, que são realizados pela associação. No mapa é possível observar que o veículo atravessa a cidade para poder chegar até ao aterro e realizar a pesagem. Segundo os catadores, para realizar a coleta seletiva em mais bairros da cidade seria necessário aumentar o número de veículos, uma vez que para eles apenas um não é o suficiente. Também foi verificado durante a coleta de dados que ocorre dos associados chegarem aos bairros ao mesmo tempo ou após o caminhão da coleta convencional, o que prejudica a quantidade de material a ser coletado e o programa de coleta seletiva perde sua credibilidade frente à população. Outro problema diz respeito às doações, que em muitos casos, não são programadas e podem até alterar a programação da coleta.

5. APLICAÇÃO DA MODELAGEM E SIMULAÇÃO

O objetivo das simulações foi verificar alterações principalmente na distância percorrida pelo veículo de coleta, uma vez que o sistema porta a porta é considerado como o que apresenta as maiores distâncias, já que o veículo deve percorrer toda a extensão das vias. Em contrapartida, a participação da população neste tipo de programa de coleta seletiva tende a ser superior quando comparada com o sistema de coleta por meio de PEVs. No total, três cenários foram simulados, sendo a taxa de participação da população a variável que sofreu as alterações em cada cenário. Como constatado em Oliveira e Lima (2010), a exclusão das viagens ao aterro

possibilitaria reduções significativas nos parâmetros de roteirização (distância e tempo) do sistema real, assim para os presentes cenários as viagens ao aterro foram excluídas das rotas.

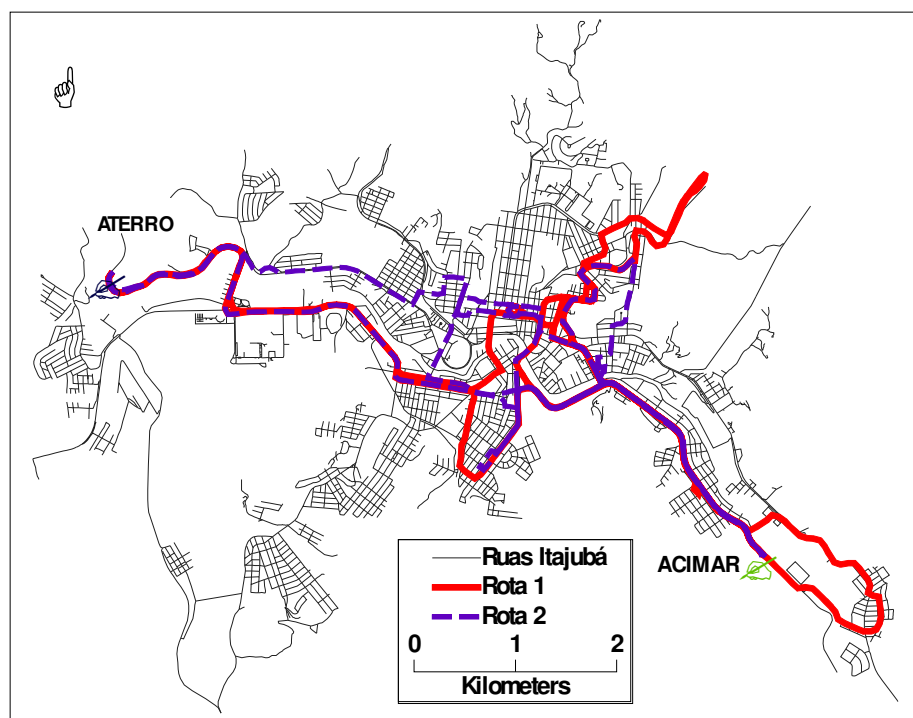


Figura 1 - Rotas reais da ACIMAR

5.1. Cenário 1 - Roteirização do veículo na coleta seletiva com 20 % da participação da população

Para executar a rotina de roteirização em arcos, primeiramente foi realizado no mapa do TransCAD a divisão dos bairros de Itajubá por meio da criação de polígonos (áreas). Após a formação dessas áreas, foram selecionados os arcos (*links*, vias da cidade) que seriam servidos (*Service Flag AB/BA*). De posse dos dados da densidade demográfica (adquiridos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE), calculou-se por meio da ferramenta *overlay* o número de habitantes presentes nos bairros onde a ACIMAR realiza a coleta seletiva, assim como o volume correspondente de recicláveis. No total, nove bairros são abrangidos, contabilizando 31.124 habitantes. Na Figura 2 são apresentados em destaque os nove bairros citados. Destaca-se que a associação não realiza a coleta seletiva em todas as vias pertencentes a cada bairro.

O tempo demandado para a realização do serviço de coleta em cada *link* foi obtido através da divisão do comprimento de cada *Link* (*Lenght*) pela velocidade média do caminhão, adotada em 8 Km/h (dado coletado quando a ACIMAR realizou a coleta porta a porta em um bairro da cidade). De modo análogo, o tempo médio nos *links* onde não há realização do serviço de coleta foi calculado a partir da divisão da distância (*Lenght*) pela velocidade nas vias, considerada conforme os valores adotados nos cenários anteriores. Inicialmente, adotou-se a hipótese de que 20% das 31.124 pessoas residentes nos bairros de coleta iriam participar do programa, ou seja, quando convertido em volume, esse valor corresponde ao dobro da quantidade de materiais que a associação coleta.

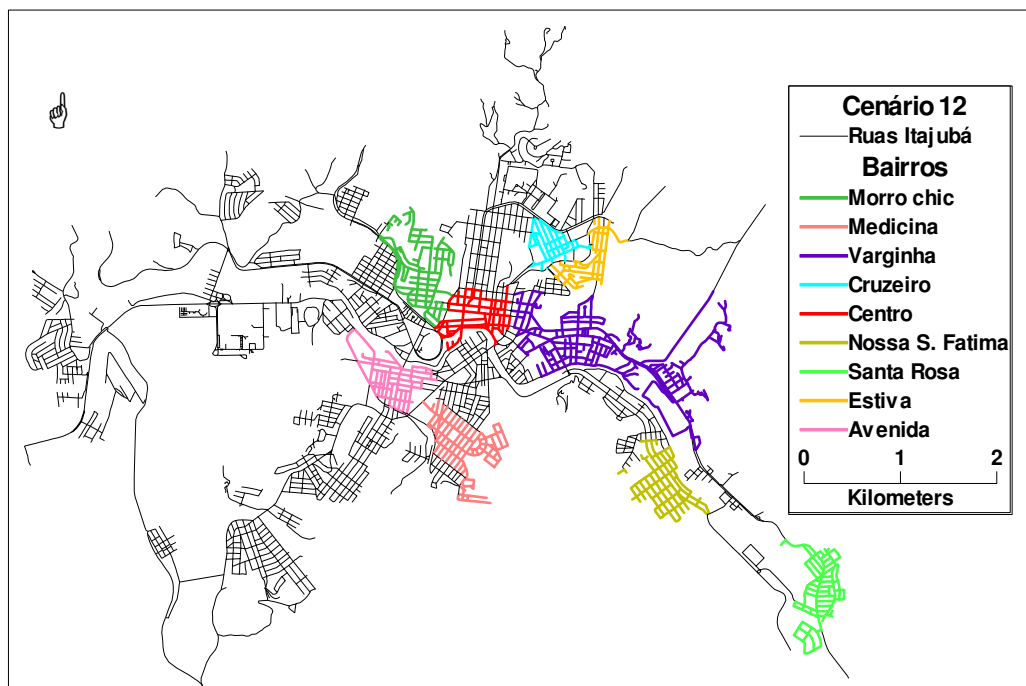


Figura 2 - Bairros com coleta seletiva porta a porta

Mesmo que o caminhão não tenha sua capacidade de carga completada após a coleta em um determinado bairro, optou-se que ele seguiria para o galpão. Essa decisão foi embasada nas características de trabalho do sistema de coleta porta a porta, em que os catadores precisariam percorrer parte dos trechos de coleta a pé. Desta forma, o intuito da viagem até ao galpão é permitir a troca da equipe de trabalho. Na Tabela 1 são apresentados os resultados da roteirização em arcos. Especificamente o bairro Varginha, devido sua maior dimensão, foi dividido em dois setores menores de coleta de modo a diminuir a distância total que seria percorrida na mesma viagem.

Tabela 1 - Resultados da roteirização em arcos no Cenário 1

Bairros	Frequência da coleta semanal	Volume diário [m ³]	Volume semanal [m ³]	Distância [km]	Distância semanal [km]	Tempo [h]	Tempo semanal [h]
Varginha1	1	4,54	31,78	24,25	24,25	2:21	2:21
Varginha2	1	4,24	29,68	23,70	23,70	2:22	2:22
Santa Rosa	1	4,17	29,19	17,39	17,39	1:48	1:48
Avenida	1	3,92	27,44	20,36	20,36	1:42	1:42
Morro Chic	1	3,85	26,95	26,86	26,86	2:06	2:06
Medicina	1	3,81	26,67	23,90	23,90	1:58	1:58
Centro	2	3,55	24,85	21,81	43,62	1:48	3:36
N. S. Fátima	1	3,16	22,12	14,69	14,69	1:36	1:36
Estiva	1	2,82	19,74	20,15	20,15	1:39	1:39
Cruzeiro	1	2,25	15,75	16,42	16,42	1:16	1:16
Total	--	36,31	254,17	209,53	231,34	18:36	20:04

Em relação à frequência da coleta (calculada conforme a capacidade de carga do caminhão), sugere-se que no centro da cidade seja duas vezes por semana, embora uma única viagem

fosse o suficiente para transportar o volume de materiais estimado, a questão é que em muitos pontos comerciais os recicláveis não podem ser armazenados durante muitos dias. Ao incluir o tempo médio correspondente às coletas de doações realizadas pela ACIMAR (12h por semana), seriam necessárias 32h04min por semana para realizar a coleta seletiva. Destaca-se que já foi adicionado em todos os cenários o tempo médio demandado para descarregar o caminhão no galpão da associação (20 min).

5.2. Cenário 2 - Roteirização do veículo na coleta seletiva com 40 % de participação da população

Nesse cenário foi considerada a hipótese de que a taxa de participação da população no programa de coleta seletiva seria elevada para 40% do total de pessoas residentes nos bairros de coleta (12.449 habitantes). Os mesmos procedimentos do Cenário 1 foram seguidos para a rotina de roteirização em arcos. Destaca-se que a distância percorrida em casa bairro possui os mesmos valores do obtido no Cenário 1. Já a velocidade, devido à elevação do volume dos materiais, adotou-se a estimativa que nos arcos onde forem realizadas as coletas a velocidade do caminhão será de 7 Km/h. Os resultados da roteirização em arcos são apresentados na Tabela 2. De acordo com a frequência da coleta, somente nos últimos três bairros da tabela é que uma única viagem por semana do caminhão seria o suficiente para transportar o volume estimado dos materiais. No total seriam demandadas 47h42min por semana para realizar a coleta seletiva porta a porta (incluindo os tempos correspondentes as coletas de doações e tempo para descarregar o caminhão no galpão). Diferentemente do Cenário 1, em que a jornada de trabalho de 44h semanais nem chegaria a ser completada, no Cenário 2 seria necessário à realização de algumas horas-extras.

Tabela 2 - Resultados da roteirização em arcos no Cenário 2

Bairros	Frequência da coleta semanal	Volume diário [m ³]	Volume semanal [m ³]	Distância [km]	Distância semanal [km]	Tempo [h]	Tempo semanal [h]
Varginha1	2	9,08	63,56	24,25	47,40	2:36	5:12
Varginha2	2	8,48	59,36	23,70	48,50	2:34	5:08
Santa Rosa	2	8,33	58,32	17,39	34,78	1:58	3:56
Avenida	2	7,84	54,89	20,36	40,72	1:51	3:42
Morro Chic	2	7,70	53,90	26,86	53,72	2:19	4:38
Medicina	2	7,62	53,35	23,90	47,80	2:09	4:18
Centro	2	7,09	49,63	21,81	43,62	1:57	3:54
N. S. Fátima	1	6,32	44,24	14,69	14,69	1:46	1:46
Estiva	1	5,64	39,48	20,15	20,15	1:47	1:47
Cruzeiro	1	4,49	31,43	16,42	16,42	1:21	1:21
Total	--	72,62	508,13	209,53	367,80	20:18	35:42

5.3. Cenário 3 - Roteirização do veículo na coleta seletiva com 80% de participação da população

Este cenário foi o mais otimista dentre todos que foram simulados neste trabalho. Considera-se que a participação da população seria de 80% do total da população residente nos bairros onde já existe a coleta seletiva. Como no Cenário 2, o aumento no volume de recicláveis resultará na diminuição da velocidade do caminhão, que neste caso será de 6 Km/h nos arcos onde forem realizadas as coletas. Todas as outras variáveis são mantidas conforme os valores adotados para os cenários 1 e 2. Na Tabela 3 são apresentados os resultados da roteirização em arcos.

Tabela 3 - Resultados da roteirização em arcos no Cenário 3

Bairros	Frequência da coleta semanal	Volume diário [m ³]	Volume semanal [m ³]	Distância [km]	Distância semanal [km]	Tempo [h]	Tempo semanal [h]
Varginha1	3	18,17	127,19	24,25	72,75	2:56	8:48
Varginha2	3	16,97	118,79	23,70	71,10	2:54	8:42
Santa Rosa	3	16,66	116,62	17,39	52,17	2:13	6:39
Avenida	3	15,69	109,83	20,36	61,08	2:03	6:09
Morro Chic	3	15,41	107,87	26,86	80,58	2:35	7:45
Medicina	3	15,26	106,75	23,90	71,70	2:24	7:12
Centro	3	14,19	99,33	21,81	65,43	2:09	6:27
N. S. Fátima	2	12,64	88,48	14,69	29,38	1:58	3:56
Estiva	2	11,28	78,96	20,15	40,30	1:57	3:54
Cruzeiro	2	8,98	62,86	16,42	32,84	1:28	2:56
Total	--	145,21	1016,68	209,53	577,33	22:37	62:28

Em decorrência da elevação do volume, nos bairros com maiores geração de resíduos, a frequência da coleta deveria ser elevada para três vezes por semana. No total seriam demandadas 74h28min por semana para realizar a coleta seletiva porta a porta. Como o tempo total ultrapassaria a jornada de trabalho permitida pela CLT, sugere-se remanejar outro motorista para efetuar parte das coletas. A Figura 3 mostra a roteirização do bairro Cruzeiro, que possui a menor estimativa de geração de recicláveis, e do bairro Nossa Senhora de Fátima, que apresenta a menor distância.

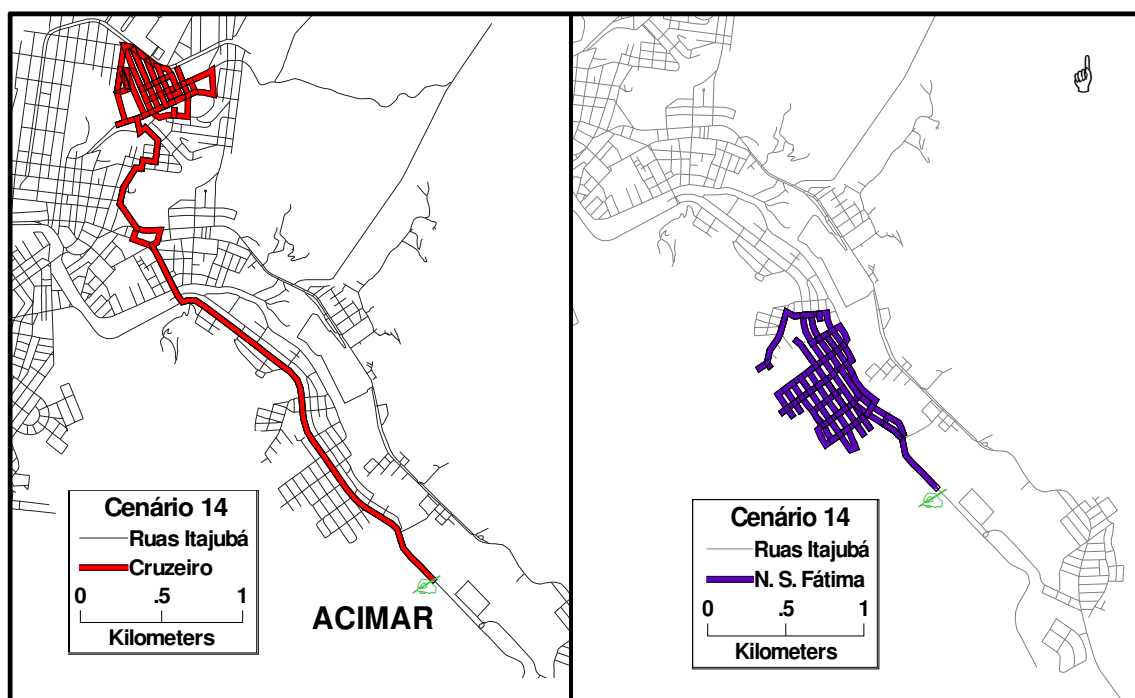


Figura 3 - Roteirização em arcos nos bairros Cruzeiro e N. S. Fátima

5.4. Análise geral dos resultados

A Tabela 4 traz as comparações (volume, distância e tempo) entre as simulações dos Cenários 1, 2, 3 e o sistema real. O Cenário 1 mostra que mesmo se a coleta seletiva porta a porta fosse realizada, em que o caminhão tem que percorrer todas as vias dos bairros onde a ACIMAR coleta os recicláveis, tanto a distância quanto o tempo apresentariam reduções significativas

quando comparado com o sistema real. Assim, considerando as exclusões das viagens ao aterro, a ACIMAR poderia analisar a adoção da coleta porta a porta, que neste caso permitiria obter uma quantidade mais elevada de materiais e os catadores não precisariam mais coletar e “arrastar” os recicláveis nos *bags* (o que limita a quantidade de coleta). Observa-se no Cenário 2 que mesmo elevando ainda mais a estimativa do volume de recicláveis, as variáveis distância e tempo continuariam com valores inferiores ao sistema real.

Tabela 4 - Comparação entre os cenários 1, 2 e 3 e os sistema real

Cenários	Volume total [m ³]	Variação [%]	Distância total [km]	Variação [%]	Tempo total [h]	Variação [%]
Real	117,30	--	439,00	--	61:16	--
1	254,17	+116,68	231,34	-47,30	32:04	-47,66
2	508,34	+333,36	367,80	-16,21	47:42	-22,14
3	1016,68	+766,73	577,33	+31,51	74:28	+21,54

Ao se comparar o Cenário 3 com o sistema real, verifica-se um aumento muito significativo no volume de materiais que seriam coletados e, embora também haja elevação no tempo e na distância, são em menores proporções quando comparado com o aumento do volume. Porém, ressalta-se que para obter os valores estimados para o volume, tanto campanhas educativas quanto a regularidade da coleta são extremamente importantes para incentivar os moradores a contribuir com a separação na fonte. Mas, acredita-se que seja mais provável uma maior participação das pessoas na coleta porta a porta do que na coleta por meio de PEVs, já que no primeiro caso não é exigido da população o deslocamento até um ponto de entrega para depositar os recicláveis. O sistema de coleta porta a porta tende a apresentar um custo mais elevado de transporte (distâncias percorridas) quando comparado com a coleta realizada por meio de PEVs. Porém, em consequência da eliminação dos gastos correspondentes a aquisição, instalação e manutenção dos *containers*, os custos totais do sistema porta a porta podem ser menores do que a coleta por meio de PEVs.

5. CONCLUSÕES

Em termos gerais, pode-se constatar que os principais problemas logísticos existentes no objetivo de estudo (ACIMAR) são consequência direta da má estruturação do sistema de coleta como um todo. Como já constatado em trabalhos anteriores, uma melhoria considerável na produtividade poderia ser alcançada a curto prazo, para o caso específico da coleta seletiva de Itajubá, com a exclusão dessas viagens ao aterro. Tais resultados evidenciam a importância de uma atuação mais enfática da associação de catadores junto à prefeitura municipal e à empresa terceirizada, que presta os serviços de limpeza pública, para que as condições que foram descritas fossem alteradas e mesmo evitadas. Embora exista tanto por parte do poder público quanto da associação o desejo de expandir a coleta seletiva para outros bairros da cidade, assim como a perspectiva de obter mais um veículo para a coleta, ressalta-se que antes dessas ações é necessário planejar e dimensionar os recursos que já existem na associação.

Especificamente em relação às hipóteses e estimativas adotadas, embora possam ser questionadas quanto a sua efetividade, o intuito principal deste trabalho foi descrever o método utilizado para o planejamento e dimensionamento de um programa de coleta seletiva, uma vez que os valores das variáveis e parâmetros podem ser modificados e simulados novamente no SIG-T à medida que novas necessidades e restrições forem estabelecidas. Assim, destaca-se a oportunidade para a utilização de *softwares* como o TransCAD, que possibilitou o tratamento de dados geográficos, a geração de diferentes cenários e alternativas

de cálculos para uma análise fundamentada nos efeitos das decisões sobre um problema real de planejamento e tomada de decisão no processo logístico da coleta seletiva de materiais recicláveis. Mesmo que o Brasil apresente altos índices de reciclagem para determinados materiais, quando se investiga de perto as condições de associações percebe-se o quanto ainda é necessário avançar nessa área e melhorar as condições de trabalho dos catadores, que formam a base da cadeia reversa da reciclagem no país. Apesar disso, deve-se destacar as ações positivas que já vêm sendo realizadas em Itajubá/MG, assim como em tantos outros municípios brasileiros, para a destinação adequada dos materiais presentes RSU. Como consequência, recursos naturais podem ser poupados por meio da utilização de matérias-primas reaproveitáveis e emprego/renda são gerados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES, ao CNPq e à FAPEMIG, pelo apoio financeiro concedido a diversos projetos que subsidiaram o desenvolvimento desse trabalho, assim como à colaboração da ACIMAR e da INTECOOP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRELPE (2005). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2005*. Disponível em: http://www.abrelpe.org.br/pan_2005/cap4.pdf > Acesso: 20 nov. 2009.
- ABRELPE (2008). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2008*. Disponível em: http://www.abrelpe.org.br/panorama_2008.php > Acesso: 22 nov. 2009.
- Bowersox, D. J.; D. J. Closs e M. B. Cooper (2006) *Gestão Logística de Cadeia de Suprimentos*. Porto Alegre: Bookman.
- Brasileiro, L. A. e M. G. Lacerda (2008). Análise do uso de SIG no roteamento dos veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 13, n. 4, p. 356-360.
- Brito, R. A. F. (2006) *Uso de sistema de informação geográfica para a análise do transporte e disposição final dos resíduos sólidos*. Dissertação (mestrado), UNESP, São Paulo.
- CEMPRE (2010) Compromisso Empresarial para Reciclagem. *Pesquisa Ciclossoft*. Disponível em: http://www.cempre.org.br/ciclossoft_2010.php > Acesso: 11 mar. 2011.
- Chang, Ni-Bin (1997) GIS Technology for vehicle routing and scheduling in solid waste collection systems. *Journal of environmental engineering*, v. 123, n.9, p.901-910.
- Chwif, L. e A. C. Medina (2007). *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*. 2. ed. São Paulo, Editora dos Autores.
- Dias, S. L. F. G e A. S. S. Teodósio (2006) Estrutura da cadeia reversa: “caminhos” e “descaminhos” da embalagem PET. *Revista Produção*, v. 16, n. 3, p. 429-441.
- Ghose, M. K.; A. K. Dikshit e S. K. Sharma (2006) A GIS based transportation model for solid waste disposal - A case study on Asansol municipality. *Waste Management*, v. 26, n. 11, p. 1287-1293.
- Kara, S.; F. Rugrungruan e H. Kaebernick (2007) Simulation modeling of reverse logistics networks. *International Journal of Production Economics*, v. 106, n. 1, p. 61-69.
- Kipper, L. M.; C. M. Mählmann e A. L. Rodríguez (2009) Ações estratégicas sistêmicas visando à integração da cadeia produtiva e de reciclagem de plásticos. *Revista Produção On-line*, v. 9, n. 4, p. 848-865.
- Leite, P. R (2003) *Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade*. São Paulo: Prentice Hall.
- Liu, L. (2009) Urban Environmental Performance in China: A Sustainability Divide? *Sustainable Development*, v.17, p. 1-18.
- Martinhon, C.; A. Lucena e N. Maculan (2004) Stronger K-tree relaxations for the vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, v.158, n.1, p.56-71.
- Massukado, L. M. e V. M. Zanta (2006) SIMGERE – Software para Avaliação de Cenários de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Domiciliares. *Revista Engenharia Sanitária Ambiental*, v.11, n.2, 133-142.
- Oliveira, R. L. e R. S. LIMA (2010) Logística Reversa: a Utilização de um Sistema de Informações Geográficas na Coleta Seletiva de Materiais Recicláveis. In: IV Congresso Luso-Brasileiro para Planejamento Urbano, Regional, Integrado, Sustentável, 2010, Faro, Portugal. *Anais...* Faro: PLURIS.
- Srivastava, S. K. (2007) Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review, *International Journal of Management Reviews*, v. 9, n. 1, p. 53 – 80.
- Tavares, G.; Z. Zsigraiova; V. Semiao e M. G. Carvalho (2009) Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling. *Waste Management*, v. 29, p.1176–1185.
- Xanthopoulos, A. e E. Iakovou (2009) On the optimal design of the disassembly and recovery processes. *Waste Management*, v. 29, n.5, p. 1702-1711.