

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS
AMBIENTAIS

APLICAÇÃO DE RECURSOS DE ROTEIRIZAÇÃO E REDES NA COLETA E
TRANSPORTE DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE

Juliana Ferreira Lorentz

Belo Horizonte
Setembro de 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS
AMBIENTAIS

APLICAÇÃO DE RECURSOS DE ROTEIRIZAÇÃO E REDES NA COLETA E
TRANSPORTE DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE

Juliana Ferreira Lorentz

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientadora: Profa. Dra. Ilka Soares Cintra

Co-orientador: Prof. Dr. Sergio Donizete Faria

Belo Horizonte
Setembro de 2011

Dedicatória

Ao meu querido PA:

Te tenho com a certeza
De que você pode ir
Te amo com a certeza
De que irá voltar
Pra gente ser feliz
Você surgiu e juntos
Conseguimos ir mais longe
Você dividiu comigo a sua história
E me ajudou a construir a minha
Hoje mais do que nunca somos dois
A nossa liberdade é o que nos prende
Viva todo o seu mundo
Sinta toda liberdade
E quando a hora chegar, volta...
Que o nosso amor está acima das coisas...desse mundo
Vai dizer que o tempo
Não parou naquele momento
Eu espero, por você
O tempo que for
Pra ficarmos juntos
Mais uma vez!

(Mais uma vez - Fernanda Mello, Rogério Flausino e PJ)

Agradecimentos

A Deus, por tudo, especialmente pela segunda chance.

Aos meus pais, pela simplicidade de viver e pelos exemplos que me norteiam no meu dia a dia.

Aos meus queridos irmãos, Lu e Cal, por sempre estarem comigo.

Ao Sr. Antônio e D. Vânia pelo carinho, apoio e incentivo.

À minha orientadora Profa. Dra. Ilka Soares Cintra pela paciência e incentivo.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Sergio Donizete Faria pelos conselhos.

A todos os professores e funcionários do IGC, em especial à Paula (Secretária da Pós-Graduação) que do seu jeito, muito me ajudou.

Aos colegas de turma e demais colegas do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais e em Geografia, pela harmonia, alegria, ajudas e gargalhadas compartilhadas.

À Gizelle Lira, pessoa iluminada, que dividiu comigo muitos momentos de alegrias e tristezas ao longo deste período.

A Carlos Alberto da Cruz Rodrigues, pela amizade, conselhos nas horas difíceis e incentivo sempre.

Ao Dr. Cícero Catapreta, pelas contribuições e incentivo na reta final.

A todos os amigos e torcedores nesta etapa, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O Brasil ainda apresenta reconhecida deficiência nas questões relacionadas com o saneamento básico, e assim o gerenciamento dos resíduos no país – especialmente os sólidos – é um reflexo desse quadro. Neste contexto, os resíduos dos serviços de saúde (RSS) são parte importante do total de resíduos sólidos urbanos, não necessariamente pela quantidade gerada, mas pelo risco que podem representar à saúde pública e ao meio ambiente quando depositados de forma incorreta. De acordo com a legislação em vigor, cabe aos geradores de RSS o seu gerenciamento. O Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS) é o instrumento que busca disciplinar a disposição final desses resíduos. Dessa forma, os municípios brasileiros vêm tentando se adequar à legislação pertinente, e especificamente em Belo Horizonte/MG, desde a entrada em vigor do Decreto Municipal 12.165/2005 referente ao assunto, os órgãos municipais têm buscado formas de cumprir os procedimentos relacionados com o PGRSS. Assim, este trabalho teve por objetivo contribuir para a gestão dos resíduos de serviços de saúde, no Município de Belo Horizonte, procurando oferecer alternativas que permitissem o aprimoramento da atividade de coleta, e tendo em vista as necessidades decorrentes da implantação dos PGRSS pelos estabelecimentos do setor de saúde do município – em especial os hospitais. Pode-se afirmar que, por meio da metodologia proposta, foi alcançado o objetivo do trabalho, ao se apresentar uma alternativa para a modelagem de rotas que atenda à atividade de coleta e transporte dos RSS.

ABSTRACT

Brazil still has recognized disability at issues related to sanitation, and thus the waste management in the country is a reflection of this situation. In this context, the health services waste (RSS) are an important part of the overall urban solid waste, not necessarily by the amount generated, but due to the risk it may poses to public health and to the environment when improperly disposed of. According to the legislation, it is up to the RSS generators its management. The Health Services Waste Management Plan (PGRSS) is the instrument that seeks to regulate the disposal of such waste. Thus, the municipalities have been trying to fit the legislation, and specifically at Belo Horizonte/MG, since the entry into force of the Municipal Decree 12.165/2005, the municipal authorities have sought ways to comply with the procedures related to PGRSS. This work aimed to contribute to the health services waste management in the municipality of Belo Horizonte, trying to offer alternatives that allow the improvement of collection activity, and considering the needs arising from the implementation of the PGRSS at the health sector establishments – in special hospitals. It can be argued that, through the proposed methodology, has been achieved the goal of the work – to present an alternative to routes modeling able to meet the RSS collection and transport activity needs.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.2 Objetivos e justificativa	4
2. RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE E LEGISLAÇÃO	5
2.1 Resíduos sólidos	5
2.2 Resíduos de serviços de saúde	9
2.2.1 Legislação sobre os resíduos de serviços de saúde	11
2.3 Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde	17
2.4 Coleta e transporte dos resíduos de serviços de saúde	20
2.5 Destinação dos resíduos de serviços de saúde	23
3. GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE	33
3.1 Sistemas de Informações Geográficas no transporte	33
3.2 Redes	35
3.3 Roteirização de veículos	38
4. METODOLOGIA	42
4.1 Belo Horizonte, sistema viário e frota	42
4.2 Levantamento, aquisição e compilação das variáveis geográficas	46
4.3 Levantamento das informações técnicas	46
4.4 Georeferenciamento dos estabelecimentos de saúde	46
4.5 Quantificação dos resíduos de serviços de saúde	46
4.6 Incorporação dos dados levantados dos estabelecimentos geradores à base digital contendo os estabelecimentos geradores	47
4.7 Modelagem de rotas a partir dos dados obtidos	47
5. MODELAGEM DAS ROTAS	50
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 – Gráfico da distribuição dos tipos de destinação final de RSS	26
Figura 2 – Vista aérea da CTRS-BR-040 de Belo Horizonte	26
Figura 3 – Rede representada por um grafo	30
Figura 4 – Grafo orientado e grafo misto	30
Figura 5 – Caminho em uma rede	31
Figura 6 – Localização dos estabelecimentos do setor saúde em estudo	41
Figura 7 – Consulta à base de dados	42
Figura 8 – Definição dos pontos de coleta	43
Figura 9 – Definição dos parâmetros de análise	45
Figura 10 – Resultado da rota seguindo determinados parâmetros	47
Figura 11 – Rota seguindo outros parâmetros	54

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 – Classificação dos resíduos sólidos urbanos	7
Tabela 2 – Classificação, origem e composição dos resíduos sólidos urbanos gerados em fontes especiais	8
Tabela 3 – Classificação dos RSS em função de suas características e respectivos riscos	10
Tabela 4 - Resumo da legislação vigente sobre RSS	14
Tabela 5 – Práticas de destinação dos resíduos	25
Tabela 6 – Quantidade de RSS coletada por região	25

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BHTRANS	Empresa de Transportes e Trânsito S/A
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CF	Constituição Federal
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAGRESS	Comissão Permanente de Apoio ao Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CTRS	Central de Tratamento de Resíduos Sólidos
DN	Deliberação Normativa
ECP	Equipamento de Controle de Poluição
GASMIG	Companhia de Gás de Minas Gerais
GNSS	<i>Global Navigation System</i>
LA	Licenciamento Ambiental
MPE	Ministério Público Estadual
NBR	Norma Brasileira
OLA	Orientação de Licenciamento Ambiental
PEAD	Poliétileno de Alta Densidade
PGRSS	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PL	Projeto de Lei
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PRPV	Problemas de Roteirização e Programação de Veículos
PRV	Problemas de Roteirização de Veículos
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
RSS	Resíduos de Serviços de Saúde
RSU	Resíduo Sólido Urbano

SADE	Sistemas de Apoio à Decisão Espacial
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SLU	Superintendência de Limpeza Urbana
SMARU	Secretaria Municipal Adjunta de Regulação Urbana
SMMA	Secretaria Municipal de Meio Ambiente
SRPV	Sistemas de Roteirização e Programação de Veículos
SUDECAP	Superintendência de Desenvolvimento da Capital
TAC	Termo de Ajustamento de Conduta
TSP	<i>Traveling Salesman Problem</i>
URP	Unidade de Recebimento de Pneus
VISA	Vigilância Sanitária da Prefeitura de Belo Horizonte

1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos pelas atividades humanas é parte de nossa história. Durante muito tempo a principal atividade econômica esteve concentrada no campo, com uma produção agrícola esparsa, e dessa forma os principais resíduos gerados eram orgânicos facilmente assimiláveis pelo meio ambiente. Atualmente, a população descarta resíduos advindos de um consumo intenso e com composições físico-químicas variadas, invertendo a situação anterior e demandando novas soluções para o tratamento e disposição final desses resíduos.

Por resíduos¹, entenda-se os produtos (ou subprodutos) gerados em consequência da atividade humana e, em geral, de qualquer ser vivo. Ou seja, trata-se de toda a matéria transformada em bem de consumo que é descartada e devolvida ao meio ambiente.

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) classifica os resíduos, de acordo com sua origem, nos seguintes tipos: urbanos; industriais; agrícolas; da construção civil; radioativos; de portos e aeroportos; domiciliares e de serviços de saúde.

O Brasil ainda apresenta deficiência em saneamento básico e tem na questão dos resíduos, especialmente os sólidos, um reflexo desse quadro. Este problema tende a se tornar ainda mais evidente com o aumento da população urbana e da quantidade de resíduos *per capita* gerada diariamente, ao mesmo tempo em que diminuem as alternativas de áreas para a sua adequada disposição.

Neste contexto, os resíduos dos serviços de saúde (RSS) são parte importante do total de resíduos sólidos urbanos, não necessariamente pela quantidade gerada (cerca de 1% a 3% do total), mas pelo risco que representam à saúde e ao meio ambiente (AGAPITO, 2007). Em contraponto, outros autores (CINTRA, 2003; CUSSIOL, 2005) afirmam que os RSS apresentam riscos semelhantes aos dos resíduos domiciliares, em função do número de pessoas que não sabem que estão doentes ou que estão em tratamento domiciliar.

¹Os resíduos são classificados em sólido, líquido e gasoso. No presente trabalho trata-se dos resíduos sólidos, especificamente dos resíduos de serviços de saúde.

A Resolução nº 358/2005, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2005) e a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 306/2004, da ANVISA (2004), sendo esta última de forma mais simplificada, definem como fontes geradoras de RSS: hospitais; clínicas médicas, veterinárias e odontológicas; farmácias; ambulatórios; postos de saúde; laboratórios de análises clínicas; laboratórios de pesquisa e de análise de alimentos; empresas de biotecnologia; funerárias; portos; aeroportos; e estações rodoviárias e ferroviárias.

A RDC nº 306/2004 (ANVISA, 2004), em seu Artigo 3º, determina ainda que caberá aos geradores de RSS o seu gerenciamento, desde a geração até a disposição final, de forma a atender aos requisitos ambientais e de saúde pública. Esse gerenciamento envolve as atividades relacionadas à geração, ao acondicionamento, ao armazenamento interno e externo, à coleta e ao transporte, até o tratamento e disposição final dos resíduos (ANVISA, 2006; ANDRADE e GUIMARÃES, 1995, citado por MARANGONI, 2006).

De acordo com MARANGONI (2006), dois problemas principais envolvem os RSS. O primeiro abrange uma esfera mais individual, estando ligado diretamente aos funcionários e aos riscos que os cercam no manejo dos resíduos. O segundo, de um ponto de vista sócio-ambiental e sanitário, diz respeito ao destino dado aos RSS – como cuidar deles sem prejuízos ao meio ambiente e à população.

Assim, o Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS) surge como uma forma de disciplinar a disposição final desses resíduos. De acordo com a legislação em vigor, pertinente ao tema e citada nesta seção, o PGRSS aponta e descreve as ações relativas ao manejo dos resíduos, no âmbito dos estabelecimentos de serviços de saúde, e contempla os aspectos referentes às fases de gerenciamento intra e extra-estabelecimento de saúde.

O município de Belo Horizonte - MG, assim como outros municípios brasileiros, estão procurando se adequar à legislação vigente. O Decreto Municipal 12.165/2005 (Diário Oficial do Município, 2005) – que aprova as Diretrizes Básicas e o Regulamento Técnico para o Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS) no município e dá outras providências – entrou em vigor após anos de estudos em relação ao tema e várias tentativas da administração municipal

de se adequar à legislação ambiental. Desde então, os órgãos municipais têm buscado formas de cumprir os procedimentos relacionados com o PGRSS.

Administrativamente, no município de Belo Horizonte, a Superintendência de Limpeza Urbana (SLU) efetua o cadastramento dos seus potenciais usuários – dentre eles os estabelecimentos do setor de saúde – começando então a coletar os seus resíduos. A partir desta fase torna-se necessário pensar em um planejamento de transporte, visando reduzir custos, tempo de viagem e número de veículos em circulação.

Assim, o presente trabalho se propõe a contribuir para a modelagem de rotas que atendam à atividade de coleta dos RSS. A modelagem de rotas, também conhecida como roteirização, vem ganhando destaque por ser, segundo GOIS (2005), um importante componente da matriz de custos de transporte e coleta. A modelagem envolve o planejamento de um conjunto de rotas de custo mínimo, geralmente combinado com o aspecto temporal – ou seja, um intervalo de horário para coleta deve ser considerado.

Os roteirizadores têm buscado cada vez mais o aprimoramento da qualidade e da produtividade, de forma a garantir um melhor aproveitamento da frota e a diminuição dos percursos dos veículos. O aumento do número de coletas e sua dispersão geográfica causam um impacto significativo nas operações e nos custos associados aos sistemas de distribuição (GOIS, 2005).

É nesse contexto que a necessidade de uma ferramenta flexível e eficiente para a execução das atividades de roteirização e programação fica evidente. Esta ferramenta se torna possível graças ao avanço da informática e das tecnologias por ela trazidas.

As administrações municipais têm buscado novas tecnologias para se atualizarem e inclusive melhorar sua arrecadação. Assim como na questão social, na questão do transporte a tecnologia pode trazer benefícios para uma prefeitura. A utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) na administração de um município, especialmente na questão da coleta dos resíduos, pode conferir representatividade e fidelidade às condições reais dos deslocamentos dos veículos coletores.

No caso de Belo Horizonte, com a implementação dos PGRSS nos estabelecimentos geradores de RSS, novas demandas de coleta vêm surgindo. A coleta é realizada pelo município (por meio da SLU) e por algumas empresas particulares. Essas demandas implicam em veículos e cuidados especiais, com aumento de custos, cenário que permite um estudo como o proposto neste trabalho.

1.1 Objetivos e justificativa

Este trabalho tem como **objetivo geral** contribuir para a gestão dos resíduos de serviços de saúde oferecendo alternativas que permitam o aprimoramento da atividade de coleta, e se justifica tendo em vista as necessidades decorrentes da implantação do PGRSS pelos estabelecimentos do setor de saúde, geradores de RSS, do município – em especial os hospitais.

O **objetivo específico** se constitui no desenvolvimento de um modelo de roteirização com o intuito de:

- minimizar a distância total percorrida pelos veículos de coleta de resíduos;
- permitir a inserção de novos pontos de coleta, de acordo com a gradual aprovação e implementação dos PGRSS, o que leva a uma contínua retroalimentação do sistema;
- apresentar uma alternativa tecnológica para o planejamento da coleta dos RSS.

2 RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE E LEGISLAÇÃO

Neste capítulo são abordadas questões sobre os resíduos sólidos de uma maneira geral – definição e algumas classificações – dando foco especial na questão dos RSS, especialmente na sua correta disposição, com base na legislação atual relacionada ao tema.

2.1 Resíduos sólidos

A Resolução CONAMA 005/1993 (CONAMA, 1993), em consonância com a Norma Brasileira (NBR) 10.004/2004 (ABNT, 2004), define os resíduos sólidos como:

[...] resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividade da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isto soluções técnica e economicamente inviáveis, devido a uma melhor tecnologia disponível no país (CONAMA, 1993, p. 1).

De acordo com o IPT/CEMPRE (2000) os resíduos sólidos podem ser classificados de várias formas: 1) por sua natureza física: seco ou molhado; 2) por sua composição química: matéria orgânica ou matéria inorgânica; 3) pelos riscos potenciais ao meio ambiente; e 4) quanto à origem.

No entanto, as normas e resoluções sobre o assunto classificam os resíduos sólidos em função dos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde, bem como em função da natureza e origem.

Em se tratando dos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde, a ANVISA (2006) segue as diretrizes dadas pela NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004), que classifica os resíduos sólidos em classe I e classe II.

Os resíduos classe I – denominados perigosos – são aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou biológicas, podem apresentar riscos à saúde e ao meio ambiente. Essa classe de resíduos possui uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Como exemplos desta classe de resíduos podem ser citadas as pilhas de uso comum e as baterias de celular.

Os resíduos classe II, denominados não perigosos, são subdivididos em duas classes: classe II-A e classe II-B. Os resíduos classe II-A (não inertes) podem apresentar as seguintes propriedades: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Os resíduos classe II-B (inertes) não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, com exceção dos aspectos cor, turbidez, dureza e sabor.

Em relação à origem e natureza, a ANVISA (2006) classifica os resíduos sólidos em: domiciliar (constituídos por restos de alimentos, jornais e revistas, embalagens em geral, papel higiênico e diversos outros itens, aqui incluídos alguns resíduos tóxicos); comercial (cuja composição varia de acordo com a atividade desenvolvida); de varrição e feiras livres; de serviços de saúde; de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários; industriais; agrícolas; e resíduos de construção civil.

Em se tratando da questão da responsabilidade pelo gerenciamento dos resíduos sólidos (Art. 3º, RESOLUÇÃO CONAMA 358/2005), eles podem ser agrupados em dois grupos: o primeiro referente aos resíduos sólidos urbanos (resíduos domésticos ou residenciais; resíduos comerciais; resíduos públicos); o outro grupo abrange os resíduos gerados em fontes especiais (resíduos industriais; resíduos da construção civil; rejeitos radioativos; resíduos de portos, aeroportos e terminais rodoferroviários; resíduos agrícolas; resíduos de serviços de saúde).

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas as classificações dos resíduos sólidos em função de sua origem, assim como os seus principais componentes.

Tabela 1 – Classificação dos resíduos sólidos urbanos.

Resíduos Sólidos Urbanos		
Classificação	Origem	Componentes/Periculosidade
Doméstico ou residencial	Residências	Orgânicos (restos de alimento), jornais, revistas, embalagens vazias, frascos de vidro, papéis e absorventes higiênicos, fraldas descartáveis, preservativos, curativos, embalagens contendo tintas, solventes, pigmentos ou vernizes, pesticidas, óleos lubrificantes, fluidos de freio, medicamentos, pilhas, baterias, lâmpadas incandescentes e fluorescentes etc.
Comercial	Supermercados, bancos, lojas, bares, restaurantes etc.	Os componentes variam de acordo com a atividade desenvolvida, mas, de modo geral, se assemelham qualitativamente aos resíduos domésticos
Público	Limpeza de vias públicas (inclui varrição e capina), praças, praias, galerias, córregos, terrenos baldios, feiras livres, animais mortos	Produtos de podas e resíduos difusos (descartados pela população): entulho, papéis, embalagens em geral, alimentos, fraldas, animais mortos etc.

Fonte: ANVISA (2006).

Tabela 2 – Classificação, origem e composição dos resíduos sólidos urbanos gerados em fontes especiais

Resíduos de Fontes Especiais		
Classificação	Origem	Componentes/Periculosidade
Industrial	Indústrias metalúrgica, elétrica, química, de papel e celulose, têxtil etc.	Composição dos resíduos varia de acordo com a atividade (lodos, cinzas, borrachas, metais, vidros, fibras, cerâmica etc.) São classificados, por meio da Norma ABNT 10.004/2004, em classe I (perigosos) classe II-A e classe II-B (não perigosos).
Construção civil	Construção, reformas, reparos, demolições, preparação e escavação de terrenos.	Segundo a Resolução CONAMA 307/2002 se classificam em: A) reutilizáveis e recicláveis (solos, tijolos, telhas e placas de revestimentos); B) recicláveis com outra destinação (plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras etc.); C) não recicláveis; D) perigosos (amianto, tintas, solventes, óleos e resíduos contaminados – provenientes de reformas de clínicas radiológicas ou unidades industriais).
Radioativos	Serviços de saúde, instituições de pesquisa, laboratórios e usinas nucleares.	Resíduos contendo substância radioativa com atividade acima dos limites de eliminação.
Portos, aeroportos, e terminais rodoferroviários	Resíduos gerados em terminais de transporte, navios, aviões, ônibus e trens.	Resíduos com potencial de causar doenças, tendo em vista o tráfego intenso de pessoas de várias regiões do país e mundo. Cargas contaminadas (animais, plantas e carnes).
Agrícola	Gerado na área rural (agricultura e pecuária).	Resíduos perigosos, pois contêm restos de embalagens impregnadas com fertilizantes químicos e pesticidas.
Saúde	Qualquer atividade de natureza médico-assistencial humana ou animal (clínicas odontológicas, veterinárias, farmácias, centros de pesquisa em farmacologia, centros de saúde, necrotérios, funerárias, instalações de medicina legal, barreiras sanitárias).	Resíduos infectantes (sépticos): cultura, vacina vencida, sangue e hemoderivados, tecidos, órgão, produto de fecundação com as características definidas na resolução 306, materiais resultantes de cirurgia, agulhas, ampola, pipeta, bisturi, animais contaminados, resíduos que entraram em contato com pacientes (secreções, refeições etc). Resíduos especiais: rejeitos radioativos, medicamento vencido, contaminado ou interdito, resíduos químicos perigosos. Resíduos comuns: não entram em contato com pacientes (resíduos de escritório, restos de alimentos etc).

Fonte: ANVISA(2006).

Dentre os componentes perigosos presentes nos resíduos sólidos urbanos destacam-se os metais pesados (Cádmio, Cromo/Crômio, Cobre, Mercúrio, Níquel, Chumbo e Zinco), associados aos problemas de poluição e toxicidade, bem como os biológicos (infectantes). Dentre os componentes biológicos presentes nos resíduos urbanos destacam-se: *Escherichia coli*, *Klebsiella sp.*, *Enterobacter sp.*, *Proteus sp.*, *Staphylococcus sp.*, *Enterococcus*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Candida sp.*, que pertencem à microbiota normal humana (ANVISA, 2006).

Segundo ANVISA (2006), metais pesados geralmente são utilizados nas indústrias eletrônicas, em maquinários e outros utensílios do dia-a-dia. Como exemplo, podemos citar as baterias, pilhas e os equipamentos eletrônicos em geral (contendo Chumbo, Antimônio, Zinco, Cádmio, Níquel e Mercúrio), os pigmentos e tintas (contendo Chumbo, Cromo/Crômio, Arsênio, Selênio, Molibidênio, Cádmio, Bário, Zinco, Cobre e Tálcio), o papel (com Chumbo, Cádmio, Zinco, Cromo e Bário), as lâmpadas fluorescentes (contendo Mercúrio), e os remédios (com Arsênio, Bismuto, Antimônio, Selênio, Bário, Tântalo, Lítio e Platina), entre outros.

A partir da classificação apresentada nas Tabelas 1 e 2, o presente trabalho dará atenção especial aos RSS gerados nos hospitais e que merecem cuidados especiais em seu manuseio, transporte e disposição final.

2.2 Resíduos de serviços de saúde

Os RSS são classificados em função de suas características e respectivos riscos. Na Tabela 3 é apresentada a classificação dos RSS de acordo com a Resolução CONAMA 358/2005 (CONAMA, 2005).

Tabela 3 – Classificação dos RSS em função das características e riscos.

Resíduos de Serviços de Saúde		
Grupo	Características	Observação
A	Resíduos com a possível presença de agentes biológicos.	Devido às suas especificidades, os resíduos do Grupo A se subdividem em 5 subgrupos: A1, A2, A3, A4, A5
B	Resíduos contendo substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente	
C	Materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionucleotídeos em quantidades superiores aos limites especificados pela CNEM	
D	Resíduos que não apresentam risco biológico, químico ou radiativo à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares	
E	Materiais perfurocortantes ou escarificantes	

Fonte: CONAMA (2005).

De acordo com MENDES (2005), a preocupação com a disposição dos RSS se deu a partir da década de 30. Na década de 40 o incinerador foi adotado como a única forma correta de eliminar os resíduos hospitalares, mesmo com suas desvantagens.

Nos anos 50 as atenções foram dirigidas para os resíduos radioativos, surgindo preocupações referentes ao seu manejo adequado. A década de 60 é marcada pela preocupação com a dispersão das doenças infectocontagiosas e com a emissão de gases na atmosfera. A partir de então a questão dos resíduos passa a ser de maior interesse público e governamental. Nos anos 70 têm-se o aumento do uso de descartáveis e o aparecimento de novas patologias, entre elas a Síndrome da Imuno Deficiência Adquirida (AIDS), o que despertou novas preocupações com o armazenamento dos RSS.

Diante desse quadro, cada vez mais vem aumentando a preocupação dos órgãos públicos em relação ao assunto resíduos, forçando as administrações a investirem no gerenciamento dos resíduos gerados, especialmente aqueles que necessitam de um maior grau de cuidados. No caso dos RSS, o gerenciamento consiste em um conjunto de procedimentos planejados e implementados, a partir de bases científicas, técnicas, normativas e legais. Este gerenciamento busca minimizar a geração de resíduos e proporcionar ao mesmo tempo um manejo seguro e eficiente, visando à proteção dos trabalhadores e à preservação da saúde, dos recursos naturais e do meio ambiente conforme a RDC/ 306 (ANVISA, 2004).

De acordo com MENDES (2005) o processo de gerenciamento dos RSS envolve várias etapas, desde a geração, a segregação e o acondicionamento – ainda na unidade geradora, até o transporte e a destinação final, já fora da instituição.

A segregação dos RSS deve ser realizada no local onde eles são produzidos, antes do descarte em recipientes próprios. O acondicionamento desses resíduos deve ser feito em embalagens com dimensões, resistência, cor e identificação seguindo a NBR/9.190 (ABNT, 1993).

Marangoni (2006) afirma que a quantidade de RSS gerada em um estabelecimento está relacionada com as atividades desenvolvidas e depende da capacidade e do nível de desenvolvimento tecnológico da unidade, da quantidade de serviços oferecidos, das especialidades existentes, das tecnologias empregadas e do número de pacientes atendidos, entre outros fatores.

Tendo em vista os problemas e riscos potenciais dos RSS, em 2006 a ANVISA e o Ministério do Meio Ambiente criaram o Manual do Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde, ancorados na RDC 306/2004 e na Resolução CONAMA nº 358/2005 (ANVISA, 2006). O objetivo do manual é contribuir para a minimização dos problemas decorrentes do manejo dos RSS, favorecendo a reciclagem e a redução dos riscos na área de saneamento ambiental e de saúde pública.

A seguir é apresentada uma visão geral da legislação pertinente aos RSS, ao PGRSS e à situação dos municípios brasileiros – de acordo com a pesquisa da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2009) – desde a coleta até a disposição final dos resíduos, destacando-se a situação em que se encontra o município de Belo Horizonte.

2.2.1 Legislação sobre os resíduos de serviços de saúde

Os países desenvolvidos (Comunidade Européia, Estados Unidos da América, Austrália e Canadá, dentre outros) apresentam estruturas avançadas² de

²<http://www.environmentalistseveryday.org/about-nswma-solid-waste-management/index.php>,
<http://www.environmentalistseveryday.org/about-nswma-solid-waste-management/index.php>,
www.parliament.sa.gov.au/dbsearch/legsearch.htm,
<http://www.medical.initial.co.uk/regulations/index.php>,
http://www.health.gov.on.ca/english/public/contact/hosp/hosp_mn.html.

preservação ambiental. Numa tentativa de proteção das pessoas e do meio ambiente contra a exposição a doenças infecciosas e seus potenciais agentes causadores, estabeleceram legislação e programas de gerenciamento de resíduos. Durante a década de 60 e início da década de 70, foram erradicados, na maioria desses países, os últimos depósitos de resíduos a céu aberto, os chamados “lixões”. A maior parte dos resíduos era encaminhada para aterros sanitários e incineradores. Posteriormente, a partir da década de 70, o movimento ambientalista passou a dirigir críticas crescentes às formas tradicionais de destinação dos resíduos sólidos (DEMAJOROVIK, 1995).

A legislação ambiental brasileira é uma das mais completas do mundo. De 1937 aos dias atuais, pode-se encontrar pelos menos 17 leis tratando de temas ambientais (Patrimônio Cultural, Florestas, Parcelamento e Uso do Solo Urbano, Política Nacional de Meio Ambiente, Atividades Nucleares, Exploração Mineral, Crimes Ambientais, Recursos Hídricos, dentre outras). Embora sejam de grande valia para garantir a preservação do patrimônio ambiental do país, muitas vezes elas não são cumpridas.

Por outro lado, até hoje o Brasil não possuía uma Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Após 21 anos de tramitação na Câmara dos Deputados, foi aprovado o texto do Projeto de Lei (PL) 1991/2007 (que foi apensado ao PL 203/1991). O PL seguiu – após aprovação na Câmara – para o Senado Federal e aprovado resultou na Lei Nº 12.305/2010, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Apesar da recente promulgação da PNRS, a Constituição Federal (CF) de 1988 já dispunha, em seu Artigo 30, que compete ao poder público local os serviços de limpeza pública, incluindo a coleta e a destinação dos resíduos sólidos urbanos. Ainda segundo a CF, cabe ao município legislar, gerenciar e definir o sistema de saneamento básico local, bem como a instituição e arrecadação de tributos de sua competência. No seu Artigo 182, a CF institui que cabe ao município estabelecer políticas de desenvolvimento urbano, no sentido de garantir as suas funções sociais e o bem estar dos habitantes. Finalmente, o Artigo 145, no inciso II, estabelece as taxas como forma de tributo possível para a execução de serviços públicos prestados ou postos à disposição do contribuinte.

Os resíduos, até 2010, de uma forma geral, foram regidos no Brasil por normas infra-legais, tais como resoluções e decretos de órgãos ambientais, tendo em vista que até então nenhuma lei tivesse sido aprovada sobre esse tema em nível parlamentar federal. Assim, na esfera federal, além dos parágrafos supracitados da Constituição Federal, existem resoluções do CONAMA e da ANVISA, as quais são complementadas por outras normas, nas esferas estadual e municipal.

Em se tratando dos RSS, a Resolução CONAMA 358/2005 (CONAMA, 2005) regulamentou o gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde. A ANVISA, por sua vez, em um processo de harmonização das normas federais referentes ao gerenciamento de RSS, editou a RDC nº 306/2004 (ANVISA, 2004), em conformidade com as deliberações do CONAMA.

Em Minas Gerais, além das deliberações normativas do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), o Estado legislou sobre o assunto resíduos perigosos por meio da Lei 13.796/2000, de 20 de dezembro de 2000, que dispõe sobre o controle e o licenciamento dos empreendimentos e das atividades geradoras de resíduos perigosos no Estado (MINAS GERAIS, 2000) e, nesse sentido, abrange os RSS.

Ainda no âmbito estadual, a Deliberação Normativa nº 7/1981 (COPAM, 1981) fixou as normas para disposição de resíduos sólidos, proibindo depositar, dispor, descarregar, enterrar, infiltrar ou acumular no solo resíduos de qualquer natureza. Em 2001, uma nova deliberação normativa do COPAM (a DN nº 52/2001) passou para os municípios a responsabilidade em relação ao atendimento das normas de gestão de resíduos sólidos urbanos.

Em 2006 o mesmo Conselho deliberou sobre as diretrizes para a disposição final adequada dos RSS (DN nº 97/2006).

Na Tabela 4 são apresentadas, resumidamente, as normas mencionadas e suas disposições.

Tabela 4 - Resumo da legislação vigente sobre RSS.

	Instituição	Legislação	Resumo
FEDERAL	CONAMA	Resolução 358/2005	Regulamenta o gerenciamento dos RSS. Aplica-se a todos os serviços com o atendimento à saúde humana ou animal. Sistemas de tratamento e disposição final licenciados ou submetidos a licenciamento.
	ANVISA	RDC 304/2006	Harmonização com a Resolução 358/2005 CONAMA.
ESTADUAL	PODER LEGISLATIVO	Lei 3796/2000	O produtor ou gerador deve obter licenciamento ambiental nos órgãos de meio ambiente competentes ou, no caso de RSS, providenciar o PGRSS e submetê-lo a aprovação. O produtor ou gerador é o responsável pelo transporte, armazenamento, reciclagem, tratamento e disposição final dos resíduos, e co-responsável no caso de transferência a terceiros.
	COPAM	Deliberação Normativa 97/2006	Diretrizes para a disposição final dos RSS (considerando CONAMA 358/2005). Todos os estabelecimentos localizados em municípios com população urbana superior a 50 mil habitantes devem se adequar às exigências da Resolução CONAMA 358/2005, no prazo máximo de 31 de dezembro de 2006. Para os demais municípios o prazo foi até 04/05/07.
MUNICIPAL	PODER EXECUTIVO	Decreto 12.165/2005	A aprovação do PGRSS deve ser feita pelos órgãos de meio ambiente, de saúde e de limpeza urbana, para fins de licenciamento ou obtenção do Alvará de Autorização Sanitária. Dispensa os estabelecimentos prestadores de serviços de saúde, cuja geração de resíduos não apresenta risco potencial à saúde pública e ao meio ambiente, da apresentação do PGRSS, devendo apresentar uma "Declaração de não gerador de RSS que apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente". Obriga os estabelecimentos geradores de RSS em funcionamento a se adequarem às disposições deste Decreto até o dia 31 de dezembro de 2006. PARAGRAFO Estabelece que os estabelecimentos que já possuem planos aprovados nos termos do Decreto nº 10.296/2000, deverão providenciar documentação complementar de forma a se adequarem às suas disposições. O PGRSS deve ser obrigatoriamente considerado no licenciamento ambiental dos estabelecimentos geradores de RSS, em caráter prévio ou corretivo. Os estabelecimentos geradores de RSS não passíveis de licenciamento ambiental devem ter aprovação do PGRSS no órgão municipal de vigilância sanitária e de limpeza urbana, para fins de obtenção do Alvará de Autorização Sanitária.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Cabe ressaltar que o processo de regularização do município de Belo Horizonte frente ao correto gerenciamento dos RSS teve início antes mesmo que as resoluções federais do CONAMA e da ANVISA (vide Seção 2.3) entrassem em vigor, e antes também da discussão sobre o esgotamento da área de disposição de resíduos na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da BR-040 (CTRS-040).

Ainda em 1997, inspeções técnicas permitiram um diagnóstico da situação dos RSS em 364 Estabelecimentos de Saúde no município. Logo após esse diagnóstico, em 1998, foi criada a Comissão Permanente de Apoio ao Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (COPAGRESS). No ano seguinte à sua criação, a COPAGRESS publicou o Manual de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde e em 2001, foi instituída a Comissão Especial para Análise e Aprovação dos PGRSS (BORGES, 2005).

A partir do Decreto Municipal nº 12.165/2005 os estabelecimentos públicos ou particulares, novos ou em funcionamento passam a apresentar o PGRSS na Gerência de Vigilância Sanitária e na Superintendência de Limpeza Urbana, para fins de Alvará de Autorização Sanitária. Os estabelecimentos sujeitos ao Licenciamento Ambiental devem ainda apresentar o PGRSS aprovado na Secretaria Municipal de Meio Ambiente para fins de Licenciamento Ambiental.

Assim, a concessão da licença ambiental para empreendimentos na área de saúde no município ficou condicionada, entre outros aspectos, à apresentação e aprovação do PGRSS (LORENTZ *et al*, 2008).

De acordo com Cintra e Miari (2006), o procedimento de licenciamento inicia-se com o requerimento da Orientação de Licenciamento Ambiental (OLA) na Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA). Na OLA consta a relação de pareceres e laudos necessários para a instrução do processo, a serem emitidos tanto pela SMMA quanto por outros órgãos envolvidos no licenciamento: Secretaria Municipal Adjunta de Regulação Urbana (SMARU), Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP), Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte (BHTRANS), Vigilância Sanitária Municipal (VISA) e Superintendência de Limpeza Urbana (SLU).

Ao longo do processo de regularização, os estabelecimentos do setor de saúde – em especial os hospitais – encontraram, de acordo com Cintra e Miari (2006), dificuldades para a obtenção dos laudos e pareceres provenientes de cada um dos órgãos anteriormente citados. O Ministério Público Estadual (MPE) interferiu, passando a acompanhar os processos de licenciamento e determinando um levantamento dos problemas encontrados no seu desenvolvimento. O objetivo do MPE era celebrar, com cada um dos empreendimentos, Termos de Ajustamento de Conduta (TAC), nos quais ficariam definidos prazos para o seu enquadramento na legislação em vigor.

Ademais, em 2007, o Conselho Municipal do Meio Ambiente (COMAM) aprovou a minuta do Termo de Compromisso para Autorização Temporária de Caráter Precário para funcionamento de Hospitais de Belo Horizonte, conforme previsto no artigo 10 da Deliberação Normativa n.º 42/02 daquele órgão. Esta Licença Ambiental Precária constituiu-se em um avanço do processo de licenciamento ambiental de estabelecimentos do setor de saúde, empreendimentos geradores de RSS em Belo Horizonte.

Assim, o Município de Belo Horizonte vem tentando se enquadrar nas legislações relacionadas aos RSS e tornou-se pioneiro neste assunto no Brasil.

2.3 Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde

O Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde – PGRSS – é o documento que aponta e descreve as ações relativas ao manejo desses resíduos, observadas as suas características, no âmbito dos estabelecimentos geradores. Ele contempla os aspectos referentes ao manejo (geração, segregação, acondicionamento, coleta interna, armazenamento, transporte, tratamento e destinação final), bem como os aspectos relativos à proteção à saúde pública e segurança ocupacional do pessoal envolvido nas etapas do gerenciamento de resíduos.

O Manual de Gerenciamento de RSS (ANVISA, 2006) entende por manejo a ação de gerenciar os resíduos em seus aspectos intra e extra-estabelecimento, desde a geração até a disposição final, incluindo as etapas descritas a seguir.

Segregação – consiste em separar e selecionar os resíduos segundo a classificação adotada na fonte. A segregação é realizada pela pessoa que produz o resíduo no local onde é produzido. A separação deve ser feita sempre na origem, pois não se admite manuseio posterior. A segregação é considerada uma das etapas mais importantes do gerenciamento de RSS.

Acondicionamento – embalar os resíduos em sacos ou recipientes, permitindo assim, isolá-los do meio externo, evitando contaminação e mantendo afastados os vetores. Nesta etapa o resíduo é armazenado em recipientes, por meio das cores, símbolos e inscrições da classe pertencente. Assim, agrupados, fica mais fácil o seu gerenciamento, transporte e tratamento.

Coleta e transporte interno – retirada e traslado dos resíduos dos pontos de geração até o local destinado ao armazenamento temporário ou externo com a finalidade de apresentação para a coleta. Nesta etapa existem carros coletores específicos para cada grupo de resíduos. O transporte interno de resíduos deve ser realizado respeitando-se roteiros e horários previamente definidos, para não coincidir com as outras atividades hospitalares (distribuição de roupas, alimentos e medicamentos, períodos de visita ou de maior fluxo de pessoas ou de atividades).

Armazenamento temporário – consiste na guarda temporária dos recipientes contendo os resíduos já acondicionados, em local próximo aos pontos de geração. Esta etapa procura agilizar a coleta dentro do estabelecimento e otimizar o deslocamento entre os pontos geradores e o ponto destinado à disponibilização para coleta externa. Esta etapa pode ser dispensada, dependendo da distância entre os pontos de geração de resíduos e do armazenamento externo (neste caso o material é encaminhado diretamente para o abrigo para coleta externa).

Armazenamento externo – como o próprio nome da etapa diz, consiste na guarda dos recipientes contendo resíduos até a realização da coleta externa, em ambiente exclusivo (abrigo) e com acesso facilitado para os veículos coletores. Este abrigo de resíduos deve ser dimensionado de acordo com o volume de resíduos gerados, e deve possuir uma capacidade de armazenamento compatível com a periodicidade de coleta do sistema de limpeza urbana local. A edificação deve ser construída em ambiente exclusivo, possuindo, no mínimo, um ambiente separado para atender o armazenamento de recipientes de resíduos do grupo A juntamente com o grupo E,

além de um ambiente para o grupo D. O estabelecimento gerador de RSS, cuja produção semanal não exceda 700 litros e a diária não exceda 150 litros, pode optar pela instalação de um abrigo reduzido.

Coleta externa – nesta etapa ocorre a remoção do RSS do abrigo até a unidade de disposição final, utilizando-se técnicas que garantam a preservação das condições de acondicionamento e a integridade dos trabalhadores e do meio ambiente. No transporte dos RSS podem ser utilizados diferentes tipos de veículos, de pequeno até grande porte, e essa questão vai variar de município para município. Geralmente, para esses resíduos são utilizados dois tipos de carrocerias: montadas sobre chassi de veículos ou do tipo furgão, ambas sem ou com baixa compactação, para evitar que os sacos se rompam.

Tratamento dos RSS – entende-se por tratamento dos resíduos sólidos, de forma genérica, quaisquer processos manuais, mecânicos, físicos, químicos ou biológicos que alterem as características dos resíduos, procurando minimizar o risco à saúde, preservar a qualidade do meio ambiente, a segurança e a saúde do trabalhador. O tratamento pode ocorrer no estabelecimento gerador ou em outro local, observadas as condições de segurança para o transporte entre o estabelecimento gerador e o local do tratamento.

Disposição final – o resíduo é disposto no solo, previamente preparado, obedecendo a critérios técnicos de construção e operação, inclusive com licenciamento ambiental.

Além da gestão dos RSS, o PGRSS tem como objetivo minimizar a produção de resíduos e proporcionar um encaminhamento seguro e eficiente dos resíduos gerados, buscando a proteção dos trabalhadores, a preservação da saúde pública, dos recursos naturais e do meio ambiente, seguindo as orientações contempladas na RDC 306 (ANVISA, 2004) e na Resolução CONAMA 358 (CONAMA, 2005).

Como pode ser observado no passo-a-passo do manejo, o PGRSS deve abranger todas as etapas de planejamento dos recursos físicos, materiais e humanos envolvidos na coleta dos RSS.

Todo gerador de RSS deve elaborar seu plano, baseado nas características dos resíduos gerados e na classificação desses resíduos, estabelecendo diretrizes de

manejo. Na elaboração do PGRSS é feita uma análise quali e quantitativa de cada resíduo gerado dentro da unidade, no intuito de organizar sua forma correta de manuseio, da geração até a destinação final. Nesta análise devem ser consideradas as características e riscos dos resíduos, as ações de proteção à saúde e ao meio ambiente e os princípios da biossegurança – empregar medidas técnicas, administrativas e normativas para prevenir acidentes.

O principal objetivo do PGRSS não é apenas reduzir a quantidade de resíduos com risco biológico, mas também criar uma cultura de segurança e do não desperdício, além do envolvimento coletivo. Em cada unidade de saúde, o Plano deve ser feito em conjunto com todos os setores, definindo-se responsabilidades e obrigações de cada um em relação aos riscos.

O PGRSS implica em mudanças nos estabelecimentos que prestam serviços de saúde. Eles devem se adequar às normas, passando por processos de reformulação nas suas estruturas físicas, bem como promovendo um treinamento contínuo dos seus funcionários, para um correto manejo desse passivo ambiental.

Cada vez mais os órgãos ambientais e de saúde pública se voltam para discutir e criar caminhos, produzindo legislações que orientem os responsáveis públicos e privados a destinar corretamente os diversos tipos de resíduos. Atualmente, uma atenção especial está sendo dada aos RSS. Isso pode ser observado nas normas e legislações mais recentes sobre o assunto (conforme apresentadas na Tabela 3), e também no grande número de estabelecimentos – particularmente hospitais – que estão em processo de adequação ao modelo de gerenciamento, tendo em vista que o gerenciamento interno dos RSS é uma responsabilidade do estabelecimento gerador.

2.4 Coleta e transporte dos resíduos de serviços de saúde

A quantificação dos resíduos produzidos por um estabelecimento é um dado importante para o planejamento do gerenciamento desses resíduos. Segundo Haddad (2006), a produção de resíduos em uma unidade hospitalar depende do tipo de serviço prestado pelo estabelecimento e da sua complexidade, do grau de utilização de produtos descartáveis, da época em que são feitas as medições, do tamanho do hospital e da população do mesmo (pacientes e funcionários), bem

como do número de nascimentos e cirurgias, dos procedimentos adotados na unidade, do tipo de alimentação, entre outros. Esta quantificação pode ser realizada por meio da determinação de sua massa (kg ou tonelada) e/ou de seu volume (litro ou m³).

Ainda de acordo com Haddad (2006), as taxas médias de geração de resíduos sólidos hospitalares, obtidas em diversos países latino-americanos, variam entre 1,0 e 4,5 kg/leito.dia. No Brasil, esta taxa varia entre 1,2 e 3,5 kg/leito.dia.

De acordo com ANVISA (2006), os resíduos infectantes e especiais devem ser coletados separadamente dos resíduos comuns. Já os resíduos radioativos devem ser gerenciados em concordância com as resoluções da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

Pelas normas de acondicionamento, os resíduos infectantes e parte dos resíduos especiais devem ser armazenados em sacos plásticos brancos leitosos e colocados em contêineres basculáveis mecanicamente por caminhões especiais para coleta de RSS. Caso não exista segregação dos resíduos infectantes e especiais, todos aqueles produzidos devem ser acondicionados, armazenados, coletados e dispostos como infectantes.

Como norma de segurança, para se evitar o rompimento dos sacos plásticos contendo resíduos infectantes (ou não segregados) é aconselhável o uso de equipamentos de coleta que não possuam compactação, bem como a presença de dispositivos de captação de líquidos que os tornem herméticos, não permitindo vazamentos. Os resíduos comuns devem ser coletados pela coleta normal ou regular e a coleta dos resíduos de serviços de saúde deve ser diária, inclusive aos domingos.

Como aponta o PGRSS (Seção 2.3), a coleta dos resíduos de serviços de saúde acontece em duas etapas: a coleta interna, ainda dentro da unidade geradora; e a coleta externa, que é o momento em que os resíduos são recolhidos dos abrigos de cada unidade de saúde e levados até o local de disposição final. Este tipo de coleta engloba desde a saída do veículo da garagem, compreendendo o percurso para remoção dos resíduos dos locais onde foram acondicionados, até o local de descarga, seguindo-se o retorno ao ponto de partida.

Cunha e Caixeta Filho (2002) apontam que, geralmente, as rotas (ou roteiros) dos veículos coletores são definidas empiricamente em mapas pelos motoristas, considerando o sentido das vias e as características da área (comercial, residencial, industrial) que influenciam nas frequências e horários da coleta. Este cenário resulta, algumas vezes, em serviços ineficientes e de baixa qualidade.

O itinerário ideal de coleta é definido como a rota ou trajeto que o veículo coletor deve percorrer, num determinado intervalo de tempo, transportando o máximo de resíduos, num mínimo de percurso improdutivo (ocioso), com menos desgaste para o veículo e para a equipe coletora (CUNHA e CAIXETA FILHO, 2002).

Em Belo Horizonte, a coleta de RSS é realizada pela SLU. A Secretaria utiliza 8 caminhões preparados especialmente para este tipo de coleta, pintados na cor branca. De acordo com Catapreta e Simões (2008) estes caminhões recolhem os resíduos produzidos nos 65 hospitais do município, com frequência diária, bem como em 64 clínicas, 38 laboratórios, 8 faculdades, 4 drogarias e uma funerária, com frequência alternada. A coleta conta ainda com 3 furgões de pequeno porte adaptados, que atendem os 134 Postos de Saúde Estaduais e Municipais em dias alternados. Além desses estabelecimentos, cerca de outros 500 estabelecimentos possuem coleta realizada por empresas particulares.

Os investimentos na atividade da coleta, transporte e tratamento dos resíduos, em 2009, permitiram que o município apresentasse o seguinte balanço da coleta (PBH, 2010):

- 557.672 toneladas de resíduos domiciliares coletados na cidade formal;
- 37.142 toneladas de resíduos coletados em vilas e favelas;
- 12.395 toneladas de resíduos de serviços de saúde;
- 155.946 toneladas de resíduos coletados em deposições clandestinas;
- 15.361 carcaças de animais mortos coletadas nas ruas.

2.5 Destinação dos resíduos de serviços de saúde

Os resíduos advêm de diversas origens: domiciliar, comercial, de varrição e feiras livres, serviços de saúde e hospitalares, portos e aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários, industriais, agrícolas e entulhos – e de acordo com a origem necessitam de cuidados especiais na sua destinação final. Infelizmente, a prática

mais comum para a destinação dos resíduos no Brasil ainda é o vazadouro a céu aberto, também conhecido como lixão.

Os vazadouros são depósitos nos quais os resíduos são simplesmente descarregados, sem qualquer tratamento, sobre o substrato rochoso ou solo, o que implica em grande risco de poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas. Proibidos desde 1979, pela Portaria nº 53/1979 do então Ministério do Interior, os vazadouros são ainda uma forma muito utilizada de disposição de resíduos no Brasil.

O aterro controlado é um vazadouro "maquiado", pois nele há cobertura dos resíduos, ainda que nem sempre com frequência. Este tipo de aterro apresenta os mesmos problemas dos vazadouros, tendo em vista que não existem barreiras naturais e/ou artificiais para os contaminantes não atingirem as águas superficiais e subterrâneas, e nem estruturas para captação de gases. Em geral o controle de entrada de animais e catadores e dos resíduos lançados é precário (ANVISA, 2006).

O aterro sanitário, conforme define a NBR 8.419/1984 (ABNT, 1984) é a técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Este método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário. O projeto para a implantação de um aterro sanitário deve contemplar todas as instalações fundamentais ao bom funcionamento e ao necessário controle sanitário e ambiental durante o período de operação e fechamento do aterro (ANVISA, 2006).

Melo (2001), define aterro sanitário como uma forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, dentro de critérios de engenharia e normas operacionais específicas, que proporcionam o confinamento seguro dos resíduos (normalmente, recobrimento com argila selecionada e compactada em níveis satisfatórios), o que evita danos ou riscos à saúde pública e minimiza os impactos ambientais.

De acordo com o Manual de Gerenciamento de Resíduos (ANVISA, 2006) no aterro sanitário ocorre a compactação dos resíduos em camadas sobre o solo

devidamente impermeabilizado (empregando-se, por exemplo, um trator de esteira), bem como o controle dos efluentes líquidos e das emissões gasosas. Diariamente o material depositado é coberto com camada de solo, compactada com espessura de 20 cm, para se evitar proliferação de moscas, aparecimento de roedores, baratas, espalhamento de resíduos pelos arredores e poluição das águas superficiais e subterrâneas.

Cunha e Caixeta Filho (2002) afirmam que o aterro sanitário é o que reúne as maiores vantagens, considerando a redução dos impactos ocasionados pelo descarte dos resíduos sólidos urbanos.

Os aterros para resíduos especiais (perigosos) são utilizados para receber resíduos provenientes de atividades industriais ou de outro tipo de atividade geradora, classificados como perigosos (MELO, 2001). Segundo o autor, estes diferem dos aterros sanitários por apresentarem maiores garantias de segurança, como a colocação de sistemas de revestimento de proteção de base duplos ou compostos e sistemas de detecção de vazamentos, além de cuidados adicionais na operação e manuseio dos resíduos recebidos.

As valas sépticas – também conhecidas como células especiais de resíduos – são empregadas em pequenos municípios, e consistem no preenchimento de valas (trincheiras) escavadas e impermeabilizadas, com largura e profundidade proporcionais à quantidade de lixo a ser aterrada. A terra é retirada com retro-escavadeira ou trator, e deve ficar próxima às valas para, posteriormente, ser usada na cobertura diária dos resíduos. Os veículos de coleta depositam os resíduos sem compactação diretamente no interior da vala e, no final do dia, é efetuada sua cobertura com terra, de forma manual ou por meio de máquina (ANVISA, 2006).

A disposição dos RSS em valas sépticas nos pequenos municípios pode ser considerada uma forma razoável de disposição, tendo em vista as condições financeiras e técnicas de muitos municípios e o pequeno volume de RSS produzido, desde que sejam obedecidos critérios básicos para escolha da área e para operação.

O tratamento térmico por incineração é um processo de tratamento de resíduos sólidos que se define como uma reação química a temperaturas elevadas em que os

materiais orgânicos combustíveis são gaseificados, num período de tempo prefixado, o que resulta na redução do volume. O processo se dá pela oxidação dos resíduos com a ajuda do oxigênio contido no ar (ANVISA, 2006).

De acordo com Dias *et al* (2009) este processo ocorre em dois estágios: no primeiro, os resíduos são submetidos a temperatura mínima de 800° C, na câmara de incineração, tendo como resultado a formação de gases que são processados na câmara de combustão. No segundo estágio, as temperaturas chegam a 1000°C – 1200°C. Concluída a etapa de incineração dos RSS, os poluentes gasosos gerados devem ser processados em equipamento de controle de poluição (ECP) antes de serem liberados para a atmosfera, atendendo aos limites de emissão estabelecidos pelo órgão de meio ambiente. Dentre os poluentes produzidos destacam-se ácido clorídrico, ácido fluorídrico, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, metais pesados, particulados, dioxinas e furanos. Os autores ainda alertam para a questão da geração de cinzas e escórias da câmara de incineração de resíduos e outros poluentes sólidos do ECP. Em geral, eles contêm metais pesados em alta concentração e não podem, portanto, seguir para aterros sanitários, sendo necessário um aterro especial para resíduos perigosos.

A incineração dos RSS não é obrigatória (Resolução CONAMA 358/2005) como meio de tratamento, porém é considerada por muitos técnicos como a forma mais indicada para o seu tratamento e disposição final. Alguns cuidados devem ser tomados antes de se decidir pela instalação de um incinerador, especialmente a exatidão no conhecimento das características dos resíduos a serem queimados (DIAS *et al*, 2009).

Dados do Panorama 2009 (ABRELPE, 2009) apontam, em termos percentuais, que tem ocorrido um crescimento na adequação da destinação final dos resíduos coletados no país. Apesar de a maioria dos municípios darem destinação correta para seus resíduos, ainda existe uma boa parcela que depositam seus resíduos em aterros controlados e vazadouros a céu aberto. Na Tabela 5 é apresentada a quantidade de municípios e a modalidade praticada na destinação final dos seus resíduos, por região do Brasil.

Tabela 5 – Práticas de destinação dos resíduos.

Disposição Final	Regiões					BRASIL
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	
Aterro Sanitário	81	431	146	793	687	2138
Aterro Controlado	105	497	146	630	361	1739
Vazadouro a céu aberto	263	866	174	245	140	1688
BRASIL	449	1.794	466	1.688	1.188	5.565

Fonte: Adaptada de ABRELPE (2009).

Os dados apresentados na Tabela 5 mostram a predominância da disposição final de resíduos em vazadouros nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, em contrapartida à disposição em aterros sanitários nas regiões Sul e Sudeste. Como a própria pesquisa concluiu, as formas corretas de destinação vêm cada vez mais sendo buscadas – embora o país ainda apresente um aumento na produção de resíduos.

Em se tratando da produção dos RSS, dados da pesquisa ABRELPE (2009), apontam para o quadro apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Quantidade de RSS coletada por região.

Região	2008	2009		
	Índice (Kg/hab/ano)	População Urbana (hab)	RSS Coletado (t/dia)	Índice (Kg/hab/dia)
Norte	0,662	11.482.246	7.968	0,694
Nordeste	0,813	38.024.507	31.712	0,834
Centro-Oeste	1,232	11.976.679	17.768	1,484
Sudeste	2,003	74.325.454	152.844	2,056
Sul	0,407	22.848.997	10.978	0,48
BRASIL	1,333	158.657.883	221.270	1,395

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2009).

Em relação à destinação final destes resíduos, a mesma pesquisa aponta que 35,1% dos municípios incineram, 26% enviam para aterros sanitários, 13,2% enviam para vazadouros a céu aberto, 11,5% enviam para valas sépticas, 8,4% autoclavam e 5,8% usam da tecnologia de microondas para tratar dos RSS – como pode ser visto na Figura 1.

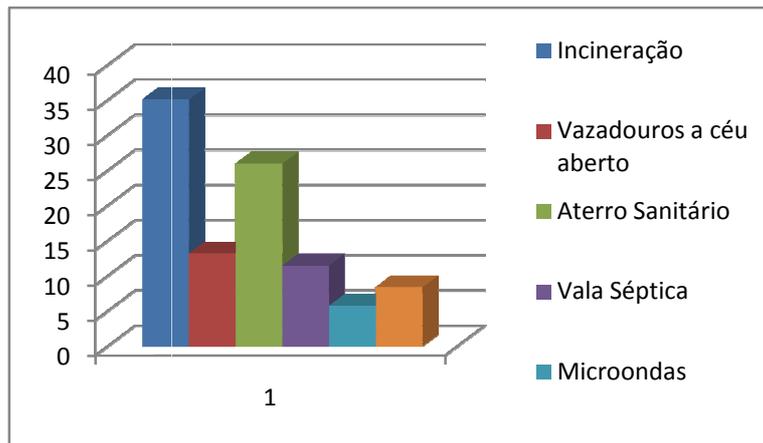


Figura 1 – Gráfico da distribuição dos tipos de destinação final de RSS.

É válido observar que, além dos riscos à saúde, a disposição incorreta dos RSS expõe o meio ambiente, podendo levar à contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas – por meio da percolação do líquido resultante da decomposição da matéria orgânica. Considerando a questão da poluição, Agapito (2007) afirma que também há o risco de contaminação do ar – quando do processo de incineração – devido à emissão descontrolada de poluentes para a atmosfera contendo, por exemplo, dioxinas e furanos.

Em Belo Horizonte, de acordo com Catapreta e Simões (2008), os resíduos coletados no município eram enviados para a Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da BR-040 (CTRS-BR-040) – localizada às margens da Rodovia BR-040, na região Noroeste de Belo Horizonte. A Figura 2 apresenta uma vista aérea da CTRS-BR-040.



Figura 2 – Vista aérea da CTRS-BR-040 de Belo Horizonte.
Fonte: Google. Acesso em: 10/10

3 GEOTECNOLOGIAS APLICADAS A COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE

Neste capítulo é apresentada uma breve revisão da literatura sobre alguns conceitos e ferramentas necessários ao entendimento e desenvolvimento deste trabalho, tais como: sistemas de informações geográficas, redes e roteirização.

3.1 Sistemas de informações geográficas no transporte

A evolução na área da informática nos últimos anos proporcionou o surgimento de uma série de *softwares* capazes de realizar aproximações entre o espaço geográfico e a informação espacializada. Nesta linha, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) surge na década de 50 e consolida-se como ferramenta computacional capaz de representar as realidades geográficas, manipular e armazenar uma grande quantidade de dados e simular cenários diversos (MAGUIRE, 1991; CHOI, 1993).

Os SIG permitem capturar, modelar, manipular, recuperar, consultar, analisar e apresentar dados geograficamente referenciados (BURROUGH, 1986; ARONOFF, 1989; TEIXEIRA *et al*, 1992; CÂMARA, 1995; SANTOS e FERREIRA, 2004). De acordo com Burrough (1986) com um SIG é possível executar análises e operações espaciais complexas, o que o distingue de outros sistemas também capazes de manipular dados espaciais, como os CAD (do inglês *Computer Aided Design*) e demais sistemas de cartografia digital.

Segundo Teixeira *et al* (1992) os SIG são um conjunto de tecnologias integradas para coletar, tratar, visualizar e gerenciar informações georreferenciadas de diversas áreas do conhecimento. Eles permitem o gerenciamento de diferentes tipos de dados e provêm o suporte necessário para aplicações em diversas áreas do conhecimento, servindo como um sistema de apoio à decisão em áreas como o planejamento urbano e ambiental. O georreferenciamento permite que um determinado fenômeno geográfico possa ser localizado espacialmente, utilizando-se um determinado sistema de coordenadas.

Pode-se dizer que o SIG configura-se como um sistema que agrega elementos de tecnologia (equipamentos e programas), de banco de dados (imagens, mapas, dados estatísticos, etc) e de pessoal (usuários treinados, manutenção e suporte

técnico), que se interagem para manipular dados por meio de procedimentos computacionais, sendo o diferencial dos outros sistemas de informação a capacidade de processar análises espaciais (DANTAS *et al*, 1997). Aranoff (1989) aponta para os vários formatos destas análises que proporcionarão diferentes modelos do mundo, enquanto outros refletem diferentes implementações de um mesmo modelo. Um modelo de dados é um conjunto de regras para converter dados geográficos reais em objetos discretos (pontos, linhas, áreas) ou em um *continuum* (células ou triângulos), permitindo assim uma abstração digital ou aproximação do mundo real (ARONOFF, 1989).

Os SIG se apresentam como ferramentas para solucionar problemas de organização e processamento de dados em modelos espaciais. De acordo com Lorena e Narciso (2009), neste tipo de programa os problemas de otimização combinatória aparecem combinados à análise de redes de fluxo (estradas, ruas, canais de comunicação, dentre outros), com os algoritmos clássicos de otimização de fluxo em redes diretamente aplicáveis.

Problemas mais complexos de localização de equipamentos específicos de um determinado local, como silos, armazéns, usinas, indústrias de beneficiamento de produtos agrícolas, escolas (inclusive na zona rural), ambulatórios, terminais de passageiros ou de cargas, garagens de operadoras de transporte coletivo e outras facilidades relacionadas com o transporte de passageiros ou de cargas, bem como problemas de roteamento de veículos, podem ser tratados com os SIG, levando-se em conta uma combinação de informações espacializadas e georreferenciadas (ruas, estradas, endereços, equipamentos urbanos, dentre outros elementos que se deseja localizar).

Santos e Ferreira (2004) apontam que um SIG emprega um banco de dados para armazenamento e recuperação de informações, o qual pode também ser aproveitado para gerar outras formas de análise de dados e facilitar a tomada de decisões. Assim, os SIG apresentam-se como ferramentas adequadas para modelagem e tratamento de problemas com distribuição espacial de dados, nas mais diversas áreas do conhecimento. E, devido as suas potencialidades, têm se tornado ferramenta fundamental para o planejamento urbano, contribuindo nas tomadas de decisões.

Os SIG têm se tornado também um importante instrumento para auxílio na resolução de problemas de transportes, considerando inúmeros tipos de restrições ou condicionantes, apresentando gráficos e resultados na forma de mapas, dentre outros. Assim, na área de transportes, destaca-se o Sistema de Informações Geográficas em Transportes (SIG-T). Este é, de acordo com Lacerda (2003) e Oliveira (2007), um SIG que integra procedimentos para o planejamento, gerenciamento e análise de sistemas de transporte.

As aplicações de SIG-T são diversificadas: transporte coletivo urbano, rodoviário, de carga, coleta de lixo e na engenharia de tráfego. De acordo com Dantas *et al.* (1997), o uso do SIG-T permite, além do acesso a dados descritivos, obtidos em pesquisas de campo, o acesso a dados gráficos como imagens de satélite e fotografias aéreas. A crescente utilização deste tipo de ferramenta pode ser atribuída às características do SIG, que com a evolução dos recursos computacionais, permitiu o desenvolvimento de tecnologias capazes de gerenciar grande quantidade de informações de forma rápida e a custos relativamente baixos (LACERDA, 2003).

No gerenciamento de resíduos sólidos os SIG têm sido o novo foco de estudo dos pesquisadores operacionais. Devido às variáveis envolvidas nos SIGs (espaciais, temporais, sociais, econômicas e regionais), o custo da coleta de resíduos representa uma grande parte do gasto municipal no gerenciamento dos resíduos, e assim a otimização do serviço da coleta – com o desenvolvimento de rotas – pode gerar grande economia (ALDOSARY e ZAHEER, 1996). Estas rotas geralmente são criadas, baseadas em modelos em rede que combinam o conceito espacial de distância com informações de demandas e capacidades de serviços.

3.2 Redes

Modelos em rede têm sido utilizados em grande escala e variadas situações: representação de dutos, sistemas de distribuição, programação de veículos, comunicação, eletricidade, aplicativos de mapas (tipo *Google Maps*) dentre outros (PALLAVICINE, 2001; LORENA, 2009).

As redes são entidades formadas por pontos (nós ou vértices) e linhas (arcos ou arestas) – a Figura 3 apresenta um grafo, forma de representação de rede. Na

modelagem de redes, o conceito espacial de distância é usado, combinado com informações de demandas e capacidades de serviços (LORENA, 2009).

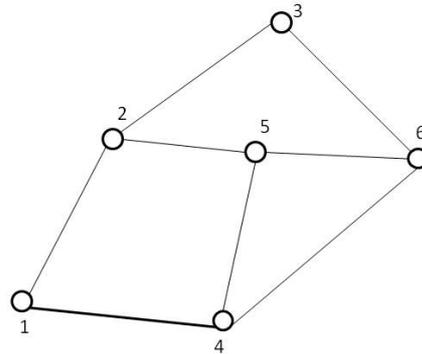


Figura 3 – Rede representada por grafo
Fonte: Pallavicine (2001).

Um arco que liga os nós i e j de uma rede é representado pela notação (i, j) . Diz-se que um arco está dirigido ou orientado, caso permita o fluxo positivo em uma direção e um fluxo zero na direção contrária. Se nenhum dos arcos for direcionado, o grafo é chamado de não orientado. O grafo misto é aquele que apresenta arcos orientados juntamente com arcos sem orientação. A Figura 4 apresenta exemplos de grafo orientado e misto.



Figura 4 – Grafo orientado e grafo misto.
Fonte: Pallavicine (2001).

Um arco é ligado por dois nós. Dois nós ligados por um arco são ditos nós adjacentes. Da mesma forma, os arcos que incidem em um mesmo nó são chamados adjacentes.

O grau de convergência de um nó é dado pelo número de arcos que saem desse nó. O caminho de um grafo não orientado é uma seqüência de nós e arcos adjacentes. No caso de grafos orientados os caminhos são igualmente orientados.

Segundo Pallavicine (2001), uma rota ou caminho é uma seqüência de arcos distintos que une dois nós, sem importar a direção do fluxo de cada arco, como pode ser visto na Figura 5. Um caminho é simples se cada arco aparece apenas uma vez na seqüência de arcos. Uma rota forma um ciclo se conectar um nó com ele mesmo. Um circuito é um círculo no qual todos os arcos estão orientados na mesma direção e os nós, inicial e final, coincidem.

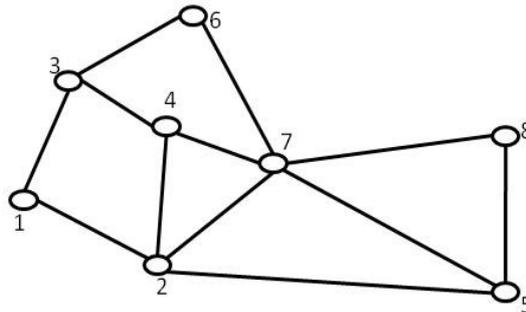


Figura 5 - Caminho em uma rede. (PALLAVICINE, 2001)

Uma rede conectada é aquela na qual dois nós distintos estão unidos pelo menos por uma rota. Uma árvore é uma rede conectada que pode incluir só um subconjunto de todos os nós da rede (sub-grafo), e uma árvore de expansão mínima une todos os nós da rede, sem permitir ciclo nenhum,

Um problema freqüente na otimização proporcionada pela modelagem de redes é a determinação do caminho mais curto entre um ponto de origem e um ponto de destino. O algoritmo de Dijkstra é um dos métodos que permite a resolução desse tipo de problema. O algoritmo é desenhado para determinar rotas mais curtas entre o nó do ponto de origem e cada um dos outros nós da rede (PALLAVICINE, 2001).

Os cálculos do algoritmo se dão de um nó i , imediatamente seguinte a j , utilizando um procedimento especial de classificação. As classificações dos nós no algoritmo de Dijkstra podem ser de dois tipos: temporários e permanentes. Uma classificação temporal pode ser substituída por uma outra classificação se for possível encontrar uma rota mais curta ao mesmo nó. No momento que se evidencie a impossibilidade de encontrar a melhor rota, a classificação temporária passa a ser permanente.

A seguir é abordado o roteamento de veículos – também conhecido como roteirização – e como este vem sendo utilizado por vários segmentos do setor de transporte, associando-se a tecnologia do SIG aos modelos em rede.

3.3 Roteirização de veículos

Cunha (2001) aponta que o termo “roteirização de veículos”, embora não encontrado nos dicionários de língua portuguesa (do inglês *routing* ou *routeing*) vem sendo utilizado para designar o processo de determinação de um ou mais roteiros ou seqüências de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de pontos geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, e que necessitam de atendimento.

Bodin *et al* (1983) apontam que os problemas de roteirização podem ser divididos em três grupos principais: roteirização pura de veículos, programação de veículos e tripulações, e combinação de roteirização e programação de veículos. Nos problemas de roteirização pura, apenas aspectos espaciais ou geográficos são importantes para a definição dos roteiros e das seqüências de atendimentos (coletas ou entregas), deixando-se de lado as condicionantes temporais. Os problemas de roteirização combinados, ou simplesmente problemas de roteirização e programação, ocorrem quando estão presentes restrições de janelas de tempo (horário de atendimento) e de precedência entre tarefas (a coleta deve preceder a entrega e ambas devem estar alocadas ao mesmo veículo). Já a programação de veículos e tripulações pode ser considerada um problema de roteirização com restrições adicionais de tempo, envolvendo restrições mais complexas que nos casos anteriores, tais como restrições operacionais e trabalhistas.

O problema clássico de roteamento de veículos apresenta a seguinte situação: há n clientes espacialmente distribuídos, cada um com uma demanda de produtos. A entrega desses produtos é realizada por uma frota de veículos homogêneos, que partem de uma mesma origem, passa pelos clientes pré-determinados pela rota e retorna ao ponto de partida, neste caso o depósito. Para a solução do problema algumas restrições devem ser seguidas: a quantidade de produtos não deve exceder a capacidade dos veículos, e o tempo de ciclo não deve ser ultrapassado.

Por fim, esse problema pode ter os seguintes objetivos: minimizar a distância percorrida pelos veículos, minimizar o número de veículos, ou minimizar uma combinação de custo de veículos e distâncias percorridas (ASSAD, 1988).

O primeiro problema deste tipo a ser estudado foi o clássico problema do caixeiro viajante (*traveling salesman problem* – TSP): definir um roteiro para uma seqüência de cidades a serem visitadas por um caixeiro viajante, tentando minimizar a distância total percorrida e assegurando que cada cidade fosse visitada exatamente uma vez. Novas restrições vêm sendo incorporadas ao problema do caixeiro viajante, na tentativa de melhor representar os diferentes tipos de problemas que envolvem roteiros de pessoas e veículos, entre os quais: restrições de horário de atendimento, capacidades dos veículos, frotas compostas por veículos de diferentes tamanhos, duração máxima dos roteiros dos veículos, e restrições de tipos de veículos que podem atender determinados clientes (CUNHA, 2001; MELO e FERREIRA FILHO, 2001; MAPA e LIMA, 2005; BREJON e BELFIORE, 2006; LEHMANN *et al*, 2009).

Problemas dessa natureza se resumem ao atendimento de uma demanda, que pode se apresentar na forma de coleta e/ou entrega de pessoas ou mercadorias em uma determinada região geográfica ou espacial. A função objetivo depende da tipologia e das características dos problemas. Os objetivos mais comuns são: minimização da frota de veículos, minimização do custo operacional, minimização do tempo de transporte, minimização da distância percorrida, maximização do benefício e do nível de serviço (LEHMANN *et al*, 2009).

Os problemas de roteirização de veículos pertencem a uma categoria ampla de problemas de pesquisa operacional conhecida como Problemas de Otimização de Rede. Nessa categoria encontram-se problemas clássicos, como Problema de Fluxo Máximo, Problema do Caminho Mais Curto, Problema de Transporte, Problema de Designação (BREJON e BELFIORE, 2006).

Para Lorena e Narciso (2009), os problemas de localização e roteirização podem ser tratados como modelos em redes. Segundo os autores, estes problemas ocorrem, tipicamente, em um espaço discreto – no qual o número de locais possíveis e o número de caminhos entre os locais são finitos. Nestas redes – entidades formadas por pontos (nós ou vértices) e linhas (arcos ou arestas) – os

nós correspondem às interseções das vias de transporte e os arcos correspondem aos diversos caminhos que compõem as vias.

Brejon e Belfiore (2006) apontam que uma das dificuldades para modelar e resolver um problema de roteirização surge com a grande quantidade de parâmetros que podem influenciá-lo. Uma classificação adequada destes problemas permite uma melhor compreensão dos aspectos mais relevantes, os quais devem ser considerados com maior atenção quando da proposição de algum procedimento para solução, já que o tipo de problema e seus parâmetros direcionam a estratégia de solução a ser adotada.

Para Lacerda (2003) várias características distinguem os problemas de roteirização. A mais importante destas características inclui a localização da demanda em nós ou sobre arcos da rede, a restrição de capacidade do veículo e o objetivo que define o melhor roteamento. Atualmente, a grande maioria dos roteirizadores são dotados de recursos computacionais, matemáticos e gráficos, que proporcionam plataformas cada vez mais amigáveis em termos de interface com o usuário (MELO e FERREIRA FILHO, 2001). A determinação de uma rota para atender os clientes de determinado ramo ficou mais fácil e dinâmica, a partir do momento em que os roteirizadores permitem a geração de gráficos.

Neste contexto tem surgido sistemas denominados Sistemas de Roteirização e Programação de Veículos (SRPV), ou simplesmente Roteirizadores, os quais são sistemas computacionais que, por meio de algoritmos (geralmente heurísticos) e de uma base de dados apropriada, são capazes de obter soluções para os problemas de roteirização e programação de veículos (PRPV). Essas soluções para os PRPV são satisfatórias, consumindo tempo e esforço de processamento relativamente pequenos, quando comparados aos gastos nos tradicionais métodos manuais (MELO e FERREIRA FILHO, 2001).

Atualmente os sistemas de roteirização podem considerar vários tipos de restrições ou condicionantes que tornam possível a obtenção de modelos próximos da realidade. Além disso, são dotados de recursos gráficos e podem fornecer resultados (como roteiro e programação de cada veículo, relatórios de utilização dos veículos, relatórios de programação do motorista etc.) que são de grande importância para o processo de tomada de decisão (MELO e FERREIRA FILHO,

2001). Os autores afirmam que a integração dos SIG aos modelos de roteirização e programação permitiu a concepção dos chamados Sistemas de Apoio à Decisão Espacial (SADE).

Batata (2003) destaca que, na programação e roteirização de veículos, os cálculos das distâncias e dos tempos de viagem são fundamentais em qualquer sistema de roteirização e programação. Eles permitem apresentar, quando inserido no meio urbano, algumas restrições que na prática podem impossibilitar os roteiros programados, como mão-de-direção e movimentação (permissão de conversão, retornos e cruzamentos, por exemplo). Assim, o SIG é um instrumento que possibilita, por meio de uma representação mais precisa e detalhada do sistema viário, localizar automaticamente os endereços e determinar os tempos de viagem entre os pontos a serem servidos, assim como os respectivos itinerários. O SIG utiliza algoritmos de percursos mínimos, conforme o tempo mínimo ou distância mínima, ou uma ponderação de ambos.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a metodologia adotada no desenvolvimento deste trabalho, a qual compreende as seguintes etapas: caracterização do município, seu sistema viário e frota; levantamento, aquisição e compilação da sua base cartográfica digital; levantamento de informações técnicas; georreferenciamento dos estabelecimentos de saúde em estudo; quantificação do volume de resíduos; incorporação dos dados levantados – relacionados com os estabelecimentos geradores de resíduos – à base digital; e modelagem de rotas a partir dos dados obtidos.

4.1 Levantamento, aquisição e compilação da base cartográfica digital

Nesta etapa foram realizadas as pesquisas e adquiridos os dados cartográficos existentes e necessários para execução do trabalho, considerando a escala definida: vias, eixos de logradouros e localização dos estabelecimentos do setor de saúde do município – em estudo. Após a aquisição os dados foram compilados numa única base, ou seja, no sistema de referência espacial e projeção definido para o projeto. Neste trabalho é adotada a projeção UTM – SAD69 – Fuso 23 Sul. Além desta compilação, foram realizadas edições para corrigir a topologia da rede correspondente a malha viária a ser utilizada.

4.2 Levantamento das informações técnicas

As informações técnicas foram obtidas por meio de consultas aos processos de licenciamento ambiental, aprovados na Secretaria de Meio Ambiente (SMMA) até a data da pesquisa. Mais especificamente, foram analisados os PGRSS, nos quais são apresentados todos os dados referentes aos estabelecimentos do setor de saúde: tamanho da edificação, quantidade de leitos, tipos de atendimento, quantidade e tipologia dos resíduos gerados, órgão ou empresa responsável pela coleta dos resíduos, entre outros.

4.3 Georreferenciamento dos estabelecimentos de saúde

O georreferenciamento, neste caso, consistiu em tornar conhecidas as coordenadas, em um dado sistema de referência, das unidades de serviços de

saúde de interesse. Assim sendo, conhecidos os endereços das unidades em questão, as suas coordenadas geográficas puderam ser coletadas, via mapas existentes, sistema de posicionamento global (GNSS, do inglês *Global Navigation Satellite Systems*), outros métodos de campo ou ainda por meio do *Google Maps* (<http://maps.google.com/>), e inseridas na base cartográfica digital (vias, eixos de logradouros e localização dos estabelecimentos do setor de saúde), obtida na Etapa 2, descrita na Seção 4.14.2. Neste trabalho as coordenadas das unidades de serviços de saúde de interesse foram obtidas por meio do *Google Earth*. A partir do endereço da unidade de serviço de saúde, encontrava-se a mesma e retirava-se uma coordenada da edificação.

4.4 Quantificação dos resíduos de serviço de saúde

A quantificação do volume de resíduos se deu com base nos dados dos PGRSS das unidades de serviços de saúde, apresentados nos processos de licenciamento. Foi possível, assim, quantificar o volume de resíduos produzido por cada estabelecimento. Como já mencionado na Seção 4.3, o PGRSS deve apresentar todos os dados referentes à unidade de saúde, dentre eles a quantidade de resíduos gerada (por tipologia), como também o órgão ou empresa responsável pela coleta.

4.5 Incorporação dos dados levantados dos estabelecimentos geradores à base digital contendo os estabelecimentos geradores

Na etapa de incorporação dos dados (vias, eixos de logradouros e localização dos estabelecimentos do setor de saúde) estes foram compilados, convertidos, editados e inseridos na base cartográfica digital elaborada (Seção 4.2).

4.6 Modelagem de rotas a partir dos dados obtidos

Esta etapa da metodologia está baseada na literatura sobre a utilização de SIG no transporte de encomendas e mercadorias em geral, uma vez que a literatura que trata do assunto SIG e transporte de RSS é bastante reduzida.

A modelagem das rotas utilizando o algoritmo de Dijkstra (PALLAVICINE, 2001) permite encontrar o melhor caminho entre dois pontos numa região determinada, no menor tempo possível e ao menor custo, considerando fatores de impedância

(também conhecidos como restrições e variáveis). Nesta etapa é considerado como impedância o sentido das vias, mas várias outras podem ser acopladas ao modelo, e tudo isso dependerá do tipo de resposta que se espera do mesmo.

Os problemas dessa natureza (conhecidos como PRV) nos permitem modelar rotas determinando a ordem em que os clientes serão atendidos, de forma a não se violar restrições e a otimizar alguma função objetivo, no nosso caso o menor caminho e a menor quantidade de veículos em circulação (Seção 3.2). Assim, pode-se criar mais de uma rota e, respeitando-se as impedâncias, optar pelo melhor caminho.

Como já dito anteriormente (Seção 4.4), neste primeiro momento, no qual se tem uma determinada quantidade de resíduos a ser coletada por apenas um veículo, em uma única viagem, o modelo não está sendo testado em toda sua complexidade (necessidade de mais de um veículo, cada um efetuando mais de uma viagem, mas sem perder de vista a função objetivo).

No Capítulo 5 é apresentado um exemplo de aplicação da metodologia descrita, aplicada em relação a alguns estabelecimentos de serviços de saúde. Os estabelecimentos foram escolhidos com base nos processos de licenciamento ambiental, selecionando-se aqueles que contavam com PGRSS aprovado no município de Belo Horizonte até o mês de novembro de 2009 (listados na Tabela 6).

5 MODELAGEM DAS ROTAS

Para exemplificar a aplicação da metodologia de modelagem das rotas proposta neste trabalho (Capítulo 4) procurou-se um ambiente que proporcionasse a análise e modelagem de problemas de redes (ruas, redes elétricas, dutos etc.) e uma contribuição para as atividades de gerenciamento de tráfego urbano e melhoria do meio ambiente.

Geralmente os problemas de rede encontram-se baseados em um modelo de dados vetorial. Neste, uma rede é constituída por arcos e nós, sendo os últimos uma confluência de dois ou mais arcos. Assim, na modelagem clássica de um sistema de transportes, os arcos representam as ruas, rodovias ou estradas, e os nós representam os cruzamentos entre as vias, os depósitos de mercadorias etc.

Assim, a coleta e transporte de RSS, uma das várias operações de transporte inerentes a uma cidade (como transporte coletivo, de cargas e encomendas, serviços de transporte de passageiros, dentre outros), se faz via de regra a partir de uma origem (nó), visitando vários pontos de coleta (nós) seguindo um determinado trajeto (arcos) e concluindo o trajeto (arco) no local de tratamento e/ou disposição final dos resíduos (nó).

A implementação da metodologia proposta para modelagem de rotas foi feita pelo *software* ArcGIS – Versão 9.2 (ESRI, 2006), com sua extensão *Network Analyst* (ESRI, 2006). Para exemplificar a aplicação desta metodologia é utilizada a malha viária do município de Belo Horizonte e os dados de RSS de alguns estabelecimentos de serviços de saúde (extraídos dos respectivos processos de licenciamento ambiental e PGRSS (listados na Tabela 6).

A seguir são apresentados os passos de implementação e aplicação desta metodologia.

Os dados espaciais coletados e utilizados no desenvolvimento da modelagem das rotas são:

- eixos de vias –arcos referentes aos eixos das vias (linha central ao longo de uma rua, ou avenida – por exemplo) da cidade (formato vetorial);
- quadras de Belo Horizonte (formato vetorial);

- estabelecimentos do setor de saúde – planilha em formato Excel, contendo entre outras informações as coordenadas de localização dos mesmos, que foi transformada na camada de dados referente à localização das unidades³;
- quantidade de resíduos gerada pelos estabelecimentos do setor de saúde em análise.

O primeiro passo para a modelagem das rotas foi a preparação da base cartográfica digital (vetorial), contendo os dados coletados (citados na Seção 4.2) da área de estudo. Essa base representa o resultado das pesquisas e gestões junto aos órgãos envolvidos nos processos gerenciamento dos RSS.

Esta preparação consiste nas transformações de sistemas de coordenadas dos dados cartográficos para um único sistema de coordenadas, adição de camadas de dados (*layers*) a um mapa, edição e complementação dos dados adquiridos. A camada “eixos de vias” (arcos), juntamente com a camada “estabelecimentos do setor de saúde” (com a localização de cada unidade, acompanhada da localização da garagem de onde partem os caminhões e do aterro sanitário), são os dados principais para o trabalho.

A camada “eixos de vias”, ilustrada na Figura 6, além de trazer a denominação das vias, informa a numeração inicial e final das quadras que compõem cada rua. Ao longo dos seus arcos foi possível definir o sentido das vias (mão e contra-mão) – uma informação crucial para a modelagem das rotas.

³Os dados referentes a alguns estabelecimentos de serviços de saúde foram coletados entre os dias 17 e 21/11/2008. Até esta data já haviam sido aprovados pela SMMA o licenciamento de 10 unidades de serviços de saúde: Hospitais - Belo Horizonte, Unimed Dia e Maternidade, Life Center, Madre Teresa, Mario Pena, Mater Dei, Santo Ivo, Sarah, Unimed – cooperativa e Vera Cruz, além de duas (2) clínicas.

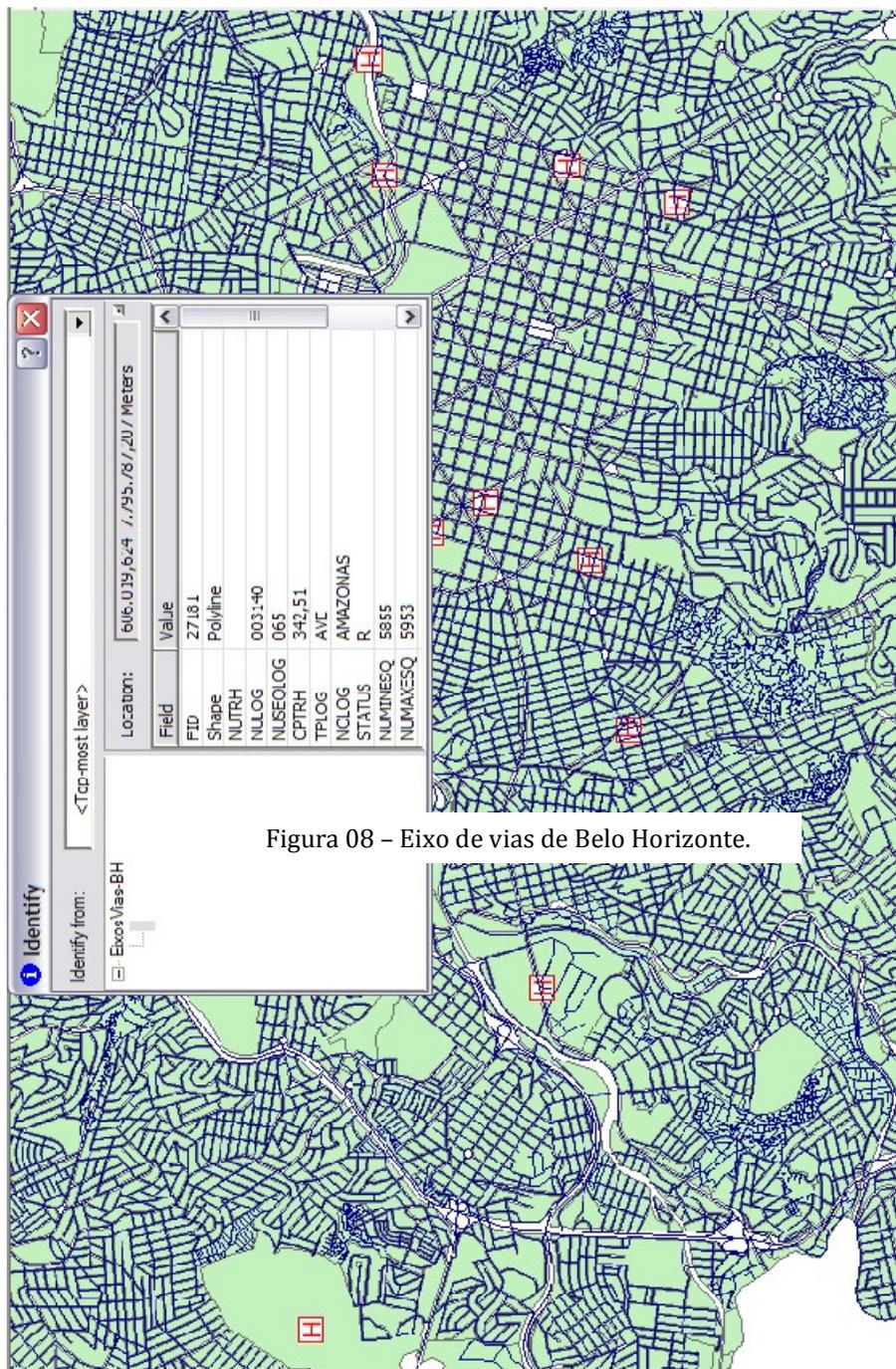


Figura 08 – Eixo de vias de Belo Horizonte.

Figura 6 – Localização dos estabelecimentos do setor de saúde em estudo.

A camada “estabelecimentos do setor de saúde” apresenta, além das coordenadas geográficas dos estabelecimentos de saúde em estudo, as quantidades de resíduos geradas por cada um destes estabelecimentos e o responsável pela sua coleta (ilustrado na Figura 7).

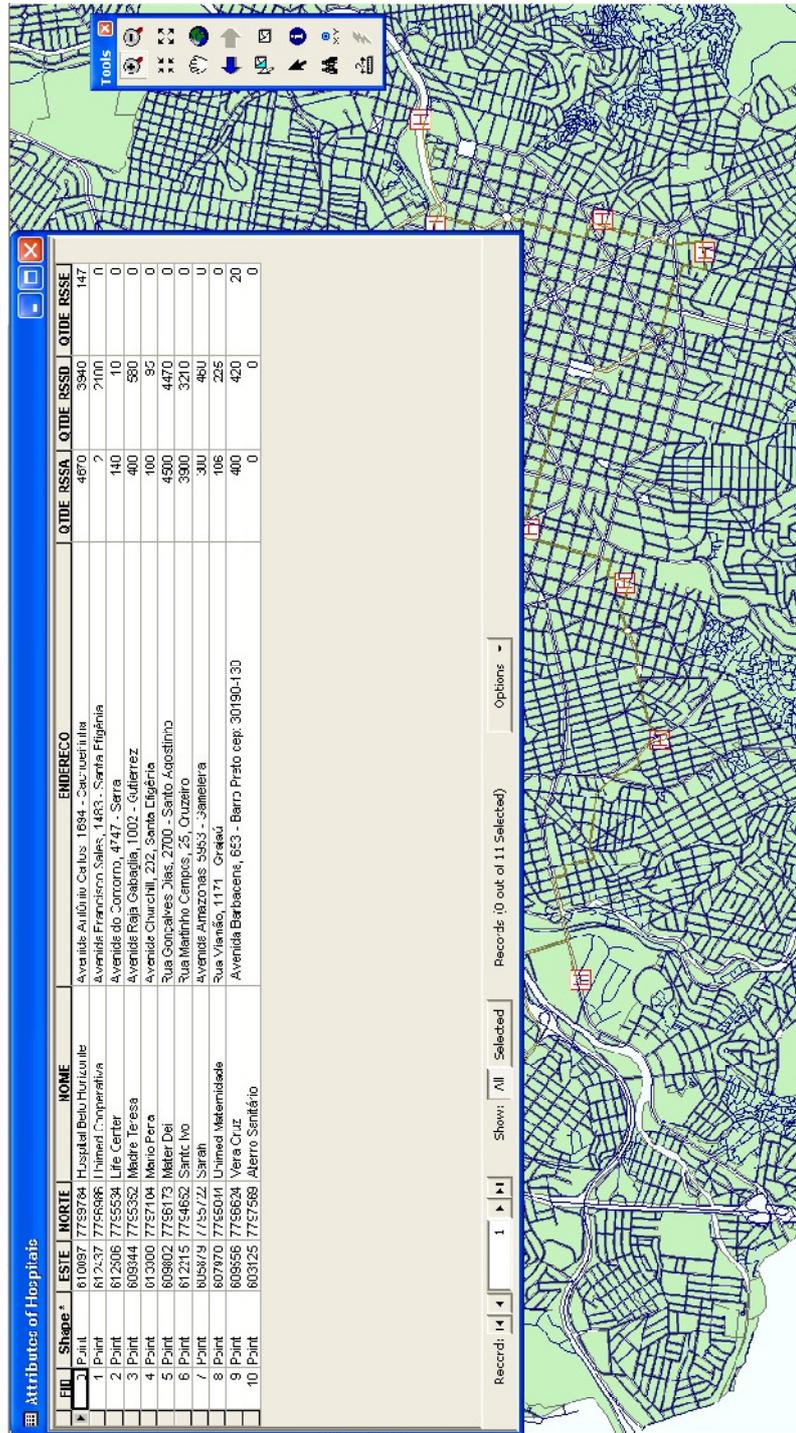


Figura 7 – Consulta à base de dados.

A ferramenta utilizada para o desenvolvimento das rotas (ArcGIS – *Network Analyst*) provê análises espaciais baseadas em rede, incluindo roteamentos e direções de viagem, além de proporcionar plataforma para otimizar a organização dos esforços de campo, definindo seqüências de coleta e entrega e possibilitando uma melhoria nos desvios da cadeia criada.

As condições das redes criadas podem ser modeladas de forma dinâmica, ou seja, incluindo mudanças de restrições, limites de tempo e de altura, além de condições de tráfego em diferentes horas do dia.

Após a montagem da base de dados, passou-se para a modelagem das rotas propriamente dita, seguindo os passos descritos a seguir.

- 1) Num primeiro momento definiu-se os pontos (estabelecimentos do setor de saúde – estes encontram-se georreferenciados no mapa de ruas de Belo Horizonte) que devem ser visitados pelo veículo de coleta.
- 2) Em seguida passou-se para a conexão entre a rede e o ponto a serem visitados (esta operação deve ser executada para cada um dos pontos de coleta). Além de georreferenciados, estes pontos passam a estar conectados a rede da malha viária, conforme ilustrado na Figura 8.



Figura 8 – Definição dos pontos de coleta.

3) A ordem das paradas é definida pelo usuário, e pode ser determinada atendendo às impedâncias necessárias. Assim, as paradas para coleta são determinadas por ordem de criação. No caso deste trabalho o ponto de partida e de chegada do caminhão coletor é o mesmo – a CTRS-BR-040, para se evitar que os veículos trafeguem distâncias maiores com muita carga. Após a definição da ordem de paradas devem ser definidas as impedâncias (tempo de percurso, retornos à esquerda em via de mão dupla, vias de mão única), conforme ilustrado na Figura 9, para que a análise da rede seja executada.

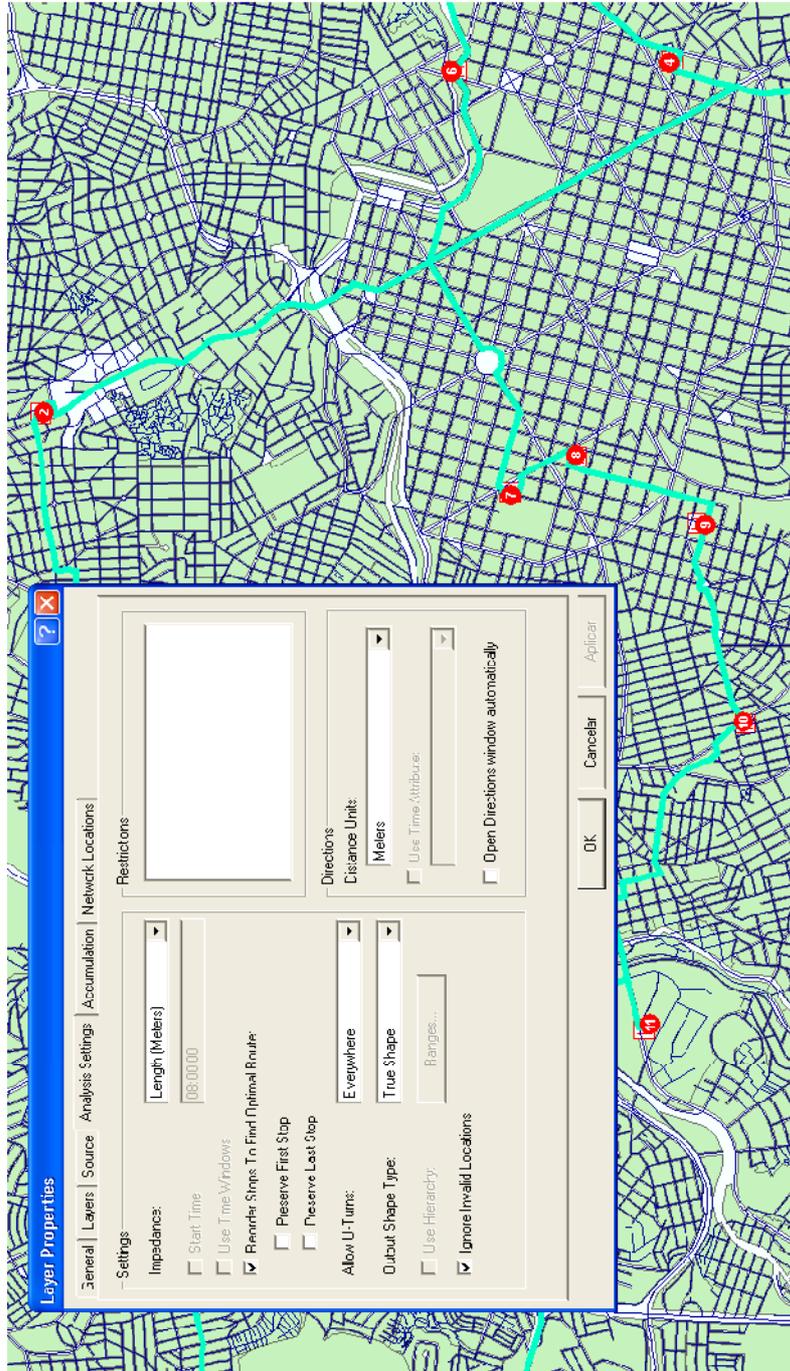


Figura 9 – Definição dos parâmetros de análise.

- 4) Após a definição das impedâncias e execução dos procedimentos necessários, a rota é gerada. Como pode ser visto na Figura 10, a rota é apresentada na tela – sobre o mapa – e também na listagem de rotas criadas, logo abaixo da relação de pontos criados.
- 5) A partir da geração da rota tem-se também uma descrição do percurso da rota, conforme ilustrado nas Figuras 10 e 11, em forma de direções de percurso. Por exemplo, “converta à direita na rua em *tal rua* e percorra *x m*”. A cada rota gerada, além da descrição dos percursos das rotas, têm-se também as distâncias a serem percorridas pelos veículos.

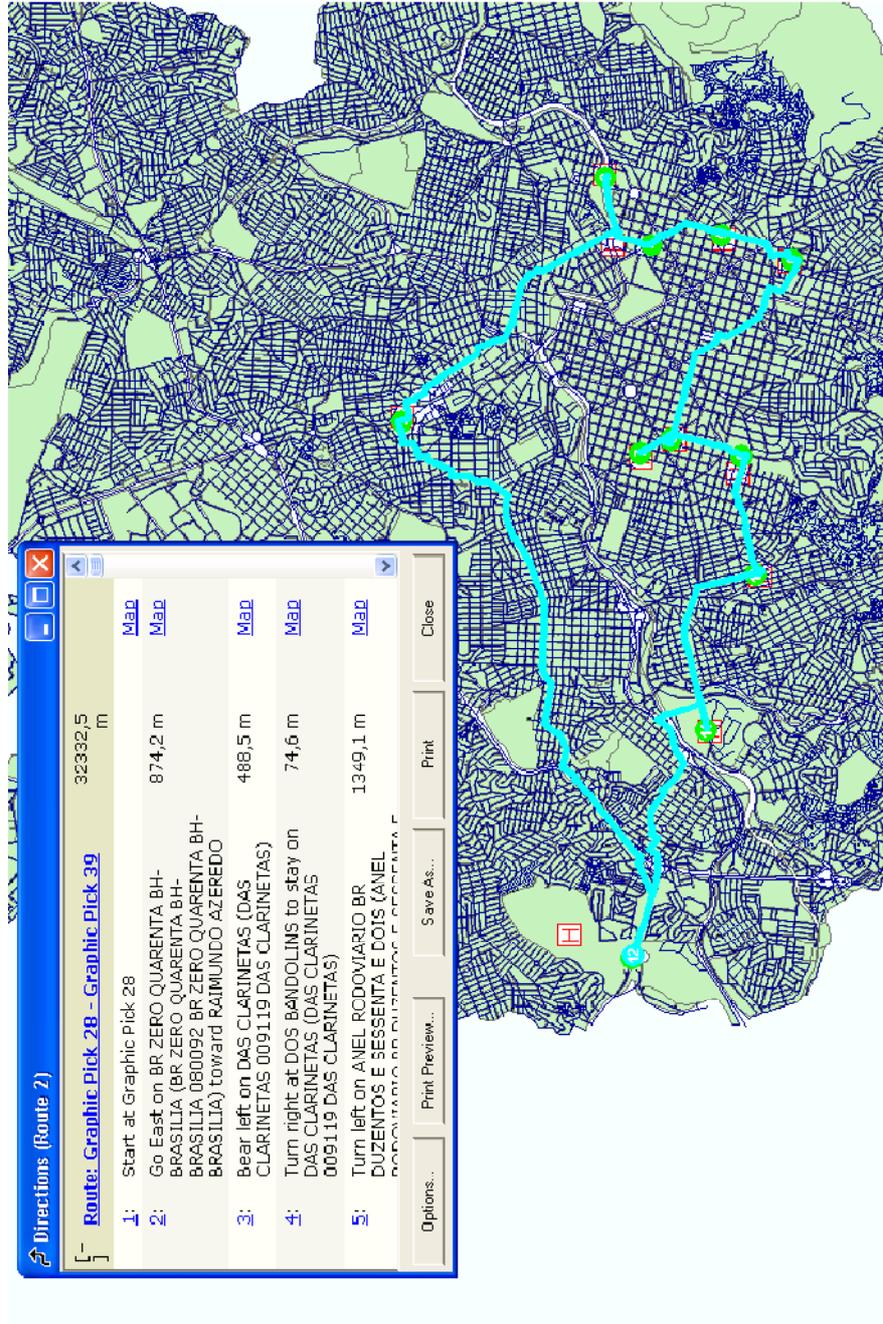


Figura 10– Resultado da rota seguindo determinados parâmetrosroteiro.

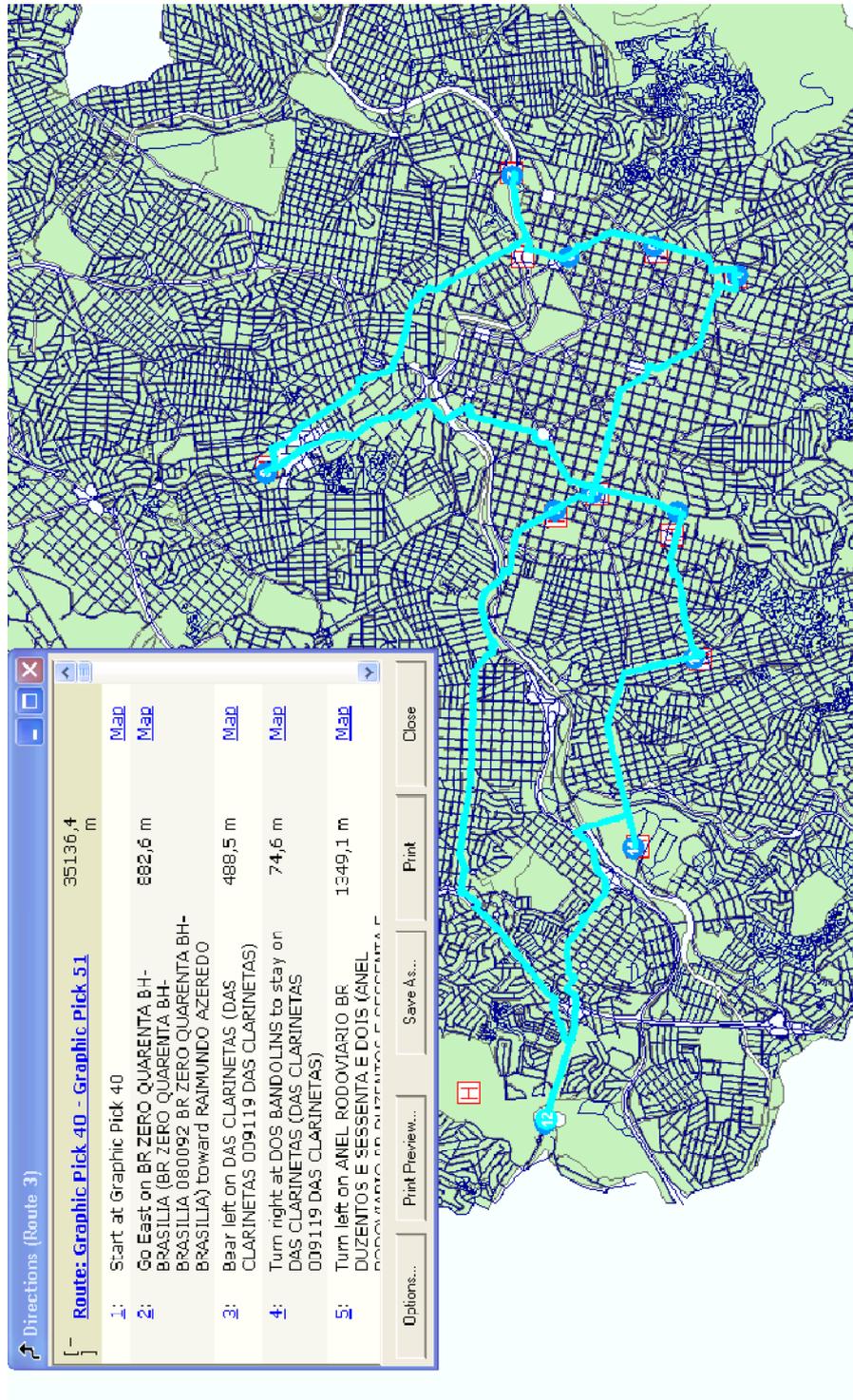


Figura 11 – Rota seguindo outros parâmetros.

Assim, se a rota gerada não satisfizer às necessidades do planejador, basta definir novas restrições e executar uma nova rota. É possível a inserção ou retirada de estabelecimento de saúde e a alteração dos dados referentes aos estabelecimentos – como por exemplo, a quantidade de resíduos gerados, entre outros parâmetros.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Pode-se afirmar que, por meio da metodologia proposta, foi alcançado o objetivo do trabalho, ou seja, contribuir para a gestão dos resíduos de serviços de saúde proveniente de hospitais do município de Belo Horizonte, oferecendo uma alternativa para a modelagem de rotas que atendam à atividade de coleta e transporte dos RSS.

Na revisão da literatura pôde-se perceber que as prefeituras encontram-se numa fase de quebra de resistência à entrada de novas tecnologias no auxílio à gestão municipal. Sendo assim, talvez se possa justificar a falta dos SIG-T não somente na coleta e transporte de resíduos, mas também no controle da frota de coleta de resíduos. As empresas privadas, ligadas ao gerenciamento de resíduos, já perceberam que as novas tecnologias de gestão – apesar do investimento inicial necessário – tendem a contribuir positivamente no processo. Acredita-se que a partir do momento em que, pelo volume de coleta, for possível determinar a frota e dimensionar a quantidade de viagens realizada por cada um dos veículos coletores, aconteça uma redução de custos no processo e o uso da ferramenta transforme-se em um atrativo econômico.

Outro ponto de interesse ambiental ligado à automatização de determinados processos diz respeito à poluição atmosférica. No caso da coleta especial dos RSS visa-se uma destinação correta dos mesmos, porém coloca-se nas ruas mais veículos para circular, contribuindo para a poluição do ar. A partir do momento em que se torna possível reduzir a frota em circulação, pode-se aumentar a frequência de manutenção da mesma, e assim manter os veículos circulando dentro dos padrões ambientalmente admissíveis.

Também há que se considerar a questão do congestionamento das vias urbanas, problema que nitidamente se agrava a cada dia. A redução da frota de coleta e transporte e o estudo de melhores horários para a sua circulação podem fazer uma diferença visível em uma cidade. Além do mais, a redução do risco de acidentes, considerada como ganho para a população, poderá ser contabilizada como impacto positivo de uma efetiva roteirização dos coletores de RSS.

Na aplicação do modelo foi possível verificar que os dados necessários para uma análise dessa natureza são relativamente simples. Basicamente, foram utilizadas a representação espacial da malha viária – contendo o eixo das vias e suas interseções – dada por arcos e nós, formando uma rede, a representação espacial dos pontos, referentes à localização dos estabelecimentos do setor de saúde e as quantidades por elas geradas.

Reunindo-se essa base de dados ao potencial das ferramentas SIG – as quais, além de manipular, armazenar e visualizar dados, são capazes ainda de gerar modelos representativos da realidade – pode-se dizer que existe um ganho de tempo na solução de problemas de roteamento em centros urbanos.

Em relação a inserção de novos dados, é importante destacar que a entrada destes é relativamente simples. No caso dos testes realizados neste trabalho optou-se pela entrada de dados por meio de uma planilha no formato Excel, a qual contém os dados dos estabelecimentos do setor de saúde. Assim, com a aprovação de novos PGRSS, basta inserir os dados correspondentes na planilha, para em seguida processá-los novamente no *software* selecionado para a geração de rotas.

Entretanto, cabe ressaltar algumas considerações relativas ao desenvolvimento do trabalho:

- 1) A quantificação dos resíduos a serem coletados foi retirada de processos de licenciamento ambiental das unidades em estudo. Segundo informações obtidas pelo órgão responsável pela coleta dos resíduos dos estabelecimentos do setor de saúde, a quantificação real dos resíduos é feita quando o licenciamento é aprovado junto à Secretaria Municipal de Meio Ambiente e a coleta específica dos resíduos tem início pela SLU.
- 2) Como até a época da coleta de dados apenas 10 estabelecimentos do setor de saúde (Hospital Belo Horizonte, Hospital *Life Center*, Hospital Madre Teresa, Hospital Mario Pena, Hospital *Mater Dei*, Hospital Santo Ivo, Hospital Sarah Kubitschek, Hospital Unimed Dia e Maternidade e Hospital Vera Cruz) tinham suas licenças ambientais aprovadas, não foi possível trabalhar a questão da setorização da coleta – que se faz necessária geralmente devido às cargas existentes e à capacidade dos veículos. Isso

ocorreu porque a quantidade total de RSS envolvida no trabalho não excedeu a capacidade máxima de um veículo de 12 toneladas.

Embora o exemplo de aplicação da metodologia proposta utilize apenas os dados dos estabelecimentos do setor de saúde com licenciamento aprovado até novembro de 2009, o conjunto de funções e métodos pode ser empregado também no desenvolvimento de aplicações mais complexas na solução de problemas de roteamento para a coleta de RSS.

Os roteirizadores permitem um monitoramento eficaz dos serviços de coleta, além de possibilitarem a sua reorganização, dimensionando setores e criando rotas, e garantindo assim um grau de excelência às atividades de coleta de RSS. A ferramenta de roteirização utilizada fornece informações detalhadas do percurso, auxiliando o motorista a seguir a seqüência de pontos de coleta estabelecida.

Verifica-se que o uso de roteirizadores justifica-se e se consolida como uma ferramenta de suporte à gestão municipal. Portanto, acreditamos que as informações geradas neste trabalho possam contribuir para a gestão dos serviços de coleta de RSS, auxiliando no planejamento de novos percursos para a sua realização. A rota apresentada pode ser reavaliada todas as vezes que houver modificações físicas na rede viária e/ou alteração nos locais de coleta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução nº 306 de 2004. Regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos de serviço de saúde.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília/DF, 10 de dezembro 2004.

_____. **Manual de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde.** Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília/DF, 2006.

ALDOSARY, A. S. e ZAHEER, S. A. An application mechanism for a GIS-based maintenance system: the case of Kfupm. **Computational, Environmental and Urban Systems**, n. 6, v. 20, p. 399-412. 1996.

ARONOFF, S. **Geographical information systems: a management perspective.** Ottawa: WDL Publications. 1989. 294 p.

ASSAD, A. Modeling and implementation issues in vehicle routing. In: GOLDEN, B.; ASSAD, A. (eds), **Vehicle routing: methods and studies.** North-Holland, Amsterdam, p. 7-45, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2009. Disponível em: http://www.abrelpe.org.br/panorama_2009.php. Acesso em 15/07/2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9190: sacos plásticos para acondicionamento de lixo.** Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR 10.004: resíduos sólidos – classificação.** Rio de Janeiro, 2004.

AGAPITO, N. Gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. **ESTUDOS REALIZADOS: GELOG/UFSC**, 2007.

BATATA, A. G. R. O uso do SIG na roteirização de veículos de coleta de resíduos sólidos urbanos. IN: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Joinville/SC, Setembro de 2003.

BODIN, L. D.; GOLDEN, B.; ASSAD, A.; BALL, M. Routing and scheduling of vehicles and crews: the state of the art. **COMPUTERS AND OPERATIONS RESEARCH**, vol. 10, n. 2, 1983

BORGES, M. E. **Seminário legislativo lixo e cidadania: políticas públicas para uma sociedade sustentável.** Assembléia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2005.

BRASIL. Constituição Federal, de 05.10.88. Atualizada com as Emendas Constitucionais Promulgadas.

BRASIL. Lei 9433, de 08 de janeiro de 2007. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União.** 8 de jan. 2007. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acesso em: 15 jan. 2007.

BREJON, S. R. C.; BELFIORE, P. P. A importância do enfoque sistêmico para problemas de roteirização de veículos. **REVISTA PESQUISA E DESENVOLVIMENTO ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. N. 5, p. 64-86, jun 2006.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Nova York: Oxford University Press. 1986. 193 p.

CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. 1995. 264p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos/SP, 1995.

CATAPRETA, C. A. A.; SIMÕES, G. F. Avaliação da compactação de resíduos de serviços de saúde. IN: XXXI CONGRESSO INTERAMERICANO AIDIS, Santiago – CHILE. 12 – 15 Outubro de 2008.

CHOI, K. **The implementation of an intergrated transportation planning model with GIS and expert systems for interactive transportation planning**. Tese (Doutorado). Illinois, Estados Unidos, 1993.

CINTRA, I. S. **Estudo da recirculação de chorume cru e chorume inoculado na digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos**. 2003. 326 p. Tese (Doutorado em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte/MG, 2003.

CINTRA, I. S.; MIARI, R. Levantamento da situação do processo licenciamento ambiental do setor saúde em Belo Horizonte – MG – Brasil – 3ª etapa. IN: XIII SILUBESA – SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Figueira da Foz/Portugal, 2006.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL (COPAM). **Deliberação Normativa nº 7 de 1981. Fixa normas para disposição de resíduos sólidos**. Diário do Executivo Minas Gerais, 14 de outubro de 1981.

_____. **Deliberação Normativa nº 52 de 2001. Convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistema adequado de disposição final de lixo e dá outras providências**. Diário do Executivo Minas Gerais, 15 de dezembro de 2001.

_____. **Deliberação Normativa nº 97 de 2001. Estabelece diretrizes para a disposição final adequada dos resíduos dos estabelecimentos dos serviços de saúde no Estado de Minas Gerais e dá outras providências**. Diário do Executivo - "Minas Gerais", 12 de junho de 2006.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 5 de 1993. Gerenciamento de resíduos sólidos, oriundos de serviço de saúde**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília/DF, 01 de agosto 1993.

_____. **Resolução nº 307 de 2002. Procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília/DF, 05 de julho 2002.

_____. **Resolução nº 358 de 2005. Tratamento e a destinação final dos resíduos de serviço de saúde**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília/DF, 29 de abril 2005.

CUNHA, C. B. Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais. TRANSPORTES, ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. Rio de Janeiro/RJ, v. 8, n. 2, 2001, p. 51-74.

CUNHA, V.; CAIXETA FILHO, J. V. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. **GESTÃO & PRODUÇÃO**, v.9, n.2, ago. 2002, p. 143-161.

CUSSIOL, N. A. M. **Disposição final de resíduos potencialmente infectantes de serviços de saúde em célula especial e por co-disposição com resíduos sólidos urbanos**. 2005. 313 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte/MG, 2005.

DANTAS, A. S.; TACO, P. W. G.; BARTOLI, S. P.; YAMASHITA, Y. Aplicações dos sistemas de informações geográficas em transportes sob o enfoque da análise espacial. IN: PROCEEDINGS OF THE IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO. São Paulo, 1997, p. 469-477. Brazil.

DEMAJOROVIK, J. Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão dos resíduos sólidos: as novas prioridades. **REVISTA DE ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS**. São Paulo/SP, v. 35, n. 3, Mai/jun 1995, pag. 88-93.

DIÁRIO DO EXECUTIVO. **Lei Estadual Nº 13.976**. Minas Gerais, 21 de dezembro de 2000.

DIÁRIO OFICIAL DO MUNICÍPIO. **DECRETO Nº 12.165**. Poder Executivo, Ano XI - Edição n.2446. Belo Horizonte, 15 de setembro de 2005.

DIAS, L. M. A.; FARIA, R. C.; CARVALHO, T. A. H.; LEITE, B. A. M. P.; OLIVEIRA, S. F. **Incineração de resíduos de serviços de saúde-lixo hospitalar: uma oportunidade de receita para o hospital escola de Itajubá**. SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Resende/RJ. Outubro de 2009. Disponível em: <http://www.aedb.br/seget/artigos09/274_274_Artigo_Seget.pdf>. Acesso em 04 jun. 2010.

ENVIRONMENT SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGIS network analyst tutorial**. Redlands: ESRI. 2006.

GOIS, B. C. V. **Roteirização: uma comparação dos métodos de divisão e organização das rotas de coleta dos caminhões compactadores de lixo**. 2005. 61p. Monografia (Tecnologia em Logística) – Faculdade de Tecnologia da Zona Leste – Centro Paula Souza, São Paulo, 2005.

HADDAD, C. M. C. **Resíduos de serviços de saúde de um hospital de médio porte do município de Araraquara: subsídios para elaboração de um plano de gerenciamento**. 2006. 137p. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário de Araraquara (UNIARA), Araraquara/SP, 2006.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS/COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (IPT/CEMPRE). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT, 2000.

LACERDA, M. G. **Análise de uso de SIG no sistema de coleta de resíduos sólidos domiciliares em uma cidade de pequeno porte**. 2003. 158p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – ênfase em recursos hídricos e tecnologias

ambientais) – Universidade Estadual Paulista Julio Mesquita Filho (UNESP), Ilha Solteira/SP, 2003.

LEHMANN, L. B.; PIZZOLATO, N. D.; RODRIGUES, G. B. S. **Problemas de roteirização**: um estudo de caso do Correio Aéreo Nacional da Força Aérea Brasileira utilizando a metodologia Clarke-Wright. Disponível em: http://www.cbtu.gov.br/monografia/2009/trabalhos/artigos/planejamento/5_299_AC.pdf. Acesso em 11/2009.

LORENA, L. A. Análise de redes. Disponível em: www.dpi.inpe.br/cursos/ser301/referencias/analise-de-redes.pdf. Acessado em 15/12/2009.

LORENA, L. A. N.; NARCISO, M. G. **ARSIG para o domínio agropecuário**. Disponível em: <http://www.agrosoft.org.br/trabalhos/ag99/artigo06.htm>. Acesso em 18/12/2009.

LORENTZ, J. F.; FONSECA, G. L.; CINTRA, I. Banco de dados e modelagem de sistemas ambientais: uma proposta de otimização do gerenciamento dos resíduos de serviço de saúde para o município de Belo Horizonte (MG). IN: IX SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS. Palmas/TO, 2008.

MAGUIRE, D. J. An overview and definition of GIS. IN: MAGUIRE D. J., GOODCHILD M. F., RHIND, D. W. (eds), **GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS**, Inglaterra, Reino Unido, 1991.

MAPA, S. M. S.; LIMA, R. S. Sistemas de informação geográfica (SIG) como ferramenta suporte a estudos de localização e roteirização. IN: XII SIMPEP, - Bauru/SP, novembro de 2005.

MARANGONI, M. C. **Gerenciamento de resíduo de serviço de saúde**: estudo de caso no Hemocentro da UNICAMP. 2006. 114p. Dissertação (Mestrado apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas/SP, 2006.

MELO, A. L. O. **Avaliação e seleção de áreas para implantação de aterro sanitário utilizando lógica fuzzy e análise multi-critério**: uma proposta metodológica: aplicação ao município de Cachoeiro de Itapemirim – ES. 2001. 186p. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa/MG, 2001.

MELO, A. C. S.; FERREIRA FILHO, V. J. M. Sistemas de roteirização e programação de veículos. **REVISTA PESQUISA OPERACIONAL**, v. 21, n. 2, junho a dezembro de 2001, p. 223-232.

MENDES, A. A. **A percepção ambiental dos resíduos de serviços de saúde – RSS da equipe de enfermagem de um hospital filantrópico de Araraquara (SP)**. 2005. 110p. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Centro Universitário de Araraquara (UNIARA), Araraquara/SP, 2005.

OLIVEIRA, C. N. N.. Identificação da aplicação do SIG – sistema de informações geográficas na gestão dos resíduos sólidos no meio urbano de pequenas e médias cidades. **Web-Resol**: Instituto para a Democratização de Informações sobre Saneamento Básico e Meio Ambiente. Rio de Janeiro, 2007.

PALLAVICINE, G.M.C. **Contribuição ao estudo da distribuição física de produtos em áreas urbanas: integração de modelos matemáticos de roteamento com sistemas de informações geográficas (SIG)**. 2001. 137p. Dissertação (Mestrado em Transportes. Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Brasília (UnB), Brasília/DF, 2001.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (PBH). Portal Comunidade. Disponível em: <http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?app=slu>. Acesso em: 04 jun. 2010.

SANTOS, L.; FERREIRA, D. L. Sistema de informação geográfica aplicado ao planejamento de trânsito e transportes. **Caminhos de Geografia** 5(12)94-113, Jun/2004. CAMINHOS DE GEOGRAFIA. Revista *on line*: [www.ig.ufu.br/caminhos de geografia.html](http://www.ig.ufu.br/caminhos_de_geografia.html)

TEIXEIRA, A.; CHRISTOFOLETTI, A.; MORETTI, E. **Introdução aos sistemas de informação geográfica**. Rio Claro: Editora dos Autores, 1992. 80 p.