



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FEIS – FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

**USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA PARA A ANÁLISE DO TRANSPORTE E
DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS**

Rodrigo Augusto Ferreira de Brito

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

Orientadora: Profa. Dra. Luzenira Alves Brasileiro

Ilha Solteira - SP

Novembro de 2006

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação - Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

B862u	<p>Brito, Rodrigo Augusto Ferreira de Uso de sistema de informação geográfica para a análise do transporte e disposição final dos resíduos sólidos / Rodrigo Augusto Ferreira de Brito. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2006 89 p. : il.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2006</p> <p>Orientador: Luzenira Alves Brasileiro Bibliografia: p. 68-72</p> <p>1. Lixo. 2. Veículos de coleta de lixo. 3. Gerenciamento de resíduos. 4. Sistemas de informação geográfica.</p>
-------	---

DEDICATÓRIA

A Deus que me deu sabedoria para alcançar todos os meus ideais, mostrando a mim sempre o melhor caminho a seguir

Aos meus pais e familiares que sempre deram suporte em minhas realizações, incentivando a prosseguir, me apoiando e ajudando em todos os momentos, depositando toda confiança em mim

A minha esposa que me incentivou a dar mais esse passo na minha vida

A minha filha Theodora que com seu sorriso me deu forças para continuar

E ao meu filho Gabriel que mesmo não estando comigo, sempre vai estar no meu coração

AGRADECIMENTOS

A Deus

A meus pais, esposa, filhos, amigos, colegas, pôr todos que fizeram parte nessa nossa história e me ajudaram a crescer e ser mais gente

A minha orientadora, Prof.a Dr.a Luzenira Alves Brasileiro, pela dedicação e confiança

Ao CETEC-CTGEO pelo incentivo e aperfeiçoamento de seus funcionários

Aos colegas de trabalho do CTGEO e ETE de LINS

Aos amigos:

Leandro Pereira Cuelbas

Julio Nascimento Sena

José Ivan Abeid Viveiros

Francisco Rodrigues Junior

Silvio Eduardo Doretto

Aos colegas e Professores do DEC

A todos que contribuíram para a conclusão desse trabalho

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE QUADROS	II
LISTA DE TABELAS	III
RESUMO.....	IV
ABSTRACT	V
1 – INTRODUÇÃO	01
1.1 – Considerações Gerais	01
1.2 – Definição do Problema	03
1.3 – Objetivo	05
1.4 – Área de abrangência da pesquisa	05
2 - RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	06
2.1 – Considerações Gerais	06
2.2 – Classificação	06
2.3 – Gerenciamento	10
3 – TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	19
3.1 – Considerações Gerais	19
3.2 – Redes de Transporte.....	19
3.3 – Grafos.....	22
3.4 – Problemas de Roteirização de Veículos de coleta de resíduos.....	23
3.5 – Métodos de Roteirização de Veículos de coleta de resíduos	27
3.6 – Sistemas de Informação Geográfica	29
3.6.1 – Banco de Dados de um sistema de informação geográfica	31
3.6.2 – Aplicações de SIG	36
3.7 – SIG-T (Sistema de Informação Geográfica para Transporte).....	37
4 – DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS	40
4.1 – Considerações Gerais	40
4.2 – Lixão.....	40
4.3 – Aterro controlado.....	41
4.4 – Aterro sanitário	41
4.5 – Condições desfavoráveis dos locais de disposição final	42
4.6 - Escolha do local para disposição final	43

5 – MATERIAL	46
5.1 – Considerações Gerais	46
5.2 – TransCAD.....	46
5.3 – Imagens de Satélite.....	49
5.4 – Sistema de Posicionamento Global – GPS	50
5.5 – Mapa Urbano.....	50
6 – MÉTODO.....	51
6.1 – Considerações Gerais	51
6.2 – Coleta de Dados.....	51
6.3 – Análise de Locais para a Disposição Final.....	52
6.3.1 – Critérios Funcionais.....	52
6.3.2 – Impactos Ambientais e Econômicos.....	53
6.4 – Simulação.....	54
7 – ESTUDO DE CASO	55
7.1 – Considerações Gerais	55
7.2 – Coleta de Dados.....	56
7.3 – Implementação dos Dados.....	57
8 – APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS	61
8.1 – Simulação da Rota de coleta , com o local de disposição final atual	61
8.2 – Simulação da Rota de coleta, considerando o melhor local definido pelo método de Orsati (2006)	62
8.3 – Simulação da Rota de coleta conjunta com os outros locais de disposição final analisados por Orsati (2006).....	63
8.4 – Análise dos Resultados	64
9 – CONCLUSÕES	66
10 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
Anexo I	73
Apêndice I	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Roteirização dos veículos de coleta dos resíduos.....	04
Figura 2 : Disposição Final dos resíduos	04
Figura 3 : Veiculo com carroceria sem compactação.....	14
Figura 4 : Veiculo com compactador fechado	15
Figura 5 – Interseções e segmentos em redes	20
Figura 6 : Grafo orientado	22
Figura 7 : Grafo não orientado	23
Figura 8: Grafo misto.....	23
Figura 9 : Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica.....	31
Figura 10 : Representação Matricial e Vetorial de um mapa analógico	33
Figura 11 : Topologia entre arco, nó e polígono.....	34
Figura 12 : Elementos da representação vetorial	34
Figura 13 : Escala representação matricial	35
Figura 14 : Aplicações principais do TransCAD	48
Figura 15 : Imagem TM-Landsat do município de Ilha Solteira-SP	49
Figura 16 : Mapa urbano do município de Ilha Solteira-SP	50
Figura 17 : Formulário para coleta de dados do sistema de resíduo sólido comercial	51
Figura 18 : Localização da cidade de Ilha Solteira –SP	55
Figura 19 : Rota com local de disposição final definida pelo TransCAD	61
Figura 20 : Rota com local de disposição final definido por Orsati (2006).....	62
Figura 21 : Rota definida pelo software TransCAD, com o LOCAL 3.....	63
Figura 22 : Valores de distância percurso da rota empírica e das rotas definidas pelas simulações realizadas com o software TransCAD	65
Figura 23 : Valores do tempo de viagem da rota empírica e das rotas definidas pelas simulações realizadas com o software TransCAD	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 : Municípios com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por unidades de destinação final do lixo coletado	18
Quadro 2 : Comparação das representações vetoriais e matriciais	36
Quadro 3 : Campo na base de dados do arquivo geográfico de pontos	59
Quadro 4 : Campos na base de dados do arquivo geográfico de linhas	60
Quadro 5 : Pontuação do custo de aquisição do terreno	83
Quadro 6 : Pontuação do coeficiente de declividade do terreno, e do coeficiente de permeabilidade do solo	83
Quadro 7 : Pontuação da distância entre a base do aterro e a cota máxima do aquífero freático, da distância do corpo d'água mais próximo, da distância da zona urbana, da espessura de solo homogêneo, do índice de plasticidade, do limite de liquidez, e da vida útil do terreno	84
Quadro 8 : Pontuação dos custos de investimento e dos custos de transporte	85
Quadro 9 : Pontuação da distância entre o local de disposição final e a zona urbana	86
Quadro 10 : Pontuação do odor permanente, do odor na direção do vento, da presença de animais, da presença de fumaça, da presença de insetos, do visual bonito, e do visual feio	86
Quadro 11 : Valores das variáveis que constituem os critérios funcionais dos locais analisados	88
Quadro 12 : Pontuação das variáveis e o valor dos critérios funcionais para cada local	88
Quadro 13 : Pontuação das variáveis e o valor dos impactos ambientais e econômicos	89
Quadro 14 : Índice de Qualidade de cada local analisado	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Valores de distancia e tempo de percurso das rotas.....	64
Tabela 2 : Rota Empirica	74
Tabela 3 : Rota Computacional	78

RESUMO

BRITO, R. A. F. Uso de Sistema de Informação para análise do transporte e disposição final dos resíduos sólidos. 2006, 89p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

O sistema de transporte dos resíduos sólidos compreende o cálculo da frota necessária e a geração de itinerários. A roteirização de veículos pode ser realizada através de método empírico ou matemático. O método matemático pode ser manual ou computadorizado. O problema do transporte de resíduos sólidos urbanos é, geralmente, sanado através do método empírico; principalmente em cidades de pequeno porte. O objetivo deste trabalho é analisar o transporte de resíduos sólidos comerciais urbanos, através do método matemático computadorizado, utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG). O estudo de caso foi realizado para a cidade de Ilha Solteira – SP, que apresenta aproximadamente 24.000 habitantes. O método utilizado para análise do transporte de resíduos consiste em coleta de dados, caracterização do sistema atual, simulação do sistema utilizando SIG e análise dos resultados. Os dados foram coletados durante o período de julho a agosto de 2006. O sistema atual define a roteirização de veículos pelo método empírico e a frota é igual a 1 veículo, que visita 172 pontos comerciais. O veículo realiza 3 viagens/dia para suprir a demanda. Foram simulados cenários com locais de disposição atual, e mais 4 determinados por um modelo de escolha de locais. Os resultados mostram que há uma economia significativa de distância e tempo no roteamento pelo método computacional, em relação ao método empírico no estudo de caso realizado. O método computacional para roteirização dos veículos de coleta mostrou ser mais eficiente do que o método empírico.

Palavras-Chave: Resíduos Sólidos, Coleta, Roteamento de Veículos, Sistemas de Informação Geográfica.

ABSTRACT

BRITO, R. A. F. Use of System of Information for analysis of the transport and final disposal of the solid residues. 2006, 89p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

The system of transport of the solid residues understands the calculation of the necessary fleet and the generation of itineraries. The routing of vehicles can be carried through through empirical or mathematical method. The mathematical method can manual or be computerized. The problem of the transport of urban solid residues is, generally, cured through the empirical method; mainly in small cities. The objective of this work is to analyze the transport of urban commercial solid residues, through the computerized mathematical method, using of geographic information systems (GIS). The case study it was carried through for the city of Ilha Solteira - SP, that presents 24,000 inhabitants approximately. The method used for analysis of the transport of residues consists of collection of data, characterization of the current system, simulation of system using GIS and analysis of the results. The data had been collected during the period of July the August of 2006. The current system defines the routing of vehicles for the empirical method and the fleet is equal the 1 vehicle, that visits 172 points commercial. The vehicle carries through 3 trips/day to supply the demand. Scenes with places of current disposal had been simulated, and more 4 determined for a model of choice of places. The results show that it has a significant economy of distance and time in the routing for the computational method, in relation to the empirical method in the study of carried through case. The computational method for routing of the collection vehicles showed to be more efficient of the one than the empirical method.

Keywords: Solid residues, Collect, Routing of vehicles, Geographic Information Systems

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Considerações Gerais

Qualquer ser vivo gera, através de sua atividade metabólica, algum tipo de rejeito, ou seja, absorve matéria, transforma-a em energia, incorpora uma parte como biomassa e excreta o excedente ou o que não lhe é útil. Este fenômeno, que ocorre a todo momento no planeta, é condição indispensável à vida. Os seres humanos geram, ainda, outros tipos de rejeitos ou resíduos.

O aumento do número de habitantes no planeta, associado à concentração das populações nas cidades, vem agravando a capacidade natural da terra para absorver o lixo. Em qualquer nível da produção per capita de lixo, mais gente significa mais lixo.

O problema do transporte e disposição final do lixo domiciliar é mundial. Entretanto, a situação se agrava muito em países onde não existe serviço de coleta e disposição adequados, como é o caso do Brasil.

Segundo IPT e CEMPRE (1995), o brasileiro convive com a maioria do lixo que produz. No total, 241.614 toneladas de lixo produzido diariamente no País ficam a céu aberto e apenas 24% recebem tratamento mais adequado.

O estado de limpeza de uma comunidade reflete, sem dúvida, o grau de civilização de seus habitantes e, a eficiência e seriedade dos administradores locais.

A influência desse estado de limpeza na vida e no desenvolvimento das cidades, entretanto, deve ser enfatizado para alertar as autoridades municipais sobre as diversas implicações da limpeza pública na saúde da população e na economia da região.

Do ponto de vista econômico, pode-se mencionar como decorrente de um sistema precário de limpeza pública a desvalorização dos terrenos e prédios localizados nas proximidades das áreas com acúmulos de lixo.

Ocorrem, ainda, problemas tais como: gastos freqüentes com limpeza de rios e galerias de águas pluviais, reflexos negativos no turismo da região, falta de estímulo à fixação de novos habitantes e de novos empreendimentos comerciais e industriais.

A solução para o problema exige o esforço conjunto dos cidadãos e da municipalidade. Para o município cabe, entretanto, a maior parcela, já que dispõe de meios para educar a população, infundir práticas sanitárias e impor ao público obrigações que facilitam o trabalho oficial e ajudam a manter a cidade limpa.

A disposição final dos resíduos sólidos, o manejo e tratamento dos resíduos feita em locais não apropriados e mesmo em local apropriados gera impactos, tais como: contaminação do lençol freático, mau cheiro, morte de seres humanos que vivem nos lixões, alterações do uso do solo e desvalorização imobiliária.

O planejamento do transporte dos resíduos sólidos compreende as etapas de divisão dos setores de coleta, atribuições de freqüências de atendimento, determinação dos turnos de coleta, cálculo de frota necessária e geração de itinerários.

Essas etapas são resolvidas por pesquisa operacional. Mas, para isto são necessárias modelagens matemática e estatísticas das variáveis envolvidas no processo, o uso de ferramentas que permitam o tratamento dos dados e a resolução de problemas.

Com o surgimento dos Sistemas de Informação Geográfica, algumas dessas ferramentas foram disponibilizadas. O tratamento de mapas e o banco de dados possibilitaram a aplicação de vários algoritmos nesta plataforma.

O planejamento do transporte dos resíduos sólidos de uma maneira automatizada e a escolha apropriada de locais para disposição final gerando poucos impactos são necessários.

Para tanto, esta pesquisa apresenta uma análise conjunta desses fatores, utilizando Sistemas de Informação Geográficas aplicado ao transporte de resíduos sólidos comerciais e critérios de escolha para locais de disposição final.

1.2 – Definição do Problema

O transporte dos resíduos sólidos urbanos é realizado seguindo uma roteirização dos veículos de coleta, determinada através de parâmetros (distância e tempo de viagem) que definem o menor caminho e o menor tempo de percurso.

Por outro lado, a escolha do local de destino final dos resíduos sólidos urbanos é feita, geralmente, com base no custo do solo.

Portanto, as fases de determinação da roteirização dos veículos de coleta e da escolha do local de destino final feitas separadamente causam um custo maior de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

A etapa de roteirização dos veículos de coleta, por si só, visa determinar o menor caminho para diminuir os custos de transporte, como mostra a Figura 1. Mas, o local de destino final dos resíduos influencia na definição da rota, podendo aumentar os custos de transporte.

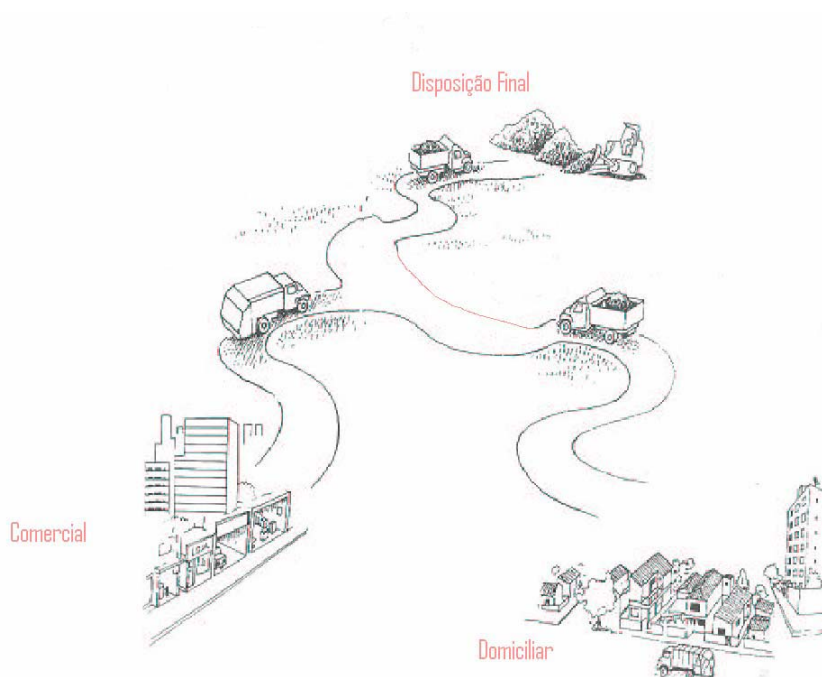


Figura 1 - Roteirização dos veículos de coleta dos resíduos

A etapa da escolha do local de disposição final dos resíduos, por si só, visa também diminuir o custo de aquisição do terreno Na Figura 2 é mostrado possíveis locais de disposição final. Mas, o custo do solo como único critério de decisão gera impactos ambientais que são transformados em um custo maior para a população e para o próprio ambiente.

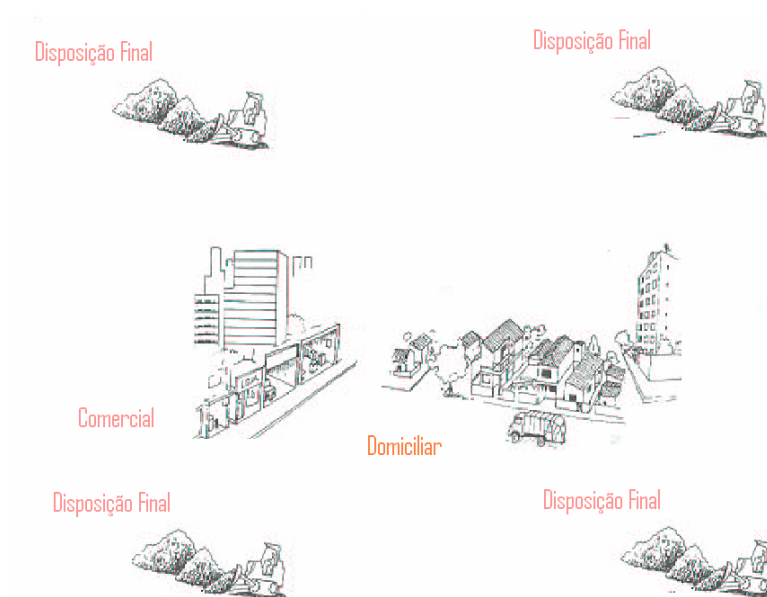


Figura 2 - Disposição Final dos resíduos

1.3 – Objetivo

O objetivo é determinar conjuntamente as etapas de roteirização dos veículos para o transporte e a escolha do local de destino final dos resíduos sólidos urbanos comerciais utilizando sistemas de informação geográfica.

1.4 – Área de Abrangência da Pesquisa

O estudo será feito para o município de Ilha Solteira – SP, e segundo IBGE (2000), a população é estimada em 23.996 habitantes, caracterizando um município de pequeno porte.

2 - RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

2.1 – Considerações Gerais

Segundo Ferreira (1986), a palavra lixo significa: (1) Aquilo que se varre da casa, do jardim, da rua, e se joga fora; entulho; (2) Tudo o que não presta e se joga fora; (3) Sujidade, sujeira, imundície; (4) Coisa ou coisas inúteis, velhas, sem valor; e (5) Ralé.

O próprio significado da palavra transmite a impressão de que lixo é algo sem valor, sem importância e que deve ser jogado fora. O lixo é também denominado de resíduo, que são restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis.

2.2 – Classificação

Com relação à origem, o resíduo é classificado, da seguinte maneira:

- **Resíduos sólidos domiciliares** – de acordo com ABNT (1987) e IPT e CEMPRE (1995), é aquele originado da vida diária das residências, constituído por restos de alimentos (tais como cascas de frutas e verduras), produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis e uma grande diversidade de outros itens.

IBAM (2001) define como resíduos domésticos aqueles provenientes de atividades diárias em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais. Segundo IBAM (2001), ainda, estão incluídos nesta classificação os resíduos comerciais e públicos.

De acordo com Barros et al. (1995), resíduo domiciliar é todo material gerado no ambiente doméstico, tais como: restos de alimentos, embalagens, plásticos, vidros, latas, materiais de varredura, folhagens e lodos de fossas sépticas.

Segundo Pessim (2002), os materiais existentes no resíduo sólido domiciliar são matéria orgânica putrescível, papel/papelão, plástico, metal ferroso, metal não-ferroso, vidro, madeira, trapo, terra/cerâmica, contaminante químico, contaminante biológico e outros.

- **Resíduos sólidos comerciais** - de acordo com ABNT (1987) e IPT e CEMPRE (1995), são aqueles originados dos diversos estabelecimentos comerciais e de serviços, tais como, supermercados, estabelecimentos bancários, lojas, bares e restaurantes. O lixo destes estabelecimentos e serviços é constituído principalmente por papéis, plásticos, embalagens diversas e resíduos de asseio dos funcionários, tais como, papel toalha e papel higiênico.

Segundo Barros et al. (1995), são os resíduos produzidos em estabelecimentos comerciais, e suas características dependem das atividades ali desenvolvidas. Por exemplo, no caso de restaurantes, predominam os resíduos orgânicos; já nos escritórios, verifica-se uma grande quantidade de papéis.

IBAM (2001) define como resíduos comerciais aqueles gerados em atividades comerciais, cujas características dependem do tipo da atividade realizada.

De acordo com Barros et al. (1995), Resíduos Institucionais (RI) são provenientes das instituições públicas, sendo que suas características podem permitir sua classificação como resíduo comercial.

- **Resíduos sólidos públicos** - de acordo com ABNT (1987) e IPT e CEMPRE (1995), são originados dos serviços de limpeza pública urbana (incluindo todos os resíduos de varrição das vias públicas); de limpeza de praias, de galerias, de córregos e de terrenos; e restos de podas de árvores, de limpeza de áreas de feiras livres (constituídos por restos vegetais diversos e embalagens).

De acordo com Barros et al. (1995), são constituídos por resíduos da varrição, capina, raspagem, etc, provenientes de logradouros públicos, bem como animais mortos, entulhos de obras, móveis velhos, galhos grandes e outros materiais deixados pela população indevidamente nas ruas ou retirados das residências através do serviço de remoção especial.

Segundo IBAM (2001), resíduos públicos são os resíduos presentes nos logradouros públicos, em geral, resultantes da natureza, tais como folhas, galhadas, poeira, terra e areia, e também aqueles descartados irregular e indevidamente pela população, tais como entulho, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos.

- **Resíduos de serviços de saúde e hospitalar** - de acordo com ABNT (1987) e IPT e CEMPRE (1995), estes constituem os resíduos sépticos, ou seja, que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos. Os resíduos assépticos destes locais, constituídos por papéis, restos de preparação de alimentos, resíduos de limpezas gerais (pó e cinza), e outros materiais que não entram em contato direto com pacientes ou com os resíduos sépticos são considerados domiciliares.

Segundo ANVISA (2003), os resíduos de serviços de saúde podem ser divididos em 5 grupos: A (potencialmente infectantes com possível presença de agentes biológicos), B (químicos), C (radioativos), D (resíduos comuns) e E (perfurocortantes). Todos os geradores dos resíduos de serviços de saúde, deverão elaborar um Plano de Gerenciamento, em que, para cada um dos grupos, devem estar previstos procedimentos adequados, desde a segregação no momento e local da geração, até a destinação final. Desta forma, o gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde será facilitado, mesmo quando a coleta, o transporte e a destinação final ficarem a cargo do município, pois o material já estará previamente separado e acondicionado.

- **Resíduos de Portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários** - de acordo com ABNT (1987) e IPT e CEMPRE (1995), estes constituem os resíduos sépticos, ou seja, aqueles que contêm ou potencialmente podem conter germes patogênicos, trazidos aos portos, terminais rodoviários e aeroportos.
- **Resíduo Industrial** - de acordo com ABNT (1987) e IPT e CEMPRE (1995), é aquele originado das atividades dos diversos ramos da indústria, tais como metalúrgica, química, petroquímica, papelaria e alimentícia. O lixo industrial é bastante variado, podendo ser representado por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papéis, madeiras, fibras, borrachas, metais, escórias, vidros e cerâmicas. Nesta categoria, inclui-se a grande maioria do lixo considerado tóxico.
- **Resíduo Agrícola** - de acordo com ABNT (1987) e IPT e CEMPRE (1995), resíduos sólidos das atividades agrícolas e da pecuária são embalagens de adubos, defensivos agrícolas, ração e restos de colheita. Segundo IPT e CEMPRE (1995), em várias regiões do mundo, estes resíduos já constituem uma preocupação crescente, destacando-se as enormes quantidades de esterco animal geradas nas fazendas de pecuária.
- **Resíduo de Construção e Demolição** - de acordo com ABNT (1987) e IPT e CEMPRE (1995), resíduos da construção civil são demolições, restos de obras e solos de escavações. O entulho é geralmente um material inerte e passível de reaproveitamento.
De acordo com IBAM (2001), em países desenvolvidos, a média de resíduos provenientes de novas edificações encontra-se abaixo de 100 kg/m², enquanto que no Brasil este índice gira em torno de 300 kg/m² edificado, o que corresponde a 50% da quantidade em peso de resíduos sólidos urbanos coletados em cidades com mais de 500 mil habitantes de diferentes países, inclusive no Brasil.

2.3 – Gerenciamento

Segundo IPT e CEMPRE (1995), a produção de lixo nas cidades brasileiras é um fenômeno inevitável que ocorre diariamente em quantidades e composições que dependem do tamanho da população e do seu desenvolvimento econômico. Portanto, os sistemas de limpeza urbana, que são competência municipal, devem afastar o lixo das populações e dar um destino ambiental e sanitário adequado.

Para que essa tarefa do governo municipal seja cumprida, as etapas de gerenciamento de resíduos sólidos devem ser todas realizadas de maneira que não prejudique o meio ambiente e a população.

As etapas do gerenciamento de resíduos sólidos são: geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte e destino final. Nesta pesquisa serão abordadas as etapas de transporte e destino final.

Os resíduos sólidos precisam ser transportados mecanicamente do ponto de geração ao destino final. Este serviço caracteriza-se pelo envolvimento dos cidadãos, que devem acondicionar o lixo adequadamente e apresentá-los em dias, locais e horários pré-estabelecidos. A operação de transporte engloba desde a partida do veículo de sua garagem, compreendendo todo o percurso gasto na viagem para coleta dos resíduos, a partir do armazenamento, até o local de destino final.

A disposição final é a última fase do gerenciamento de um sistema de limpeza urbana. Geralmente, esta operação é efetuada imediatamente após o transporte. Em alguns casos, entretanto, antes de ser disposto, o lixo é processado, isto é, recebe algum tipo de beneficiamento, visando melhores resultados econômicos, sanitários e ambientais.

a) Geração

A geração de resíduos, apesar de se encontrar no início da cadeia, tem significativo impacto no sistema, pois quanto mais resíduos gerados maiores serão os volumes a serem coletados, transportados, tratados e dispostos.

Para Dias (2000), a geração é proporcional ao aumento da população e desproporcional à disponibilidade de soluções para o gerenciamento dos detritos. Isto resulta em sérias defasagens na prestação de serviços, tais como a diminuição gradativa da qualidade do atendimento, a redução do percentual da malha urbana atendida pelo serviço de coleta e o seu abandono em locais inadequados.

Estima-se que 47,5 milhões de toneladas de Resíduo Sólido Domiciliar (RSD) sejam produzidos no Brasil por ano (130 mil t/dia), ou seja, aproximadamente 0,7 kg/(hab).dia. (GRIMBERG, 2002).

Portanto, as ações de gestão nesse contexto devem ser pensadas e trabalhadas a longo prazo e pelas três esferas – Federal, Estadual e Municipal.

Segundo Logarezzi (2004), a geração de resíduos é, em parte, determinada pelas ações de consumo de produtos e de serviços pelas opções de produção, pela opção de comercialização e pelas opções de oferecimento de serviços. Logo após o descarte do resíduo, ocorre o acondicionamento.

b) Acondicionamento

O acondicionamento é a etapa subsequente à geração e ao descarte do resíduo. O material rejeitado pode ser acondicionado em caixas, tambores ou sacos plásticos; sendo este último o mais comum.

Barros et al. (1995), afirmaram que “acondicionar significa dar ao lixo uma embalagem adequada, cujos tipos dependem de suas características e da forma de remoção, aumentando assim a segurança e a eficiência do serviço”.

Segundo IBAM (2001), “acondicionar os resíduos sólidos domiciliares significa prepará-los para a coleta de forma sanitariamente adequada e, de forma compatível com o tipo e a quantidade de resíduos”. O acondicionamento adequado evita acidentes, proliferação de vetores, minimiza o impacto visual e olfativo, e facilita a realização da etapa da coleta.

A etapa de acondicionamento do resíduo não significa somente colocá-lo em um recipiente adequado, podendo incluir também pré-ações como realizar uma lavagem simples do resíduo (vasilhames constituídos por materiais metálicos, plásticos e vidros), a fim de retirar as impurezas e evitar a proliferação de moscas.

c) Armazenamento

Os resíduos, após o seu acondicionamento, são depositados em locais apropriados ou em vias públicas para serem posteriormente coletados. Esta é a etapa de armazenamento dos resíduos (BRASILEIRO 2004).

O armazenamento consiste em selecionar um ambiente adequado, onde será centralizado o acúmulo de resíduos sólidos que deverão ser transportados ao local de tratamento, reciclagem ou disposição final (IPT e CEMPRE 1995).

A forma correta de armazenamento depende das características dos resíduos sólidos em questão, isto é, cada tipo de resíduo deve ter um armazenamento específico. Os resíduos sólidos de saúde, por exemplo, devem ser armazenados em recipientes com tampa, em locais abrigados e com acesso previsto apenas para funcionários autorizados (BRASILEIRO 2004)..

O armazenamento dos resíduos deve ser realizado em locais adequados, evitando:

- acidentes;
- proliferação de insetos e de animais indesejáveis e perigosos;
- impacto visual e olfativo; e
- heterogeneidade, no caso de haver coleta seletiva.

d) Coleta

De acordo com IPT e CEMPRE (1995), a coleta do lixo e seu transporte para áreas de tratamento ou destinação final são ações do serviço público municipal de grande visibilidade para a população, pois impedem o desenvolvimento de vetores transmissores de doenças que encontram alimento e abrigo no lixo.

Segundo IPT e CEMPRE (1995), para que este envolvimento ocorra de forma satisfatória, o poder público deve garantir:

- a universalidade do serviço prestado, ou seja, todo cidadão deve ser servido pela coleta de lixo domiciliar; e
- a regularidade da coleta, isto é, os veículos coletores devem passar regularmente nos mesmo locais, dias e horários.

ABNT (1993), através da NBR-12980, define os diferentes tipos de serviço de coleta de lixo:

- coleta domiciliar (ou convencional), que consiste na coleta do lixo de residências, estabelecimentos comerciais e industriais, cujo volume não ultrapasse o previsto em legislação municipal;
- coleta de feiras, praias, calçadas, e demais equipamentos públicos;
- coleta de resíduos de serviços de saúde; englobando hospitais, ambulatórios, postos de saúde, laboratórios, farmácias, clínicas veterinárias e outros.

Segundo IPT e CEMPRE (1995), outros tipos de coleta abrangem as coletas especiais que contempla os resíduos não recolhidos pela coleta regular, tais como entulhos, animais mortos e podas de jardins. Este tipo de coleta pode ser regular ou programada para onde e quando houver resíduos a serem removidos.

A coleta particular é obrigatoriamente de responsabilidade do gerador, em decorrência do tipo de resíduo ou da quantidade ser superior à prevista em legislação municipal. Indústrias, supermercados, shopping centers, construtoras e empreiteiras, entre outros, devem providenciar a coleta dos seus resíduos em função do volume gerado. Hospitais, ambulatórios, centros de saúde e farmácias,

entre outros, devem ter coleta particular em função do tipo de lixo. O papel da fiscalização por parte da prefeitura é fundamental (IPT e CEMPRE, 1995).

e) Transporte

Os resíduos sólidos precisam ser transportados mecanicamente do ponto de geração ao destino final. No transporte do lixo podem ser utilizados diferentes tipos de veículo, desde os de tração animal até caminhões dotados de carrocerias compactadoras.

- **Carrocerias sem compactação**

Segundo ABNT (1993b), pela NBR-12980, veículos com carrocerias fechadas e metálicas, construídas em forma de caixa retangular, com tampas escorredoras abauladas são denominados Coletores Convencionais Tipo Prefeitura, se sua descarga se dá por basculamento, como mostra a Figura 3.

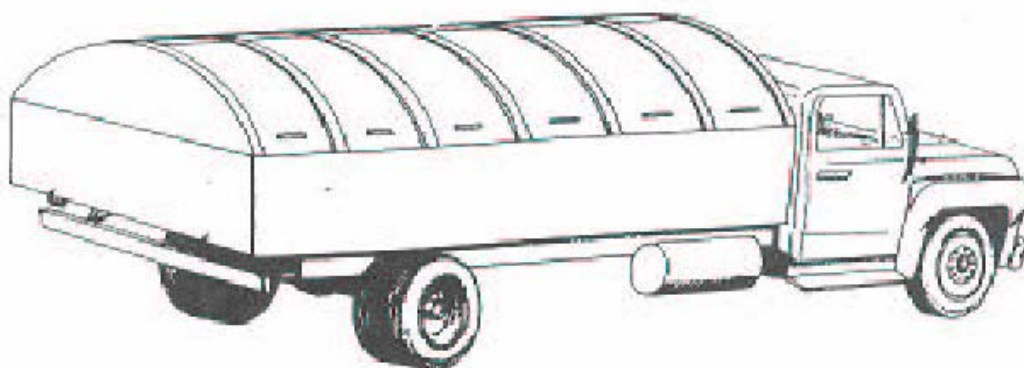


Figura 3 - Veículo com carroceria sem compactação

Antes do desenvolvimento dos compactadores, os caminhões abertos e fechados sem compactação eram usados para coleta de resíduos. Estes veículos são relativamente baratos para aquisição e manutenção. Mas são ineficientes para muitas aplicações de coleta, já que carregam uma quantidade relativamente pequena de lixo, e os coletores devem levantar os contêineres a uma altura considerável para esvaziá-los no caminhão.

Veículos não compactadores ainda são usados para coleta de itens pesados, tais como, mobília, animais mortos ou entulho de construção, ou para outros materiais que são coletados separadamente, tais como, podas e resíduos recicláveis. Além disto, podem ser apropriados para comunidades pequenas ou áreas rurais de baixa densidade populacional.

- **Carrocerias com compactador**

Veículos com carroceria fechada, contendo dispositivos mecânicos ou hidráulicos que possibilitam a distribuição e compressão dos resíduos no interior da carroceria são denominados pela ABNT (1993b), através da NBR-12980, de Coletores Compactadores. A Figura 4 mostra um veículo com compactador fechado.

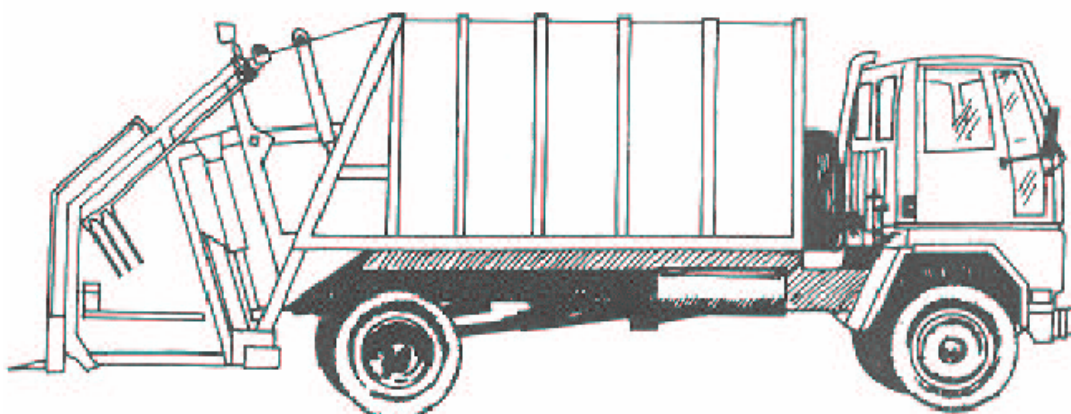


Figura 4 - Veículo com compactador fechado

De acordo com EPA (1995), os caminhões compactadores são notadamente os veículos de coleta mais prevalentes em uso. Eles são bastante utilizados para coleta domiciliar, sendo equipados com prensas hidráulicas para compactação do lixo e para empurrar o lixo compactado no local de disposição, com conseqüente aproveitamento de volume.

Segundo IPT e CEMPRE (1995), os fatores de escolha por um desses tipos de veículos são:

- quantidade de resíduos: para cidades com baixa concentração populacional, veículos sem compactação podem transportar por viagem até 15 m³ ou 3,5 t, considerando-se o peso específico médio do lixo solto de 250 kg/m³;
- forma de acondicionamento do resíduo: caso o resíduo esteja acondicionado em contêiner será necessário que este seja compatível com o sistema de basculamento do veículo;
- condições de acesso ao ponto de coleta: veículos como trator agrícola, motocicleta ou de tração animal são algumas opções para o acesso a áreas restritas aos veículos usuais.

f) Disposição Final

Quaisquer métodos ou tecnologias que sejam usadas para o acondicionamento, tratamento ou redução de volumes de lixo sempre gerarão sobras, que deverão ser encaminhadas ao destino final.

Segundo IPT e CEMPRE (1995), as formas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos mais conhecidas e utilizadas são:

- lixão : local afastado do centro das cidades no qual são depositados no solo, a céu aberto, todos os tipos de resíduos coletados. Este tipo de disposição final constitui uma forma inadequada de descarga dos resíduos sólidos urbanos, porém é a mais comum na grande maioria das cidades dos países em desenvolvimento. As conseqüências decorrentes do abandono do lixo a céu aberto é visível à população.

- aterro controlado: é menos prejudicial do que o lixão, pelo fato dos resíduos dispostos no solo serem posteriormente recobertos com terra, o que acaba por reduzir a poluição do local. Porém, trata-se de uma solução primária para a resolução do problema do descarte dos resíduos sólidos urbanos. Mas, não deve ser priorizado, pois não é a técnica mais adequada para evitar danos ambientais.
- aterro sanitário: é a alternativa que reúne as maiores vantagens considerando a redução dos impactos ocasionados pelo descarte dos resíduos sólidos urbanos. Este tipo de disposição final apresenta características, tais como: subdivisão da área de aterro em células de colocação de lixo; disposição dos resíduos no solo previamente preparado para que se torne impermeável, impossibilitando o contato dos líquidos residuais (água das chuvas e chorume) com o lençol freático; presença de lagoas de estabilização para a biodegradação da matéria orgânica contida nos líquidos residuais; presença de drenos superficiais para a coleta da água das chuvas; drenos de fundo para a coleta do chorume e para a dispersão do metano, coletores dos líquidos residuais em direção as lagoas de estabilização; e confinamento do lixo em camadas cobertas com solo vegetal.

O Quadro 1 apresenta os municípios brasileiros com serviço de limpeza urbana. Um mesmo município pode apresentar mais de uma unidade de destino final de lixo coletado.

Quadro 1 - Municípios com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, por unidades de destinação final do lixo coletado

	Total	Unidades de destinação final do lixo coletado							
		Lixão a céu aberto	Lixão em áreas alagadas	Aterro controlado	Aterro sanitário	Aterro de resíduos especiais	Usina de compostagem	Usina de reciclagem	Incineração
Brasil	8 381	5 993	63	1 868	1 452	810	260	596	325
Norte	512	488	8	44	32	10	1	-	4
Nordeste	2 714	2 538	7	169	134	69	19	28	7
Sudeste	2 846	1 713	36	785	683	483	117	198	210
Sul	1 746	848	11	738	478	219	117	351	101
Centro-Oeste	563	406	1	132	125	29	6	19	3

Fonte: IBGE (2000)

3 – TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

3.1 – Considerações Gerais

Segundo Lacerda (2003), o espaço urbano, no qual os serviços de transporte são oferecidos, consiste de uma rede com vários elementos, tais como, estradas, ruas, interseções e terminais. As características destes elementos são estudadas através dos modelos como produto das operações dentro do espaço urbano.

3.2 – Redes de Transporte

Segundo Caliper (1996) redes são representações gráficas de feições de linhas que são usadas para armazenar informações para aplicações em roteamento e logística, em uma forma compacta. Rede, em geoprocessamento, pode ser definida como o conjunto interligado de arcos (segmentos) representando possíveis rotas (caminhos) para o fluxo de um determinado recurso de um local para outro (Teixeira & Christofolletti, 1997).

Em geral, redes são usadas para analisar a maneira com que pessoas e mercadorias ou produtos fluem de um ponto a outro. As informações contidas na rede ou dela derivadas são fundamentais para as diferentes aplicações, particularmente para as áreas de transportes e logística, incluindo roteamento e programação, modelagem de escolha modal, modelos de atribuição de tráfego (Caliper, 1996).

Redes de transportes (transportation networks), segundo Logit (2001) são estruturas de dados especializadas que representam as regras que governam viagens sobre uma rede viária. As regras são armazenadas de modo muito eficiente, permitindo a um SIG-T resolver questões de roteirização de maneira rápida. As redes de transportes incluem características detalhadas, tais como (Logit, 2001):

- Restrições e atrasos de conversões;
- Passagens por cima (pontes) ou por baixo (túneis) e trechos de sentido único de direção;
- Atributo de interseções e junções;
- Pontos de transferência entre rotas ou intermodais e funções de atraso;
- Conectores de centróides de zonas;
- Classificações de trechos e funções de desempenho; e
- Trechos de acesso, saídas e de acesso a pé.

Uma rede pode ser definida como um conjunto de interseções (ou nós) e segmentos (ou links). Interseções são pontos onde se inicia, intermedia e finaliza o fluxo. Segmentos são trechos de vias (ou condutores) que transportam de um nó a outro. A Figura 5 mostra exemplos de Interseções e segmentos em redes.

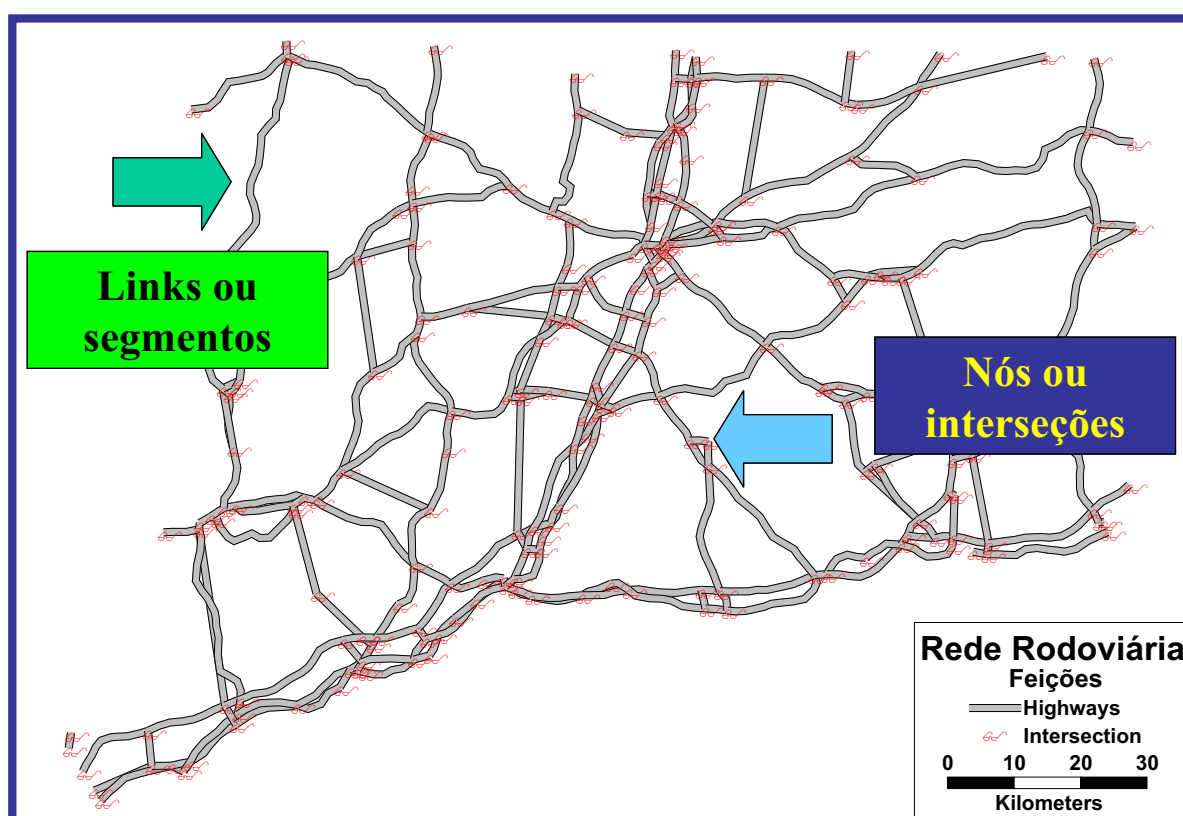


Figura 5 – Interseções e segmentos em redes
Fonte: RAIA (2006)

Cada interseção e segmento de uma rede têm um ID (identificador) e, opcionalmente, um número qualquer de atributos. Interseções e segmentos em uma rede, geralmente corresponde a uma feição de linhas e pontos (endpoints) em um arquivo geográfico, com um par de exceções.

Uma camada (layer) de linhas em um mapa consiste de muitas feições de linhas, cada qual começa e termina em um ponto chamado endpoint, que é definido por coordenadas. A direção da feição de linha é definida, em geral, pela ordem na qual a coordenada aparece, e tem pouco ou nada a ver com a direção com que pessoas ou veículos podem trafegar.

Um segmento em uma rede, por outro lado, sempre representa o fluxo em uma única direção. Quando se constrói uma rede, em geral, o SIG cria, na verdade, duas redes de segmentos para cada feição de linha, cada uma representando o fluxo em cada direção.

Uma rede de transportes inclui atributos que indicam o 'custo' de viagem usando cada segmento e pode também conter outros atributos que afetam o fluxo na rede.

As interseções têm significados importantes nas redes. s elas podem ser associados vários atributos, de acordo com o tipo de redes. Interseções em uma rede viária urbana poderiam ter atributos tais como:

- existência de semáforos
- ciclo semafórico
- existência de faixas de pedestres

Para Lacerda (2003), as redes de transporte podem ser representadas através de um sistema de coordenadas (cartesianas ou polares) ou na forma de grafos. A forma mais simples de representar uma rede de transportes é através de pontos e linhas.

As linhas representam os trechos de vias, e os pontos representam a origem e os destinos de viagem. Esta forma de representação gráfica é transferida para a forma

de representação matemática que, por sua vez, é utilizada na formulação de algoritmos, solucionando os problemas de transporte em rede.

3.3 – Grafos

Um grafo $G(N,A)$ é definido como sendo um conjunto finito de N nós unido por um conjunto finito A de linhas, chamadas arcos ou arestas. A representação de um grafo é através de pontos e linhas.

Um grafo é orientado, se todas as linhas que unem os nós têm sentido, o que usualmente é mostrado por uma seta. As setas são chamadas de arcos e o grafo resultante é denominado de grafo orientado. Se não houver sentido em nenhuma linha, as setas são chamadas de arestas e o grafo resultante é denominado grafo não-orientado.

O grafo é denominado misto se possuir tanto arestas como arcos, ou seja, se existirem linhas orientadas e linhas não-orientadas. As Figuras 6, 7 e 8 apresentam as formas de representação dos grafos.

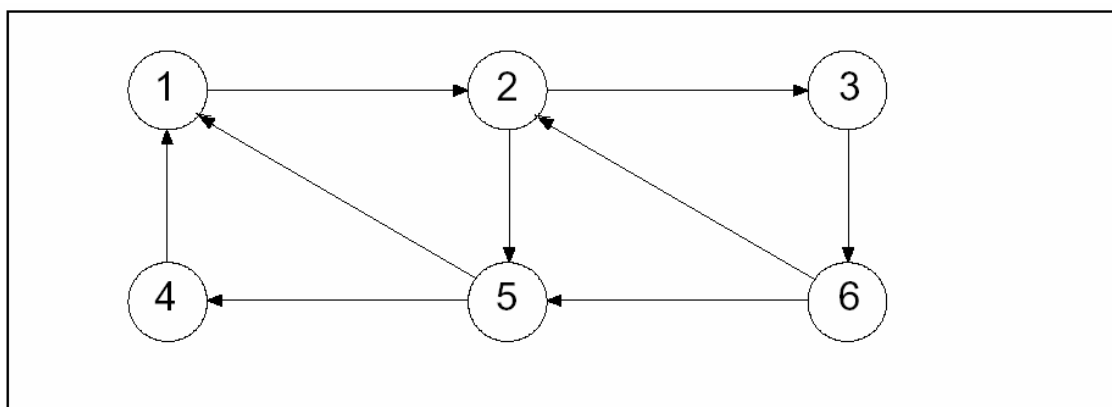


Figura 6 - Grafo orientado

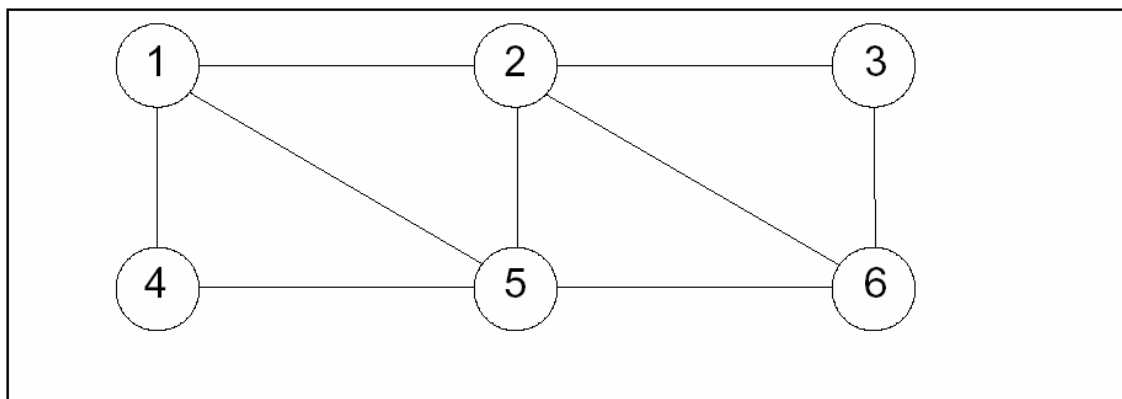


Figura 7 - Grafo não orientado

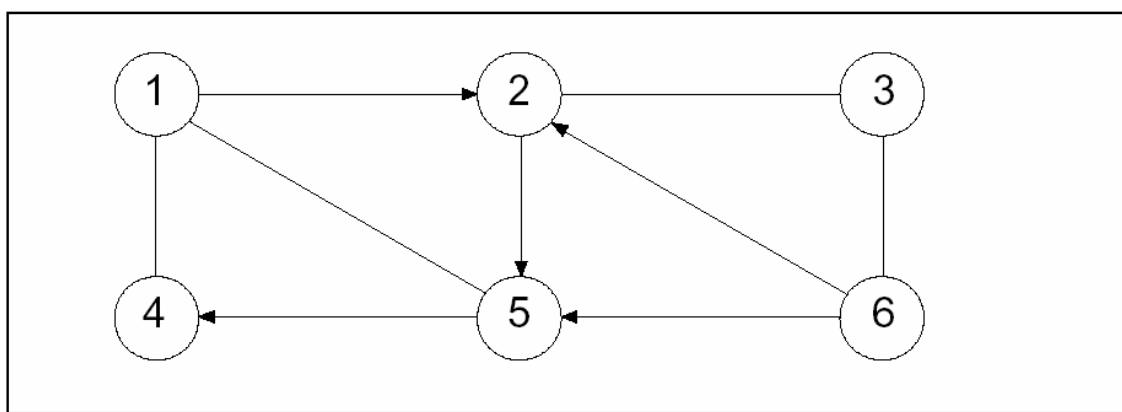


Figura 8 - Grafo misto

3.4 – Problemas de Roteirização dos Veículos de Coleta de Resíduos

De acordo com Santos (1999), os problemas de roteirização dos veículos têm representado uma área importante de estudo em pesquisa operacional. Para Almeida e Sanches (1998), a principal causa para este fato é de ordem econômica, uma vez que rotas eficientemente definidas podem proporcionar redução de custos, pelo aumento da produtividade e controle mais eficiente da operação de sistemas de transporte.

A roteirização de veículos pode ser classificada em três tipos de problemas: problema de cobertura de nós, problema de cobertura de arcos e problema geral de roteirização.

- Problema de Cobertura de Nós

O problema de cobertura de nós ocorre quando se conhece os pontos de visita antes de iniciar o serviço, ou seja, a demanda é determinística. Este tipo de problema consiste em visitar todos os nós da rede no menor tempo possível. O mais conhecido de todos os problemas de cobertura de nós, conforme Larson & Odoni (1981), é o Problema do Caixeiro Viajante - PCV (Travelling Salesman Problem - TSP). Outros exemplos de problema de cobertura de nós são: determinação de rotas para ônibus escolares, entrega de pacotes de correspondência e coleta de resíduos de serviço de saúde.

- Problema de Cobertura de Arcos

O problema de cobertura de arcos ocorre quando os locais de visita são gerados com a realização do serviço, ou seja, a demanda é estocástica. Este tipo de problema consiste em determinar a rota de comprimento mínimo, que parte de um ponto de origem (garagem/deposito), percorre todas os arcos da rede pelo menos uma vez e volta à origem. O exemplo mais conhecido é o Problema do Carteiro Chinês - PCC (Chinese Postman Problem - CPP). Outros exemplos são: venda ambulante de sorvete, coleta de resíduos sólidos domiciliares e serviço de limpeza de ruas.

- Problema Geral de Roteirização

O problema geral de roteirização ocorre quando existe a cobertura de nós e arcos, conjuntamente. Este tipo de problema consiste em obter um conjunto de rotas que minimize o tempo ou a distância total percorrida pela frota de veículos. A coleta de resíduos sólidos comerciais é um exemplo de problema geral de roteirização.

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

A solução para um problema de roteamento deve considerar: as restrições gerais do serviço de coleta e/ou entrega, as restrições gerais da malha urbana e as restrições peculiares do sistema onde o problema se insere.

Restrições gerais do serviço de coleta e/ou entrega

As restrições gerais do serviço incluem a capacidade dos veículos, a distância máxima percorrida sem necessidade de reabastecer o veículo e o tempo máximo da tripulação no trabalho.

Restrições gerais da malha urbana

As restrições gerais da malha urbana incluem a movimentação dos veículos nas ruas da cidade, que é definida pelos sentidos das vias de trânsito.

Restrições peculiares do sistema

As restrições peculiares do sistema são determinadas pelas características do produto ou pelas necessidades e exigências do cliente. As restrições peculiares ao sistema geralmente são designadas por janelas de tempo.

Segundo Louis, Yin e Yuan (1999), nos problemas de roteirização de veículos com janela de tempo (VRPTW - Vehicle Routing Problems with Time Windows), um conjunto de veículos com capacidades e tempos de viagem limitados estão disponíveis para servir um conjunto de fregueses. Exemplos de VRPTW são: roteirização de veículo escolar, transbordo direto de cargas e entrega de refeições.

Quando se trata de VRPTW, o objetivo é encontrar rotas de veículos, de modo que cada freguês seja servido na janela de tempo, a carga total sobre qualquer veículo não seja maior que a capacidade do mesmo, e a distância total de viagem seja a menor possível (SIMCHI-LEVI, 1996).

A roteirização de veículos com janela de tempo sobre destinos não requer somente a representação das rotas dos veículos, mas precisa conhecer também a forma

como essas rotas interagem no tempo, pois um veículo chegando ao destino fora de sua janela de tempo não teria utilidade.

As restrições dos problemas de roteamento também podem ser classificadas como restrições de espaço e restrições de tempo, pois para Bonham-Carter (1998), a roteirização de veículos não envolve apenas informação geográfica, mas também informação temporal.

A importância das restrições são variáveis em cada tipo de sistema. No serviço de entrega de pizza, as janelas de tempo são mais críticas do que as restrições de capacidade, pois o veículo é raramente preenchido até a capacidade; porém, a pizza necessita ser entregue antes que esfrie. Em outras situações, tais como entrega de combustível e recolhimento de lixo sólido, o limite de capacidade é mais importante do que as restrições de tempo.

Segundo Liebman, Male e Wathne (1975), o problema de roteirização dos veículos da coleta de lixo pode ser dividido em três partes:

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

O problema de roteirização de veículos na coleta de lixo é definir um conjunto de rotas que atendam a um conjunto de áreas determinadas. A meta é realizar o percurso dos veículos com o menor custo, atendendo às restrições de tráfego nas ruas da cidade, de capacidade dos caminhões e de tempo máximo da frota em serviço.

A definição de rotas balanceadas resulta na operação que mais reduz os custos do serviço de coleta (LACERDA, 2003). Neste caso, a cidade é dividida em um número de setores de coleta de resíduos para que minimize a carga de trabalho

(tempo de operação) por setor. Para cada setor, as rotas são projetadas satisfazendo todas as restrições conhecidas.

Hickman (1981) destacou alguns fatores que podem ser identificados para equilibrar as rotas dos veículos coletores de resíduos sólidos, tais como:

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

Segundo Hanafi, Freville e Vaca (1999), o planejamento de rotas de coleta depende de condições humanas e recursos operacionais, tais como: facilidades de construção, localização de depósitos de lixo, centros de transferência, composição e tamanho dos veículos de coleta de lixo, tipo de resíduo e frequência de coleta.

3.5 – Métodos de Roteirização de Veículos de Coleta de Resíduos

As rotas dos veículos podem ser definidas utilizando técnicas não matemáticas ou técnicas matemáticas.

- Técnicas não matemáticas

As técnicas não matemáticas são denominadas de método empírico, pois a definição das rotas se baseiam na experiência particular dos operadores e na aplicação de alguns recursos técnicos. Trata-se de um método intuitivo, baseado em parâmetros topográficos e geográficos dos setores ou áreas a serem cobertas.

- Técnicas matemáticas

As rotas utilizando método matemático são definidas com base nas variáveis referentes aos pontos de visita, tais como distância e tempo de viagem, utilizando procedimentos metodológicos, que são os algoritmos.

O algoritmo é classificado, segundo sua estratégia de solução, em: método exato, método heurístico e método interativo. Os métodos exatos reproduzem uma única solução exata dos problemas de transporte. Os métodos heurísticos apresentam uma solução aproximada. Os métodos interativos envolvem uma simulação, repetindo-se o processo até conseguir uma solução aceitável. Alguns exemplos de algoritmo são mencionados por Santos (1999), tais como: vizinho mais próximo, heurística com janela de tempo e otimização interativa.

O processo matemático de roteirização pode ser feito por método manual ou computacional.

- Método manual

No método manual, os resultados das roteirizações são demorados e, também, este método exige do planejador experiência e conhecimento sobre a área de atuação.

- Método computacional

O método computacional é uma técnica matemática automatizada cuja roteirização é definida através de computador. No método computacional, o software é chamado de roteirizador - uma ferramenta que proporciona diversos cenários e possibilita a análise de mudanças dos pontos de visitas e das variáveis e restrições envolvidas. O software do tipo roteirizador define a melhor rota entre vários pontos, segundo a variável que se quer otimizar - distância ou tempo de viagem.

Alguns softwares utilizados para a roteirização de veículos não realizam apenas esta tarefa. Além de definir a rota, os softwares desempenham um mapeamento computadorizado e permitem um gerenciamento da base de dados. Estes

softwares são chamados de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Neste caso, um algoritmo para roteamento de veículos é integrado a um SIG, de cuja base de dados se obtêm as informações necessárias para o roteamento, que mostra as rotas resultantes.

De acordo com Rossetto e Cunha (apud BRASILEIRO, 2004), o problema de roteirização é considerado bastante complexo do ponto de vista da modelagem matemática. O grande desafio enfrentado consiste na definição de modelos matemáticos e no desenvolvimento de algoritmos que possibilitem considerar as restrições encontradas nos problemas reais, onde o modelo deve se adaptar aos problemas a serem resolvidos e, não ao contrário. Pois, muitas vezes, os problemas são simplificados de forma a se adaptarem às restrições do modelo disponível.

Contudo, as peculiaridades de cada situação é que direcionam a sistematização do problema e auxiliam na escolha do método de solução. Pois, as restrições e extensões dos problemas tornam suas soluções mais complexas, exigindo, assim, um método de solução mais abrangente (BRASILEIRO 2004).

Segundo Glazar, Santos e Falqueto (1997), existe uma teoria de localização e distribuição que procura analisar os fatores que influenciam no processo de roteirização, dando surgimento a inúmeros modelos que diferem entre si quanto ao critério de otimização, ao número de variáveis e às restrições de tais variáveis.

A eficiência do processo de roteirização depende da junção das características inerentes ao sistema adotado na empresa, do conhecimento sobre a área urbana e da escolha do método de solução.

3.6 – Sistemas de Informação Geográfica

Segundo Câmara et al. (1996), Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a

localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la.

Para Cowen (1988), SIG é um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas.

De acordo com Aronoff (1989), SIG é um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georeferenciados.

Federal Interagency Coordinating Committee (apud ROHM, 2003), define sistema de informações geográficas como conjunto de hardware, software e de procedimentos desenvolvidos para dar suporte à captura, ao gerenciamento, à manipulação, à análise e à apresentação de dados espaciais referenciados, com o intuito de resolver problemas complexos de gerenciamento e de planejamento.

Os sistemas de informação geográfica são seqüências ordenadas de operações, desenvolvidas para auxiliar o usuário nas tarefas de observar, coletar, armazenar e analisar dados, com a finalidade de dar apoio aos processos de decisões (CALKINS & TOMLINSON apud ROHM, 2003).

Para Câmara et al. (1996), os componentes de um SIG numa visão geral são:

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

Na Figura 9 está representada a arquitetura de um SIG.

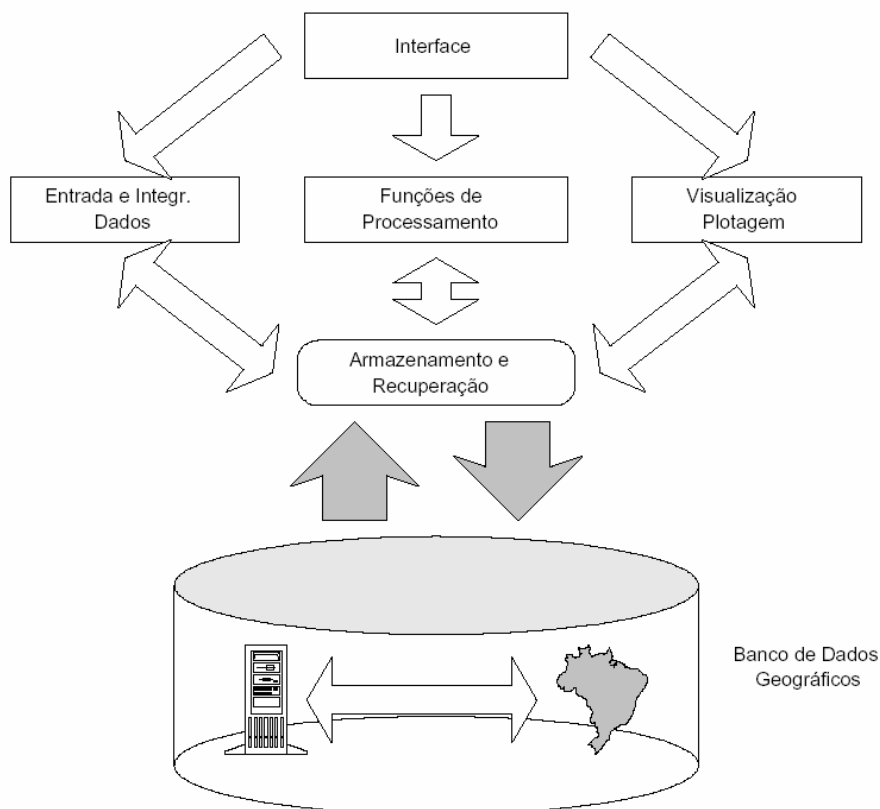


Figura 9 - Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica
 Fonte: CÂMARA et al. (1995)

Os sistemas de informação geográfica permitem a organização de dados, visualização, consulta espacial, combinação, análise, predição, suporte à decisão e produção cartográfica.

A trabalhabilidade, o conjunto de ferramentas e o ambiente de desenvolvimento, oferecidos por SIGs, os tornam particularmente adequados para o tratamento das etapas de gerenciamento de resíduos sólidos.

3.6.1 – Banco de Dados de um Sistema de Informação Geográfica

Segundo Rohm (2003), o banco de dados de um sistema de informação geográfica é composto por dois tipos básicos de dados:

- Gráficos, classificados como localizacionais ou espaciais; e

- Não gráficos, classificados como não localizacionais ou descritivos, que representam as características da superfície de um terreno.

Os sistemas de informação geográfica tratam os dados localizacionais e não localizacionais de forma variada. Em alguns SIGs, os dados localizacionais são considerados como um atributo adicional, associado com as características geométricas (ROHM, 2003).

a) Dados gráficos

Os dados gráficos, em um sistema de informação geográfica, constituem modelagem do mundo real na forma digital.

Rohm (2003) diz que a representação digital de mapas é baseada em duas classes denominadas de vetorial e matricial. A escolha de uma ou de outra estratégia de representação do mundo real depende da finalidade do sistema de informação geográfica. A Figura 10 apresenta os tipos de representação digital de mapas.

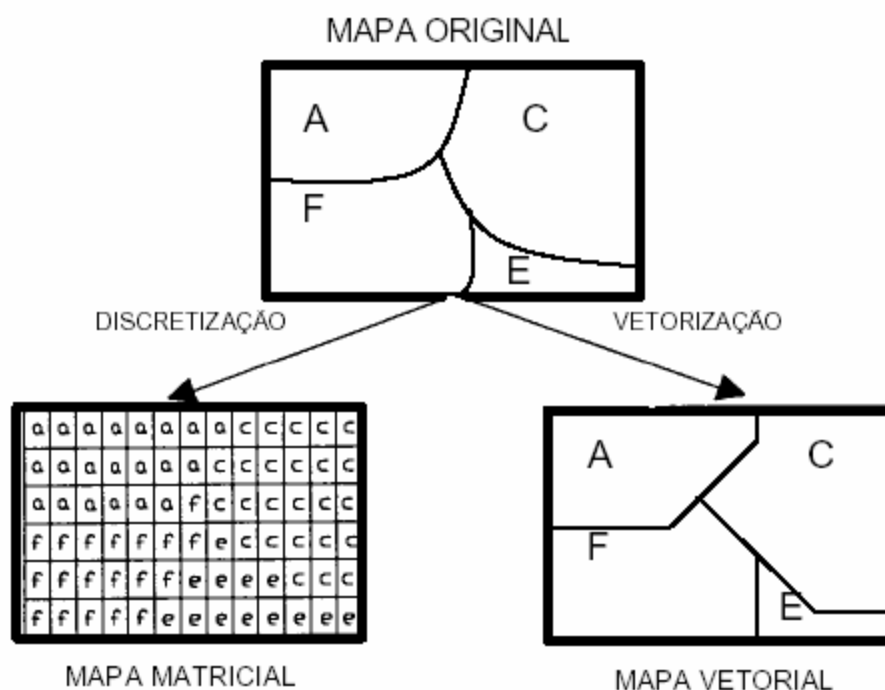


Figura 10 – Representação matricial e vetorial de um mapa analógico
 Fonte: ROHM (2003)

- **Representação Vetorial**

A representação vetorial é mais conveniente quando se necessita armazenar coordenadas com precisão e, pode-se também usar princípios da teoria gráfica que envolve relações topológicas para representar a posição relativa entre os diversos elementos dos mapas (ROHM, 2003). A Figura 11 apresenta um topologia entre arco, nó e polígono.

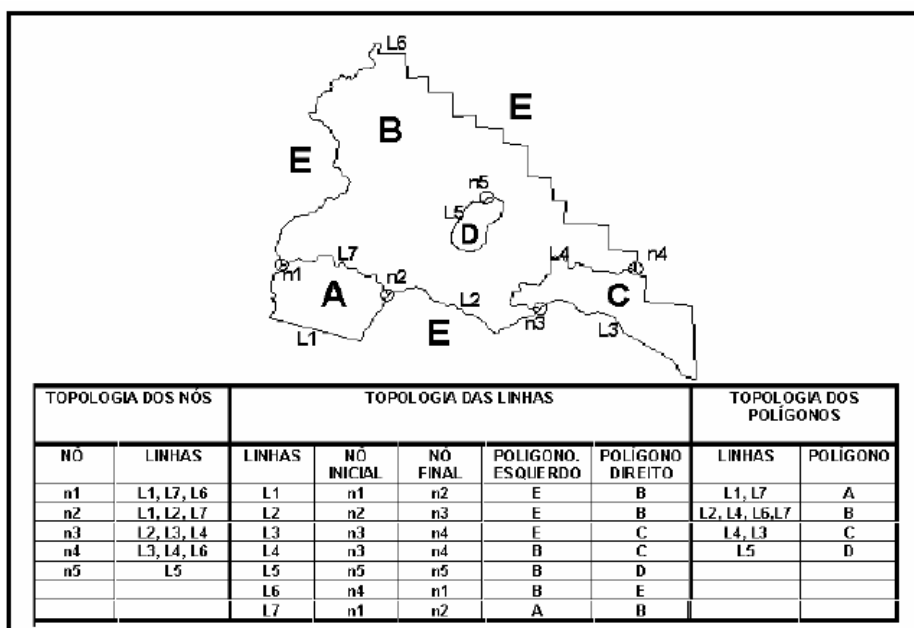


Figura 11 – Topologia entre arco, nó e polígono
 Fonte: CÂMARA (1996)

De uma maneira ampla, os pontos, as linhas e os polígonos que compõem mapas são definidos através de coordenadas cartesianas X e Y. A Figura 12 mostra os elementos da representação vetorial.

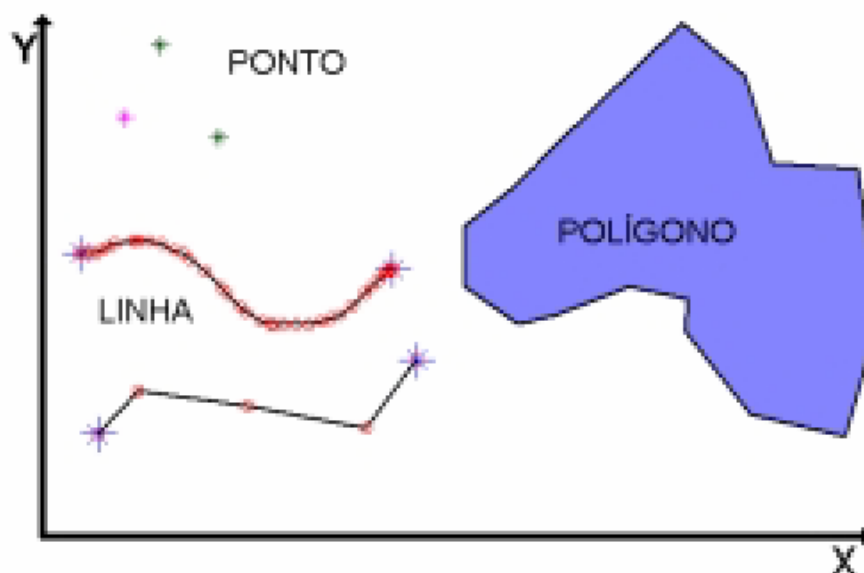


Figura 12 – Elementos da representação vetorial
 Fonte: CÂMARA (1996)

- **Representação Matricial**

A representação matricial também aplica o princípio de relações, baseado em uma malha que define uma relação regular, mas arbitrária entre polígonos para preservar os dados geográficos.

Esta técnica é associada inerentemente a um sistema de coordenadas, sem a necessidade de associações precisas e utiliza-se uma matriz para representar as variações geográficas para o computador (ROHM, 2003).

A representação matricial supõe que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana, onde cada célula está associada a uma porção do terreno. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa ou documento e a área por ela coberta no terreno, como mostra a Figura 13 (CÂMARA, 1996).

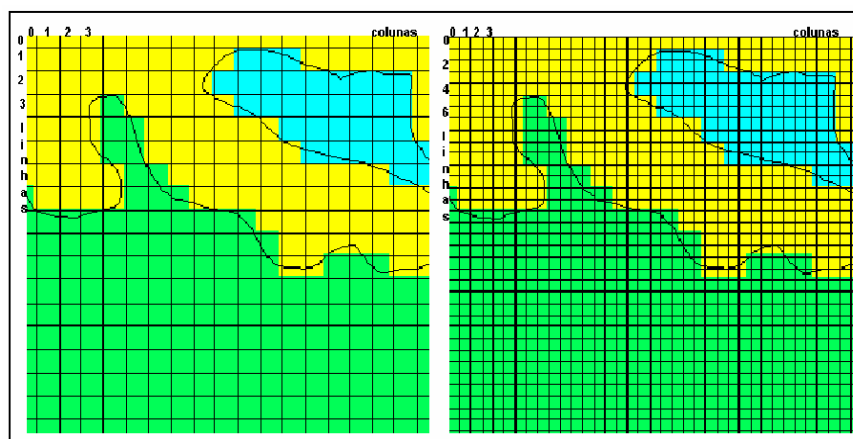


Figura 13 – Escala representação matricial

Fonte: CÂMARA (1996)

O Quadro 2 mostra a comparação das representações vetoriais e matriciais.

Quadro 2 - Comparação das representações vetoriais e matriciais

ASPECTO	REPRESENTAÇÃO VETORIAL	REPRESENTAÇÃO MATRICIAL
relações espaciais entre objetos	✓ Relacionamentos topológicos entre objetos disponíveis.	✓ Relacionamentos espaciais devem ser inseridos.
ligação com banco de dados	✓ Facilita associar atributos a elementos gráficos.	✓ Associa atributos apenas a classes de mapas.
análise, simulação e modelagem	✓ Representação indireta de fenômenos contínuos. ✓ Álgebra de mapas é limitada.	✓ Representa melhor os fenômenos com variação contínua no espaço. ✓ Simulação e modelagem mais fáceis.
escalas de trabalho	✓ Adequado tanto a grandes como a pequenas escalas.	✓ Mais adequada para pequenas escalas (1:25000 e menores).
algoritmos	✓ Problemas com erros geométricos.	✓ Processamento mais rápido e eficiente.
armazenamento	✓ Por coordenadas (mais eficiente).	✓ Por matrizes.

b) Dados não gráficos

Segundo Rohm (2003), na representação vetorial as características dos dados localizacionais são descritas pelos dados não gráficos ou descritivos, classificados como:

- atributos não gráficos,
- dados geograficamente referenciados,
- índices geográficos, e
- relações espaciais.

Na representação matricial cada célula, ou pixel, é associada ao fenômeno geográfico modelado.

3.6.2 – Aplicações de SIG

Maguire et al. (1993) classificam as aplicações de sistemas de informações geográficas em socioeconômicas, ambientais, e gerenciais.

- Socioeconômicas
 - a) Uso da terra, que incluem cadastros rurais, agroindústria e irrigação;
 - b) Ocupação antrópica, composta por cadastros urbanos, cadastros regionais, sistemas de serviços de utilidade pública; e
 - c) Atividades econômicas, que envolvem marketing e indústrias.

- Ambientais
 - a) Meio ambiente, que trata da ecologia, clima, gerenciamento florestal e poluição; e
 - b) Uso de recursos naturais, que trata do extrativismo vegetal, extrativismo mineral, energia, recursos hídricos e oceânicos.

- Gerenciais
 - a) As aplicações urbanas são muito variadas, incluindo roteamento de transportes coletivos, roteamento de coletas de lixo, definições de áreas de risco, identificação de áreas de expansão e outros.

 - b) Na área rural os sistemas de informações geográficas têm sido usados para o gerenciamento de recursos agrícolas, monitoramento de safras, escoamento de safras, definição da aptidão das terras, dentre outros.

3.7 – SIG-T (Sistema de Informação Geográfica para Transporte)

No ambiente urbano existem várias informações associadas a alguma forma de referência geográfica, tais como, o endereço, o bairro, o Código de Endereçamento Postal (CEP) e o cruzamento de vias. Desta forma, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), particularmente Sistemas de Informação Geográfica aplicados a Transportes (SIG-T) desempenham uma função de ferramentas de integração da base de dados.

Um SIG-T pode ser concebido como a união entre um Sistema de Informação de Transportes melhorado (TIS —Transportation Information System) e um SIG melhorado. A melhoria necessária aos TISs existentes consiste na estruturação dos Bancos de Dados (BD) de atributos, de forma a fornecer dados de localização e referência consistentes e compatíveis com SIG, o qual deve ser melhorado para representar e processar dados geográficos nas formas requeridas para aplicações em transportes (VONDEROHE et al., 1993).

SIG-T (Sistema de Informações Geográficas aplicado aos Transportes⁵) é um Sistema de Informações Geográficas desenvolvido especificamente para uso de profissionais de transportes para armazenar, mostrar, gerenciar e analisar dados de transportes. Um SIG-T pode combinar vantagens de um SIG comum com modelos aplicados aos transportes em uma mesma plataforma integrada, podendo proporcionar recursos não encontrados em outros pacotes.

Um SIG-T pode ser usado para todos os modos de transportes, em qualquer escala ou nível de detalhamento. Dentre os SIG-Ts mais conhecidos pode-se citar o TransCAD e o UfosNet⁶. Um SIG-T pode proporcionar:

- um núcleo de SIG potente dispendo de extensões especiais para transportes (AutoCAD, MapInfo, ESRI, BTS NTAD, Tiger-line, etc.);
- recursos de mapeamento e visualização criados para aplicações de transportes; e
- módulos de aplicativos de roteirização, previsão de demanda de viagens e modelo de localização.

Alguns dos SIG-T, como p.ex. o TransCAD, permite também a inclusão de ferramentas para o desenvolvimento de aplicações e serviços de usuários. O GISDK (Geographic Information Systems Developer's Kit) permite ao usuário extrapolar o poder do SIG-T com suas próprias necessidades, como p.ex., um novo modelo (Logit, 2001).

Um SIG-T pode ser utilizado na criação e personalização de mapas, na construção e manutenção de bases de dados geográficos, além de proporcionar diversos tipos de análises espaciais. O software, em geral, dispõe de recursos sofisticados de

SIG, tais como análises de superposição de polígonos (overlay), áreas de entorno (buffering) e geocodificação.

Um SIG-T pode proporcionar funções de mapeamento para aplicações em transportes:

- representação automática de sentido de tráfego de vias;
- rótulos dinâmicos de mapas ajustáveis aos mapas;
- símbolos de identificação de rodovias;
- mapas de sistemas de rotas (routing system), disponibilizando-as de maneira superposta ou lado a lado; e
- mapas de linhas de desejo, representando fluxos de deslocamento origem-destino entre as diversas regiões analisadas.

Alguns SIG-T disponibilizam ferramentas adicionais dados estatísticos, tais como:

- gráficos de pizza, linhas e barras, mostrando tendências dos dados;
- diagramas de interseções, ilustrando fluxos e movimentos de conversões (à direita, à esquerda ou em frente);
- gráficos de barras apresentando características de facilidades e demais variações ao longo de determinada rota; e
- ferramentas interativas para edição de elementos geográficos e para a definição de restrições e atrasos de conversões.

Os modelos de análise de redes, disponibilizados por SIG-T, são usados para resolver diversos tipos de problemas, tais como (Logit, 2001):

- rotinas de caminhos mínimos que geram a rota mais curta, mais rápida com menor custo percebido entre qualquer número de pontos de origem e destino, com um número qualquer de pontos intermediários;
- os modelos de particionamento de rede criam áreas de operação baseadas na acessibilidade, realizam análises de tempos de viagem, ou mesmo, avalia possíveis localizações de facilidades; e
- os modelos do tipo “caixeiro-viajante” constróem trajetos eficientes para a visita de qualquer número de pontos na rede.

4 – DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS

4.1 – Considerações Gerais

A descarga do lixo nas cidades de todo o mundo sempre representou sério problema à saúde pública e ao meio ambiente. Depósitos em áreas urbanas, durante séculos tratados sem os devidos cuidados, sempre estiveram associados, segundo James (1997) à propagação de doenças, seja diretamente via pessoas e animais coexistindo nestes locais, seja por meio da contaminação dos mananciais de água, dos solos e dos alimentos.

A disposição final dos resíduos sólidos urbanos pode ser realizada através das seguintes formas: lixão, aterro controlado e aterro sanitário.

4.2 – Lixão

O lixão, também conhecido como lançamento a céu aberto ou vazadouro, se caracteriza pela simples descarga dos resíduos sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública.

Esta forma de disposição final é inadequada, pois os resíduos lançados a céu aberto acarretam problemas à saúde pública, tais como: proliferação de vetores de doenças; geração de maus odores; e poluição visual, do solo e das águas subterrânea e superficial, por causa da infiltração do chorume produzido pela decomposição da matéria orgânica contida no lixo.

O lançamento de resíduos a céu aberto apresenta risco de fogos, de deslizamentos e de explosões locais. Ainda, nos locais de disposição final de resíduos a céu aberto, não existe controle dos tipos de resíduos dispostos. Muitas vezes, lixos que devem ter disposição final especial, tais como resíduos de serviços de saúde e resíduos de indústrias, são lançados nestes locais.

Além disso, os locais de lançamento a céu aberto provocam o aparecimento de animais e a presença de pessoas, que assumem a ocupação de catador; muitas vezes, passando a residir nos próprios locais.

4.3 – Aterro controlado

O aterro controlado é uma forma de disposição final dos resíduos sólidos urbanos, sem causar danos ou riscos à saúde pública, minimizando os impactos ambientais.

Esta forma de disposição final confina os resíduos, cobrindo-os com uma camada de material inerte, no final de cada jornada de trabalho. Mas, o aterro controlado também produz poluição, porém de maneira localizada; pois, a área de disposição dos resíduos é menor do que a área utilizada no lançamento a céu aberto.

O aterro controlado é melhor do que a forma de lançamento a céu aberto, mas devido aos problemas ambientais que causa e aos custos de operação, apresenta qualidade inferior ao aterro sanitário.

4.4 – Aterro sanitário

O aterro sanitário é uma forma de disposição que permite um confinamento seguro dos resíduos sólidos, em termos de controle da poluição ambiental e proteção à saúde pública.

Os resíduos são confinados em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública, minimizando os impactos ambientais.

A avaliação do local, onde haverá a disposição final do lixo, visa conhecer as condições favoráveis e desfavoráveis existentes e, priorizar as medidas necessárias.

O aterro sanitário é um método de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, fundamentado em princípios básicos de engenharia e normas operacionais específicas. Este tem como função acomodar no solo, no menor espaço possível, os resíduos sólidos urbanos, sem causar danos ao meio ambiente ou à saúde pública.

Este método de disposição final dos resíduos deve contar com todos os elementos de proteção ambiental, que são:

- sistema de impermeabilização de base e laterais,
- sistema de cobertura,
- sistema de coleta e drenagem de líquidos percolados,
- sistema de tratamento de líquidos percolados,
- sistema de coleta e tratamentos dos gases,
- sistema de drenagem superficial, e
- sistema de monitoramento.

Embora, consistindo em uma técnica simples, o aterro sanitário exige cuidados especiais e procedimentos específicos que devem ser seguidos desde a escolha da área até a sua operação e monitoramento. Este tipo de disposição final apresenta vida útil superior a 10 anos, e o seu monitoramento deve prolongar-se, no mínimo, por mais 10 anos após o seu encerramento.

4.5 – Condições desfavoráveis dos locais de disposição final

As condições desfavoráveis dos locais de disposição final podem ser: deficiências de ordem sanitária, deficiências de ordem ambiental e deficiências de ordem operacional.

(1) Deficiências de ordem sanitária

As deficiências de ordem sanitária freqüentemente encontradas são: fogo; fumaça; odor; e vetores transmissores de doença, tanto macrovetores (cachorros, gatos, ratos, urubus e pombos) quanto microvetores (moscas, mosquitos, bactérias e fungos).

(2) Deficiências de ordem ambiental

As deficiências de ordem ambiental mais freqüentes são: poluição do ar, poluição das águas superficiais e subterrâneas, poluição do solo e poluição visual.

(3) Deficiências de ordem operacional

As deficiências de ordem operacional que podem existir são: vias de acesso intransitável durante as épocas de chuva; falta de controle da área; descontrole da disposição de resíduos impróprios no local; e ausência de critérios para disposição final do lixo, tais como, procedimentos para inspeção e pesagem.

A falta de controle gera uma deficiência grave, a catação do lixo em locais de disposição final e nas ruas das cidades, embora seja uma atividade insalubre, é um trabalho alternativo que vem sendo cada vez mais difundido no Brasil.

4.6 - Escolha do local para disposição final

Segundo CONAMA (2002) a escolha do local para disposição final dos resíduos sólidos urbanos deve ser feita com base no seguinte aspectos:

(1) Seleção de Área :

- as vias de acesso ao local deverão apresentar boas condições de tráfego ao longo de todo o ano, mesmo no período de chuvas intensas;
- adoção de áreas sem restrições ambientais; inexistência de aglomerados populacionais (sede municipal, distritos e/ou povoados), observando a direção predominante dos ventos;
- áreas com potencial mínimo de incorporação à zona urbana da sede, distritos ou povoados;
- preferência por áreas devolutas ou especialmente destinadas na legislação municipal de Uso e Ocupação do Solo;
- preferência por áreas com solo que possibilite a impermeabilização da base e o recobrimento periódico dos resíduos sólidos;

- preferência por áreas de baixa valorização imobiliária;
- respeitar as distâncias mínimas estabelecidas em normas técnicas ou em legislação ambiental específica, de ecossistemas frágeis e recursos hídricos superficiais, como áreas de nascentes, córregos, rios, açudes, lagos, manguezais, e outros corpos d`água;
- caracterização hidrogeológica e geotécnica da área e confirmação de adequação ao uso pretendido; e
- preferência por área de propriedade do Município, ou passível de cessão não onerosa de uso (comodato) a longo prazo ou desapropriável com os recursos de que disponha o Município.
- No caso de proximidade de aeroporto, deverão ser considerados os cuidados especiais estabelecidos pela legislação vigente.

(2) Técnicos

As tecnologias a serem adotadas na concepção e projeto dos sistemas de disposição final de resíduos sólidos a que se refere esta Resolução, deverão considerar os seguintes aspectos:

- os sistemas de drenagem de águas pluviais;
- a coleta e a destinação final e tratamento adequado dos percolados;
- a coleta e queima dos efluentes gasosos, quando necessário;
- o uso preferencial de equipamentos simplificados para operação;e
- um plano de monitoramento ambiental.

- A área selecionada para implantação do sistema de disposição final dos resíduos sólidos deverá ser isolada com cerca, impedindo a entrada de pessoas não autorizadas e de animais.

(3) Licenciamento Ambiental

Os órgãos ambientais competentes deverão assegurar que o pedido de licença ambiental para os sistemas de disposição apresentem, no mínimo, os seguintes dados:

- identificação do requerente responsável pelo empreendimento;
- população beneficiada e breve caracterização dos resíduos a serem depositados
- no sistema de disposição final em licenciamento;
- capacidade proposta do local de descarga - vida útil desejável maior que quinze anos;
- descrição do local, incluindo as características hidrogeológicas;
- métodos propostos para a prevenção e minimização da poluição ambiental;
- plano de operação, acompanhamento e controle;
- plano de encerramento e uso futuro previsto para a área;
- apresentação do Projeto Executivo do sistema proposto; e
- projeto de educação ambiental e divulgação do empreendimento, sob princípios de coleta seletiva, e redução de resíduos.

5 – MATERIAL

5.1 – Considerações Gerais

Os materiais utilizados para a realização da pesquisa são: o software TransCAD, que é um sistema de informação geográfica para transportes, imagens de satélite, através de sistema de posicionamento global, e mapa urbano.

5.2 – TransCAD

O TransCAD é um Sistema de Informação Geográfica projetado especificamente para o planejamento, gerenciamento, operação e análise das características dos sistemas de transportes (CALIPER, 1996).

O software TransCAD realiza várias análises de transportes e possui um banco de dados projetado para capturar e analisar dados de transportes. Estes dados, podem ser armazenados, visualizados e analisados em qualquer escala espacial.

O TransCAD permite analisar redes de transporte, fluxos de carga, rotas e programação de veículos, transportes internacionais, demanda de passageiros e desempenho do sistema de transporte.

Para Cairns (1998) o software TransCAD possibilita a definição de redes, viagens, matrizes e tem uma série de algoritmos desenvolvidos para transporte, fornecendo uma funcionalidade adicional às tradicionais ferramentas disponíveis em um SIG. Ele também possibilita ao usuário comandos relativamente simples e uma linguagem de fácil compreensão.

Por isto, o TransCAD parece ser um pacote ideal para análises gerais de SIG, e mais especificamente, por pesquisadores em transporte, que já o tem explorado em vários contextos da área.

O TransCAD possui potencialidades para analisar vários tipos de redes; transporte público, tais como: metrorias, ferrovias, rodovias, aerovias. Este software possui ferramentas para apresentação e visualização de dados de transporte e disponibiliza métodos e modelos para análises de sistemas de transportes.

No seu sistema, a localização geográfica de elementos de transporte, bem como as infra-estruturas relacionadas, podem ser combinadas com os dados que as descrevem. Os dados podem ser associados a pontos, linhas, áreas, redes ou rotas.

Este sistema, quando aplicado a modelos de roteamento e logística, pode ser utilizado por diferentes setores (públicos ou privados) em aplicações tais como:

- Operações de coleta e entrega;
- Planejamento da distribuição;
- Manutenção de facilidades/oportunidades;
- Coleta e entrega porta-a-porta;
- Varrição de ruas ou remoção de neve;
- Coleta de lixo sólido e reciclável; e
- Cálculo de distâncias percorridas.

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

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

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

inclui objetos de dados de transporte, tais como: redes de transporte e rotas e sistemas de rotas

O TransCAD possui uma arquitetura modular e aberta, que pode ser customizada e ampliada com procedimentos escritos pelo usuário, em qualquer linguagem de programação, que apresenta inúmeras funções específicas. O TransCAD possui sua própria linguagem de programação. A Figura 14 mostra aplicações do TransCAD.



Figura 14 – Aplicações principais do TransCAD
Fonte: CALIPER (1996)

5.3 – Imagens de Satélite

As imagens de satélite são armazenadas da mesma forma que matrizes. Cada elemento da imagem (denominado pixel) tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente.

Características importantes de imagens de satélite são: o número e a largura de bandas do espectro eletromagnético imageadas (resolução espectral), a menor área da superfície terrestre observada instantaneamente por cada sensor (resolução espacial), o nível de quantização registrado pelo sensor (resolução radiométrica) e o intervalo entre duas passagens do satélite pelo mesmo ponto (resolução temporal).

Para o desenvolvimento desta pesquisa será utilizada uma imagem do satélite SPOT digital, com resolução 5 m e CBERS digital, com resolução 30 m, para representação das rodovias existentes no entorno do município de Ilha Solteira - SP. A Figura 15 mostra uma composição colorida, com falsa cor da Banda 3 (associada a cor azul), da Banda 4 (verde) e da banda 5 (vermelha) do satélite TM-Landsat, para a cidade de Ilha Solteira-SP.



Figura 15 – Imagem TM-Landsat do município de Ilha Solteira-SP

5.4 – Sistema de Posicionamento Global – GPS

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) é um sistema de navegação baseado em satélite, composto por uma rede de 24 satélites colocada em órbita pelo Departamento Norte-Americano de Defesa (PEREIRA, 2005).

Segundo Pereira (2005), o GPS foi originalmente planejado para aplicações militares, mas nos anos oitenta, o governo tornou o sistema disponível para uso civil. Um GPS trabalha em qualquer condição de tempo, em qualquer lugar no mundo, 24 horas por dia, e não é cobrada nenhuma taxa para se usar este tipo de equipamento.

O sistema GPS, também chamado de NAVSTAR (NAVigation Satellite Time And Ranging) devido às suas aplicações originais de navegação, subdivide-se em três segmentos: espacial, de controle e do usuário.

5.5 – Mapa Urbano

Para a criação da base de dados, será usada uma planta digital, contendo o mapa urbano da cidade de Ilha Solteira-SP, fornecida pela Prefeitura Municipal. A Figura 16 apresenta o mapa urbano da cidade de Ilha Solteira-SP.

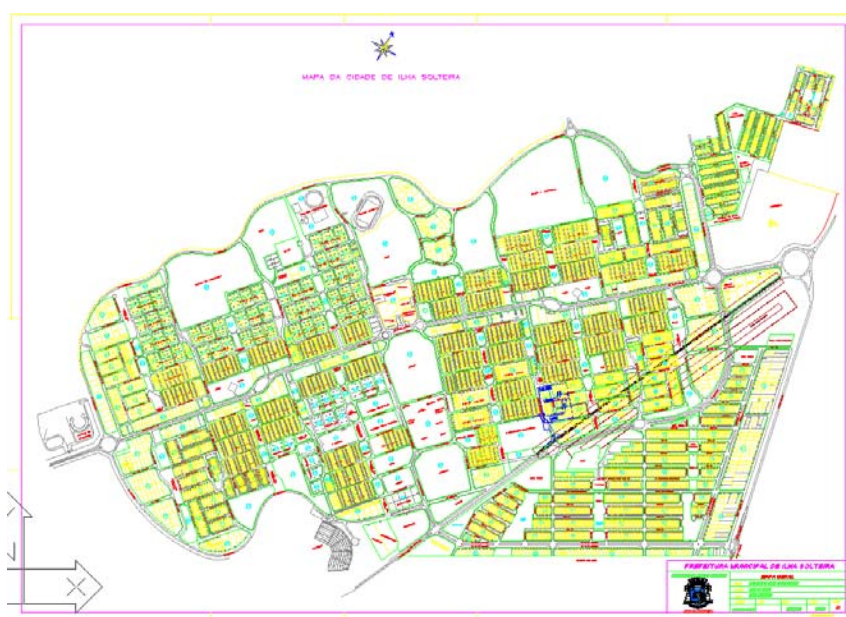


Figura 16 – Mapa urbano do município de Ilha Solteira-SP

6 – MÉTODO

6.1 – Considerações Gerais

Os métodos que serão utilizados para a realização da pesquisa são: coleta de dados, análise de locais para disposição final e simulação.

6.2 – Coleta de Dados

A coleta de dados será realizada sobre o sistema de resíduo sólido comercial na cidade de Ilha Solteira-SP, utilizando o formulário, apresentado na Figura 17.

FORMULÁRIO PARA ROTEAMENTO	
Data:	Folha:
Hora de Saída da Origem:	km:
Hora de Chegada no Destino:	km:
FORMULÁRIO DAS PARADAS	
Parada:	Parada:
Endereço:	Endereço:
Hora de Chegada:	Hora de Chegada:
Hora de Saída:	Hora de Saída:
km:	km:
Nº. Tambores:	Nº. Tambores:

Figura 17 : Formulário para coleta de dados do sistema de resíduo sólido comercial

6.3– Análise de Locais para a Disposição Final

A análise de locais para a disposição final de resíduos sólidos será realizada através do método definido por Orsati (2006), que é o Índice de Qualidade (IQ), apresentado pela Equação 1.

$$IQ = \frac{CF}{IAE} \quad (1)$$

Onde:

IQ – Índice de Qualidade;

CF – Critérios Funcionais; e

IAE – Impactos Ambientais e Econômicos.

Se $IQ < 1$ → a área gera mais impacto e é menos funcional.

Se $IQ = 1$ → a área gera impacto na mesma intensidade em que é funcional.

Se $IQ > 1$ → a área é mais funcional e gera menos impacto.

6.3.1- Critérios Funcionais

Os critérios funcionais medem a funcionalidade da área, que é a capacidade para disposição de resíduos sólidos. O somatório dos critérios funcionais indica a eficiência da área para disposição de resíduos. Os critérios funcionais considerados no cálculo da produtividade de uma área são apresentados através da Equação 2.

$$CF = CAT + CDT + CPS + DBA + DCA + DZU + ESH + IP + LL + VUT \quad (2)$$

Onde:

CF – Critérios Funcionais;

CAT – Custo de aquisição do terreno (R\$/m²);

CDT – Coeficiente de declividade do terreno (%);

CPS – Coeficiente de permeabilidade do solo (cm/s);

DBA – Distância entre a base do terreno e a cota máxima do aquífero freático (m);

DCA – Distância do corpo d'água mais próximo (m);
 DZU – Distância da zona urbana (km);
 ESH – Espessura de solo homogêneo (m);
 IP – Índice de plasticidade (%);
 LL – Limite de Liquidez (%); e
 VUT – Vida útil do terreno (ano).

6.3.2 – Impactos Ambientais e Econômicos

Os impactos ambientais e econômicos medem a intensidade dos impactos gerados pela área, segundo a opinião da população local, que é identificada através de entrevista domiciliar. O somatório dos impactos ambientais e econômicos indica a eficácia da área, que é a qualidade de realizar o serviço de disposição final dos resíduos sólidos, provocando os menores danos possíveis. Os impactos considerados no cálculo são apresentados na Equação 3.

$$IAE = C_I + C_T + D_{ZU} + O_P + O_{DV} + P_{AI} + P_I + V_B + V_F \quad (3)$$

Onde:

IAE – Impactos ambientais e econômicos;

C_I – Custos de Investimento (R\$);

C_T – Custos de transporte (R\$);

D_{ZU} – Distância da zona urbana (km);

O_P – Odor permanente;

O_{DV} – Odor na direção do vento;

P_{AI} – Presença de animais e insetos;

P_F – Presença de fumaça;

P_I – Presença de insetos;

V_B – Visual bonito; e

V_F – Visual feio.

Devemos também considerar que o local deve estar fora de áreas de proteção permanente, encontrar-se a uma distância mínima da zona urbana (5,0 km de acordo com IPT e CEMPRE 1995).

Quanto aos critérios sócio-econômicos segue abaixo:

- Uso e ocupação do solo - preferência por áreas devolutas ou pouco utilizadas;
- Odores, fumaça e poeira - fora da direção predominante dos ventos;
- Impacto visual - a fim de evitar impacto negativo, devem-se executar obras de isolamento e proteção (valas, diques de terra, cercas e arborização no entorno da área) impedindo também a entrada de pessoas e animais;
- Proliferação de vetores - constitui uma ameaça direta, pois são transmissores de doenças que podem contaminar o homem;
- Custos de implantação - a área mais adequada é aquela que apresenta menores gastos com a aquisição do terreno, com obras de infra-estrutura e que apresente o projeto menos complexo;
- Custos de operação - vias de acesso em bom estado de conservação e menor distância possível da zona urbana geradora de resíduos objetivando redução de custos.

O processo de obtenção da pontuação de cada variável está apresentado no Apêndice I.

6.4– Simulação

A simulação, será feita utilizando o SIG-T TransCAD utilizando o algoritmo de problemas de roteirização com janela de tempo , determinando os seguintes cenários:

- Roteirização dos veículos de coleta, com o local de disposição final atual;
- Roteirização dos veículos de coleta, considerando o melhor local definido pelo método de Orsati (2006);
- Roteirização dos veículos de coleta, considerando os outros locais definidos pelo método de Orsati (2006).

7 – ESTUDO DE CASO

7.1 – Considerações Gerais

O estudo de caso será realizado para o sistema de resíduo sólido comercial na cidade de Ilha Solteira - SP.

A cidade de Ilha Solteira – SP está localizada na Região Noroeste do Estado de São Paulo, como mostra a Figura 18. Segundo IBGE (2000), a população de Ilha Solteira - SP é estimada em 23.996 habitantes.

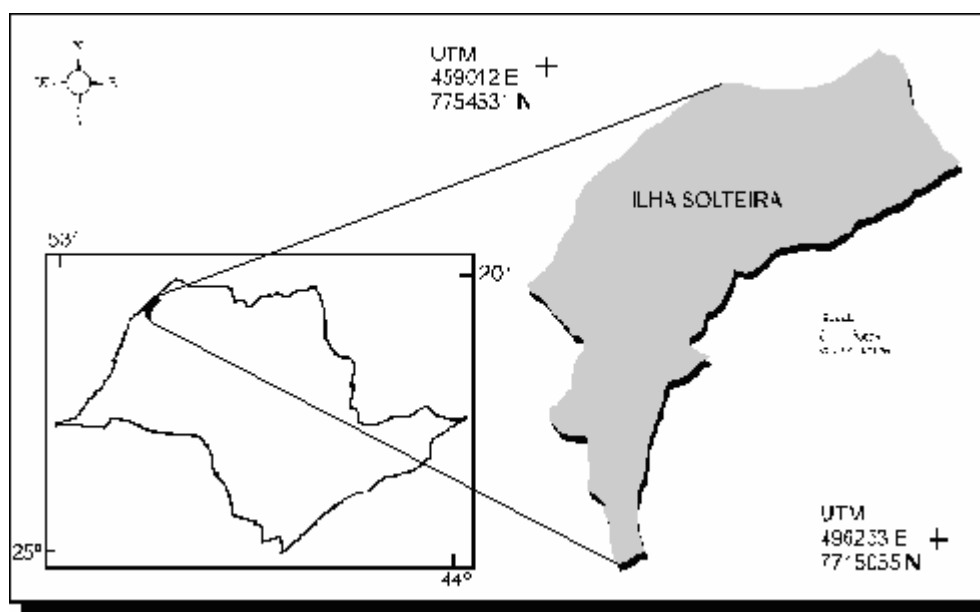


Figura 18 - Localização da cidade de Ilha Solteira -SP

Os componentes principais dos resíduos sólidos comerciais são o papel e o plástico. Este tipo de resíduo é relacionado diretamente a embalagens dos mais variados tipos, móveis e equipamentos obsoletos.

Os resíduos do comércio e de serviços são aqueles provenientes destas atividades praticadas em lojas, centros de lojas, postos volantes de vendas, postos de gasolina e similares, oficinas, bancos, estabelecimentos de ensino e escritórios.

O grupo de lixo comercial pode ser dividido em subgrupos chamados de pequenos geradores e grandes geradores.

(1) Pequeno gerador

O pequeno gerador de resíduos comerciais é o estabelecimento que gera até 120 litros de lixo por dia.

(2) Grande gerador

O grande gerador de resíduos comerciais é o estabelecimento que gera um volume de resíduos superior a 120 litros de lixo por dia.

Os comerciantes e prestadores de serviços devem realizar o gerenciamento de seus resíduos, de acordo com as peculiaridades das atividades por eles exercidas.

7.2 – Coleta de dados

O sistema analisado neste estudo é o serviço de coleta de lixo comercial, que atende toda a cidade. As entregas acontecem durante todos os dias da semana (segunda-feira a domingo). O período de operação é das 7:00 às 12:00 horas e das 13:30 às 17:00 horas.

A frota é composta por um veículo de marca Mercedes-Benz, modelo caminhão caçamba. O veículo não se encontra em bom estado de conservação, mas não apresenta problemas operacionais que prejudiquem a execução do serviço.

Existe a coleta seletiva no município e grande parte do resíduo comercial é colhido por meio de uma cooperativa com catadores cadastrados.

A coleta de dados foi realizada durante dois meses (julho e agosto de 2006). O serviço de transporte do lixo comercial é realizado pelo veículo coletor percorrendo uma rota definida pelo próprio motorista de forma empírica. O Anexo I apresenta a Tabela 2 que contém os dados sobre o roteamento empírico.

No sistema estudado existem 172 pontos coleta. O veículo coletor percorre uma rota, com distância de percurso de 72,4 km, em um tempo total de percurso igual a

5h e 34min; sendo que o tempo de viagem é igual a 4h e o tempo gasto na coleta é igual a 1h e 34min. Isto significa que o tempo de coleta é 28,2% do tempo total de percurso e o tempo de viagem é 71,8% do tempo total de percurso. A quantidade de unidades coletadas é 302 tambores resultando em uma taxa média de coleta igual a 3,22 tambores/min.

7.3 – Implementação dos dados

Posteriormente, foram realizadas simulações de rotas através de método computacional, utilizando os dados coletados. O material utilizado para determinar a roteirização foi o software TransCAD versão 3.2.

As informações referentes ao sistema viário da cidade foram obtidas através de arquivos de um programa CAD (AutoCAD 2002), no formato .dwg, adquiridos junto à Prefeitura Municipal, em escala 1:3000.

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

Posteriormente, foram realizadas as seguintes atividades:

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

a) Nomeação das Vias

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

b) Atualização da Rede Viária

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

c) Levantamento do Sentido de Fluxo das Vias

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

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

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

e) Localização da Garagem e do Local de Disposição Final

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

f) Levantamento de Informações sobre os Veículos Coletores

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

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

g) Preenchimento da Base de Dados

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

Os Quadros 3 e 4 identificam os campos a serem preenchidos na base de dados das camadas de pontos e linhas.

Quadro 3– Campo na base de dados do arquivo geográfico de pontos

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

Fonte: CALIPER (1996)

Quadro 4 – Campos na base de dados do arquivo geográfico de linhas

Campo	Tipo	Função
ID	Inteiro	Número que identifica a camada de linhas
Dir	Inteiro	Número que indica o sentido de fluxo da via
Nome	Inteiro	Utilizado para identificar a via no relatório de itinerário
Time [min]	Real	Tempo, em minutos, necessário para o veículo atravessar cada via
Depot	Inteiro	A identificação da garagem

Fonte: CALIPER (1996)

Com a base de dados pronta, antes de executar a rotina, foi criada uma rede de transporte com base nas informações armazenadas.

8 – APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

8.1 – Simulação da Rota de coleta, com o local de disposição final atual

A rota definida pelo método computacional, considerando o local de disposição final atual, apresentou distancia de percurso igual a 53,16 km e tempo de viagem igual a 3h e 23min. A Figura 19 apresenta a rota definida pelo software TransCAD.

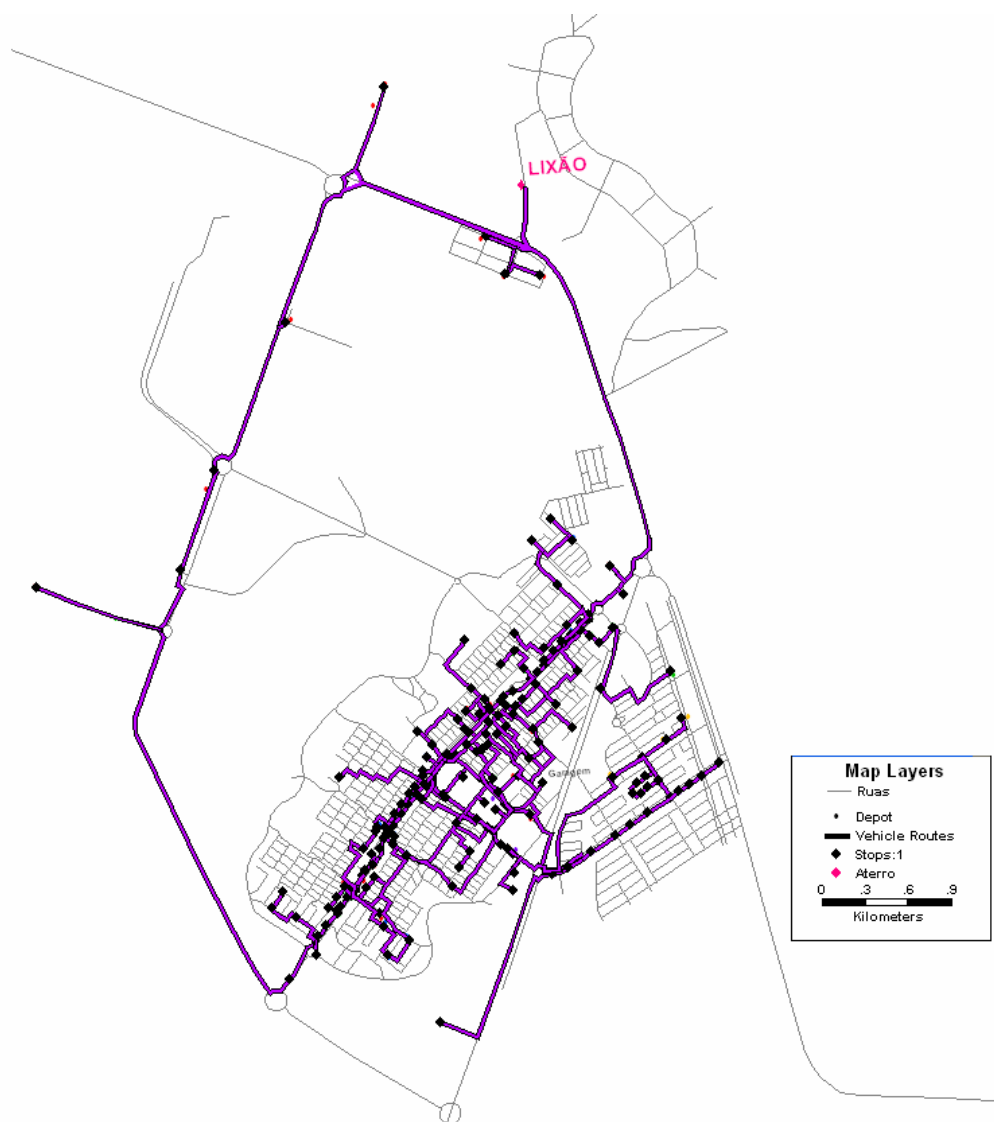


Figura 19 – Rota com local de disposição final definida pelo TransCAD.

O Anexo I também apresenta a Tabela 3 que contem os dados sobre o roteamento computacional, com o local de disposição final atual, do sistema de transporte de resíduos comerciais da cidade Ilha Solteira-SP.

8.2 – Simulação da Rota de coleta, considerando o melhor local definido pelo método de Orsati (2006)

A rota definida pelo método computacional, considerando o melhor local de disposição final determinado pelo método de Orsati (2006) – LOCAL 2, determinados separadamente, apresentou distancia de percurso igual a 65,16 km e tempo de viagem igual a 3h e 43min. A Figura 20 apresenta a rota definida pelo software TransCAD. O método de Orsati (2006) está apresentado no Apêndice I.

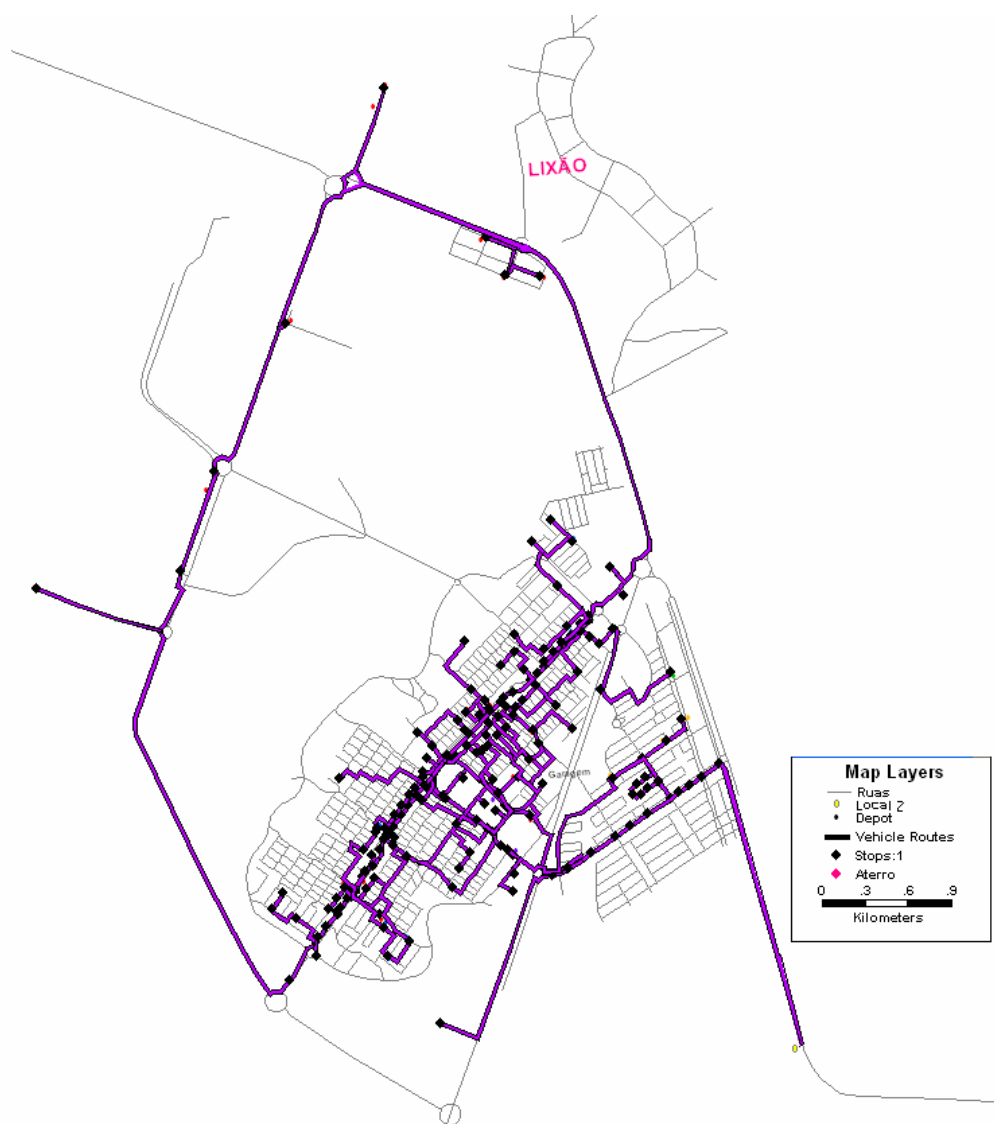


Figura 20 – Rota com local de disposição final definido por Orsati (2006)

8.3 – Simulação da rota de coleta com os outros locais de disposição final, analisados por Orsati (2006)

A simulação da rota de coleta conjunta com o local de disposição final, foi realizada considerando os outros locais de disposição final analisadas por Orsati (2006) – LOCAL 1, LOCAL 3 e LOCAL 4.

A melhor solução conjunta de rota e disposição final foi aquela determinada pela simulação considerando o LOCAL 3. Este cenário apresentou distância de percurso igual a 60,70 km e tempo de viagem igual a 3h e 21min. A Figura 21 apresenta a rota definida pelo software TransCAD.

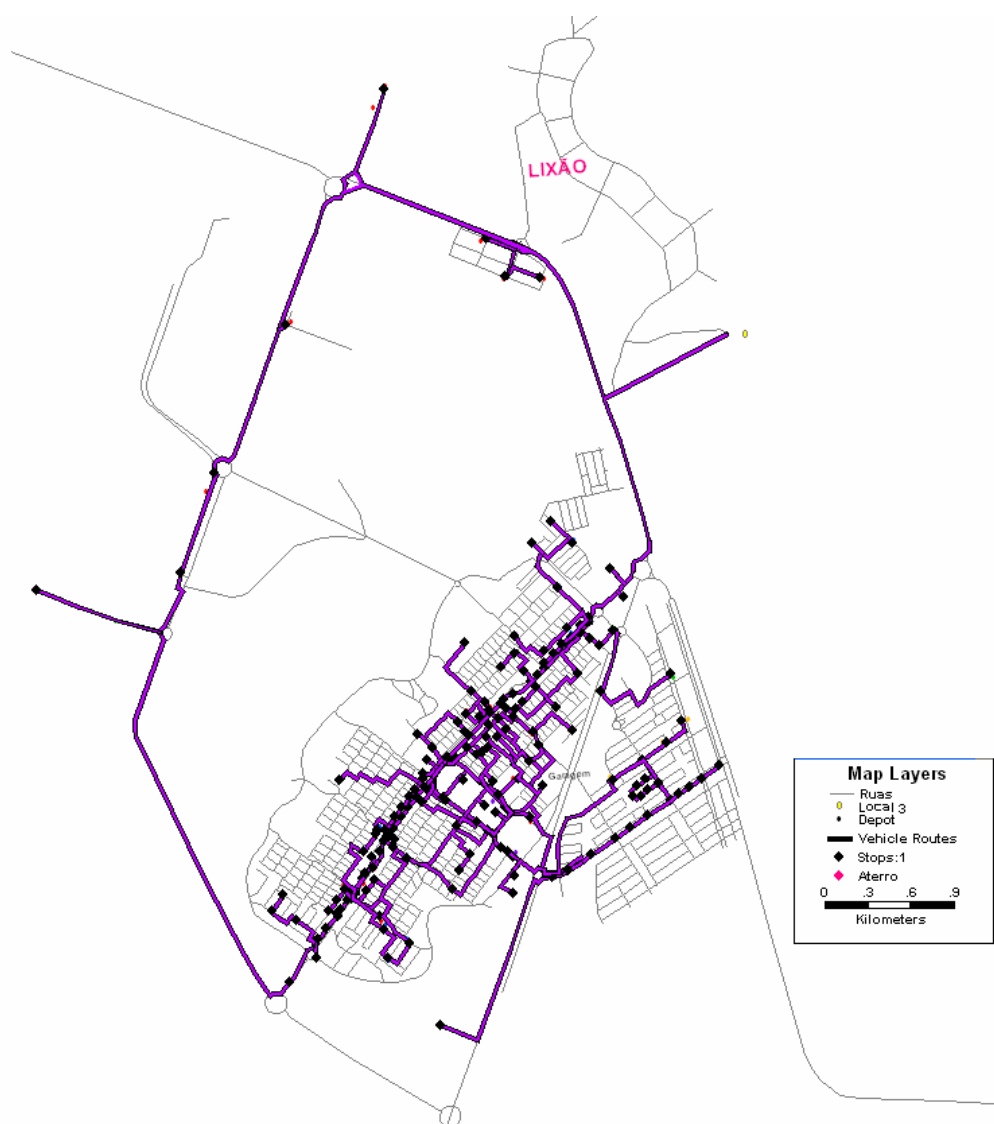


Figura 21 – Rota definida pelo software TransCAD, com o LOCAL 3

8.4 – Análise dos Resultados

A Tabela 1 apresenta os valores de distância e tempo de percurso da rota empírica e das rotas definidas pelas simulações realizadas com o software TransCAD.

Tabela 1 – Valores de distancia e tempo de percurso das rotas

Rotas	Distância de percurso (Km)	Tempo de viagem (h:min)
Empírica	72,40	05:34
Simulação 1	53,16	03:23
Simulação 2	65,16	03:43
Simulação 3	60,70	03:21

A melhor rota determinada separadamente do local de disposição final é a rota definida pela primeira simulação. Esta rota apresenta distancia de percurso igual a 73,42% da rota empírica definida pelo motorista e apresenta 60,68% do tempo de viagem da rota empírica.

A rota definida considerando o melhor local de disposição final determinado pelo método de Orsati (2006) – LOCAL 2, que foi determinada pela segunda simulação, apresentou 90% da distancia de percurso da rota empírica definida pelo motorista e 66,79% do tempo de viagem da rota empírica.

A rota definida pela simulação 3, que considera o LOCAL 3, analisado por Orsati (2006), apresentou apresentou 83,84% da distancia de percurso da rota empírica definida pelo motorista e 60,14% do tempo de viagem da rota empírica.

A Figura 22 apresenta graficamente os valores de distância percurso da rota empírica e das rotas definidas pelas simulações realizadas com o software TransCAD.

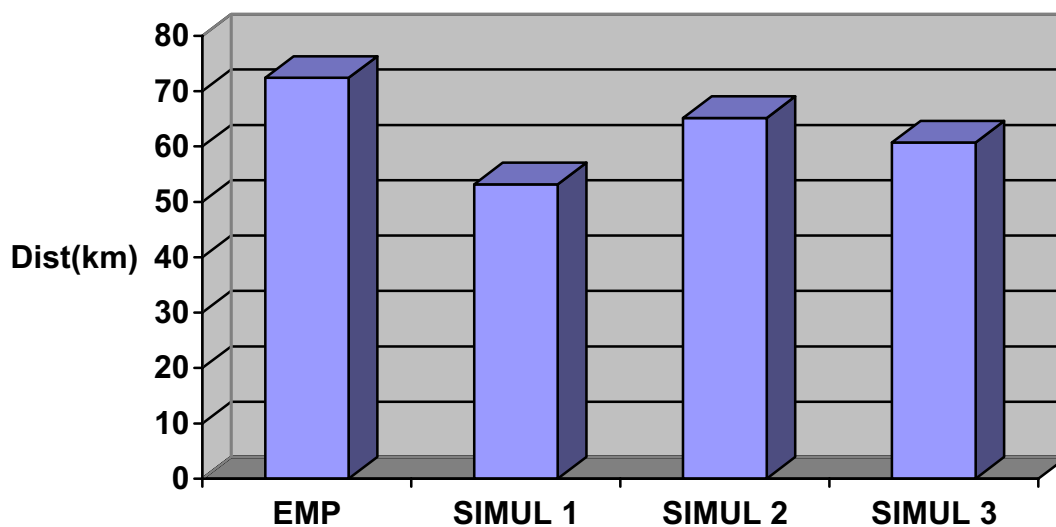


Figura 22 - Valores de distância percurso da rota empírica e das rotas definidas pelas simulações realizadas com o software TransCAD.

A Figura 23 apresenta graficamente os valores do tempo de viagem da rota empírica e das rotas definidas pelas simulações realizadas com o software TransCAD.

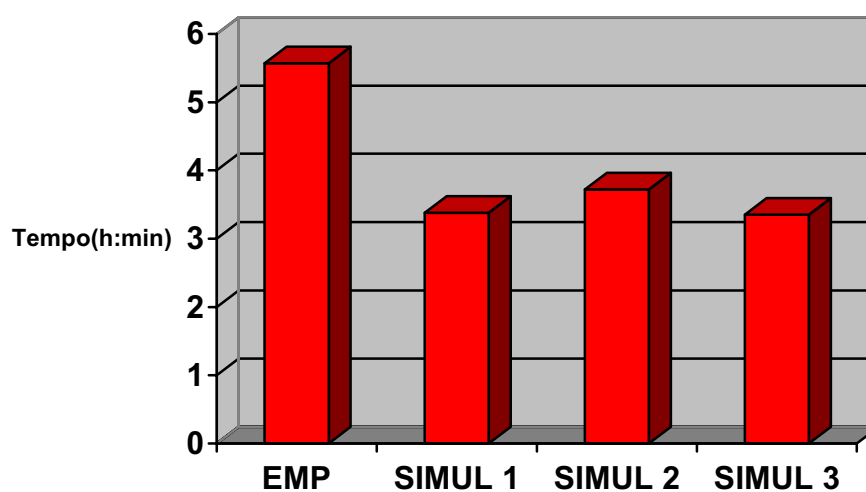


Figura 23 - Valores do tempo de viagem da rota empírica e das rotas definidas pelas simulações realizadas com o software TransCAD.

9 – CONCLUSÕES

O estudo do uso de sistema de informação geográfica para a análise do transporte e disposição final dos resíduos sólidos comerciais, realizado para a cidade de Ilha Solteira-SP, permite que se façam as seguintes conclusões:

- A melhor rota para o sistema de transporte dos resíduos comerciais é aquela considerando o local de destino final atual pois apresenta 26,58% de economia na distancia de percurso em relação a rota empírica e 39,32% do tempo de viagem em relação a rota empírica.

- Mas, essa rota não é indicada para operação do sistema por que o destino final atual é do tipo lixão, que é o lançamento a céu aberto caracterizando uma solução inadequada.

- A rota considerando o melhor local de disposição final definido pelo método de Orsati (2006)- LOCAL 2, apresenta 10,00% de economia na distancia de percurso em relação a rota empírica e 33,21% do tempo de viagem em relação a rota empírica.

- A rota considerando o LOCAL 3 analisado pelo método de Orsati (2006) apresenta 16,16% de economia na distancia de percurso em relação a rota empírica e 39,86% do tempo de viagem em relação a rota empírica.

- As três rotas definidas através da simulação utilizando o software TransCAD apresentam economia de distancia de percurso e tempo de viagem em relação a rota empírica.

- A melhor solução para o sistema de resíduos comerciais para a cidade de Ilha Solteira-SP é a roteirização considerando o LOCAL 3, pois apresenta economia de distancia de percurso e tempo de viagem maior do que a roteirização considerando o melhor local definido por Orsati (2006).

- Esse fato mostra que a determinação conjunta das etapas de roteirização dos veículos para o transporte e a escolha de destino final proporciona uma maior economia ao sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

10 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Coleta, Varrição e Acondicionamento de Resíduos Sólidos Urbanos. NBR 12980. São Paulo, ABNT, 1993.

ALMEIDA, M.F.B. de; SANCHES, S. da P. (1998). "Roteirização de Veículos para o Transporte de Alunos da Zona Rural com Auxílio de um SIG". <http://www.port.unicam.es/43>

ANVISA (Agencia Nacional de Vigilância Sanitária). Resolução RDC nº 33, de 25 de fevereiro de 2003.

ARONOFF, S. Geographical Information Systems: A Management Perspective. Ottawa, WDI Publications, 1989.

BARROS, R.T.V.; MÖLLER, L.M. Saneamento e Meio Ambiente. In: BARROS, R. T. V. et al. Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 1995. p 42 - 45.

BONHAM-CARTER, G. F. "Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS." Pergamon (Elsevier), Tarrytown (NY).1998.

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. 103 p

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

CALIPER. *TransCAD: The Premier GIS for Transportation, Logistics, and Operations Research*. Caliper Corporation, 1996

CÂMARA, G. Modelos, linguagens e arquiteturas para banco de dados geográficos. São Jose dos Campos, 1995. 264p. Tese (Doutorado em computação aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

CÂMARA, G., et al. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. Campinas, SP: Instituto de Computação, UNICAMP. 1996.

COWEN, D.J. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54:1551-4, 1988.

DIAS, Genebaldo F. *Educação Ambiental: Princípios e Práticas*, São Paulo, Editora Gaia, 6. ed. Revisada e Ampliada, 2000.

EPA - Environmental Protection Agency. *Decision-Makers' Guide to Solid Waste USA*, E.U.A. 1995.

FERREIRA, A. B. de H. *Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa*. 41. Ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986. 1838 p.

GLAZAR, JE.; SANTOS, H. do N.; FALQUETO, D.A.A. "Aplicação do SIG à Entrada de Dados para um Problema de Localização e de Distribuição em Redes". *Anais do Primeiro Simpósio de Pesquisa Operacional da Marinha e Segundo Simpósio de Logística da Marinha (SPOLM-97)*, Rio de Janeiro.1997

GRIMBERG, E. (2002). Propostas para o problema dos resíduos sólidos domiciliares. <http://www.polis.org.br/lixoecidadania/arsta.html>.

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

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL – IBAM. Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: 2001. 197 p.

IBGE. Tabela - População residente, por sexo e situação do domicílio, população residente de 10 anos ou mais de idade, total, alfabetizada e taxa de alfabetização, segundo os Municípios – 2000.
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/universo.php?tipo=31&paginaatual=1&uf=35&letra=l> .

IPT e CEMPRE. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. 1. ed., São Paulo, ed. IPT, 200, 370p, 1995.

JAMES, Bárbara. Lixo e Reciclagem. São Paulo, Scipione, 1997. 43p.

LACERDA, M.G. Análise de Uso de SIG no Sistema de Coleta de Resíduos Domiciliares em uma Cidade de Pequeno Porte. Dissertação (Mestrado) UNESP - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 147 p., 2003.

LARSON C.; ODONI A.R. "Urban Operations Research". Prenticehall, Englewood Cliffs, N.J. 1981.

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

LOGAREZZI, A. Contribuições conceituais para o gerenciamento de resíduos sólidos e ações de educação ambiental. In: LEAL, A.C. Resíduos Sólidos no Pontal do Paranapanema, Presidente Prudente, São Paulo: Antonio Thomaz Junior, 2004. p. 221-244.

LOGIT. Visão geral do produto TransCAD. TransCAD Transportation Workstation Software. Logit Logística, Informática e Transportes Ltda.2001

LOUIS, S.J.; YIN, X.; YUAN, Z.Y. "Multiple Vehicle Routing with Time Windows Using Genetic Algorithms".1999.

www.unr.edu/~sushil/papers/conference/newpapers/99/cec99/vrtpw/latex/papernew/papernew.html

MAGUIRE, D., et al., Geographical Information Systems, 2v, John Wiley and Sons, 2. ed.,1993.

ORSATI,AS. Análise de impactos ambientais e economicos na escolha de locais para disposição final de residuos sólidos. Dissertação (Mestrado) UNESP - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 75 p.,2006.

PEREIRA , L. A. APOSTILA DE SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL – GPS. 1 ed. Lins. UNILINS. 2005.38p.

PESSIM, N. et al. Concepção e Implantação de Células Piloto de Aterramento de Resíduos Sólidos. In: (Org.) CASTILHOS JUNIOR, A. B. Alternativas de Disposição de Resíduos Sólidos para Pequenas Comunidades (Coletânea de Trabalhos Técnicos). São Carlos: RiMa, 2002. p. 13-17.

RAIA , A. R. SIG Aplicado a Transito, Transportes e Logisitica. 1 ed. Lins. UNILINS. 2006.63p

ROHM, S. A. Apostila O QUE É SIG. 1 ed. São Carlos. UFSCAR. 2003.27p.

Rosa, S. L. Modelo Conceitual para Planejamento e Gerenciamento de Sistemas de Resíduos Sólidos Urbanos: Fixação de diretrizes básicas. Relatório técnico,1999. <http://www.resol.com.br>.

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

SIMCHI-LEVI, D. Analyses and Practical Algorithms for the Vehicle Routing Problem with time Windows. Operations Research.1996.

Teixeira, A. L. A. & Christofolletti, A. Sistemas de Informação Geográfica: dicionário ilustrado. Editora Hucitec, São Paulo.1997.

VONDEHORE, A., Travis, L., Smith, R. L., e Tsai, V. . Adaptation of Geographic Information Systems for Transportation. NCHRP Report 359, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, E.U.A.1993.

ANEXO I

Roteamento Empírico e Computacional

Tabela 2 -Rota Empírica

Ponto	chegada	saída	Tempo de viagem (min)		Tempo de coleta (min)	Tambor (UN)	Quilom (m)
Origem	-	07:19	-	-	-	998622,0	-
1	07:20	07:20	1	0	1	998622,2	0,2
2	07:22	07:22	1	1	2	998622,4	0,2
3	07:23	07:25	1	2	6	998622,8	0,4
4	07:26	07:26	1	0	1	998622,9	0,1
5	07:27	07:27	1	0	1	998623,2	0,3
6	07:28	07:29	1	1	3	998623,4	0,2
7	07:30	07:30	1	0	1	998623,6	0,2
8	07:31	07:32	1	1	3	998623,9	0,3
9	07:33	07:33	1	0	1	998624,3	0,4
10	07:34	07:34	1	0	1	998624,4	0,1
11	07:35	07:35	1	0	1	998624,5	0,1
12	07:36	07:36	1	0	1	998624,6	0,1
13	07:37	07:37	1	1	2	998625,0	0,4
14	07:39	07:39	1	0	1	998625,2	0,2
15	07:40	07:40	1	0	1	998625,3	0,1
16	07:41	07:41	1	0	1	998625,4	0,1
17	07:42	07:42	1	0	1	998625,5	0,1
18	07:43	07:43	1	0	1	998625,6	0,1
19	07:44	07:44	1	0	1	998625,7	0,1
20	07:45	07:45	1	0	1	998625,9	0,2
21	07:46	07:46	1	0	1	998626,1	0,2
22	07:47	07:47	1	0	1	998626,2	0,1
23	07:48	07:48	1	0	1	998626,3	0,1
24	07:49	07:49	1	0	1	998626,4	0,1
25	07:50	07:50	1	0	1	998626,5	0,1
26	07:51	07:51	1	0	1	998626,6	0,1
27	07:52	07:52	1	0	1	998626,7	0,1
28	07:53	07:53	1	0	1	998626,8	0,1
29	07:54	07:54	1	0	2	998626,9	0,1
30	07:55	07:55	1	1	3	998627,0	0,1
31	07:57	07:57	1	0	1	998627,1	0,1
32	07:58	07:58	1	0	1	998627,2	0,1
33	07:59	07:59	1	0	1	998627,3	0,1
34	08:00	08:00	1	0	2	998627,8	0,5
35	08:01	08:06	1	5	7	998628,3	0,5
36	08:07	08:07	1	0	1	998628,4	0,1
37	08:08	08:08	1	0	1	998628,5	0,1
38	08:09	08:09	1	0	1	998628,6	0,1
39	08:10	08:10	1	0	1	998629,0	0,4
40	08:11	08:11	1	0	1	998629,2	0,2
41	08:12	08:12	1	0	1	998629,3	0,1
42	08:14	08:14	1	1	1	998629,4	0,1
43	08:16	08:18	2	2	5	998630,1	0,7
44	08:20	08:21	2	1	3	998630,8	0,7
45	08:22	08:25	1	3	4	998631,1	0,3
46	08:26	08:26	1	0	1	998631,3	0,2
47	08:27	08:27	1	0	1	998631,6	0,3
48	08:29	08:33	2	4	8	998632,4	0,8
49	08:35	08:35	2	0	1	998632,7	0,3
50	08:36	08:36	1	0	1	998632,8	0,1
51	08:37	08:37	1	0	1	998632,9	0,1

52	08:38	08:38	1	O	1	998633,0	0,1
53	08:39	08:39	1	O	1	998633,3	0,3
54	08:40	08:40	1	O	1	998633,6	0,3
55	08:41	08:41	1	O	1	998633,9	0,3
56	08:42	08:42	1	O	1	998634,0	0,1
57	08:43	08:43	1	O	1	998634,1	0,1
58	08:44	08:44	1	O	1	998634,2	0,1
59	08:45	08:45	1	O	1	998634,7	0,5
60	08:46	08:46	1	O	1	998634,8	0,1
61	08:47	08:47	1	O	1	998634,9	0,1
62	08:48	08:48	1	O	1	998635,0	0,1
63	08:50	08:52	3	2	5	998635,1	0,1
64	08:53	08:53	1	O	1	998635,8	0,7
65	08:54	08:54	1	O	1	998636,1	0,3
66	08:55	08:55	1	O	1	998636,3	0,2
67	08:56	08:56	1	O	1	998636,6	0,3
68	08:57	09:00	1	3	6	998636,8	0,2
69	09:01	09:03	1	2	3	998637,3	0,5
70	09:04	09:06	1	2	3	998637,6	0,3
71	09:08	09:08	2	O	1	998638,5	0,9
72	09:09	09:09	1	O	1	998639,0	0,5
73	08:10	08:10	1	O	1	998639,5	0,5
74	09:11	09:11	1	O	1	998640,0	0,5
75	09:12	09:12	1	O	1	998640,1	0,1
76	09:13	09:15	1	2	4	998640,2	0,1
77	09:16	09:16	1	O	1	998640,3	0,1
78	09:17	09:19	1	2	3	998640,4	0,1
79	09:20	09:20	1	O	1	998641,0	0,6
80	09:21	09:21	1	O	1	998641,1	0,1
81	09:22	09:22	1	O	1	998641,2	0,1
82	09:23	09:23	1	O	1	998641,3	0,1
83	09:24	09:24	1	O	1	998641,4	0,1
84	09:25	09:25	1	O	2	998641,5	0,1
85	09:27	09:28	2	1	3	998641,6	0,1
86	09:29	09:29	1	O	1	998641,7	0,1
87	09:30	09:30	1	O	1	998641,8	0,1
88	09:31	09:31	1	O	1	998641,9	0,1
89	09:32	09:32	1	O	1	998642,4	0,5
90	09:33	09:33	1	O	1	998642,5	0,1
91	09:39	09:44	6	5	9	998645,5	3,0
92	09:50	09:53	6	3	-	998648,5	3,0
93	09:57	09:57	6	O	1	998653,5	5,0
94	09:58	09:58	1	O	1	998653,6	0,1
95	09:59	09:59	1	O	1	998653,9	0,3
96	10:00	10:00	1	O	1	998654,1	0,2
97	10:01	10:01	1	O	1	998654,2	0,1
Lixão	10:02	10:03	1	1	3	998654,5	0,3
99	10:04	10:04	1	O	1	998654,7	0,2
100	10:05	10:05	1	O	2	998654,8	0,1
101	10:06	10:06	1	O	1	998654,9	0,1
102	10:07	10:07	1	O	1	998655,1	0,2
103	10:08	10:08	1	O	2	998655,3	0,2
104	10:09	10:09	1	O	1	998655,7	0,4
105	10:13	10:14	4	1	3	998657,4	1,7
106	10:15	10:15	1	O	1	998657,5	0,1
107	10:16	10:16	1	O	1	998657,7	0,2
108	10:17	10:17	1	O	2	998657,8	0,1

109	10:18	10:18	1	O	1	998657,9	0,1
110	10:19	10:20	1	1	4	998658,0	0,1
111	10:21	10:21	1	O	1	998658,1	0,1
112	10:22	10:23	1	1	3	998658,2	0,1
113	10:24	10:25	1	1	4	998658,3	0,1
114	10:26	10:26	1	O	1	998658,4	0,1
115	10:27	10:28	1	1	3	998658,5	0,1
116	10:29	10:29	1	O	1	998658,6	0,1
117	10:30	10:31	1	1	2	998658,7	0,1
118	10:32	10:33	1	1	3	998658,9	0,2
119	10:34	10:34	1	O	1	998659,2	0,3
120	10:35	10:35	1	O	1	998659,3	0,1
121	10:36	10:36	1	O	1	998659,4	0,1
122	10:37	10:37	1	O	1	998659,6	0,2
123	10:38	10:38	1	O	1	998659,8	0,2
124	10:39	10:39	1	O	1	998659,9	0,1
125	10:40	10:40	1	O	1	998660,1	0,2
126	10:42	10:43	2	1	3	998661,0	0,9
127	10:44	10:44	1	O	1	998661,1	0,1
128	10:45	10:46	1	1	3	998661,2	0,1
128	10:47	10:47	1	O	1	998661,3	0,1
130	10:48	10:48	1	O	1	998661,4	0,1
131	10:49	10:49	1	O	1	998661,6	0,2
132	10:51	10:52	2	1	2	998661,8	0,2
133	10:53	10:54	1	1	3	998662,0	0,2
134	10:55	10:55	1	O	1	998662,2	0,2
135	10:56	10:56	1	O	1	998662,4	0,2
136	10:57	10:57	1	O	1	998662,6	0,2
137	10:58	10:58	1	O	1	998662,8	0,2
138	10:59	10:59	1	O	1	998663,0	0,2
139	11:00	11:04	1	4	10	998663,2	0,2
140	11:05	11:09	1	4	8	998663,4	0,2
141	11:14	11:17	5	3	-	998666,4	3
142	11:20	11:20	3	O	1	998669,4	3
143	11:21	11:21	1	O	1	998669,5	0,1
144	11:22	11 :23	1	1	2	998669,6	0,1
145	11:25	11:25	2	O	1	998670,8	1,2
146	11:26	11:26	1	O	1	998671,1	0,3
Lixão	11:27	11:27	1	O	1	998671,6	0,5
148	11:30	11:31	3	1	3	998672,1	0,5
149	11 :32	11 :32	1	O	1	998672,2	0,1
150	11 :33	11:33	1	O	1	998672,3	0,1
151	11:34	11 :34	1	O	1	998672,4	0,1
152	11:35	11 :35	1	O	1	998672,5	0,1
153	11 :38	11:38	3	O	1	998673,0	0,5
154	11:39	11:39	1	O	1	998673,1	0,1
155	11:40	11:40	1	O	1	998673,2	0,1
156	11 :41	11:42	1	1	2	998673,3	0,1
157	11:44	11:44	2	2	4	998673,9	0,6
158	11:45	13:36	1	-	-	998674,4	0,5
159	13:34	13:36	8	2	4	998678,4	4
160	13:40	13:42	4	2	4	998679,4	1
161	13:46	13:46	4	O	1	998679,6	0,2
162	13:48	13:48	2	O	1	998679,9	0,3
163	13:50	13:52	2	2	3	998680,0	0,1
Garagem	13:54	13:55	2	1	1	998680,1	0,1
165	13:56	13:57	1	1	1	998680,2	0,1

166	13:58	14:00	1	2	4	998680,3	0,1
167	14:07	14:08	7	1	2	998684,3	4
168	14:10	14:10	2	0	1	998684,5	0,2
169	14:11	14:11	1	0	1	998684,6	0,1
170	14:12	14:13	1	1	3	998684,8	0,2
171	14:20	14:24	7	4	5	998686,3	1,5
Lixão	14:33	14:38	9	5	-	998690,4	4,1
Garagem	14:45	-	7	-	-	998694,4	4

Tabela 3 - Rota Computacional

Ponto	Chegada	Saída	Tempo (min)		Distância (m)
			Viagem	Coleta	
Origem	-	09:38	-	-	-
1	09:39	09:39	01:00	00:00	163,10
2	09:40	09:40	01:00	00:00	284,90
4	09:41	09:41	01:00	00:00	403,30
69	09:41	09:41	00:00	00:00	169,00
5	09:41	09:41	00:00	00:00	37,60
68-6	09:41	09:42	00:00	01:00	92,60
67	09:43	09:43	01:00	00:00	82,40
66	09:44	09:44	01:00	00:00	478,20
76	09:46	09:46	02:00	00:00	737,50
75	09:46	09:46	00:00	00:00	54,70
74	09:47	09:47	01:00	00:00	384,90
72	09:48	09:50	01:00	02:00	158,70
129	09:52	09:53	02:00	01:00	569,90
130	09:53	09:53	00:00	00:00	15,00
131	09:53	09:54	00:00	01:00	217,80
135	09:54	09:54	00:00	00:00	42,20
136	09:55	09:56	01:00	01:00	159,00
137	09:56	09:57	00:00	01:00	135,20
139-138	09:58	09:59	01:00	01:00	184,50
140	09:59	10:00	00:00	01:00	73,60
141	10:01	10:02	01:00	01:00	441,40
143	10:03	10:07	01:00	04:00	373,40
144	10:09	10:13	02:00	04:00	375,80
142	10:14	10:14	01:00	00:00	335,90
132	10:17	10:17	03:00	00:00	1119,00
134	10:17	10:17	00:00	00:00	121,50
133	10:18	10:18	01:00	00:00	90,60
3	10:19	10:20	01:00	01:00	663,00
71	10:21	10:22	01:00	01:00	213,40
70	10:22	10:24	00:00	02:00	272,40
77	10:26	10:26	02:00	00:00	564,00
94	10:27	10:27	01:00	00:00	563,00
93	10:28	10:28	01:00	00:00	171,00
92	10:28	10:29	00:00	01:00	108,60
89	10:30	10:31	01:00	01:00	327,50
28	10:33	10:33	02:00	00:00	524,60
151	10:33	10:33	00:00	00:00	12,90
29	10:33	10:33	00:00	00:00	93,90
30	10:33	10:34	00:00	01:00	111,30
31	10:34	10:34	00:00	00:00	13,50
99	10:35	10:35	01:00	00:00	96,20
102	10:36	10:36	01:00	00:00	738,50
103	10:37	10:37	01:00	00:00	376,60
104	10:38	10:38	01:00	00:00	114,20
105	10:38	10:38	00:00	00:00	198,10
101	10:39	10:40	01:00	01:00	421,90
106	10:42	10:42	02:00	00:00	630,40
8	10:42	10:43	00:00	01:00	61,5
79	10:44	10:46	01:00	02:00	339,90
80	10:46	10:47	00:00	01:00	88,70
81	10:47	10:49	00:00	02:00	72,20

154	10:50	10:50	01:00	00:00	263,10
155	10:50	10:50	00:00	00:00	37,30
148-9	10:50	10:50	00:00	00:00	35,30
10	10:51	10:51	01:00	00:00	79,10
78	10:52	10:52	01:00	00:00	431,20
86	10:53	10:53	01:00	00:00	352,10
88	10:53	10:53	00:00	00:00	61,10
87	10:53	10:53	00:00	00:00	51,00
32	10:54	10:54	01:00	00:00	221,00
83	10:54	10:54	00:00	00:00	69,90
84	10:54	10:54	00:00	00:00	83,80
85	10:54	10:54	00:00	00:00	45,00
82	10:55	10:56	01:00	01:00	369,00
153	10:57	10:57	01:00	00:00	136,70
33	10:57	10:57	00:00	00:00	122,60
11	10:59	10:59	02:00	00:00	486,50
149	10:59	10:59	00:00	00:00	75,80
100	10:59	10:59	00:00	00:00	53,50
12	11:00	11:00	01:00	00:00	221,00
152	11:00	11:00	00:00	00:00	101,80
98	11:00	11:00	00:00	00:00	154,30
13	11:01	11:01	01:00	00:00	237,10
27	11:01	11:01	00:00	00:00	24,20
97	11:02	11:02	01:00	00:00	418,70
96	11:03	11:03	01:00	00:00	187,30
14	11:03	11:03	00:00	00:00	109,70
25	11:03	11:03	00:00	00:00	88,60
91	11:04	11:05	01:00	01:00	135,70
90	11:05	11:06	00:00	01:00	79,00
26	11:06	11:06	00:00	00:00	121,30
15	11:06	11:06	00:00	00:00	88,90
150	11:07	11:07	01:00	00:00	102,30
16-14	11:07	11:07	00:00	00:00	152,90
18	11:08	11:08	01:00	00:00	366,40
22	11:08	11:08	00:00	00:00	103,30
23	11:09	11:09	01:00	00:00	169,10
17	11:09	11:09	00:00	00:00	54,40
19	11:11	11:11	02:00	00:00	238,80
21	11:11	11:11	00:00	00:00	357,40
20	11:11	11:11	00:00	00:00	36,50
170	11:17	11:18	06:00	01:00	4143,00
169	11:19	11:19	01:00	00:00	292,60
171	11:20	11:21	01:00	01:00	550,10
172	11:22	11:24	01:00	02:00	252,00
173	11:28	11:32	04:00	04:00	1729,90
162	11:38	11:40	06:00	02:00	3788,30
166	11:41	11:44	01:00	03:00	149,40
167	11:44	11:45	00:00	01:00	33,30
165	11:45	11:47	00:00	02:00	84,70
164	11:47	11:47	00:00	00:00	49,30
163	11:47	11:47	00:00	00:00	88,40
168	11:49	11:51	02:00	02:00	642,20
161	11:55	11:59	04:00	04:00	2287,50
O	12:00	12:04	01:00	04:00	563,20
95	12:07	12:10	03:00	03:00	2317,10
57	12:10	12:10	00:00	00:00	398,60
56	12:11	12:11	01:00	00:00	138,00

58	12:12	12:12	01:00	00:00	319,50
59	12:12	12:12	00:00	00:00	121,80
60	12:12	12:12	00:00	00:00	131,90
145	12:12	12:12	00:00	00:00	25,20
158	12:13	12:13	01:00	00:00	244,90
37	12:14	12:14	01:00	00:00	285,30
61	12:15	12:15	01:00	00:00	533,60
146	12:16	12:16	01:00	00:00	50,00
147	12:16	12:16	00:00	00:00	110,30
38-158	12:16	12:16	00:00	00:00	118,60
111	12:17	12:17	01:00	00:00	334,80
112	12:17	12:18	00:00	01:00	60,00
113	12:19	12:20	01:00	01:00	94,80
110	12:21	12:21	01:00	00:00	479,30
108	12:22	12:22	01:00	00:00	421,80
109	12:24	12:24	02:00	00:00	193,60
159	12:25	12:25	01:00	00:00	596,40
39	12:25	12:25	00:00	00:00	3,50
44	12:25	12:25	00:00	00:00	145,10
43	12:25	12:25	00:00	00:00	27,00
42	12:26	12:26	01:00	00:00	245,50
40	12:28	12:28	02:00	00:00	489,30
41	12:28	12:28	00:00	00:00	355,70
45	12:28	12:28	00:00	00:00	330,70
46	12:30	12:30	02:00	00:00	847,30
48	12:30	12:30	00:00	00:00	237,00
47	12:31	12:34	01:00	03:00	237,70
50	12:36	12:36	02:00	00:00	513,50
51	12:37	12:37	01:00	00:00	343,40
49	12:38	12:38	01:00	00:00	541,10
55	12:40	12:40	02:00	00:00	231,10
54	12:40	12:40	00:00	00:00	296,80
156	12:42	12:42	02:00	00:00	426,30
64	12:43	12:43	01:00	00:00	571,60
65	12:43	12:43	00:00	00:00	44,20
107	12:44	12:44	01:00	00:00	326,80
121	12:45	12:45	01:00	00:00	168,50
63	12:46	12:46	01:00	00:00	248,90
35	12:47	12:50	01:00	03:00	386,30
36	12:50	12:50	00:00	00:00	111,50
53	12:51	12:51	01:00	00:00	127,80
62	12:51	12:51	00:00	00:00	142,80
52	12:51	12:51	00:00	00:00	86,30
114	12:52	12:52	01:00	00:00	237,00
115	12:52	12:52	00:00	00:00	42,00
116	12:52	12:53	00:00	01:00	48,70
117	12:53	12:53	00:00	00:00	62,30
119	12:54	12:55	01:00	01:00	125,20
124	12:55	12:55	00:00	00:00	255,10
123	12:56	12:56	01:00	00:00	90,80
118	12:56	12:56	00:00	00:00	11,30
120	12:56	12:57	00:00	01:00	123,20
7	12:58	12:58	01:00	00:00	226,80
34	12:58	12:58	00:00	00:00	58,10
122	12:59	12:59	01:00	00:00	425,40
125	13:00	13:00	01:00	00:00	312,10
127	13:01	13:01	01:00	00:00	298,80

126	13:01	13:01	00:00	00:00	89,40
128	13:01	13:01	00:00	00:00	224,20
O	13:02	-	01:00	-	284,00

APÊNDICE I

**Método para escolha de locais de disposição final desenvolvido por Orsati
(2006)**

1. Critérios Funcionais

Orsati (2006) define que o valor do custo de aquisição do terreno (CAT) do local analisado deve ser comparado com o valor de mercado do solo urbano. A pontuação desta variável é obtida no Quadro 5, analisando a porcentagem do valor do CAT em relação ao valor de mercado do solo urbano da seguinte forma: se o valor do terreno no local analisado for igual ao valor de mercado, então o local apresenta 10 pontos no cálculo dos critérios funcionais; e se o valor do terreno for 80% maior do que o valor de mercado, então o local apresenta 3 pontos no cálculo dos critérios funcionais.

Quadro 5: Pontuação do custo de aquisição do terreno

VALOR	PONTOS	VALOR	PONTOS
Igual ao	10	60% maior	5
20% maior	9	70% maior	4
30% maior	8	80% maior	3
40% maior	7	90% maior	2
50% maior	6	100% maior	1

O valor do coeficiente de declividade do terreno (CDT) deve ser analisado em relação ao intervalo ($3\% \leq \alpha \leq 30\%$). A pontuação desta variável é obtida na Quadro 6, analisando a porcentagem do CDT em relação ao valor máximo do intervalo (30%).

Quadro 6: Pontuação do coeficiente de declividade do terreno, e do coeficiente de permeabilidade do solo

VALOR	PONTOS	VALOR	PONTOS
Igual ao máximo	1	60% menor	6
20% menor	2	70% menor	7
30% menor	3	80% menor	8
40% menor	4	90% menor	9
50% menor	5	100% menor	10

O valor do coeficiente de permeabilidade do solo (CPS) no local analisado deve ser comparado com o valor máximo ($k=10^{-4}$ cm/s). A pontuação desta variável é obtida no Quadro 6.

O valor da distância entre a base do aterro e a cota máxima do aquífero freático (DBA) deve ser comparado com o valor mínimo (1,5 m). A pontuação desta variável é obtida na Quadro 7.

Quadro 7: Pontuação da distância entre a base do aterro e a cota máxima do aquífero freático, da distância do corpo d'água mais próximo, da distância da zona urbana, da espessura de solo homogêneo, do índice de plasticidade, do limite de liquidez, e da vida útil do terreno

VALOR	PONTOS	VALOR	PONTOS
Igual ao mínimo	1	60% maior	6
20% maior	2	70% maior	7
30% maior	3	80% maior	8
40% maior	4	90% maior	9
50% maior	5	100% maior	10

O valor da distância entre o local analisado e o corpo d'água mais próximo (DCA) deve ser comparado com o valor mínimo (200 m). A pontuação desta variável é obtida no Quadro 7.

O valor da distância entre o local analisado e a zona urbana (DZU) deve ser comparado com o valor mínimo (5 km). A pontuação desta variável é obtida no Quadro 7.

O valor da espessura de solo homogêneo (ESH) no local analisado deve ser comparado com o valor mínimo (3 m). A pontuação desta variável é obtida no Quadro 7.

O valor do índice de plasticidade (IP) do solo no local analisado deve ser comparado com o valor mínimo (15%). A pontuação desta variável é obtida no Quadro 7.

O valor do limite de liquidez (LL) do solo no local analisado deve ser comparado com o valor mínimo (30%). A pontuação desta variável é obtida no Quadro 7.

O valor da vida útil do terreno (VUT) no local analisado deve ser comparado com o mínimo (10 anos).

2. Impactos Ambientais e Econômicos

A questão sobre os custos de investimento (C_i), na entrevista domiciliar, deve apresentar duas alternativas: (1) investimento alto na disposição de resíduos em detrimento de outros setores; e (2) investimento baixo na disposição de resíduos, com maiores investimentos em outros setores. O impacto causado pelos custos de investimento é referente à alternativa de investimento alto. A pontuação desta variável é obtida no Quadro 8, em relação à porcentagem média das classes econômicas da população com opinião sobre este impacto, que foi igual a 1,2%.

Quadro 8: Pontuação dos custos de investimento e dos custos de transporte

IMPACTO (%)	PONTOS	IMPACTO (%)	PONTOS
10	1	60	6
20	2	70	7
30	3	80	8
40	4	90	9
50	5	100	10

A questão sobre os custos de transporte (C_T), na entrevista domiciliar, deve apresentar duas alternativas: (1) pagar mais imposto para o local de disposição final ficar longe da área urbana, aumentando os custos de transporte; e (2) pagar menos imposto para o local de disposição final ficar próximo da área urbana, diminuindo os custos de transporte. O impacto causado pelos custos de transporte é referente à alternativa de pagar mais imposto. A pontuação desta variável é obtida no Quadro 8, em relação à porcentagem média das classes econômicas da população com opinião sobre este impacto, que foi igual a 97,4%.

A questão sobre a distância da zona urbana (D_{ZU}), na entrevista domiciliar, deve apresentar dez alternativas, com valores de distância entre a zona urbana e o local de disposição final variando de 1 a 10 km. A pontuação desta variável é obtida no

Quadro 9, em relação ao valor de distância que apresentar o maior valor médio das classes sociais da população com opinião sobre este impacto, que foi igual a 3 km.

Quadro 9: Pontuação da distância entre o local de disposição final e a zona urbana

D _{ZU} (km)	PONTOS	D _{ZU} (km)	PONTOS
1	1	6	6
2	2	7	7
3	3	8	8
4	4	9	9
5	5	10	10

A questão sobre o odor permanente (O_P), na entrevista domiciliar, deve apresentar cinco alternativas: excelente, ótimo, bom, ruim e péssimo. A pontuação desta variável é obtida no Quadro 10, em relação à opinião que apresentar o maior valor médio das classes sociais da população sobre este impacto, que foi o conceito PÉSSIMO (92,4%).

Quadro 10: Pontuação do odor permanente, do odor na direção do vento, da presença de animais, da presença de fumaça, da presença de insetos, do visual bonito, e do visual feio

D _{ZU} (km)	PONTOS
Excelente	1 – 2
Ótimo	3 – 4
Bom	5 – 6
Ruim	7 – 8
Péssimo	9 – 10

A questão sobre o odor na direção do vento (O_{DV}), na entrevista domiciliar, deve apresentar cinco alternativas: excelente, ótimo, bom, ruim e péssimo. A pontuação desta variável é obtida no Quadro 9, em relação à opinião que apresentar o maior valor médio das classes sociais da população sobre este impacto, que foi o conceito RUIM (64,8%).

A questão sobre a presença de animais e insetos (P_{AI}), na entrevista domiciliar, deve apresentar cinco alternativas: excelente, ótimo, bom, ruim e péssimo. A pontuação desta variável é obtida no Quadro 10, em relação à opinião que

apresentar o maior valor médio das classes sociais da população sobre este impacto, que foi o conceito PÉSSIMO (92,6%).

A questão sobre a presença de fumaça (P_F) deve apresentar cinco alternativas: excelente, ótimo, bom, ruim e péssimo. A pontuação desta variável é obtida no Quadro 10, em relação à opinião que apresentar o maior valor médio das classes sociais da população sobre este impacto, que foi conceito RUIM (60,8%).

A questão sobre a presença de insetos (P_I) deve apresentar cinco alternativas: excelente, ótimo, bom, ruim e péssimo. A pontuação desta variável é obtida no Quadro 10, em relação à opinião que apresentar o maior valor médio das classes sociais da população sobre este impacto, que foi o conceito RUIM (72%).

A questão sobre o visual bonito (V_B) deve apresentar cinco alternativas: excelente, ótimo, bom, ruim e péssimo. A pontuação desta variável é obtida na Quadro 10, em relação à opinião que apresenta o valor médio das classes sociais da população sobre este impacto, que foi conceito EXCELENTE (62,2%).

A questão sobre o visual feio (V_F) deve apresentar cinco alternativas: excelente, ótimo, bom, ruim e péssimo. A pontuação desta variável é obtida no Quadro 10, em relação à opinião que apresenta o valor médio das classes sociais da população sobre este impacto, que foi conceito PÉSSIMO (65,8%).

3 – Análise de locais para destino final

A aplicação do parâmetro definido por Orsati(2006) foi realizada para quatro locais fictícios (denominados de LOCAL 1, LOCAL 2, LOCAL 3 e LOCAL 4) na cidade de Ilha Solteira - SP. O valor de mercado do solo urbano em Ilha Solteira - SP é R\$ 1,00/m². Os valores das variáveis que constituem os critérios funcionais também são fictícios, mas foram atribuídos obedecendo aos valores mínimos e máximos dos critérios físicos especificados por IPT e CEMPRE (2000). O Quadro 11 apresenta os valores das variáveis que constituem os critérios funcionais.

Quadro 11: Valores das variáveis que constituem os critérios funcionais dos locais analisados

CF	Local 1	Local 2	Local 3	Local 4
CAT	1,32	1,20	1,40	1,19
CDT	20	25	15	10
CPS	1E-05	1E-06	1E-08	1E-04
DBA	2	12	8	2,8
DCA	500	700	300	200
DZU	7	12	8	5
ESH	5,5	7	8	5
IP	30	25	35	20
LL	32	41	45	38
VUT	17	16	10	12

A pontuação de cada variável que constitui os critérios funcionais foi calculada, utilizando os valores do Quadro 11, com base nos Quadros 5, 6 e 7. O valor dos Critérios Funcionais (CF) foi calculado através da Equação 2. O Quadro 12 apresenta a pontuação de cada variável e o valor dos Critérios Funcionais.

Quadro 12: Pontuação das variáveis e o valor dos critérios funcionais para cada local

Pontuação	Local 1	Local 2	Local 3	Local 4
CAT	8	9	7	9
CDT	3	2	5	7
CPS	9	10	10	1
DBA	3	10	10	9
DCA	10	10	5	1
DZU	4	10	6	1
ESH	8	10	10	7
IP	10	7	10	3
LL	1	4	5	3
VUT	7	6	1	2
CF	63	78	69	43

A pontuação de cada variável que constitui os Impactos Ambientais e Econômicos (IAE) foi calculada com base nos valores dos quadros 8, 9 e 10 (apresentados no apêndice I) e nos resultados da entrevista domiciliar. O valor dos Impactos Ambientais e Econômicos (IAE) foi calculado, utilizando a Equação 3. O Quadro 13 apresenta a pontuação de cada variável e o valor dos Impactos Funcionais e Econômicos (IAE) para a cidade de Ilha Solteira-SP.

Quadro 13: Pontuação das variáveis e o valor dos impactos ambientais e econômicos

Impactos	Pontuação
CI	1
CT	10
DZU	3
OP	10
ODV	7
PAI	10
PF	7
PI	7
VB	1
VF	9
IAE	65

O valor do Índice de Qualidade (IQ) foi calculado, utilizando a Equação 1. O Quadro 14 apresenta os valores do Índice de Qualidade para cada local de disposição final analisado.

Quadro 14 : Índice de Qualidade de cada local analisado

Índice de Qualidade	Local 1	Local 2	Local 3	Local 4
IQ	0,97	1,20	1,06	0,66