

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

**Adílio Rodrigues Ornelas**

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE ANÁLISE**  
**ESPACIAL NA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS**  
**URBANOS**

**Belo Horizonte**  
**Minas Gerais - Brasil**  
**Maio, 2011**

**Adílio Rodrigues Ornelas**

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE ANÁLISE ESPACIAL NA GESTÃO  
DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

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: Dra. Ilka Soares Cintra

Co-orientador: Dr. Sergio Donizete Faria

Belo Horizonte,

Maio de 2011



*"Não podemos esperar favores da natureza; o nosso dever é arrancar-lhos."*

Ivan Mitchurine, 1964

*Dedico este trabalho à cidade de Ouro Preto, em gratidão aos ensinamentos que ela me proporcionou.*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus Pais, exemplos de ética e caráter;

Aos meus Orientadores Ilka e Sergio pela confiança e disponibilidade;

À Roberta Ribeiro pela motivação e companheirismo;

A CAPES, pelo apoio financeiro durante a execução do trabalho;

À Juliana Ferreira Lorentz e Charles Rezende Freitas pelo apoio com os *softwares* utilizados no trabalho;

À Gabriella Casimiro, Marcos Conde, Luana Pereira, Rafaela Proti, Juliana Ruzene, Júlia Paula Miranda, Mariane Cunha Barros pelas considerações valiosas;

À Secretaria de Meio Ambiente de Ouro Preto, em especial a Maria das Graças “Filhinha”;

A todos os companheiros do programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da UFMG.

## RESUMO

A gestão dos resíduos sólidos urbanos (GRSU) apresenta-se como um dos desafios a serem enfrentados pelos tomadores de decisão na gestão do território. Conseqüentemente, torna-se necessário desenvolver metodologias que tenham como objetivo o auxílio a tomada de decisão nos processos inerentes a GRSU, os quais envolvem o processamento e análise dados e informações distribuídos espacialmente. Desta forma, este trabalho pretende contribuir com a operacionalização da GRSU através da aplicação de conceitos, técnicas e procedimentos inerentes ao geoprocessamento e análise espacial, propondo e testando metodologias para seleção de locais para a implantação de aterros sanitários, definição de pontos de entrega voluntária (PEV) de resíduos recicláveis e definição de rotas de coleta e destinação dos resíduos sólidos urbanos (RSU). As metodologias propostas são baseadas em métodos de análise espacial, em ambiente SIG, segundo normas e diretrizes estabelecidas pelos órgãos competentes quanto a GRSU. Essas metodologias são testadas, no município de Ouro Preto – MG, e através dos resultados obtidos pode-se considerar que são não só aplicáveis como necessárias no auxílio à tomada de decisão e a garantia da sustentabilidade operacional e financeira da GRSU.

**Palavras-chave:** aterros sanitários, análise multicritério, geoprocessamento, gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, Sistemas de Informação Geográfica.

## **ABSTRACT**

The management of municipal solid waste (WSMM) presents itself as one of the challenges faced by decision makers in land management. Therefore, it is necessary to develop methodologies that aim to aid decision-making processes inherent in GRSU. In this sense, the Geographic Information Systems (GIS) are presented as important tools, since they facilitate the analysis of previous spatial issues. Thus, this work contributes to the operationalization of GRSU through the application of concepts, techniques and procedures related to GIS and spatial analysis, specifically for selecting sites for sanitary landfills, points of voluntary drop-off of waste recyclable and defining routes for collection and disposal of MSW. The methods used were based on the stages of acquisition, processing and analyzing spatial data in a GIS environment, according to regulations and guidelines established by the agencies related to GRSU. Through the results can be considered that the spatial analysis tools inherent in geographic information systems have not only applied as needed to aid decision making and ensuring the operational and financial sustainability of GRSU.

Keywords: landfills, multicriteria analysis, GIS, solid waste management, Geographic Information Systems



## SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABELAS.....	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Objetivos.....	16
2 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	17
2.1 Definições de resíduos sólidos .....	17
2.2 Classificação de resíduos sólidos .....	18
2.3 Resíduos sólidos urbanos.....	21
2.3.1 Características dos resíduos sólidos urbanos.....	21
2.3.1.1 Características físicas .....	21
2.3.1.2 Características químicas .....	25
2.3.1.3 Características biológicas .....	26
2.3.2 Gestão de resíduos sólidos urbanos.....	26
2.3.2.1 Geração.....	27
2.3.2.2 Separação e acondicionamento.....	29
2.3.2.3 Coleta e destinação .....	31
2.3.2.3.1 Coleta seletiva .....	34
2.3.2.4 Tratamento e disposição final.....	35
2.3.2.5 Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos .....	37
2.3.2.6 Gestão de resíduos sólidos urbanos em Ouro Preto .....	40
3 GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE ESPACIAL.....	43
3.1 Sistema de informação geográfica.....	43
3.2 Modelos de análise multicritério .....	45
3.3 Roteirização.....	50
3.4 Interpoladores espaciais.....	52
3.4.1 Triangulação de Delaunay e modelos digitais de elevação .....	52
3.4.2 Densidade de kernel .....	54

4 METODOLOGIA.....	56
4.1 Seleção de áreas para implantação de aterro sanitário .....	57
4.2 Definição de rotas de coleta e destinação.....	63
4.3 Definição de locais para instalação dos pontos de entrega voluntária de resíduos recicláveis. ....	67
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	70
5.1 Seleção de áreas para implantação de aterro sanitário .....	70
5.2 Definição de rotas de coleta e destinação.....	78
5.3 Definição de locais para instalação de pontos de entrega voluntária de resíduos recicláveis .....	82
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	88
A APÊNDICE A – RESUMO DA ESTRUTURA OPERACIONAL DA GRSU DE OURO PRETO.....	93
B APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DELPHI .....	94
C APÊNDICE C – PLANOS DE INFORMAÇÃO .....	95
C.1 Uso e cobertura do solo .....	95
C.2 Solos.....	96
C.3 Geologia.....	97
C.4 Distância de rios.....	98
C.5 Distância de estradas.....	99
C.6 Distância de casas .....	100
C.7 Declividade .....	101

## LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1 – Composição gravimétrica média do resíduo sólido no Brasil (em peso).....	24
Figura 2 – Etapas e elementos da gestão de resíduos sólidos urbanos com destaque para aquelas com potencial para aplicação de métodos de análise espacial.....	27
Figura 3 – Distribuição do percentual dos municípios com coleta seletiva por região .....	35
Figura 4 – Componentes de um SIG. ....	44
Fonte: Câmara et.al. (2001). ....	44
Figura 5 – Planos de informação georeferenciados.....	46
Figura 6 – Exemplo de um grafo. ....	51
Figura 7 – Rede de triângulos irregulares gerada a partir da triangulação de Delaunay. ....	54
Figura 8 – Representação do processo de interpolação por estimadores de kernel.....	55
Fonte: Adaptado de Câmara et al. (2004).....	55
Figura 9 – Localização dos distritos Rodrigo Silva e Cachoeira do Campo – no município de Ouro Preto - MG .....	57
Figura 10 – Fluxograma da metodologia para seleção de áreas para implantação de aterro sanitário. ....	57
Figura 11 – Funções utilizadas no processo de padronização: (A) sigmoideal crescente; (B) sigmoideal decrescente; (C) sigmoideal simétrica; (D) linear. ....	61
Figura 12 – Fluxograma da metodologia para roteirização de coleta e destinação final de RSU. ....	63
Figura 13 – Pontos de visita para o Setor 1. ....	67
Figura 15 – Mapa de aptidão para implantação de aterro sanitário.....	72
Figura 16 – Localização das Regiões 4 e 5. ....	74
Figura 17 – (G) Área degradada; (H) Processos erosivos; (I) Visão panorâmica da região. ....	76
Figura 18 – Mapa hipsométrico das Regiões 4 e 5.....	77
Figura 19 – Visadas tridimensionais das Regiões 4 e 5 a partir de dois pontos de vista.....	78
Figura 20 – Setores e rotas de coleta obtidos para o distrito de Cachoeira do Campo.....	79
Figura 21 – Distribuição de freqüência da quantidade de resíduo gerado por trecho de rua dos setores de coleta 1 e 2. ....	80
Figura 22 – Representação gráfica da geração de resíduo por trecho de rua. ....	81

Figura 23 – Mapa de aptidão para instalação de PEV para o distrito de Cachoeira do Campo.....	82
Figura 24 – Mapa de aptidão para a implantação de PEV e quantidade de resíduo gerado por trecho de rua. ....	83

## LISTA DE TABELAS

	Pág
Tabela 1 – Quantidade de RSU gerado por região do Brasil.....	22
Tabela 2 – Composição gravimétrica do resíduo em alguns países. ....	24
Tabela 3 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos de Ouro Preto. ....	41
Tabela 4 – Ponderação na avaliação de riscos à ocupação.....	47
Tabela 5 – Escala de comparação de critérios.....	48
Tabela 6 – Valores obtidos pela comparação par a par dos planos de informação. ....	70
Tabela 7 – Valores obtidos pela ponderação e padronização dos planos de informação.....	71
Tabela 8 – Áreas das regiões com aptidão para implantação de aterro sanitário. ....	73
Tabela 9 – Características dos setores de coleta.....	80

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
AHP – Análise Hierárquica de Pesos  
CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem  
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente  
GASMIG – Companhia de Gás de Minas Gerais  
GIS – *Geographic Information System*  
GRSU – Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos  
IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica  
NBR – Norma Brasileira  
PEV – Ponto de Entrega Voluntária  
PMGIRSU – Plano Municipal de Gestão Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos  
PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico  
PNSR – Política Nacional de Resíduos Sólidos  
RDC – Resíduos de Construção e Demolição  
RS – Resíduos Sólidos  
RSS – Resíduos do Serviço de Saúde  
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos  
SAD 69 – *South American Datum 1969*  
SIG – Sistemas de Informação Geográfica  
SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente  
SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária  
SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*  
TIN – *Triangulated Irregular Network*  
UT – Unidade de Transbordo  
UTM – Universal Transversa de Mercator  
UTR – Unidades de Triagem e Reciclagem  
WSMM – *Management of Municipal Solid Waste*

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a mudança dos padrões de consumo aumentaram significativamente a geração de resíduos sólidos, principalmente nos centros urbanos. A gestão ineficiente destes resíduos e a disposição ambientalmente incorreta dos mesmos contribuem para o estabelecimento de condições inadequadas para a manutenção do equilíbrio ambiental. Desta forma, a gestão dos resíduos sólidos urbanos (GRSU), apresenta-se como um dos desafios a serem enfrentados pelos tomadores de decisão na gestão ambiental do território.

Por ocasião da Conferência ECO-92 o manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos foi considerado entre as questões mais importantes para a “[...] manutenção da qualidade do meio ambiente da Terra e, principalmente, para alcançar um desenvolvimento sustentável e ambientalmente saudável em todos os países” (AGENDA 21, 1996, p. 12).

Dezenove anos depois o tema ganha maior destaque devido ao fim da vida útil dos aterros e à indisponibilidade de novas áreas para aterro dos resíduos produzidos pelos países em desenvolvimento, principalmente nas grandes cidades.

Associado a este problema, a baixa cobertura e eficiência dos serviços, a ausência da reciclagem, a disposição e manejo inadequados dos resíduos sólidos e a falta de gerenciamento dos resíduos de serviços saúde (RSS) constituem os principais desafios da GRSU (ZUBRUGG, 2003).

No Brasil, a fim de superar os desafios mencionados foi sancionada em 2 de agosto de 2010, após vinte anos de tramitação na Câmara Federal, a Lei nº 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010). A PNRS estabelece os princípios, instrumentos, objetivos e diretrizes visando promover e garantir uma gestão adequada dos resíduos sólidos.

Neste contexto, torna-se necessária a adoção de medidas que tenham como objetivo a economia de recursos e a obtenção de uma melhor relação custo/benefício da GRSU. Neste sentido os métodos de análise espacial apresentam-se como importantes ferramentas, uma vez que visam fornecer informações que podem auxiliar no planejamento das ações relacionadas à GRSU, que pressupõem o conhecimento do espaço geográfico com

informações espacialmente distribuídas, tais como: áreas para implantação de aterros sanitários, rotas de coleta e dimensionamento de frota, pontos de entrega voluntária (PEV) de resíduos recicláveis, locais para unidades de transbordo (UT) e unidades de triagem e reciclagem (UTR), áreas para destinação dos resíduos de construção e demolição (RDC), dentre outras.

Desta forma, a proposição e avaliação de metodologias que utilizam conceitos e técnicas de geoprocessamento, cartografia, análise espacial e sistemas de informações geográficas na GRSU, com o objetivo de fornecer informações capazes de orientar e auxiliar o processo de planejamento contribuem para a tomada de decisão e operacionalização do processo.

### **1.1 Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo geral contribuir com a operacionalização da gestão dos resíduos sólidos urbanos (GRSU) através da aplicação de conceitos, técnicas e procedimentos inerentes ao geoprocessamento e a análise espacial.

Os objetivos específicos consistem na proposição e teste de metodologias, utilizando métodos de análise espacial, para: seleção de locais com potencial para a implantação de aterros sanitários; definição de rotas de coleta e destinação dos RSU; definição de locais para instalação de PEV de resíduos recicláveis.

As metodologias propostas serão aplicadas nos distritos Cachoeira do Campo e Rodrigo Silva, do município Ouro Preto – Minas Gerais.



## **2 RESÍDUOS SÓLIDOS**

Neste capítulo são apresentados alguns conceitos e definições referentes aos resíduos sólidos (RS), a gestão de resíduos sólidos urbanos (GRSU) e ao plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos (PMGIRSU), instituído pela Lei nº 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Embora estes conceitos e definições sejam facilmente encontrados na literatura sobre resíduos sólidos, não há consenso geral para a utilização de determinados termos. Portanto, torna-se necessário definir o significado da terminologia adotada no presente trabalho.

Além disso, é apresentado um resumo sobre a estrutura operacional da GRSU no município de Ouro Preto que inclui os distritos utilizados como áreas de teste das metodologias propostas no Capítulo 4.

### **2.1 Definições de resíduos sólidos**

Apesar de serem encontradas diversas definições para resíduos sólidos, há um consenso geral de que estes são materiais provenientes das atividades humanas, que perderam seu valor original, passando a serem considerados inúteis por seus proprietários (TCHOBANOGLOUS e THEISEN, 1993).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 10.004 (ABNT, 2004), define resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nessa 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 pública de esgoto ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004, p. 1).

O Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (IBAM, 2004), elaborado pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM), define resíduos sólidos como:

Todo material sólido ou semi-sólido indesejável e que necessita ser removido por ter sido considerado inútil por quem o descarta em qualquer recipiente destinado a este ato (IBAM, 2004, p. 25).

Tchobanoglous e Theisen (1993) incluíram os resíduos de origem animal em sua definição:

Resíduos sólidos são todos os resíduos resultantes da atividade humana e animal, normalmente sólidos, que são descartados como inúteis ou indesejados. Devido às suas propriedades intrínsecas são frequentemente reutilizáveis e podem ser considerados como recurso em outro contexto (TCHOBANOGLIOUS e THEISEN, 1993, p. xxi).

A Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010, que institui a PNRS, resume os conceitos anteriormente apresentados da seguinte forma:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010, p. 1).

Além das diversas definições para resíduos sólidos, outra discussão que está presente na literatura sobre este assunto é aquela que trata das diferentes abordagens relacionadas à conceituação dos termos “lixo”, “resíduos sólidos” e “rejeito”. Normalmente o primeiro é utilizado de forma corriqueira e está relacionado a questões de ordem social e econômica, e o segundo está ligado a questões técnicas de origem, composição e disposição. O termo “rejeito”, outrora tratado com o mesmo significado dos dois primeiros, é definido pela PNRS como:

resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada

## **2.2 Classificação de resíduos sólidos**

Existem diversas formas de classificar os resíduos sólidos, as mais comuns estão relacionadas com a origem da geração do resíduo e a periculosidade (risco potencial de contaminação do meio ambiente).

Não há um padrão estabelecido para a classificação de resíduos quanto a sua origem. Na literatura encontramos diversas formas de classificação conforme o tipo de atividade ou local gerador do resíduo, tais como: domiciliar, comercial, institucional, industrial, construção civil e demolição, serviços municipais e serviços de saúde.

Assim, é utilizada neste trabalho a classificação proposta pela PNRS, por se tratar do marco político-normativo da GRSU. A PNRS em seu Art. 13 classifica os resíduos sólidos, quanto a origem, como:

- **Resíduos Domiciliares:** os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- **Resíduo de Limpeza Urbana:** os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- **Resíduos Sólidos Urbanos:** os resíduos domiciliares e de limpeza urbana;
- **Resíduos de Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviços:** os gerados nessas atividades, excetuados os de limpeza urbana, serviços públicos de saneamento básico, serviços de saúde, construção civil, serviços de transporte;
- **Resíduos dos Serviços Públicos de Saneamento Básico:** os gerados nessas atividades excetuados os resíduos sólidos urbanos ;
- **Resíduos Industriais:** os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- **Resíduos dos Serviços de Saúde:** os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA e SNVS;
- **Resíduos da Construção Civil:** os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluindo os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- **Resíduos Agrossilvopastoris:** os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluindo os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- **Resíduos de Serviços de Transporte;** os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- **Resíduos de Mineração:** os gerados na atividade de pesquisa, extração e beneficiamento de minério.

Quanto à periculosidade as principais formas de classificação são definidas pela norma ABNT 10.004:2004 – Resíduos Sólidos – Classificação e pela Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010 que institui a PNRS.

A norma ABNT 10.004:2004 classifica os resíduos, quanto a sua periculosidade, como:

- **Resíduos Classe I – Perigosos:** aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, pode apresentar risco à saúde pública e ao meio ambiente.
- **Resíduos Classe II – Não Perigosos:** aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I. São divididos em inertes e não inertes
- **Resíduo Classe II A – Não Inertes:** aqueles que possuem propriedades tais como biodegradabilidade, combustibilidade e solubilidade em água.
- **Resíduos Classe II B – Inertes:** quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa, segundo ABNT-NBR 10.007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se por aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

A PNRS, instituída pela Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010, classifica os resíduos perigosos e não perigosos como:

- **Resíduos perigosos:** aqueles que em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade, e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica.
- **Resíduos Sólidos Não Perigosos:** aqueles não enquadrados como resíduos sólidos perigosos.

Na Seção 2.3 é apresentada uma caracterização mais detalhada dos resíduos sólidos urbanos, assim como as etapas da GRSU e ,como exemplo, uma visão geral da atual GRSU do município de Ouro Preto.

## **2.3 Resíduos sólidos urbanos**

### **2.3.1 Características dos resíduos sólidos urbanos**

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) podem se diferenciar segundo características físicas, químicas e biológicas. Estas por sua vez variam de cidade para cidade em função de aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos (IBAM, 2004).

A caracterização e quantificação dos resíduos sólidos são fundamentais para a gestão de resíduos sólidos urbanos (GRSU), principalmente para as etapas de transporte, tratamento e disposição final dos mesmos, uma vez que estes fatores influenciarão na capacidade dos veículos de transporte e na operação dos aterros sanitários (MANASSERO, 1996).

A seguir são apresentadas classificações segundo características físicas, químicas e biológicas dos RSU.

#### **2.3.1.1 Características físicas**

No que diz respeito às características físicas, os resíduos sólidos podem ser classificados quanto à geração per capita, a composição gravimétrica, o peso específico aparente, o teor de umidade e a compressibilidade.

A geração per capita determina a quantidade de resíduo gerada por pessoa num determinado intervalo de tempo, geralmente em kg/hab/dia (IBAM, 2004).

Existem diversas formas de se estimar a geração per capita de resíduos, entre elas encontram-se técnicas de pesagem de amostras, capacidades volumétricas de caminhões, número de viagens e dados demográficos. Entretanto, muitos estudos relacionados à GRSU fazem uso de generalizações, muitas vezes incoerentes com a realidade local. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB (IBGE, 2008), apenas 5,5% dos municípios possuem balança para pesagem de resíduos.

Segundo o IBAM (2004) a taxa média de geração de resíduo do brasileiro no ano de 2004 era considerada entre 0,5 a 0,8 kg/hab/dia.

De acordo com o Manual de Gerenciamento Integrado do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2000), a geração de RSU no Brasil na mesma época era de 0,9

kg/hab/dia sendo que destes 0,6 kg correspondem aos resíduos domiciliares e 0,3 kg aos resíduos de limpeza urbana.

Dados mais recentes apresentados pelo Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil em 2010 (ABRELPE, 2010) indicam uma geração de 1,03 kg/hab/dia. Este resultado aponta um aumento de 5,3% na geração per capita de resíduos no Brasil, passando de 0,984 kg/ha/dia em 2009 para 1,036 kg/hab/dia em 2010 (ABRELPE, 2010).

Os valores relativos à geração per capita de resíduos sofrem alterações com o tempo e a influência de fatores como o padrão de consumo das famílias, os materiais utilizados nas embalagens e a adoção de políticas e campanhas de conscientização relacionadas à reciclagem e reutilização.

Na Tabela 1 é apresentada a variação da geração per capita de resíduos sólidos urbanos nas regiões brasileiras. É possível observar uma tendência de aumento da geração per capita dos RSU em todas as regiões do país, os resultados apresentados revelam um aumento de 5,3% na geração per capita como um todo e um acréscimo de 6,8% na quantidade total gerada.

Tabela 1 – Quantidade de RSU gerado por região do Brasil.

Região	2009	2010		
	RSU Coletado (t/dia) / geração (kg/hab/dia)	População Urbana (hab)	RSU Coletado (t/dia)	Geração (kg/dia/dia)
Norte	12.072/1,051	11.663.184	12.920	1,108
Nordeste	47.665/1,254	38.816.895	50.045	1,289
Centro Oeste	13.907/1,161	12.479.872	15.539	1,245
Sudeste	89.460/1,204	74.661.877	96.134	1,288
Sul	19.624/0,859	23.857.880	20.452	0,879
<b>Brasil</b>	<b>182.728/1,152</b>	<b>160.879.708</b>	<b>195.090</b>	<b>1,213</b>

Fonte: ABRELPE. Panorama Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil 2010.

O peso específico aparente é definido como sendo o peso do resíduo não compactado dividido pelo seu volume. Dados relativos ao peso específico são necessários para determinar o total de massa e volume de resíduo a ser gerenciado. Sua determinação é fundamental para um correto dimensionamento dos equipamentos e instalações necessárias ao GRSU.

O peso específico pode ser expresso de duas formas, através do método de medição do peso específico úmido e do peso específico seco. O peso específico úmido de um material é definido como sendo a razão de seu peso úmido pelo seu volume, dependendo de seu índice de vazios, umidade, composição e compactação, podendo variar num mesmo tipo de material (FARIAS e JUCÁ, 2000).

O peso específico seco corresponde ao peso do material sem a umidade contida nele. A umidade ( $H\%$ ) pode ser obtida pela fórmula dada pela Equação 1:

$$H\% = \frac{\text{Peso.Úmido} - \text{Peso.Seco}}{\text{Peso.Umido}} * 100 \quad (1)$$

A determinação do peso específico em campo pode se feita conforme proposto por Farias e Jucá (2000). No caso da ausência de dados mais precisos, podem-se utilizar os valores de  $230 \text{ kg/m}^3$  para o peso específico de resíduo domiciliar, de  $280 \text{ kg/m}^3$  para o peso específico de resíduos de serviços de saúde e de  $1.300 \text{ kg/m}^3$  para o peso específico de entulho de obras (IBAM, 2004).

De acordo com o Manual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos do IBAM (IBAM, 2004) a composição gravimétrica traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de resíduos analisada.

Embora a composição gravimétrica possa ser discriminada por uma gama variada de tipos de resíduos, os mais encontrados são: matéria orgânica, papel, papelão, plástico, alumínio, vidro, material ferroso, madeira, borracha e têxteis.

A escolha dos componentes da composição gravimétrica deve ser definida conforme o tipo de estudo que se pretende realizar e deve ser cuidadosamente feita para não causar distorções (IBAM, 2004).

Métodos para a determinação da composição gravimétrica em campo podem ser encontrados em Tchobanoglous e Theisen (1993). Conhecendo-se os valores do peso de cada material de uma determinada amostra de resíduos, a composição gravimétrica pode ser dada pela Equação 2:

$$CG\% = \frac{P_i}{P_t} * 100 \quad (2)$$

na qual,  $CG\%$  é a composição gravimétrica em porcentagem;  $P_i$  é o peso de um constituinte do resíduo sólido; e  $P_t$  é o peso total dos materiais constituintes do resíduo sólido.

Na Tabela 2 é apresentada a variação da composição dos RSU em alguns países. É possível observar que os países mais desenvolvidos apresentam uma menor participação da matéria orgânica na composição dos RSU, provavelmente em razão da grande incidência de alimentos industrializados disponíveis no mercado consumidor (IBAM, 2004).

Tabela 2 – Composição gravimétrica do resíduo em alguns países.

ITEM (%)	BRASIL	ALEMANHA	HOLANDA	EUA
Matéria Orgânica	65,00	61,20	50,30	35,60
Vidro	3,00	10,40	14,50	8,20
Metal	4,00	3,80	6,70	8,70
Plástico	3,00	5,80	6,00	6,50
Papel	25,00	18,80	22,50	41,00

Fonte: IBAM (2004)

A composição gravimétrica média dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil, segundo pesquisa realizada em 1997 pelo IPT (CEMPRE, 2008), é apresentada na Figura 1.

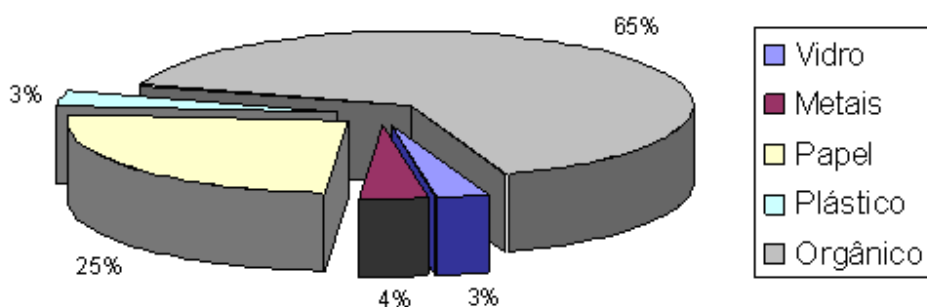


Figura 1 – Composição gravimétrica média do resíduo sólido no Brasil (em peso).

Fonte: CEMPRE, 2008.

A compressibilidade é o grau de compactação ou de redução do volume que uma massa de resíduo pode sofrer quando compactada. Submetido a uma pressão de 4 kg/cm<sup>2</sup>, o volume de resíduo pode ser reduzido de um terço (1/3) a um quarto (1/4) do seu volume original (IBAM, 2004).



Analogamente à compressão, a massa de resíduo tende a se expandir quando é extinta a pressão que a compacta, sem, no entanto, voltar ao volume anterior. Esse fenômeno chama-se empolgação e deve ser considerado nas operações de aterros sanitários (IBAM, 2004).

A determinação da compressividade é muito importante para o dimensionamento de veículos coletores, estações de transferência com compactação e caçambas compactadoras estacionárias (IBAM, 2004).

### 2.3.1.2 Características químicas

Informações sobre as características químicas dos resíduos sólidos são importantes, principalmente, para a seleção e avaliação de métodos de tratamento. Conforme é abordado na seção 2.3.2.4, o tratamento consiste em uma série de procedimentos destinados a reduzir a quantidade ou o potencial poluidor dos resíduos sólidos (IBAM, 2004).

A necessidade de informações sobre as características químicas dos resíduos dependem do método de tratamento escolhido. De forma geral as propriedades químicas normalmente estudadas são:

- **Poder Calorífico:** indica a capacidade potencial de um material desprender determinada quantidade de calor quando submetido à queima e está normalmente associada a métodos de tratamento térmicos como a incineração, pirólise ou co-processamento, que segundo o IBAM (2004), o poder calorífico médio dos resíduos domiciliares situa-se na faixa de 5.000 kcal/kg;
- **Potencial Hidrogeniônico (pH):** indica o teor de acidez ou alcalinidade dos resíduos; em geral situa-se na faixa entre 5 e 7;
- **Composição Química:** consiste na determinação dos teores de cinza, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, potássio, fósforo, resíduo mineral, gorduras etc.; praticamente todas as formas de tratamento exigem algum conhecimento da composição química dos resíduos a serem tratados;
- **Relação Carbono/Nitrogênio:** indica o grau de decomposição da matéria orgânica do resíduo; normalmente esta característica está associada à compostagem de resíduos orgânicos que é um método de tratamento que tem como objetivo a decomposição biológica da matéria orgânica.

### **2.3.1.3 Características biológicas**

As características biológicas estão relacionadas à população microbiana e a presença de agentes patogênicos nos resíduos sólidos. Assim como as características químicas estas características são fundamentais para a seleção adequada dos métodos de tratamento e disposição adequados.

O conhecimento das características biológicas dos resíduos tem sido muito utilizado no desenvolvimento de inibidores de cheiro e de retardadores/aceleradores da decomposição da matéria orgânica, normalmente aplicados no interior de veículos de coleta para evitar ou minimizar problemas com a população ao longo do percurso dos veículos (IBAM, 2004).

Da mesma forma, estão em desenvolvimento processos de destinação final e de recuperação de áreas degradadas com base nas características biológicas dos resíduos (IBAM, 2004).

### **2.3.2 Gestão de resíduos sólidos urbanos**

A gestão de resíduos sólidos urbanos (GRSU), em síntese, consiste no conjunto de ações com o objetivo de realizar a limpeza, a coleta, o tratamento e a disposição final dos RSU, elevando assim a qualidade de vida da população e promovendo o asseio da cidade, levando em consideração as características das fontes de produção, o volume e os tipos de resíduos, as características sociais, culturais e econômicas dos cidadãos e as peculiaridades demográficas, climáticas e urbanísticas locais (IBAM, 2004)

Na Figura 2 são apresentadas, de forma resumida, as principais etapas e elementos presentes na GRSU, ressaltando aqueles onde existe potencial para aplicação de métodos de análise espacial, para gerar dados e informações que poderão subsidiar o planejamento e gestão das questões locacionais (de aterro, estações de transbordo, pontos de coleta voluntária de resíduos recicláveis) e técnico-operacionais (rotas de coleta, sistema de coleta).

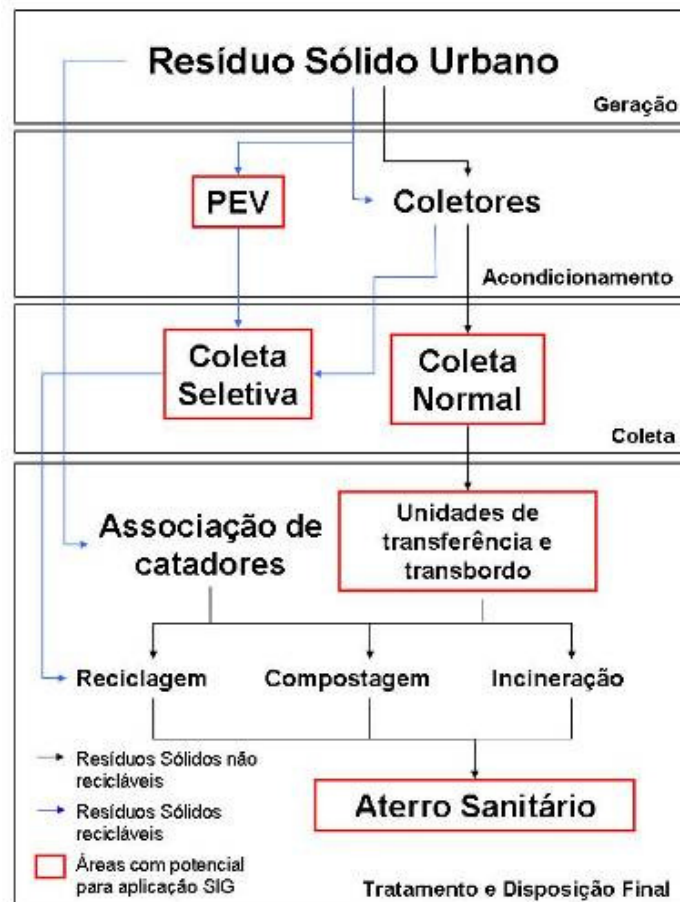


Figura 2 – Etapas e elementos da gestão de resíduos sólidos urbanos com destaque para aquelas com potencial para aplicação de métodos de análise espacial.

A seguir são descritas as etapas da GRSU, apresentadas na Figura 2, e suas principais características.

### 2.3.2.1 Geração

Segundo Baasch (1995), a geração é o ponto de partida no conjunto que constitui a gestão dos resíduos sólidos.

A quantidade e composição dos resíduos sólidos numa comunidade é função do padrão socioeconômico de seus habitantes, da vocação da cidade (turística, serviços, industrial e outras), das características do clima, hábitos alimentares, costumes, variações na economia (recessão, estabilidade, crescimento econômico) e outras.

Para Tchobanoglous e Theisen (1993), a estimativa da geração de resíduos sólidos assim como a quantidade de resíduo reciclado e não destinado a aterros sanitários é de suma importância na implantação de políticas públicas, escolha de equipamentos, definição de rotas de coleta, tratamento e disposição final.

Para uma correta projeção da geração de resíduos é necessário conhecer a dinâmica populacional da área estudada, através de modelos que levem em consideração o crescimento populacional e os fluxos de população flutuante.

Projeções relativas à geração per capita de resíduos são difíceis de serem realizadas, pois esta sofre alterações com o tempo e a influência de diversos fatores, como padrão de consumo, materiais utilizados em embalagens entre outros. Inferências podem ser realizadas tomando-se como base indicadores econômicos e taxas de geração per capita de países desenvolvidos. Entretanto, deve-se tomar cuidado para que erros de planejamento e prejuízos econômicos sejam evitados.

Tchobanoglous e Theisen (1993) apresentam três métodos para se estimar a quantidade de resíduos gerados em determinado município: método de número de cargas (coletas por veículo), método de peso e volume e método de balanço de massa.

No método de análise do número de cargas são necessárias informações relativas à capacidade volumétrica de carga dos veículos coletores, o peso específico dos resíduos coletados e o número de cargas realizadas. Multiplicando-se estes três fatores por tipo de veículo coletor e somando os resultados obtém-se um valor da geração de RSU ao longo de um determinado período (TCHOBANOGLIOUS e THEISEN, 1993).

Na análise de peso e volume as cargas são pesadas individualmente, obtendo-se assim um valor mais próximo do que aquele obtido pelo peso específico do resíduo. Este método exige maiores investimentos de tempo e recurso uma vez que são necessários equipamentos e mão de obra para realizá-los.

O método de balanço de massa é, segundo Tchobanoglous e Thiesen (1993), a única forma de se determinar a geração e o fluxo de resíduos sólidos com certo grau de precisão. Neste método cada fonte de geração, como as residências, comércios e indústrias, deve ser monitorada separadamente dentro de um limite (área de estudo) a ser definido pelo

pesquisador. Uma vez mensurada a quantidade de material que entra e que sai do limite, a geração de resíduos sólidos dentro dele pode ser obtida com precisão.

A análise da literatura relacionada ao assunto permite constatar que a aplicação deste último método encontra-se distante da realidade brasileira, principalmente devido à baixa parcela de recursos destinados à GRSU. Segundo o IBGE (2002) apenas 8,4 % dos municípios brasileiros pesam seus resíduos. Na prática as estimativas de geração de resíduos no Brasil são feitas através da multiplicação da população de determinado local pela taxa de geração de resíduo per capita, ou através da divisão da quantidade de resíduo gerada em um intervalo de tempo pela população.

### **2.3.2.2 Separação e acondicionamento**

A separação e o acondicionamento correspondem à segunda etapa da GRSU e são definidos como a preparação dos resíduos sólidos para coleta de forma sanitariamente adequada (IBAM, 2004).

Esta etapa é de fundamental importância, pois entre outros fatores, evita acidentes, evita a proliferação de vetores transmissores de doenças e facilita a realização da etapa de coleta. Para que isso ocorra os resíduos devem ser acondicionados de forma que não possam ser espalhados ou violados.

O acondicionamento dos resíduos possui duas fases, uma interna e outra externa. A fase interna corresponde a coleta e armazenamento dentro dos domicílios, estabelecimentos comerciais, instituições públicas e indústrias. A fase externa abrange os chamados serviços de limpeza e é de responsabilidade das administrações municipais (IPT, 2000).

Normalmente os resíduos gerados nos domicílios, estabelecimentos comerciais e instituições públicas são acondicionados em sacos plásticos colocados em recipientes rígidos que permitem a sua troca contínua. É neste momento em que o resíduo gerado é, ou deveria ser, separado, conforme suas características e tipos de tratamento a serem destinados. No Brasil, ao contrário de muitos países desenvolvidos, a separação ainda não é feita de forma satisfatória.

Embora a tomada de consciência a respeito da importância da separação dos resíduos tenha aumentado, a inexistência de programas eficazes de coleta seletiva pode desestimular a

prática de separação na fonte, uma vez que, todo o resíduo separado será destinado da mesma forma em aterros ou lixões. De acordo com o Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE (CEMPRE, 2008), apenas 7% dos municípios possuem programas de coleta seletiva, o que atende a apenas 14% da população brasileira. A Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010) definiu a coleta seletiva como um instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, mas ainda não existem mecanismos eficazes que incentivem e controlem essa prática.

Uma vez acondicionados internamente os resíduos devem ser colocados nas ruas para coleta em dias, horários e recipientes adequados, a fim de que seja minimizado o risco de acidentes, a proliferação de insetos e o impacto visual e olfativo (IPT, 2000).

O acondicionamento externo dos resíduos deve ser feito em coletores que sejam seguros, permitam fácil manuseio, impeçam vazamentos e atendam à demanda de geração dos locais onde estão instalados. Para um condicionamento adequado os coletores devem ser fechados de forma a impedir o espalhamento causado por animais como gatos, cachorros e cavalos.

Embora a fase externa do acondicionamento seja responsabilidade da municipalidade, a instalação de coletores ou cestos de resíduo para coleta domiciliar fica a cargo do morador ou conjunto de moradores de uma determinada residência. Desta forma muitas vezes os resíduos são depositados na calçada, sem qualquer forma de proteção. Normalmente os municípios se limitam a instalar pequenos coletores em ruas, praças ou locais de grande movimentação.

Os coletores comunitários destinados a receber os resíduos de várias unidades habitacionais devem ficar próximos a um ponto de passagem do veículo coletor, permitir a retirada manual dos sacos, ou serem movimentáveis mecanicamente para descarga (IPT, 2000).

Deve-se tomar cuidados especiais para a utilização de coletores comunitários em locais situados em locais íngremes ou de difícil acesso. Nestes locais sugere-se que sejam utilizados coletores móveis que são levados até um coletor maior onde os veículos coletores tenham acesso (IPT, 2000).

Para locais com grande demanda de armazenamento, sugere-se a utilização de caçambas e contêineres com ou sem basculamento. As NBR 13.333 (ABNT, 2003) e 13.334 (ABNT, 2007) estabelecem os pré-requisitos mínimos para caçambas basculantes.

Tchobanoglous e Theisen (1993) apresentam diversos tipos de coletores a serem utilizados conforme o tipo, tamanho e número de moradores em cada residência. Entretanto a realidade retratada por estes autores é bastante diferente da brasileira, tanto pelo montante de recursos destinados à GRSU, quanto pelo estágio de conscientização dos cidadãos.

O que se verifica em muitas cidades brasileiras é o surgimento espontâneo de pontos de acumulação de resíduos domiciliares a céu aberto, expostos indevidamente ou espalhados nos logradouros, prejudicando o ambiente e colocando a saúde pública em risco (IBAM, 2004).

### **2.3.2.3 Coleta e destinação**

A coleta dos RSU consiste na retirada dos resíduos armazenados nas ruas e seu transporte até o tratamento ou destinação final.

Esta etapa inclui a estimativa de resíduo a ser coletada, a definição da frequência, dias e horários de coleta, a seleção do tipo de veículo coletor, assim como a definição dos setores e itinerários.

A heterogeneidade dos padrões de geração de resíduos, das vias de acesso e dos tipos de veículos de coleta faz desta uma das etapas mais complicadas da GRSU.

A definição da frequência da coleta dos resíduos domiciliares deve ser feita em função de fatores como a quantidade gerada num determinado local e a capacidade de se atender aos princípios da universalidade e da regularidade. Entretanto a restrição econômica atua como fator preponderante, uma vez que quanto maior a frequência, maior o custo total do serviço.

Os horários a se realizar a coleta devem ser definidos levando-se em consideração suas peculiaridades. Embora a coleta noturna acarrete em menor interferência no trânsito e permita uma maior produtividade dos veículos, em decorrência do aumento da velocidade média, o ruído produzido neste período causa incômodo à população e o risco de acidentes pode aumentar devido à baixa visibilidade.

Em contrapartida, no período diurno o incômodo à população e o risco de acidentes é menor, porém o impacto no trânsito e na circulação de pedestres é maior. Há de se definir os horários mais convenientes de acordo com características específicas dos setores ou municípios onde a coleta será realizada.

No que diz respeito aos veículos coletores utilizados na coleta dos RSU, existem basicamente dois tipos, aqueles com carrocerias sem compactador e aqueles com carrocerias com compactador. Veículos com carrocerias sem compactador são também conhecidos como coletores convencionais e normalmente possuem menor capacidade de carga do que aqueles com carrocerias com compactador. Além disso, a eficiência da coleta em veículos sem compactador é menor do que os com compactador, pois o carregamento do veículo exige grande esforço físico dos trabalhadores durante a coleta (IPT, 2000).

Os veículos coletores compactadores possuem carrocerias fechadas com dispositivos mecânicos ou hidráulicos que possibilitam a compressão do resíduo. Em ambos os tipos de coletores a descarga é geralmente feita por basculamento, entretanto em alguns coletores convencionais a descarga é realizada manualmente.

Outros tipos de veículos coletores são aqueles que possuem mecanismos para basculamento de recipientes estacionários (caçambas e contêineres) e coletores de recipientes para coleta seletiva.

Para a otimização da coleta num determinado município deve-se subdividir o mesmo em setores ou regiões que apresentem características homogêneas em termos de geração per capita de resíduo, uso e ocupação do solo, relevo, fatores administrativos e operacionais (IPT, 2000).

Um setor por sua vez é composto por um conjunto de itinerários que pode ser delimitado por barreiras físicas ou naturais como rios, lagos, rodovias, linhas férreas, assim como limites de bairros ou regiões.

O itinerário de coleta é o trajeto que o veículo coletor deve percorrer dentro de um mesmo setor, num mesmo período, transportando o máximo de resíduo num mínimo de percurso improdutivo, com o menor desgaste possível para a guarnição e o veículo. Dá-se o nome de percurso improdutivo aos trechos em que o veículo não realiza coleta, servindo apenas para o deslocamento de um ponto a outro. É usual elaborar para cada itinerário um roteiro de coleta, um roteiro gráfico da área, em mapa ou croqui, indicando seu início e término, percurso, pontos de coleta manual (sem acesso ao veículo, sendo o resíduo coletado e carregado pelos coletores), trechos com percurso “morto” e manobras especiais, tais como ré e retorno (D’ALMEIDA, 2000).



Percurso “morto” é aquele repetido apenas para as manobras em respeito ao trânsito, com o objetivo de acesso a outros locais na sequência utilizada para a coleta. É admissível uma extensão total de percurso morto e improdutivo correspondente a no máximo 20% da extensão total do percurso de coleta efetivamente produtivo.

Para Tchobanoglous e Thiesen (1993) a definição de itinerários de coleta permanece até hoje como processos empíricos onde não se pode aplicar regras universais para todas as situações. Torna-se necessário uma série de tentativas a fim de se estabelecer os melhores itinerários de coleta.

Os autores apresentam algumas considerações a serem levadas em conta no processo de determinação de itinerários:

- devem ser observadas políticas e normas relacionadas a itens como pontos de coleta e frequência de coleta;
- deve-se levar em consideração questões relacionadas à capacidade e tipo dos veículos coletores;
- sempre que possível as rotas devem começar e terminar próximas a vias arteriais, utilizando-se como limites barreiras físicas e topográficas;
- em áreas montanhosas as rotas devem começar nos topos de morro e desenvolver-se ao longo da rampa de declive a medida que o caminhão vai sendo carregado;
- o último ponto a ser coletado em cada rota deve-se localizar o mais próximo possível do aterro sanitário;
- os resíduos gerados em áreas onde ocorre congestionamento do tráfego devem ser coletados o mais cedo possível;
- fontes que geram grande quantidade de resíduo devem ser coletadas durante a primeira parte do dia;
- fontes dispersas de geração de resíduo (onde pequenas quantidades são geradas) devem ser, se possível, coletadas durante uma viagem no mesmo dia.

Paes (2004) ressalta que a coleta dos RSU é um processo dinâmico que sofre constantes alterações por motivos diversos, tais como: pavimentação de ruas, mudança na direção do tráfego entre outros. Desta forma, os sistemas utilizados para a definição de itinerários de

coleta devem ser capazes de oferecer mecanismos que permitam inserir as alterações e redefinir o itinerário.

#### **2.3.2.3.1 Coleta seletiva**

De acordo com o Manual de Gerenciamento Integrado do IPT (IPT, 2000), existem três modalidades principais de coleta seletiva: a coleta porta a porta (ou domiciliar), em pontos de entrega voluntária (PEV) e a realizada por catadores. A coleta porta a porta assemelha-se à coleta domiciliar, porém os veículos coletores percorrem as residências em dias e horários específicos, diferentes da coleta normal.

A coleta seletiva em PEV é aquela realizada em locais pré-estabelecidos onde existem coletores padronizados por cores para cada tipo de material a ser reciclado. A Resolução CONAMA nº 275/2001, de 25/4/2001, estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva (CONAMA, 2001). A separação do material é feita pelo cidadão e a coleta é realizada em dias e horários específicos.

É indicado que a instalação dos PEV seja feita em parceria com empresas privadas, que podem, por exemplo, financiar a instalação dos contêineres e explorar o espaço publicitário do local (IBAM, 2004).

A coleta seletiva realizada por catadores tem ganhado bastante importância no abastecimento do mercado de materiais recicláveis e, conseqüentemente, na redução de resíduos a serem destinados em aterros sanitários. Segundo pesquisa realizada pelo Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), dos 405 municípios que operam programas de coleta seletiva, 174 têm relação com cooperativas de catadores de materiais recicláveis (CEMPRE, 2008).

Na Figura 3 é apresentada a distribuição dos municípios com coleta seletiva por região do país.

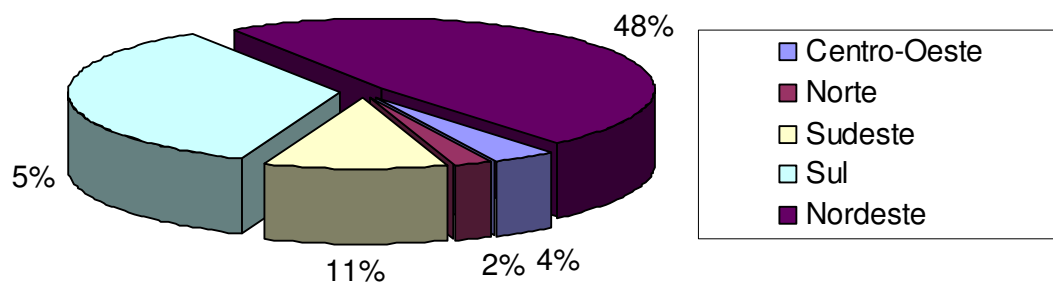


Figura 3 – Distribuição do percentual dos municípios com coleta seletiva por região.  
 Fonte: Adaptada de CEMPRE (2008).

#### 2.3.2.4 Tratamento e disposição final

O tratamento e a disposição final dos RSU constituem as últimas etapas do GRSU. Define-se tratamento como o conjunto de procedimentos destinados a reduzir a quantidade ou o potencial poluidor dos resíduos sólidos, seja impedindo o descarte destes em locais inadequados, seja transformando-os em material inerte ou biologicamente estável (IBAM, 2004).

Exemplos de tratamento de resíduos sólidos são: a reciclagem, a incineração e a compostagem.

A reciclagem apresenta-se como uma alternativa ao processamento dos RSU gerados em um determinado município. Esta por sua vez é resultado de atividades que transformam os resíduos em matéria prima para manufatura de outros produtos (IPT, 2000).

Entre outros benefícios de realização da reciclagem encontram-se a diminuição da quantidade de resíduo a ser aterrada, a preservação de recursos naturais e a geração de empregos diretos e indiretos.

Para que a reciclagem seja possível é necessário que haja, inicialmente, a segregação do material a ser reciclado. Esta segregação pode acontecer no momento da geração como mencionado anteriormente (Seção 2.3.2.2) ou através de mesas de triagem instaladas em unidades de triagem e reciclagem (UTR) ou nos locais de disposição final dos resíduos sólidos.

Outra forma de tratamento dos RSU é a compostagem. A compostagem além de reduzir a quantidade de resíduo a ser aterrada gera emprego e renda através da transformação do

material orgânico do resíduo em compostos orgânicos adequados para nutrição do solo. Embora a aplicação da compostagem e da reciclagem como métodos de tratamento apresentem-se absolutamente viáveis num primeiro momento, é necessário realizar estudos de viabilidade econômica para que as unidades de tratamento possam ultrapassar a fase de implantação e suportar as variações de preço do mercado de recicláveis (IBAM, 2004).

Em contrapartida, apesar de possuir eficácia na redução de volume dos resíduos gerados, a incineração exige grandes investimentos, em razão da necessidade de implementos tecnológicos para minimizar a poluição do ar gerada pela queima do resíduo. Os altos investimentos e os impactos gerados pela incineração fazem desta forma de tratamento uma alternativa praticamente inviável de ser adotada pelos municípios brasileiros no presente momento.

Os resíduos não tratados ou resultantes de processos de tratamento devem ser encaminhados para a disposição final. O processo recomendado para disposição final é o aterro. Existem basicamente dois tipos de aterro: o controlado e o sanitário. A diferença básica entre os dois é que o segundo possui um sistema de coleta e tratamento do chorume (líquido resultante da decomposição do resíduo), assim como da drenagem de águas pluviais e queima do biogás (IBAM, 2004).

Na NBR 8.419 (ABNT, 1992) o aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é definido como:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que 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 (ABNT, 1992, p. 4).

A seleção de locais para instalação de aterros sanitários deve ser feita conforme critérios técnicos estabelecidos pela NBR 13.896 (ABNT, 1997), que incluem distâncias de cursos d'água, rodovias, moradias, falhas geológicas, áreas de preservação permanente e aeroportos.

### **2.3.2.5 Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos**

Embora os termos gestão e gerenciamento possuam significados diferentes, ainda que complementares, eles são usualmente utilizados na literatura sobre resíduos sólidos com sentidos semelhantes. Neste trabalho optou-se por utilizar o termo gestão de forma abrangente para se referir às definições apresentadas a seguir.

A gestão integrada de resíduos sólidos urbanos (GIRSU) envolve a interligação entre ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento das atividades que compõem o sistema de limpeza urbana: acondicionamento, coleta, tratamento e disposição final de resíduos (IPT, 2000).

A recente Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, em seu Capítulo II, Art. 3º, Inciso XI, define de forma mais abrangente o termo “gestão integrada de resíduos sólidos” como:

[...] o conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010, p. 15).

Para além das atividades operacionais, a GIRSU deve considerar as questões econômicas e sociais envolvidas no cenário da limpeza urbana e, para isto, as políticas públicas, locais ou não, que possam estar associadas à gestão do resíduo, sejam elas na área de saúde, educação, trabalho ou planejamento urbano (IBAM, 2004).

A GIRSU deve envolver diferentes órgãos da administração pública e da sociedade civil, além disso, deve estar articulada com as demais políticas públicas setoriais que estejam relacionadas com a limpeza pública urbana (IBAM, 2004).

De acordo com a Lei 12.305 de 2010 (BRASIL, 2010) as diretrizes presentes na GIRSU de um determinado município materializam-se no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (PMGIRSU). O PMGIRSU é um documento que aponta e descreve as ações relativas ao manejo de RSU, contemplando aspectos referentes à geração, segregação, acondicionamento, coleta (convencional e seletiva), armazenamento, transporte, tratamento e disposição final, bem como proteção à saúde pública (BRASIL, 2010).

Com a Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), a elaboração do PMGIRSU é condição necessária para que os municípios obtenham recursos da União ou por ela controlados. O Art. 19 dessa Lei define o conteúdo mínimo do PMGIRSU, a saber:

- I- diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território, contendo a origem, o volume, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição final adotadas;
- II- identificação de áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, observado o plano diretor de que trata o § 1º do Art. 182 da Constituição Federal e o zoneamento ambiental, se houver;
- III- identificação das possibilidades de implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas com outros Municípios, considerando, nos critérios de economia de escala, a proximidade dos locais estabelecidos e as formas de prevenção dos riscos ambientais;
- IV- identificação dos resíduos sólidos e dos geradores sujeitos a plano de gerenciamento específico nos termos do Art. 20 ou a sistema de logística reversa na forma do Art. 33, observadas as disposições desta Lei e de seu regulamento, bem como as normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS);
- V- procedimentos operacionais e especificações mínimas a serem adotados nos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, incluída a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos e observada a Lei nº 11.445/2007;
- VI- indicadores de desempenho operacional e ambiental dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos;
- VII- regras para o transporte e outras etapas da gestão de resíduos sólidos de que trata o Art. 20, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA e do SNVS e demais disposições pertinentes da legislação federal e estadual;
- VIII- definição das responsabilidades quanto à sua implementação e operacionalização, incluídas as etapas do plano de gerenciamento de resíduos sólidos a que se refere o Art. 20 a cargo do poder público;

- IX- programas e ações de capacitação técnica voltados para sua implementação e operacionalização;
- X- programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos;
- XI- programas e ações para a participação dos grupos interessados, em especial das cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda, se houver;
- XII- mecanismos para a criação de fontes de negócios, emprego e renda, mediante a valorização dos resíduos sólidos;
- XIII- sistema de cálculo dos custos da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, bem como a forma de cobrança desses serviços, observada a Lei nº 11.445/2007;
- XIV- metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;
- XV- descrição das formas e dos limites da participação do poder público local na coleta seletiva e na logística reversa, respeitado o disposto no Art. 33, e de outras ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- XVI- meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito local, da implementação e operacionalização dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos de que trata o Art. 20 e dos sistemas de logística reversa previstos no Art. 33;
- XVII- ações preventivas e corretivas a serem praticadas, incluindo programa de monitoramento;
- XVIII- identificação dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos, incluindo áreas contaminadas, e respectivas medidas saneadoras;
- XIX- periodicidade de sua revisão, observado prioritariamente o período de vigência do plano plurianual municipal.

O PMGIRSU deve conter ações que o município pretende realizar a fim de estabelecer uma GIRSU capaz de atender as demandas da sociedade quanto ao tratamento do resíduo. As ações devem ser visualizadas como metas a serem alcançadas a curto, médio e longo prazo, considerando as possíveis alternativas relacionadas a questões locacionais (de aterro, estações de transbordo, pontos de coleta voluntária de resíduos recicláveis) e técnico-operacionais (rotas de coleta, sistema de coleta, sistema de triagens) (IPT, 2000).

A seleção das melhores alternativas deverá levar em consideração critérios sócio-econômicos, ambientais, sociais e político-gerenciais, para que sejam garantidas a manutenção do equilíbrio sócio-ambiental e o desenvolvimento e aprimoramento das ações relacionadas à GIRSU.

Por fim, deve-se considerar a possibilidade de estabelecer cenários que permitam uma visualização sistêmica da GIRSU de forma a integrar as questões envolvidas com o mesmo, estabelecendo um processo de melhoria contínua e da qualidade de vida da população atendida.

#### **2.3.2.6 Gestão de resíduos sólidos urbanos em Ouro Preto**

Nesta seção é apresentado um resumo da atual situação da GRSU no município de Ouro Preto – MG que inclui os distritos de Cachoeira do Campo e Rodrigo Silva, utilizados como áreas de teste para as metodologias propostas no Capítulo 4. As informações aqui apresentadas foram obtidas através do Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (PGIRSU) de Ouro Preto (GOMES et al., 2007) e de entrevistas realizadas com os atores envolvidos com a GRSU do município.

O município de Ouro Preto possui um sistema misto de GRSU onde os serviços de coleta, varrição e destinação final são de responsabilidade de uma empresa terceirizada e a operação do aterro, limpeza de bueiros e capina é de responsabilidade da prefeitura. A prefeitura por sua vez delegou à Secretaria Municipal de Obras, através do Artigo 14 da Lei Complementar nº 2, de 12 de janeiro de 2005, a responsabilidade de gerenciar os serviços de limpeza urbana do município, através da coordenação de limpeza e serviços urbanos.

Segundo Gomes et al. (2007), Ouro Preto possui uma geração per capita de 0,58 kg/hab/dia, sendo a composição gravimétrica média distribuída conforme apresentado na Tabela 3.



Acredita-se que este valor tenha aumentado, uma vez que segundo a Secretaria de Meio Ambiente de Ouro Preto o valor diário de resíduo gerado é de 49 toneladas e a população é de 69.598 habitantes (IBGE, 2010). Sendo assim o valor per capita de resíduo gerado chega a aproximadamente 0,70 kg/hab/dia.

Tabela 3 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos de Ouro Preto.

<b>Tipo de Resíduo</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Madeira	1,63
Matéria Orgânica	52,59
Metais	2,15
Papel e Papelão	20,72
Plásticos	10,60
Trapos	2,14
Outros	6,19

Fonte: Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos de Ouro Preto (GOMES et al., 2007)

O serviço de varrição ocorre em todo o município embora de forma heterogênea entre os distritos. O distrito sede recebe maior atenção por se tratar de um grande pólo turístico e possuir maior demanda (GOMES et al., 2007).

No distrito sede apenas o centro histórico é varrido rigorosamente. Os bairros são atendidos pelo serviço no decorrer da semana, embora não completamente, podendo ser observado a deposição de resíduo em determinadas ruas e becos. Quanto à varrição dos demais distritos constata-se a necessidade de maior atenção, ou pela quantidade insuficiente de garis e lixeiras públicas, ou mesmo pela necessidade em se efetivar um trabalho de educação ambiental junto à população (GOMES et al., 2007).

A capina é feita através da aplicação de herbicidas (capina química). Quando necessário os funcionários da varrição recebem essa responsabilidade por tempo indeterminado conforme demanda.

O acondicionamento do resíduo é feito quase sempre em sacolas plásticas. Embora exista a definição de dias e horários de coleta, muitos moradores colocam o resíduo na rua de forma arbitrária, contribuindo para a permanência deste por longo tempo nas vias públicas.

Outra inconformidade observada é a disposição de resíduo nos cursos d'água que atravessam a zona urbana do distrito sede.

Presume-se que a quantidade de coletores comunitários é insuficiente, pois não é difícil observar em todo o município o acondicionamento de resíduo sobre muros, calçadas e até mesmo ao redor de coletores quando estes estão presentes.

Os veículos disponíveis para coleta são: um veículo especial para coleta de resíduos de saúde, três caminhões compactadores e dois caminhões basculantes. No centro histórico são utilizados, preferencialmente, os veículos de pequeno porte (caminhões basculantes) com o objetivo de permitir o acesso a regiões com alta declividade ou acesso restrito, além de preservar as estruturas das construções antigas. Cada veículo possui uma equipe própria, normalmente composta por duas ou três pessoas (GOMES et al., 2007).

A coleta de resíduos de grandes geradores, realizada por empresas particulares através de caçambas, é observada apenas nas imediações do centro histórico. Nos demais bairros e distritos é comum observar a disposição de resíduos de construção e demolição em becos, terrenos baldios e até em cursos d'água e sobre calçadas.

A destinação final dos RSU em Ouro Preto é feita em aterro controlado, através da disposição dos resíduos em valas. A operação do aterro é responsabilidade da prefeitura que o faz através da Secretaria de Obras. Embora o município possua coleta separada para resíduos especiais, os mesmos são depositados juntamente com os resíduos comuns.

Não há controle e pesagem dos resíduos destinados ao aterro, uma vez que o mesmo não possui balança. No APÊNDICE A é apresentado um resumo da estrutura operacional do GRSU de Ouro Preto.

A partir da análise da estrutura operacional da GRSU de Ouro Preto (APÊNDICE A) é possível observar que, embora os serviços de coleta no município tenham sido avaliados majoritariamente como satisfatórios, apenas o distrito sede possui rotas de coleta estabelecidas. Ademais, O PMGIRSU não contempla a realização de análises espaciais, utilizando técnicas de geoprocessamento, seja na etapa de coleta, seja na etapa de destinação final dos resíduos sólidos urbanos.

### **3 GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE ESPACIAL**

Neste capítulo são apresentados alguns conceitos e definições referentes ao geoprocessamento, sistema de informação geográfica (SIG) e análise espacial, assim como métodos de ponderação de variáveis, técnicas de geração de superfícies, interpoladores espaciais e roteirização.

De maneira geral geoprocessamento pode ser considerado como sendo um conjunto de ciências, técnicas e tecnologias utilizadas para aquisição, processamento, armazenamento e publicação de dados e informações espacialmente explícitas.

Por sua vez, a ênfase da análise espacial, segundo Câmara et al. (2009), é mensurar propriedades e relacionamentos, levando em conta a localização espacial do fenômeno em estudo de forma explícita.

Nos últimos anos os estudos envolvendo geoprocessamento e análise espacial vem se tornando cada vez mais comuns devido à disponibilidade de SIG. As informações obtidas através destes estudos vêm sendo frequentemente utilizadas por órgãos governamentais e empresas privadas como fonte de dados e informações para tomada de decisão e planejamento estratégico (CÂMARA, 2002).

Na literatura sobre esta temática pode-se encontrar diversos exemplos de trabalhos de pesquisa onde há a utilização de SIG na GRSU. Alguns deles são os trabalhos desenvolvidos por Baasch (1995), Brasileiro e Lacerda (2002), Brollo (2001), Calijuri et al. (2002), Dalmas (2008), Paes (2004). Samizava (2008), Vieira (1999), Weber e Hasenack (2002), entre outros.

#### **3.1 Sistema de informação geográfica**

Para Bonham-Carter (1994) um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um sistema computadorizado, composto por um conjunto de ferramentas para manipulação de mapas e imagens digitais geograficamente referenciados. Os SIG possuem a capacidade de fazer a captura, entrada, manipulação, transformação, visualização, consulta, análise, modelagem e apresentação de dados geograficamente referenciados.

Borrough (1994) ressalta que a utilização dos SIG para mapeamento e análise espacial colabora no desenvolvimento e na automação da aquisição e análise de dados, assim como na apresentação e divulgação dos mesmos em diferentes formatos de arquivos.

Ainda segundo Borrough (1994) os SIG são mais do que meios de codificar, armazenar e recuperar dados sobre aspectos da superfície da Terra, eles são sistemas capazes de representar um modelo do mundo real. Isto porque os dados podem ser acessados, transformados, e manipulados interativamente, servindo como uma base de testes no estudo dos processos ambientais, para análise do resultado de tendências, ou para prever possíveis resultados de decisões de planejamento.

Para Câmara et al. (2009) o termo SIG,

[...] é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e armazenam a geometria e atributos dos dados que estão georeferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica (CAMARA, 2002, p. 6)

A Figura 4 apresenta de forma resumida os componentes de um SIG. É interessante notar que um módulo de análise espacial deve estar presente afim de que os dados espacialmente distribuídos possam ser gerenciados a partir de um banco de dados.

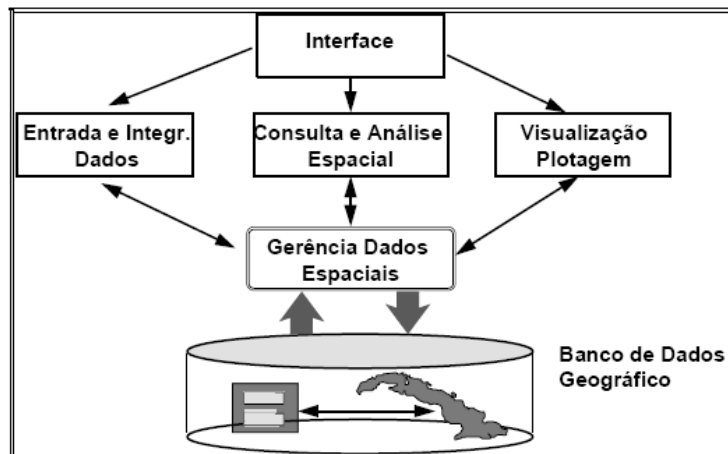


Figura 4 – Componentes de um SIG.

Fonte: Câmara et.al. (2001).

Os SIG vêm sendo amplamente utilizados na GRSU, principalmente nas etapas de coleta e disposição final de RSU.

Diversos autores têm aplicado algoritmos de roteirização implementados em SIG para planejar e definir rotas de coleta de RSU. Dentre estes trabalhos podemos citar aqueles produzidos por Brasileiro e Lacerda (2002), Barão et al. (2008), Bath (1996), Moura et al. (2001) e Paes (2004).

Em relação à utilização de SIG para a seleção de áreas para implantação de aterros sanitários destacamos os trabalhos de Baasch (1995), Brollo (2001), Calijuri et al. (2002), Dalmas (2008), Samizava (2008), Vieira (1999), Weber e Hasenack (2002).

A seguir são apresentados conceitos relacionados à análise espacial de dados geográficos, utilizados na metodologia proposta neste trabalho, tais como: análise multicritério, análise hierárquica de pesos, lógicas booleana e *fuzzy*, roteirização e interpoladores espaciais.

### **3.2 Modelos de análise multicritério**

Os modelos de análise multicritério são aqueles que envolvem um grande número de variáveis que exigem um complexo sistema de avaliação, através do qual deve ser possível analisar a importância e contribuição de cada uma (GOMES, ALMEIDA e GOMES, 2002)

Nem sempre as variáveis relacionadas aos modelos são espacializáveis, ou seja, podem ser representadas distribuídas no espaço geográfico. Os modelos tratados neste trabalho são necessariamente espacializáveis devido às características dos elementos presentes nos objetivos específicos a que ele se propõe.

Segundo Berry (1959, citado por MOURA, 2007) as variáveis envolvidas em um modelo espacializável caracterizam-se por planos de informação georeferenciados, normalmente representados na forma matricial (*raster*), na qual há um referencial geográfico (sistema de coordenadas) que define a localização de qualquer ponto na base de dados, conforme ilustrado na Figura 5. Essa matriz exige uma organização taxonômica (representação das variáveis/legenda) e uma resolução espacial (tamanho da menor área do espaço geográfico representada na imagem) compatíveis com os dados e a escala de trabalho.

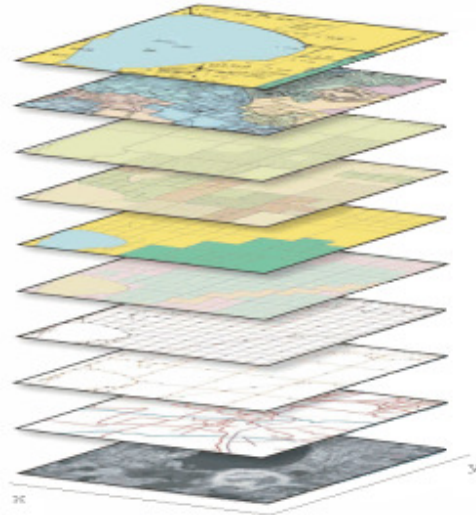


Figura 5 – Planos de informação georeferenciados.

Fonte: [http://urbanidades.arq.br/wp-content/uploads/2010/10/gis\\_layers\\_thumb.png](http://urbanidades.arq.br/wp-content/uploads/2010/10/gis_layers_thumb.png). Acesso em 25 set. 2010.

As metodologias dos modelos de análise multicritério baseiam-se no cruzamento dos planos de informação através de *softwares* específicos que permitem a realização de procedimentos para a realização de diagnósticos e prognósticos.

Para cada plano de informação é atribuído um peso ou grau de pertinência relativo ao fenômeno estudado. Existem diversos métodos para atribuição de pesos às variáveis estudadas, sendo os mais conhecidos: o método Delphi ( LINSTONE, 2002 ), o método de Análise Hierárquica de Pesos (AHP) (SILVA et al., 2004) e os métodos baseados em análises estatísticas.

No que diz respeito à utilização de modelos de análise multicritério na definição de áreas para implantação de aterros sanitários, diversos são os exemplos encontrados na literatura, tais como os trabalhos de Calijuri et al. (2002), Vieira (1999), Weber e Hasenack (2002), Brollo (2001), entre outros.

A seguir são apresentadas noções gerais dos métodos Delphi e AHP, por serem utilizados neste trabalho.

O método Delphi, desenvolvido nos Estados Unidos, teve sua origem em um estudo da Força Aérea Americana em 1950 que recebeu a denominação Relatório Delphi. Esse estudo versava sobre quais seriam os pontos de vista de estrategistas soviéticos a respeito dos

principais objetivos da indústria bélica americana. A metodologia utilizada foi a de buscar um consenso, o mais confiável possível, a partir das opiniões de um grupo de especialistas, por meio de uma série intensa de questionários, entremeados por informações sistematizadas que retroalimentavam os especialistas (LINSTONE, 2002).

O Delphi foi proposto como um método rápido e de custos reduzidos para se obter o consenso de especialistas em dado tema a partir da troca de informações e discussões internas. A versão lápis-e-papel é a mais comumente utilizada para o emprego da metodologia Delphi, e baseia-se na elaboração de questionários que são respondidos a distância por gestores envolvidos no processo de elaboração de cenários e indicadores.

Uma vez respondidos os dados são tabulados e analisados através, por exemplo, de parâmetros estatísticos como a moda, média, mediana, entre outros. Esta análise deve identificar um grau satisfatório de convergência para as respostas.

Na Tabela 4 é apresentado um exemplo de ponderação e atribuição de graus de pertinência (pesos) para a avaliação de riscos à ocupação num determinado local. As variáveis escolhidas foram: faixa de domínio de rodovia, risco geotécnico, declividade e mineração a céu aberto.

Tabela 4 – Ponderação na avaliação de riscos à ocupação.

Variáveis	Pesos	Componentes dos temas	Notas
Faixa de domínio de rodovia	15%	Faixa de domínio rodovia	10
		Área fora da faixa	0
Risco geotécnico	30%	Nulo	0
		Remoto	1
		Baixo	3
		Moderado	5
		Alto	9
		Muito Alto	10
Declividades	30%	0 a 30%	0
		30 a 47%	7
		Acima 47%	10
Mineração a céu aberto	25%	Área atingida por mineração	10
		Área não atingida	0

Fonte: Adaptado de Moura (2007)

O método de Análise Hierárquica de Pesos (AHP), também conhecido como método de comparação par a par foi desenvolvido pelo professor Thomas Saaty em 1978 (GOMES et

al., 1999). Esta técnica utiliza uma matriz quadrada  $n \times n$  de comparação entre os  $n$  critérios, onde as linhas e as colunas correspondem aos critérios (na mesma ordem ao longo das linhas e das colunas). Os critérios são comparados a partir da definição de uma escala destinada a orientar as comparações efetuadas, conforme proposto por Saaty (1980) e apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Escala de comparação de critérios.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Bastante	Muito	Pouco	Igual	Pouco	Muito	Bastante	Extremamente
MENOS IMPORTANTE					MAIS IMPORTANTE			

Fonte: Adaptado de Saaty (1980)

Segundo Saaty (1980, citado por SILVA et al., 2004), o processo de determinação dos pesos desenvolve-se em sete etapas, as quais são listadas a seguir:

- 1) construção da matriz de comparação par a par;
- 2) cálculo do auto-vetor principal;
- 3) cálculo do auto-valor máximo;
- 4) cálculo do índice de consistência;
- 5) cálculo do índice de aleatoriedade;
- 6) cálculo do grau de consistência;
- 7) eventual reavaliação da matriz de comparação caso o grau de consistência for superior a 0,1.

Todo este processo é simplificado através da sua sistematização em programas de computador. Entre os mais conhecidos encontra-se o *software Expert Choice*, desenvolvido pelo próprio Thomas Saaty (SILVA et al., 2004).

Uma vez definidos os pesos e índices de consistências das variáveis, estas devem ser comparadas entre si utilizando-se lógicas de análise e integração. Em análise espacial as principais lógicas utilizadas são: a lógica booleana e a lógica *fuzzy*.

A lógica booleana, segundo Borrough e Macdonnell (1998), é aquela que atribui o valor 0 ou 1 para as respectivas variáveis em análise. Indica-se, assim, se uma afirmativa é verdadeira ou falsa perante determinada hipótese.



A lógica booleana utiliza os operadores lógicos “E”, “OU”, “XOR” (“OU” exclusivo) e “NÃO” para determinar se uma hipótese satisfaz ou não uma determinada condição. O operador “E” refere-se à interseção entre dois conjuntos. O operador “OU” refere-se à união dos conjuntos. O operador “XOR” refere-se a aquelas entidades que pertencem a um conjunto e ao outro, mas não aos dois conjuntamente. E por fim, o operador “NÃO” indica as entidades que pertencem a um conjunto A mas não ao B.

Esta técnica, em princípio, se assemelha à consagrada forma de análise utilizando a sobreposição de mapas em formatos translúcidos. No entanto, esta forma simples de representação apresenta a limitação de não ponderar suas entradas, de acordo com seus respectivos níveis de importância.

Embora esse método seja prático, normalmente não é o mais adequado, pois o ideal é que as variáveis com importâncias relativas diferentes recebam pesos diferentes e não sejam tratadas igualmente (0 ou 1) como acontece (CAMARA et al., 2004).

Uma lógica capaz de resolver este problema é conhecida como lógica *fuzzy* ou lógica nebulosa. Sobre a ótica da lógica *fuzzy* os valores de uma determinada variável são expressos em uma escala contínua dentro de um intervalo estabelecido, como por exemplo, 0 a 1, diferentemente da lógica booleana onde os valores são 0 ou 1.

Com a lógica *fuzzy* Calijuri et al. (2002) acredita que obteve-se uma estrutura conceitual apropriada para a tomada de decisão, pois essa lógica *fuzzy* tende a diminuir a subjetividade na escolha e a aumentar o raciocínio no processo de decisão.

Da mesma forma Seixas Filho (1993, citado por MOURA, 2005) acredita que a lógica *fuzzy* permite lidar com conceitos imprecisos dependentes da intuição e avaliação humanas; a natureza binária é pouco adaptável a situações reais, enquanto a natureza contínua representa melhor a subjetividade das situações.

A lógica *fuzzy* é bastante utilizada para a padronização de variáveis presentes num modelo multicritério. Esta padronização consiste na transformação de unidades de medidas diferentes numa única base de comparação, permitindo assim a comparação entre duas variáveis distintas.

Como exemplo, a utilização da variável “faixa de domínio da rodovia”, apresentada na Tabela 5 e selecionada para a avaliação de “riscos à ocupação”. Sob a ótica da lógica booleana a região estudada recebe a nota 10 caso esteja contida no domínio (distância) da rodovia previamente definido, e recebe a nota 0 caso não esteja inserida nesse domínio. Caso o domínio da rodovia seja definido como 500 metros de distância, tanto as áreas com 1 e 499 metros de distância receberiam a nota 10 para esta variável. No entanto, é razoável a hipótese de que a região situada a 1 metro de distância da rodovia possui maior risco à ocupação do que a situada à 499 metros.

Desta forma, caso as notas fossem atribuídas de forma contínua, através, por exemplo, de uma função linear do tipo  $f(x) = ax + b$ , seria garantida a coerência com a realidade, no que diz respeito aos riscos a ocupação.

A estas funções utilizadas para a normalização ou padronização dos pesos, é dado o nome: funções de pertinência. As principais funções de pertinência utilizadas em lógica fuzzy são: função linear, função sigmoidal decrescente, sigmoidal crescente, sigmoidal simétrica e funções em forma de J (*J Shapped*) (SAMIZAVA et al., 2008). Entretanto, outras funções podem ser utilizadas no processo de normalização, desde que sejam coerentes com as hipóteses analisadas.

Na Seção 3.3, a seguir, são apresentados os conceitos relacionados à análise espacial para tratar as variáveis que podem ser expressas em um sistema de redes e possuem comportamento regido por regras de fluxo. Tais conceitos são fundamentais para compreender o processo de definição da roteirização da coleta de RSU, um dos objetivos deste trabalho.

### **3.3 Roteirização**

O termo roteirização, equivalente ao inglês “*routing*”, vêm sendo utilizado para designar o processo para a 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, que necessitam de atendimento.

Segundo Cunha (2002), o primeiro problema de roteirização a ser estudado foi o clássico problema do caixeiro viajante, que consiste em encontrar o roteiro de cidades a serem

visitadas por um caixeiro viajante de forma que as distâncias totais percorridas sejam minimizadas e que cada cidade seja visitada exatamente uma vez. A partir do problema do caixeiro viajante uma série de considerações vem sendo incorporadas ao processo de roteirização, tais como: horário de atendimento, capacidades de veículos, duração máxima de roteiros (tempo e distância), restrições de caminhos, entre outros.

A roteirização de veículos envolve um conjunto muito grande de diferentes tipos de problemas com considerações e aplicações específicas. O princípio básico da roteirização está relacionado com os conceitos de aplicativos de rede os quais são ferramentas de tratamento e simulação de dados espaciais que ocorrem dentro de um determinado sistema de fluxos.

Para representação deste sistema de fluxos são utilizados grafos. Os grafos são estruturas formadas por um conjunto de nós  $N = \{n_1, n_2, \dots\}$  e um conjunto de arcos  $A = \{a_1, a_2, \dots\}$ , tal que cada arco  $a_i$ , pertencente a  $A$ , está associado a dois nós  $n_p$  e  $n_q$ , pertencentes a  $N$ . Na Figura 6 é apresentada a representação gráfica de um grafo formado por um conjunto de nós e arcos.

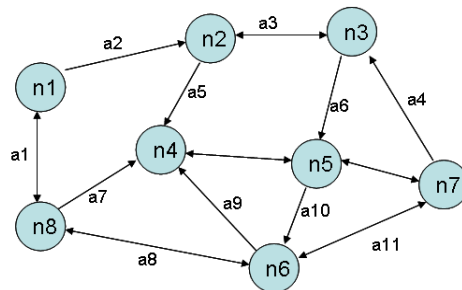


Figura 6 – Exemplo de um grafo.  
Fonte: Freitas (2003).

Na roteirização da coleta de resíduos sólidos urbanos a malha viária de uma determinada cidade é representada por um grafo, onde os arcos representam as ruas e os nós as intersecções entre elas (esquinas e cruzamentos). Os sentidos dos fluxos devem obedecer àqueles estabelecidos pelo trânsito local, assim como devem ser levadas em consideração as características da via que podem interferir na realização da coleta, tais como: declividade, tipo de calçamento, largura da via, trânsito, entre outras. A estas características dá-se o nome de impedância.

Diversos são os trabalhos de pesquisa que aplicam os conceitos da roteirização na coleta de RSU, dentre eles encontram-se aqueles realizados por Brasileiro e Lacerda (2002) e Paes (2004).

Atualmente existem *softwares* capazes de lidar com os problemas relacionados a aplicativos de rede e sistemas de fluxos. Tais *softwares* possuem diferentes tipos de heurísticas e algoritmos para resolver os diversos tipos de roteirização existentes. Entre os algoritmos mais conhecidos encontram-se o algoritmo de Dijkstra, algoritmo genético, colônia de formigas, *out-of-kilter*, entre outros. Bodin (1990) apresenta um resumo dos principais algoritmos utilizados em problemas de roteirização.

Na Seção 3.4, a seguir, são apresentados os conceitos relacionados à geração de superfícies a partir de dados pontuais, comumente utilizadas em trabalhos que envolvem a análise espacial. Os mecanismos que permitem este processo são conhecidos como interpoladores espaciais.

### **3.4 Interpoladores espaciais**

Para a análise espacial de um determinado fenômeno pode ser necessário gerar superfícies contínuas de interpolação a partir de eventos ou padrões pontuais. Estas superfícies são estimadas a partir de um conjunto de amostras de campo, regularmente ou irregularmente distribuídas, e a aplicação de uma técnica de interpolação adequada ao fenômeno em questão.

Diversos são os interpoladores utilizados para determinar a variabilidade espacial de um fenômeno. Nas Seções 3.4.1 e 3.4.2, a seguir, são apresentados os interpoladores utilizados neste trabalho: triangulação de Delaunay (rede de triângulos irregulares) e densidade de kernel.

#### **3.4.1 Triangulação de Delaunay e modelos digitais de elevação**

O relevo é um aspecto do terreno que deve ser conhecido em estudos e análises espaciais que lidam com questões relacionadas à organização, planejamento e gestão do espaço geográfico.

As formas tradicionais de representação do relevo através de curvas de nível e pontos cotados não permitem a realização de análises numéricas, simulações e modelagens eficientes. Surge, portanto, a necessidade de uma nova representação que permita expressar e manusear os atributos usualmente utilizados nos processos de tomada de decisão que envolva o relevo. Alguns destes atributos são: a declividade, orientação de encostas, campo de visão, entre outros.

Neste contexto tem-se os modelos digitais de elevação (MDE), também conhecidos como modelos digitais de terreno (MDT), definidos como sendo a representação matemática da distribuição contínua do relevo dentro de um espaço de referência, armazenada em formato digital adequado para utilização em computadores (ELMIRO, 2007).

Embora existam várias estruturas para representação de um MDT duas se destacam: a grade regular e as redes de triângulos irregulares, do inglês *triangulated irregular network* (TIN). Neste trabalho apenas as redes de triângulos irregulares são apresentadas, por ser a estrutura aqui utilizada.

De acordo Elmiro (2007) a TIN é uma estrutura de subdivisão planar em que as arestas são segmentos de reta e os polígonos triângulos criados a partir da aplicação do algoritmo de Delaunay em um conjunto de pontos cotados (amostras). Este algoritmo cria uma triangulação contida no fecho convexo dos pontos amostrais, e a superfície é então aproximada pelos triângulos tridimensionais formados. Como os três vértices de um triângulo definem um plano, esta estratégia equivale a imaginar que o relevo varia linearmente entre dois pontos cotados conhecidos. O que é suficiente para a maioria das aplicações. Se o grau de aproximação obtido não for satisfatório, pode-se densificar a malha de triângulos, introduzindo novos pontos.

Na Figura 7 é apresentado um exemplo de uma triangulação de Delaunay sobre um conjunto de 52 pontos. Quanto maior o número de pontos maior será a definição da superfície gerada; caso a aproximação obtida não seja satisfatória, novos pontos poderão ser adicionados á superfície.

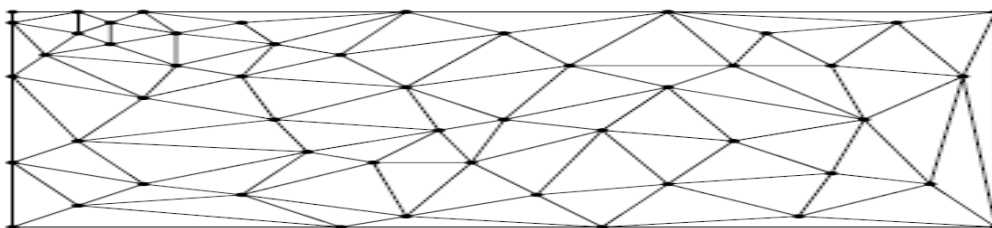


Figura 7 – Rede de triângulos irregulares gerada a partir da triangulação de Delaunay.  
Fonte: Elmiro (2007).

Uma aplicação freqüente da triangulação de Delaunay é na elaboração de mapas de declividade, conforme observado nos trabalhos de Calijuri (2002) e Baacsh (1995), assim como no mapa de declividades apresentado no ÂPENDICE C.7. Outra aplicação da TIN é na elaboração de modelos tridimensionais de elevação que associados a imagens de satélite permitem uma visualização prévia da geomorfologia de uma determinada região.

### 3.4.2 Densidade de kernel

O interpolador ou estimador de densidade de kernel provém do conceito estatístico de função de densidades de probabilidade. Ele apresenta-se como uma alternativa para analisar o comportamento de fenômenos pontuais, através da estimativa da intensidade de um processo que ocorre em uma determinada região de estudo. Segundo Câmara et.al. (2004),

[...] este estimador supõe que a densidade de um determinado fenômeno varia localmente de forma suave sem “picos” ou “descontinuidades”. Seu objetivo é produzir superfícies mais suaves, que se espera mais representativas de fenômenos naturais e sócio-econômicos (CAMARA, et. al., 2004. p. 6).

Este processo de interpolação gera uma grade em que cada célula representa o valor da densidade de um determinado atributo, conforme uma função ( $k$ ) específica que determina uma região de influência com raio  $\tau$  e centro em  $s$  dentro da qual os eventos contribuem para o cálculo da intensidade. O valor obtido será uma medida de influência das amostras na célula.

Quando se estima o kernel sobre uma grade, pode-se pensar em uma função tridimensional que visita cada ponto  $s$  dessa grade, conforme mostrado pela Figura 8.

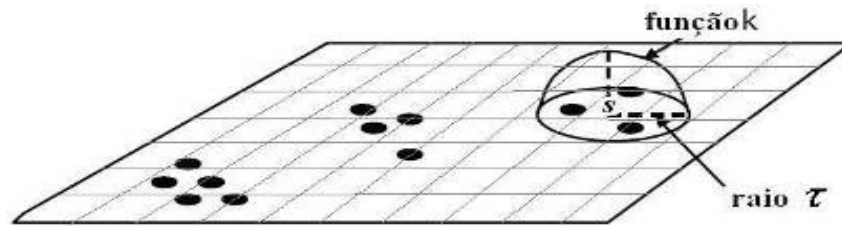


Figura 8 – Representação do processo de interpolação por estimadores de kernel.  
 Fonte: Adaptado de Câmara et al. (2004).

Calculam-se as distâncias de cada ponto  $s$  aos atributos observados que estiverem dentro da região de influência limitada pela distância  $\tau$ , conforme dado pela Equação 3:

$$\lambda_{\tau}(s) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} k\left(\frac{(S - S_i)}{\tau}\right) \quad (3)$$

na qual  $\lambda_{\tau}(s)$  é o valor da intensidade em uma superfície,  $k$  é a função de interpolação utilizada para determinar a superfície,  $\tau$  é o raio de cobertura (de influência) que define a vizinhança do ponto a ser interpolado,  $S$  é o valor da intensidade na célula estimada, e  $S_i$  são os valores das células vizinhas inseridas no raio  $\tau$ .

A escolha de do raio de cobertura ( $\tau$ ) define a suavização da superfície gerada. Para  $\tau$  grandes a intensidade estimada é suave e, para pequenos, a intensidade tende a gerar picos centrados em  $s$ .

Segundo Câmara et al.(2004) a forte dependência do raio de cobertura e a busca excessiva pela suavização da superfície apresentam-se como desvantagens deste interpolador, pois em alguns casos estes parâmetros podem esconder variações locais importantes relacionados aos dados analisados.

Contudo, os interpoladores de kernel vêm sendo amplamente utilizados em estudos de análise espacial que envolvem fenômenos naturais e sócio-econômicos, tais como: estudos epidemiológicos, sociais, demográficos, biológicos, entre outros (CAMARA et al, 2004)

## 4 METODOLOGIA

No Capítulo 2 – Seção 2.3.2 foram apresentadas e discutidas as etapas da GRSU, destacando-se aquelas com potencial para a aplicação de técnicas de geoprocessamento (Figura 2), visando gerar dados e informações, de forma otimizada, para subsidiar o planejamento e a gestão de resíduos sólidos quanto a questões locacionais e técnico-operacionais. No presente capítulo são apresentadas três metodologias, baseadas nos pressupostos conceituais e metodológicos inerentes ao geoprocessamento, SIG, métodos de análise espacial e a GRSU, que visam contribuir para a otimização do planejamento e gestão de resíduos sólidos, mais especificamente com as etapas de: seleção de áreas para implantação de aterro sanitário (Seção 4.1); definição de rotas de coleta e destinação definição de rotas de coleta e destinação dos RSU (Seção 4.2); definição dos melhores locais para instalação de pontos de entrega voluntária de resíduos recicláveis (PEV) (Seção 4.3). Essas metodologias correspondem aos objetivos específicos propostos no Capítulo 1 - Seção 1.1.

Para testar as metodologias propostas foram utilizados dois distritos do município de Ouro Preto – MG: Rodrigo Silva (seleção de áreas para implantação de aterro sanitário) e Cachoeira do Campo (definição de rotas de coleta e destinação de resíduos e dos melhores locais para instalação de PEV). No mapa da Figura 9 é apresentada a localização destes dois distritos no contexto espacial do município de Ouro Preto.

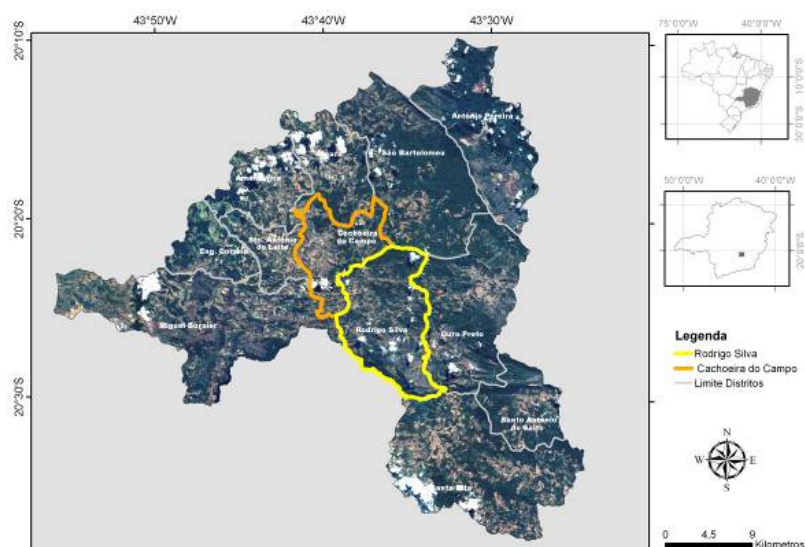




Figura 9 – Localização dos distritos Rodrigo Silva e Cachoeira do Campo – no município de Ouro Preto - MG

#### 4.1 Seleção de áreas para implantação de aterro sanitário

A metodologia utilizada para a definição de áreas com potencial para implantação de aterro sanitário é resumida no fluxograma da Figura 10.

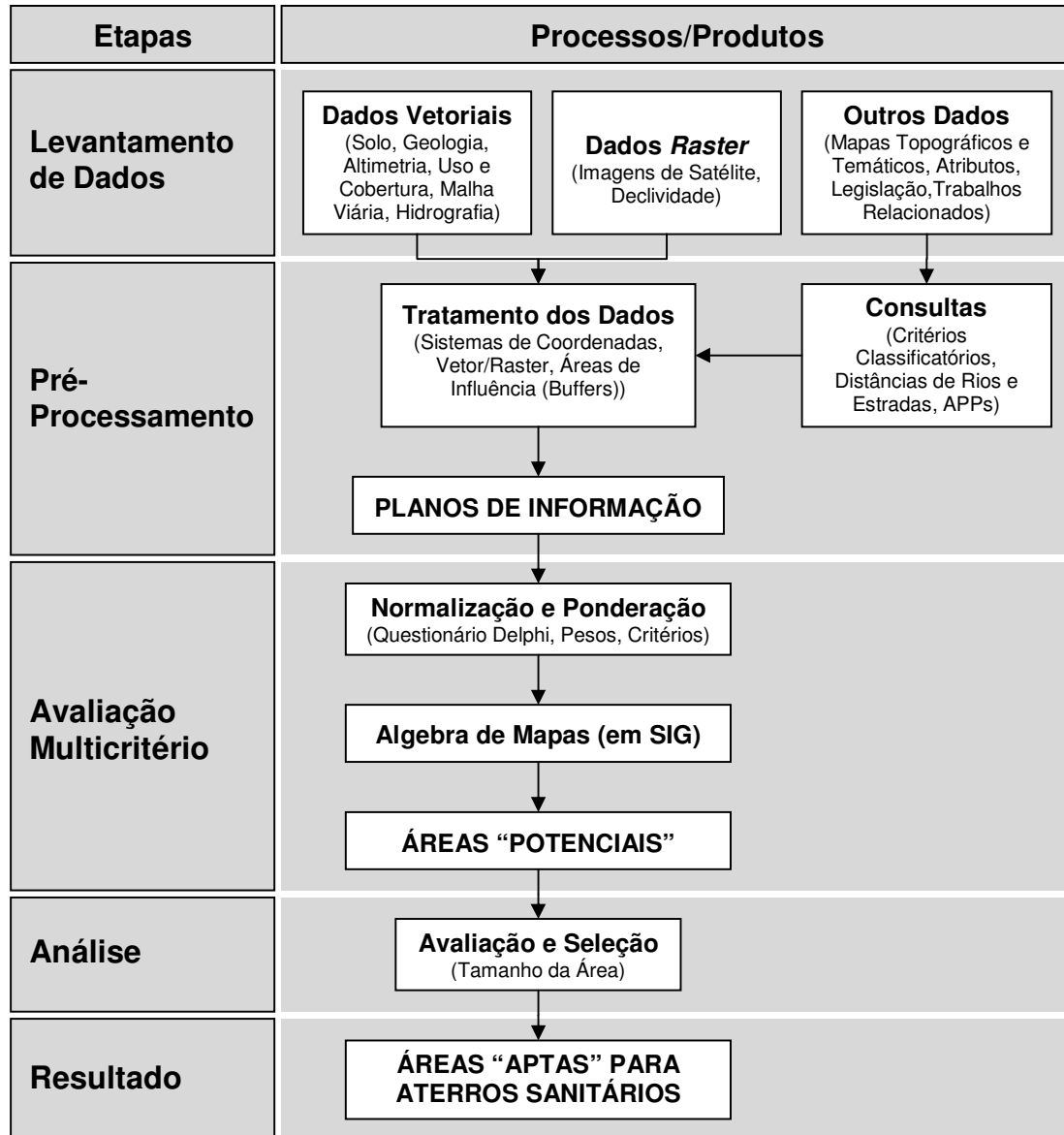


Figura 10 – Fluxograma da metodologia para seleção de áreas para implantação de aterro sanitário.

Inicialmente foi realizado o levantamento da base cartográfica e alfanumérica, assim como de referências bibliográficas relacionadas ao tema. Entre os dados utilizados encontram-se: imagem IKONOS II - 2007, altimetria representada por curvas de nível geradas a partir de dados SRTM, Mapa Geológico – 1:25.000 (BALTAZAR, et al., 2005), Mapa Hidrográfico – 1:25.000 (BALTAZAR et al., 2005), base cadastral vetorizada (ruas, bairros, limites distritais, etc.) – 1:5.000, e cartas topográficas do IBGE da região de estudo – 1:50.000.

Os dados cartográficos levantados foram processados e compilados através de procedimentos de digitalização, vetorização, associação de dados alfanuméricos e conversão vetor/*raster*. Para o sistema de referência espacial foi adotado o Datum SAD 69 (*South American Datum 1969*) e o sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator).

Uma vez compatibilizada a base cartográfica, foram gerados os planos de informação (APENDICE C) com base nos critérios estabelecidos pela NBR 13.896 (ABNT, 1997), Lei nº 4.771/1965 – Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 1965), Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (IBAM, 2004) assim como nos trabalhos realizados por Calijuri et al. (2002), Samizava et al. (2008), Weber e Hazenack (2005) e Dalmas (2008).

Para a geração dos planos de informação foram utilizados procedimentos para definição de áreas de influência (*buffers*) e conversão vetor/*raster*. Os planos de informação utilizados na análise dividiram-se entre restritivos e escalonáveis conforme especificado a seguir.

Os planos de informação classificados como restritivos possuem caráter booleano e eliminam as áreas que, devido a impossibilidades técnicas ou legais, não podem ser utilizadas para a destinação de resíduos sólidos, são eles:

- distância mínima dos cursos d'água e rede de drenagem: adotou-se, conforme estabelecido pela NBR 13896 (ABNT, 1997), a distância mínima de 200 m de qualquer corpo d'água, a fim de evitar possíveis contaminações dos mesmos;
- distância mínima das rodovias: estabelecida em 200 m, objetivando preservar as áreas de circulação do impacto visual do aterro;
- distância de moradias: estabelecida em 500 m de áreas urbanas, núcleos populacionais e sedes de fazenda, com o objetivo de mitigar a disseminação de doenças e evitar problemas com a comunidade do entorno;

- distância de falhas geológicas: delimitada em 200 m a fim de evitar possíveis riscos causados por regiões geologicamente instáveis;
- Áreas de Preservação Permanente: conforme definidas pelas Resoluções CONAMA 302/2002, 303/2002 e 369/2006 (CONAMA, 2002a, 2002b, 2006); as áreas de topo de morro foram delimitadas conforme metodologia proposta por Cota (2008).

Os planos de informação classificados como escalonados são aqueles que, geralmente, possuem natureza contínua (declividade, distância de estradas, solos etc.) e quando combinados resultam num mapa que exprime a variação de aptidão para o objetivo analisado.

Na análise destes planos foi utilizada a lógica *fuzzy* (Capítulo 3 – Seção 3.2), que ao contrário da lógica booleana não classifica cada variável como apta ou não apta ao fim pretendido, mas permite transformá-la em valores de aptidão que mantêm a variação espacial original. Desta forma, o mapa final obtido não identifica áreas aptas ou inaptas, mas representa uma superfície de aptidão onde todos os pixels possuem uma nota de 0 (menos apto) a 255 (mais apto) resultante da aplicação dos critérios e de sua análise ponderada, que indicam sua aptidão individual ao propósito desejado (WEBER e HASENACK, 2002).

Os planos de informação utilizados para a avaliação encontram-se descritos a seguir, assim como as considerações relativas a cada um deles:

- geologia: estabilidade geológica e profundidade do lençol freático;
- solos: permeabilidade e disponibilidade de material argiloso para recobrimento do aterro e profundidade do lençol freático;
- declividade: considerou-se que baixas declividades favorecem as operações de movimentação de resíduos e solos, além de oferecer condições menos críticas para os sistemas de drenagem;
- uso e cobertura do solo: levando-se em conta os impactos gerados e os custos relativos à adequação da área durante a etapa de implantação do aterro; desta forma, áreas não utilizadas ou com pouca cobertura vegetal receberam maiores valores de aptidão;

- distância de rios: as áreas mais distantes dos cursos d'água receberam maiores valores de aptidão em função da maior dificuldade de contaminação pelos efluentes gerados no aterro;
- distância de estradas: considerou-se que áreas mais próximas ao limite estabelecido para as estradas demandam um menor investimento estrutural e econômico, conseqüentemente, estas áreas receberam maiores valores de aptidão no momento da avaliação;
- distância de casas: áreas mais distantes de núcleos urbanos e casas receberam maiores valores de aptidão a fim de minimizar os impactos gerados pela implantação de um aterro sanitário.

Para a conversão *vetor/raster* dos planos de informação foram utilizadas células de 120x120 m, tendo como base uma acurácia (precisão da representação de determinado elemento em um mapa) de 0,2 mm e a menor escala da base cartográfica de 1:600.000 (Mapa de Solos).

A padronização ou normalização dos planos de informação consiste no processo de ponderação das classes presentes em cada plano de acordo com uma escala uniforme. Esta padronização permite a comparação entre os diferentes planos utilizados na análise e traduz a variação quantitativa do fenômeno analisado, de acordo com o princípio da lógica *fuzzy*. Este processo é necessário uma vez que nem sempre os valores de diferentes planos de informação são comparáveis entre si. A título de exemplo podemos citar a impossibilidade de se comparar dados de declividade, normalmente expressos em porcentagem, com dados de distância, expresso em metros, assim como dados nominais, como no caso da geologia (quartzito, xisto, filito), não podem ser comparados com dados numéricos.

Segundo Silva (2004), o processo de padronização é em sua essência análogo ao processo de "*fuzzification*" introduzido pela lógica *fuzzy*, segundo o qual um conjunto de valores expressos numa determinada escala é convertido numa outra comparável, expressa num intervalo normalizado (por exemplo, entre 0 e 1). No presente trabalho os valores de todas as variáveis são escalonados no intervalo de um *byte* (0 a 255).

A atribuição da aptidão varia conforme cada critério. Por exemplo, com relação ao fator distância a rodovias, pode-se admitir que quanto mais próximo uma determinada área se

situar de uma rodovia (respeitando-se a restrição de 200 m), menores serão os custos de implantação e operação do aterro e, conseqüentemente, mais apta será considerada essa área. Assim, a aptidão máxima pode ser atribuída à menor distância (no caso 200 m) e a aptidão mínima à maior distância de uma rodovia encontrada na região em estudo (no caso 4.200 m).

De acordo com Silva (2004) para a padronização dos valores entre os pontos mínimo e máximo várias são as funções utilizadas, entre elas podemos citar: sigmoidal (crescente, decrescente e simétrica), *J. Shaped*, linear e complexa. Na Figura 11 são apresentadas algumas funções utilizadas no processo de padronização. Neste trabalho a padronização das variáveis foi realizada através da utilização da função linear.

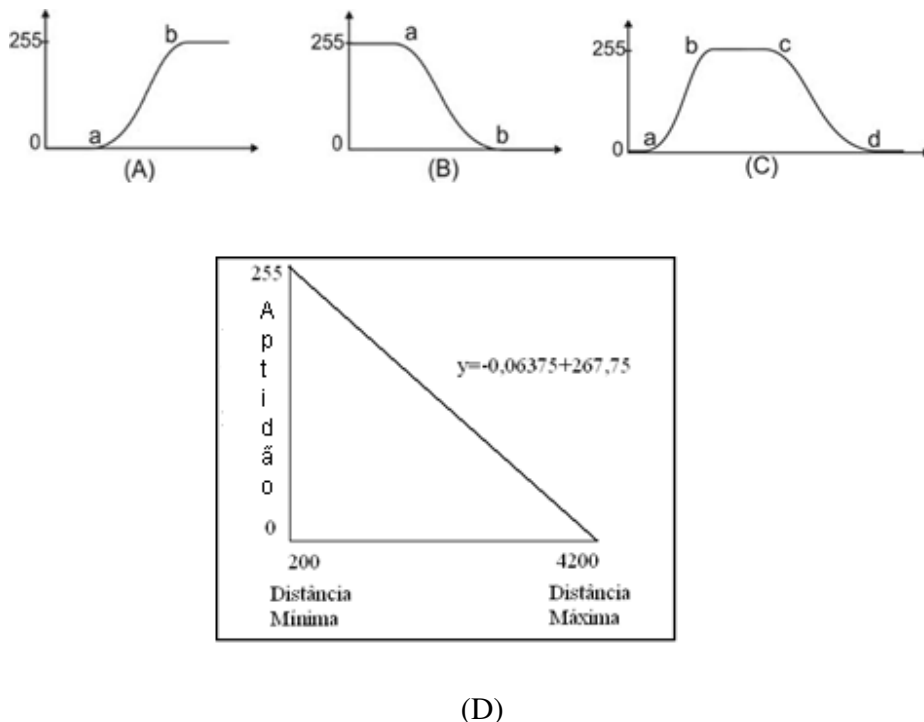


Figura 11 – Funções utilizadas no processo de padronização: (A) sigmoidal crescente; (B) sigmoidal decrescente; (C) sigmoidal simétrica; (D) linear.

O método de ponderação utilizado foi baseado na comparação par a par, implementado no *software Expert Choice 11.5*. Conforme apresentado no Capítulo 3 – Seção 3.2, esta técnica utiliza uma matriz quadrada  $n \times n$  de comparação entre os  $n$  critérios, onde as linhas e as colunas correspondem aos critérios. Os critérios são comparados a partir da definição de

uma escala destinada a orientar as comparações efetuadas, conforme proposto por Saaty (1980).

Os valores utilizados na comparação par a par, dos planos de informação, foram obtidos pela aplicação de um questionário DELPHI (APÊNDICE A). Para a aplicação do questionário foram convocados 15 especialistas com reconhecido conhecimento acerca da GRSU.

Uma vez obtidos os pesos, os mesmos foram aplicados aos planos de informação padronizados para a geração do mapa final de aptidão através da soma ponderada dos planos de informação conforme descrito na Equação 4 (utilizando a extensão *Raster Calculator – ArcGIS 9.3*):

$$P_f = \sum_{i=1}^n \alpha_i * P_1 + \dots + \alpha_n * P_n \quad (4)$$

na qual  $P_f$  representa o mapa final,  $\alpha_i$  os pesos atribuídos aos planos de informação; e  $P_i$  os planos de informação utilizados na análise.

As áreas obtidas a partir da análise multicritério foram avaliadas segundo critérios de dimensionamento estabelecidos pelo Manual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Municipais (IBAM, 2004). De acordo com esse manual para se estimar a área total necessária a um aterro, em metros quadrados, basta multiplicar a quantidade de resíduo coletada diariamente, em toneladas, pelo fator 560. Esse fator se baseia nos seguintes parâmetros, usualmente utilizados em projetos de aterros: vida útil igual a 20 anos; altura do aterro igual a 20 m; taludes de 1:3; e ocupação de 80% do terreno com a área operacional (IBAM, 2004).

Segundo dados fornecidos pela Secretaria de Meio Ambiente da Prefeitura de Ouro Preto a geração diária atual de resíduo é aproximadamente 49 toneladas. Multiplicando esse valor por 560 obtém-se uma área de 27.440 m<sup>2</sup>.

Para fins de cálculo das áreas obtidas, consideraram-se áreas com potencial para implantação de aterro sanitário aquelas com valores (obtidos a partir da Equação 5) maiores do que 240, embora não seja pretensão deste trabalho definir uma área específica para implantação do aterro e sim apontar aquelas com maior potencial.

## 4.2 Definição de rotas de coleta e destinação

As etapas da metodologia adotada para a definição de rotas de coleta e destinação estão resumidas na Figura 12.

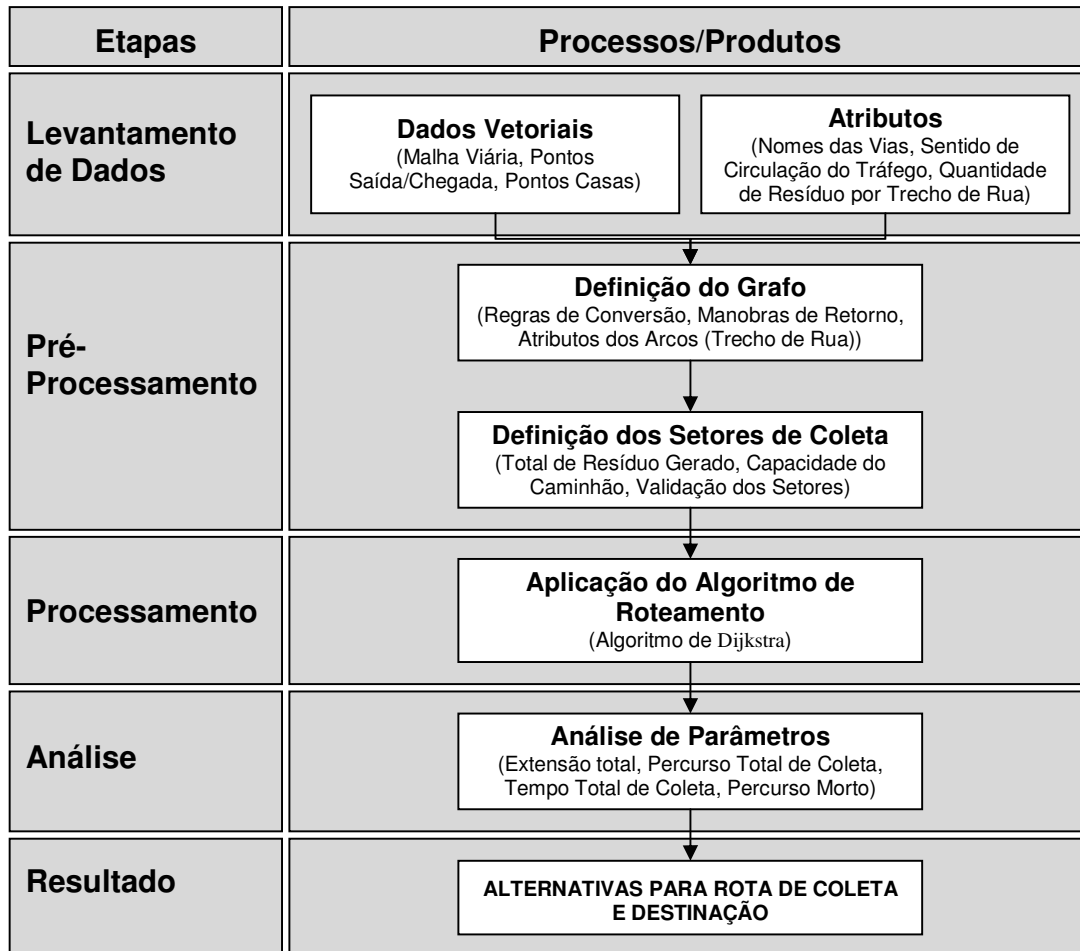


Figura 12 – Fluxograma da metodologia para roteirização de coleta e destinação final de RSU.

Inicialmente foram vetorizados os seguintes elementos utilizados na análise: malha viária, localização da garagem, localização do aterro e residências. Aos eixos das vias da malha viária foram associados os seguintes atributos: nome, comprimento, número de residências, quantidade de resíduo gerado e sentido de circulação permitido.

A quantidade de resíduo gerado ao longo de cada via foi estimado utilizando a Equação 5:

$$QR = Nh \times \frac{Q_{res}}{Pop} \times Q_c \quad (5)$$

na qual,  $QR$  é a quantidade de resíduo gerado por via;  $Nh$  o número de habitantes por domicílio;  $Qres$  a quantidade de geração diária de resíduo;  $Pop$  a população total; e  $Qc$  a quantidade de casas em cada trecho de via.

O número de habitantes por domicílio foi obtido através da média aritmética do número de moradores por domicílio de cada setor censitário do distrito de Cachoeira do Campo (IBGE, 2000). Obteve-se o valor de 4,29 moradores/domicílio, sendo utilizado nos cálculos o valor de 4 moradores/domicílio.

A geração diária de resíduos foi obtida na Secretaria de Meio Ambiente de Ouro Preto e o valor utilizado foi o de 49 toneladas. A população utilizada foi a de 69.598 habitantes (IBGE, 2010).

Substituindo os valores mencionados na Equação 5 obtém-se a Equação 6:

$$QR = 2,82 \times Qc \quad (6)$$

A periodicidade de coleta adotada foi de dois dias. Para se obter a quantidade de resíduo gerada no período de dois dias basta multiplicar a Equação 6 por dois, o que resulta na Equação 7:

$$QR = 5,64 \times Qc \quad (7)$$

Os sentidos de circulação permitidos em cada trecho de via foram obtidos junto a Ourotrans, o órgão gestor do trânsito de Ouro Preto. Os nomes das ruas e avenidas foram obtidos através do *software Google Earth*. As ruas sem nome foram identificadas através de numeração sequencial.

Posteriormente foi criado o grafo (arcos e vértices) para a malha viária de Cachoeira do Campo (utilizando a extensão *Network Analyst – ArcGIS 9.3*). A definição dos atributos do grafo foi realizada da seguinte forma:

- regras de conversão: nenhum tipo de conversão ao longo da rede é proibido (o que corresponde a configuração padrão *Global Turns* da extensão *Network Analyst*) embora na prática a conversão do veículo coletor possa ser impossibilitada devido a fatores como o ângulo entre dois trechos de via;



- manobras de retorno em “U” ou ré: as manobras de retorno em “U” não são permitidas em nenhum ponto da rede, uma vez que a largura das vias não foi considerada na análise, a permissão deste tipo de manobra poderia acarretar em resultados incoerentes com a realidade da malha viária do distrito; entretanto, as manobras de “ré” são permitidas em pontos de fim de rede, o que corresponde às ruas sem saída da malha viária;
- parâmetros associados a cada trecho de rua (arcos): a cada trecho de rua foram associados os atributos nome, comprimento e quantidade de resíduo coletado; desta forma é possível estabelecer a rota de coleta, calcular o tempo necessário para percorrer cada setor e a quantidade acumulada de resíduo coletado ao longo de cada ponto da coleta.

Para a definição dos setores de coleta foi levado em consideração a quantidade de resíduo gerada e a capacidade do veículo coletor.

Foi adotada a utilização de um caminhão com capacidade de 20 m<sup>3</sup>. Dividindo capacidade do caminhão pela densidade dos RSU obtém-se a capacidade (em massa) do caminhão. Segundo Gomides (2005) a densidade do resíduo solto é de 0,25 ton/m<sup>3</sup>, o que resulta numa capacidade de 5 ton.

O total de resíduo gerado em toda malha viária, em Cachoeira do Campo, foi obtido através da soma dos resíduos gerados em cada trecho de via determinado pela Equação 7. O valor obtido foi de 9.582,36 Kg.

Levando-se em conta a quantidade total de resíduo gerada e a capacidade do caminhão foram estabelecidos dois setores de coleta (Setores 1 e 2) com geração de aproximadamente 4.800 Kg (4,8 ton) de resíduo. Isso garante uma margem de manobra (aproximadamente 200 kg), fazendo que os itinerários de coleta não tenham que ser alterados em caso de aumento da geração diária de resíduos por ocasião de chuvas ou eventos festivos.

O método para a definição dos setores de coleta foi validado através do cálculo do número de veículos coletores necessários para cada setor determinado pela Equação 8 (IPT, 2000):

$$N_s = \frac{1}{J} \left\{ \left( \frac{L}{V_c} \right) + 2 \left( \frac{D_g}{V_t} \right) + 2 \left[ \left( \frac{D_d}{V_t} \right) \left( \frac{Q}{C} \right) \right] \right\} \quad (8)$$

na qual  $J$  corresponde a duração útil da jornada de trabalho da guarnição (em número de horas), desde a saída da garagem até o seu retorno, excluindo intervalos para refeições e outros tempos improdutivos, em horas (8h);  $L$  é a extensão total das vias do setor de coleta, em km (35 km);  $V_c$  é a velocidade média de coleta, em km/h (20 km);  $D_g$  é a distância entre a garagem e o setor de coleta, em km (23,71 km);  $D_d$  é a distância entre a garagem e o ponto de descarga, em km (8,46 km);  $V_i$  é a velocidade média do veículo nos percursos de posicionamento e de transferência, em km/h (40 km);  $Q$  é a quantidade de resíduo a ser coletada no setor, em toneladas ou  $m^3$  (4,8 ton); e  $C$  é a capacidade dos veículos de coleta, em toneladas ou  $m^3$  (5,0 ton).

O itinerário em cada setor de coleta (1 e 2) foi obtido utilizando o algoritmo de Dijkstra, que soluciona o problema buscando o caminho mais curto num grafo dirigido ou não dirigido com arestas de peso não negativo (CORMEN et al., 2001), implementado na rotina *Route*, da extensão *Network Analyst – ArcGIS 9.3*.

Além dos critérios estabelecidos por Tchobanoglous e Theisen (1993), mencionados no Capítulo 2 – Seção 2.3.2.3, o itinerário foi definido de acordo com os seguintes passos:

- 1) definição do ponto inicial no local mais próximo entre a garagem e o setor de coleta;
- 2) definição de três pontos de visita (início, meio e fim) para cada trecho de via;
- 3) definição do ponto final no local mais próximo entre o setor de coleta e o aterro sanitário;
- 4) aplicação da rotina para obtenção do itinerário (rotina *Route* do *ArcGIS*);
- 5) verificação se há trecho da rede não visitado, caso positivo repetir os passos 2 e 4;
- 6) repetição do passo 5 até que toda a rede tenha sido percorrida.

Na Figura 13 é apresentado, como exemplo, os pontos de visita definidos para o Setor 1.

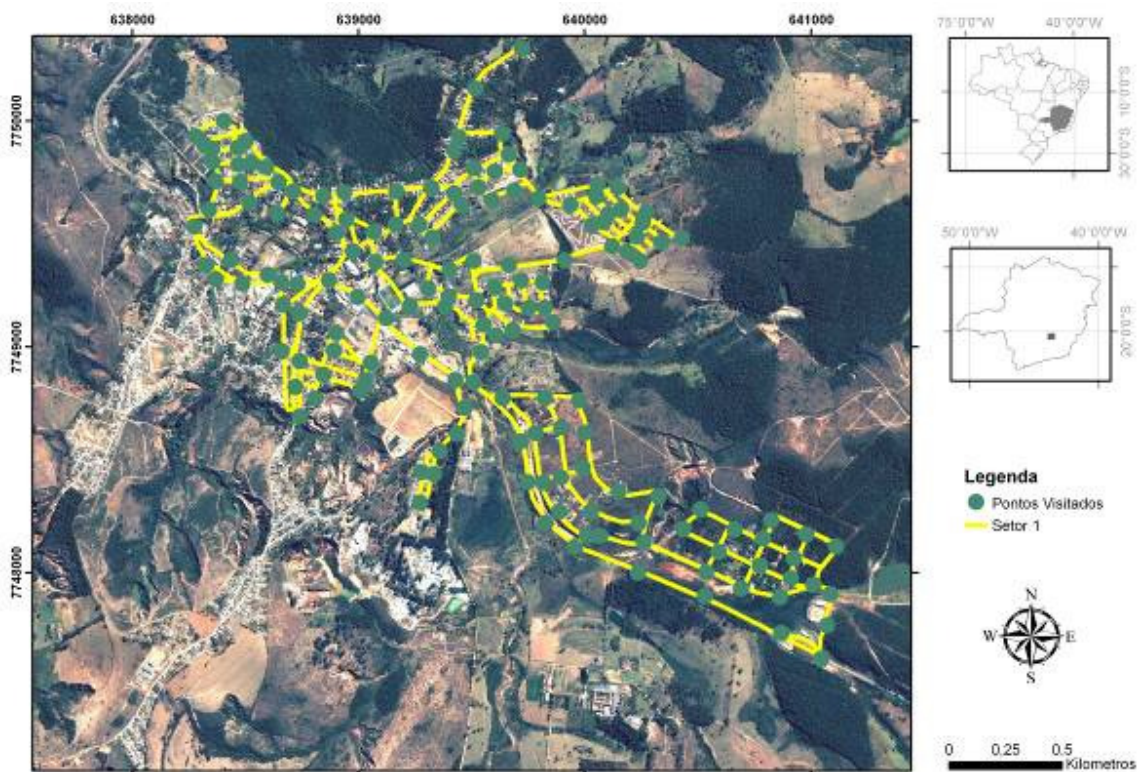


Figura 13 – Pontos de visita para o Setor 1.

Para cada setor foi determinado a extensão total, o percurso total de coleta, as parcelas produtivas e improdutivo do percurso total, o tempo gasto para a coleta, a quantidade de trechos de rua, a quantidade total de resíduos e as quantidades mínima, média e máxima de resíduo por trecho de rua.

O tempo total gasto para a realização da coleta dos RSU foi calculado levando-se em consideração que a velocidade média do caminhão compactador é de 10 km/h durante a operação de coleta (D'ALMEIDA, 2000).

Para o cálculo do percurso improdutivo não foi levado em consideração os trechos entre a garagem e o setor de coleta e o setor de coleta e o local de destinação final.

#### 4.3 Definição de locais para instalação de pontos de entrega voluntária de resíduos recicláveis

A metodologia utilizada para a definição de locais para instalação de pontos de entrega voluntária de resíduos recicláveis é resumida na Figura 14.

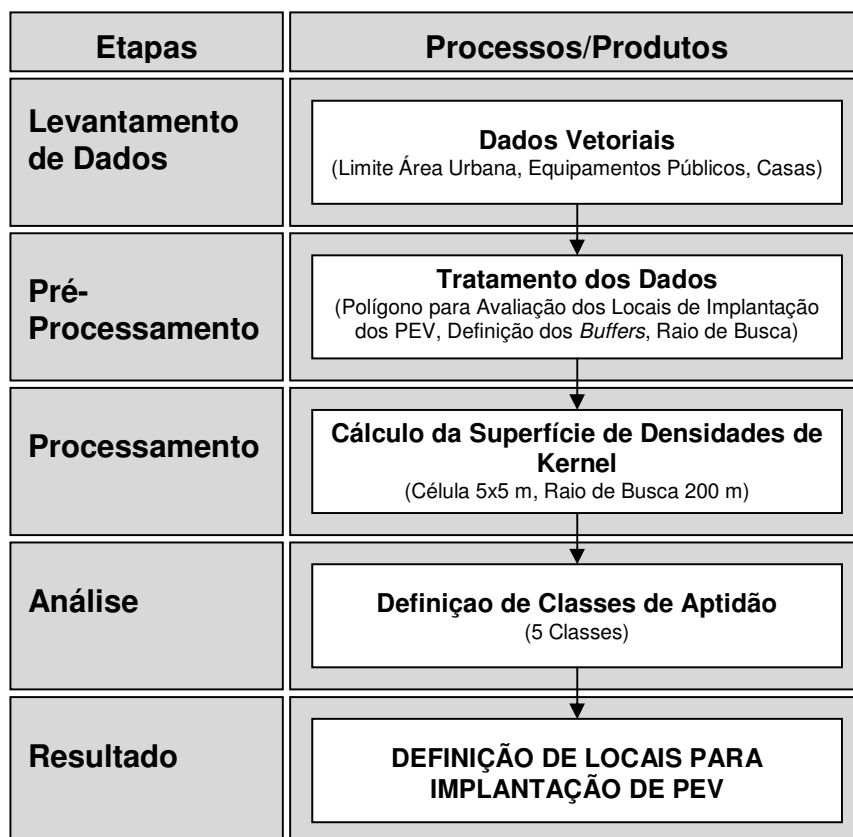


Figura 14 – Fluxograma da metodologia de definição de locais para implantação de PEV.

O primeiro passo para a aplicação da metodologia foi delimitar o polígono no qual seriam avaliados os locais para a implantação dos PEV. Este polígono foi delimitado de forma retangular, ao longo da malha viária do distrito, englobando tanto a área central quanto os bairros.

Posteriormente foram identificados os equipamentos públicos (escolas, praças, parques) que, devido ao seu caráter público de utilização, apresentam-se como locais naturalmente aptos para a implantação de PEV. Para cada equipamento público identificado foi determinada uma área de entorno (*buffer*) circular com raio de 200 m (distância máxima que uma pessoa estaria disponível a percorrer, a pé, para depositar os resíduos recicláveis em um PEV). A região obtida pela união das áreas de entorno de cada equipamento público foi considerada como de alta aptidão para a implantação de PEV.

Para o restante do polígono foi calculado a superfície de densidades de Kernel (Capítulo 3 – Seção 3.4.2) levando-se em consideração as casas existentes dentro do mesmo. (para o

cálculo do mapa de densidades foi utilizada a rotina *Density* – extensão *Network Analyst* do *ArcGIS*).

Para o cálculo da superfície de densidades de Kernel foi atribuído, conforme definido no Capítulo 3 – Seção 3.4.2, uma célula (*pixel*) de 5x5 m, cujo tamanho foi considerado suficiente para instalação de um PEV. Ao raio de circunferência (raio de busca) também foi atribuído o valor de 200 m, tendo como base o mesmo critério utilizado para o cálculo das áreas de entorno dos equipamentos públicos.

A partir do cálculo da superfície de densidades foram estabelecidas cinco classes de aptidão para implantação dos PEV, levando-se em consideração que a aptidão para instalação de um PEV é diretamente proporcional à densidade de casas em um determinado local. As classes atribuídas foram: nula, baixa, média, alta e muito alta.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo são apresentados os resultados obtidos com a aplicação das metodologias apresentadas no Capítulo 4, assim como são discutidas as etapas dessas metodologias.

### 5.1 Seleção de áreas para implantação de aterro sanitário

Aplicando a metodologia descrita no Capítulo 4 – Seção 4.1, para o distrito de Rodrigo Silva – município de Ouro Preto, foram obtidos os planos de informação apresentados no APÊNDICE C.

A aplicação do Questionário Delphi (APÊNDICE B) resultou nos valores de comparação apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores obtidos pela comparação par a par dos planos de informação.

<b>Crítérios</b>	<b>Geologia</b>	<b>Solos</b>	<b>Declividade</b>	<b>Uso e Cobertura</b>	<b>Distância Rios</b>	<b>Distância Estradas</b>	<b>Distância Casas</b>
<b>Geologia</b>	1	1	1/5	1	1/3	1/5	1
<b>Solos</b>		1	1/5	1	1/3	1/5	1
<b>Declividade</b>			1	7	5	3	7
<b>Uso e Cobertura</b>				1	1/3	1/5	1
<b>Distância Rios</b>					1	1/3	3
<b>Distância Estradas</b>						1	5
<b>Distância Casas</b>							1

Cabe ressaltar que, outros planos de informação importantes para a operação do aterro, tais como índice de pluviosidade e profundidade de lençóis freáticos devem ser incluídos na análise caso haja disponibilidade.

A partir da padronização e ponderação dos planos de informação, conforme os critérios mencionados Capítulo 4 – Seção 4.1, foram obtidos os valores dos pesos apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores obtidos pela ponderação e padronização dos planos de informação.

Plano de Informação	Peso	Variáveis	Valores
Uso e Cobertura	0,213	Afloramento Rochoso	0
		Solo Exposto	255
		Vegetação Arbustiva	50
		Vegetação Arbórea	25
		Áreas Cultivadas	10
		Áreas Degradadas	255
Geologia	0,205	Canga	0
		Diabásio	25
		Filito	200
		Itabirito	10
		Quartzito	0
		Rochas Metavulcânicas	250
		Xisto	200
Solo	0,213	Cambissolo Háplico	50
		Latossolo Vermelho	255
		Neossolo Litólico	0
Declividade (%)	0,028	0 a 3	255
		3 a 12	255
		12 a 24	125
		24 a 45	0
		> 45	0
Distância Casas (m)	0,213	600	0
		1200	12
		1800	28
		2400	36
		3000	73
		3600	109
		4200	145
		4800	182
		5400	218
		6000	255
Distância Rios (m)	0,090	300	0
		400	36
		500	73
		600	109
		700	145
		800	182
		900	218
		1000	255
			255
Distância Estradas (m)	0,046	400	255
		800	227
		1200	199
		1600	170
		2000	141
		2400	113
		2800	85
		3200	56
		3600	28
4000	0		

A padronização e ponderação utilizando a lógica *fuzzy* e o método AHP foram suficientes para atender ao objetivo de comparação das diferentes variáveis utilizadas na análise. Outras funções de pertinência, como as sigmoidais e *J-Shapped*, não foram avaliadas neste trabalho.

Os planos de informação ponderados e padronizados pelos pesos e valores da Tabela 8 foram somados (utilizando a rotina *Raster Calculator* do *software ArcGIS 9.3*), gerando o mapa de aptidão para a implantação de aterros sanitários conforme apresentado na Figura 15.

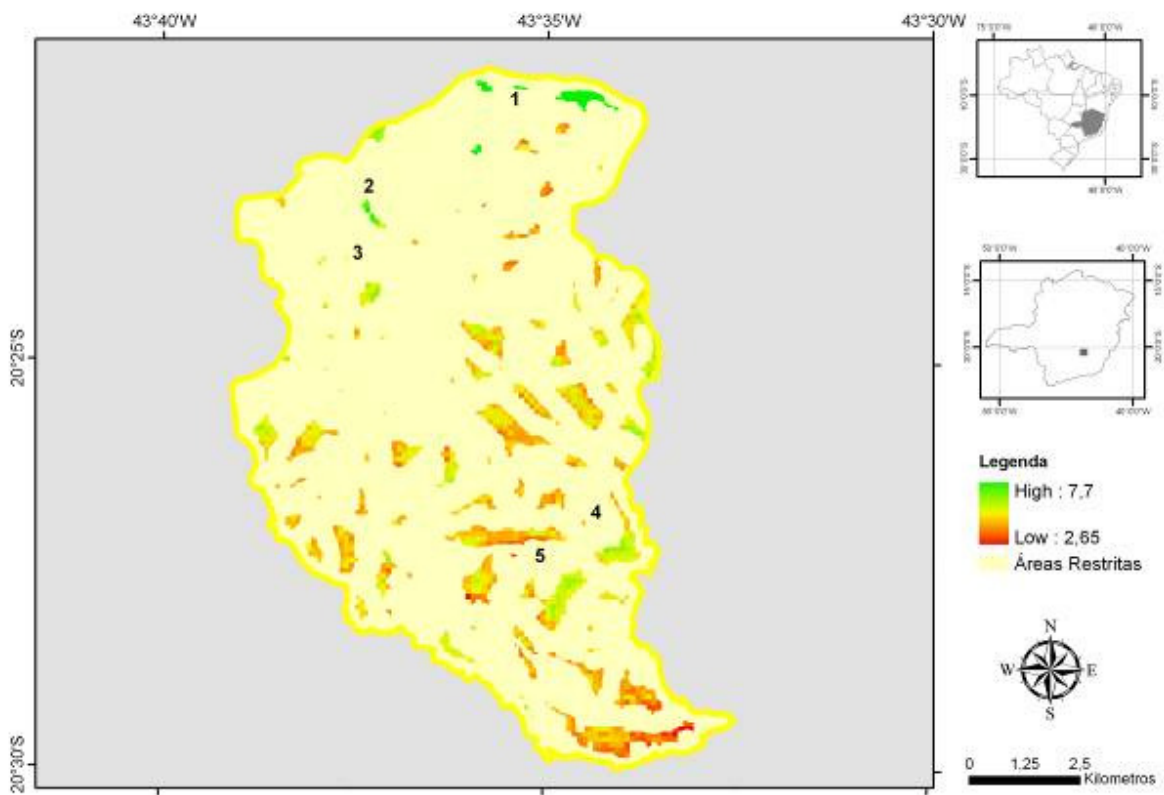


Figura 15 – Mapa de aptidão para implantação de aterro sanitário.

Observando o mapa da Figura 15 pode-se dizer que as áreas com maior aptidão para implantação do aterro sanitário encontram-se na parte norte do distrito (Região 1). Entretanto, observando essa região em campo pode-se dizer que ela não é uma boa alternativa para a implantação de um aterro sanitário, uma vez que um dos principais acessos ao distrito sede de Ouro Preto encontra-se nesse local e a implantação de um aterro



sanitário poderia acarretar em um impacto visual negativo, incoerente com o título que a cidade sede do município possui de Patrimônio Histórico e Cultural da Humanidade.

As Regiões 2, 3, 4 e 5, do mapa da Figura 15, apresentaram maior concentração de áreas (pixels) com alta aptidão (>240) em relação às demais regiões desse mapa. Em relação à área demandada para implantação de um aterro com vida útil de 20 anos, todas as regiões apresentaram áreas superiores a 27.440m<sup>2</sup> conforme pode ser observada na Tabela 9 (áreas calculadas a partir da Figura 15).

Tabela 8 – Áreas das regiões com aptidão para implantação de aterro sanitário.

Região	Área (m <sup>2</sup> )
1	272.265
2	97.141
3	179.239
4	414.606
5	534.842

Da Tabela 9 tem-se que as Regiões 4 e 5 apresentam disponibilidade de área consideravelmente maior que as demais. Devido a este fato foi realizada uma visita a campo a essas duas regiões, em 06/11/2010, observando que elas podem apresentar-se como boas alternativas para implantação de um aterro sanitário, principalmente por se tratarem de regiões com considerável nível de degradação ambiental (presença de processos erosivos), cobertura vegetal secundária e grande disponibilidade de material para cobertura (solo exposto).

Além disso, as Regiões 4 e 5 possuem fácil acesso através da rodovia MG 354 que liga o município de Ouro Preto ao município de Ouro Branco, conforme pode ser observado na Figura 16 . Outra característica que contribui para o potencial de implantação nas Regiões 4 e 5 é o fato destas se localizarem a apenas 5 km do atual aterro controlado e utilizado na disposição final dos RSU.

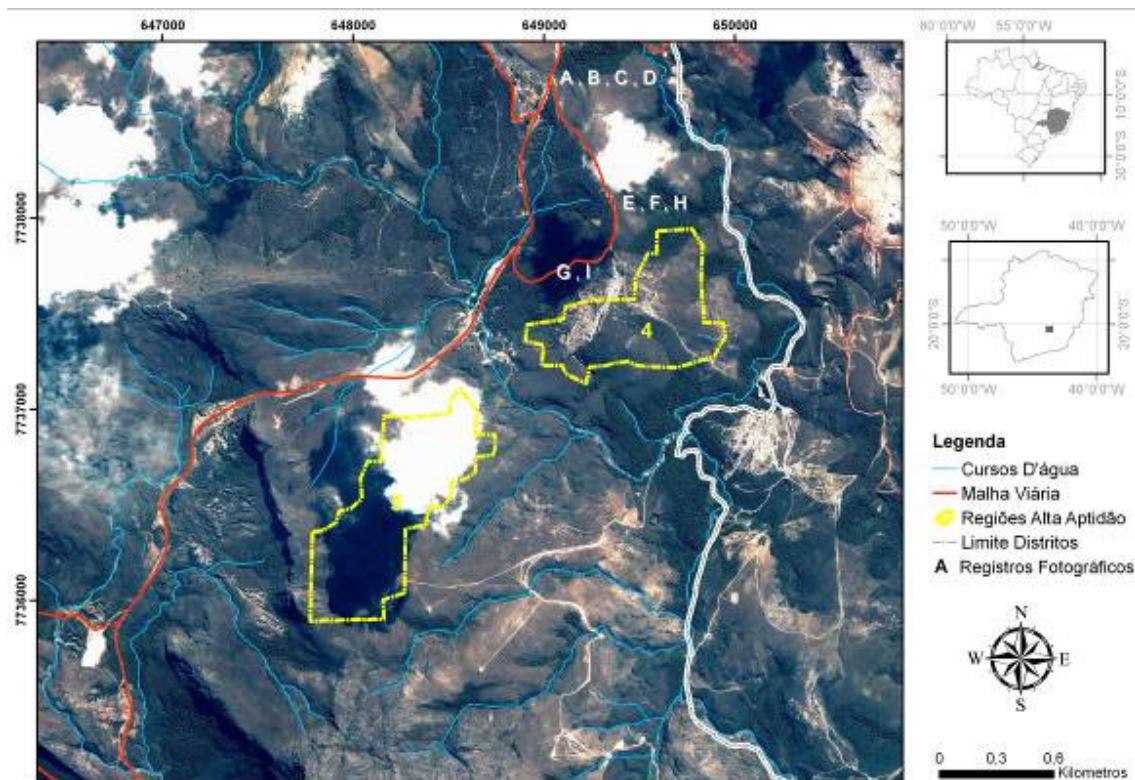


Figura 16 – Localização das Regiões 4 e 5.

Na Figura 17 são apresentadas algumas fotografias dando uma visão geral das características da Região 4. Pode-se observar que a região possui uma estrada de terra que dá acesso ao interior de uma propriedade privada onde existe uma área degradada passível de instalação de um aterro sanitário. Na entrada da propriedade existem placas de sinalização indicando a presença de um gasoduto da empresa GASMIG. Por conseguinte, questões relativas à situação imobiliária e à localização do gasoduto devem ser avaliadas caso a área em questão seja considerada uma possibilidade para implantação de um aterro sanitário.



(A)



(B)



(C)



(D)



(E)



(F)

Figura 17 – Registros fotográficos da Região 4 (A) Rodovia MG-354; (B) Entrada da Região 4; (C) Placa de identificação de gasoduto; (D) Placa de identificação de propriedade particular; (E) Estrada de acesso a Região 4; (F) Vegetação;

(Continua)



(G)



(H)



(I)

Figura 17 – (G) Área degradada; (H) Processos erosivos; (I) Visão panorâmica da região.

Em relação ao relevo pode-se dizer, observando a Figura 18, que a Região 4 possui menor variação altimétrica, com altitudes variando de 1200 m a 1300 m, em relação a Região 5, que possui altitudes variando de 1200 m a 1400 m aproximadamente. Entretanto, pode-se considerar que as duas regiões encontram-se sobre o domínio de relevo suavemente ondulado.

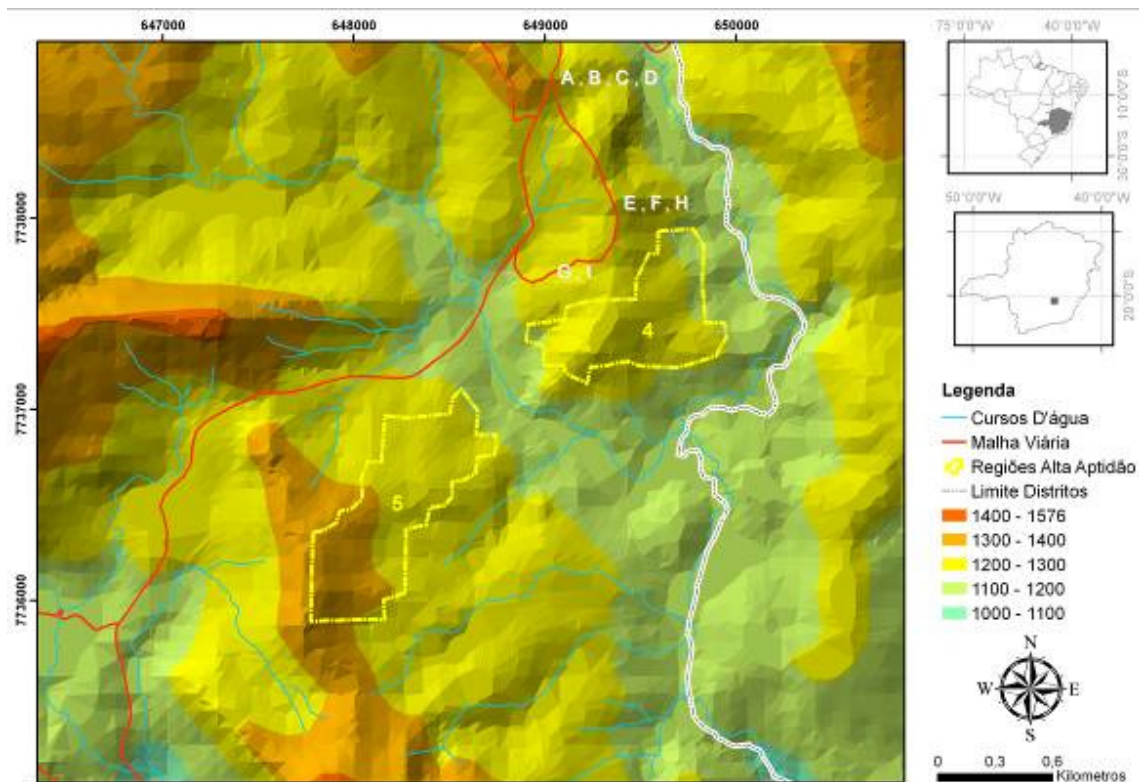


Figura 18 – Mapa hipsométrico das Regiões 4 e 5.

Na Figura 19 são apresentadas duas visadas tridimensionais, geradas a partir do modelo digital do terreno das regiões, sobre dois pontos de vista diferentes. A interpretação dessa figura permite uma análise preliminar do relevo das Regiões 4 e 5, assim como uma avaliação preliminar de questões relacionadas aos tipos de aterro possíveis de serem instalados em cada área, e a melhor disposição das unidades constituintes do aterro (administração, balança, lagoas de tratamento de chorume outras) em relação à direção da drenagem superficial, a insolação, entre outros fatores.

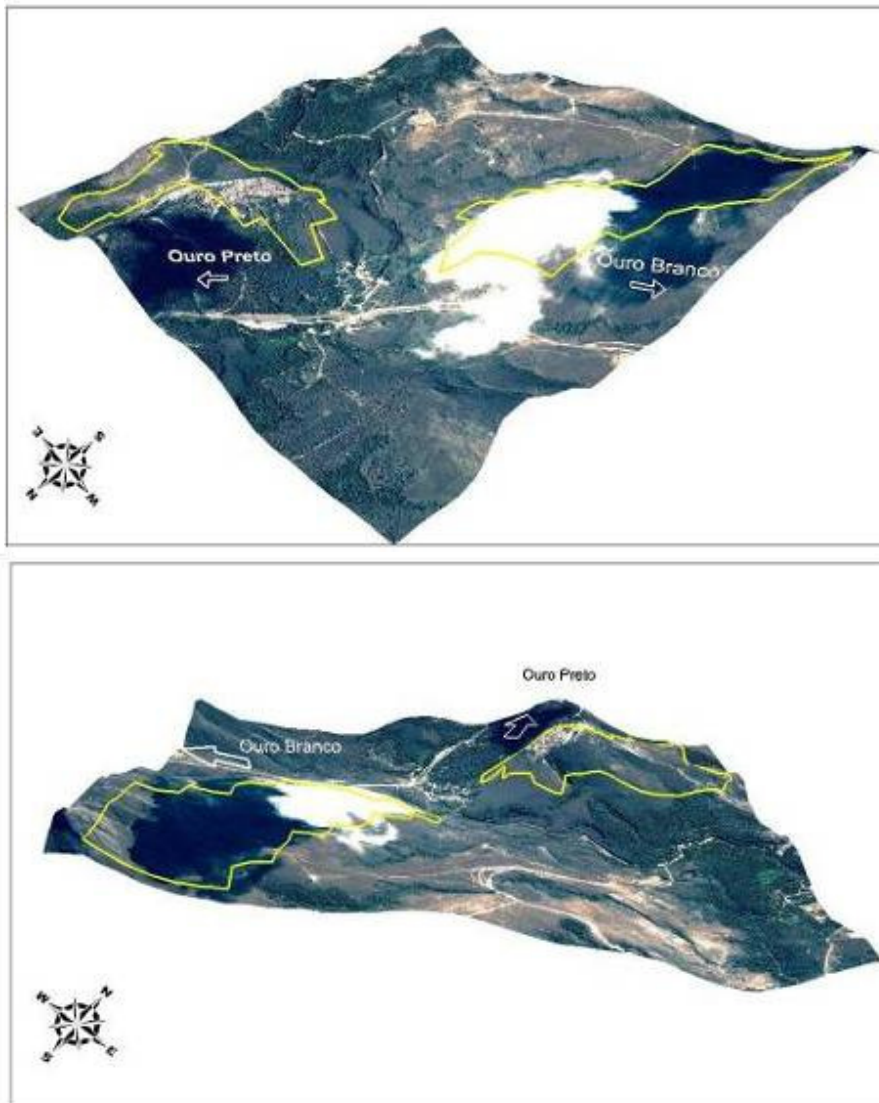


Figura 19 – Visadas tridimensionais das Regiões 4 e 5 a partir de dois pontos de vista.

## 5.2 Definição de rotas de coleta e destinação

Aplicando a metodologia descrita no Capítulo 4 – Seção 4.2, para o distrito de Cachoeira do Campo – município de Ouro Preto, foram obtidos dois setores de coleta para o distrito de Cachoeira do Campo e respectivas rotas, conforme apresentado na Figura 20.

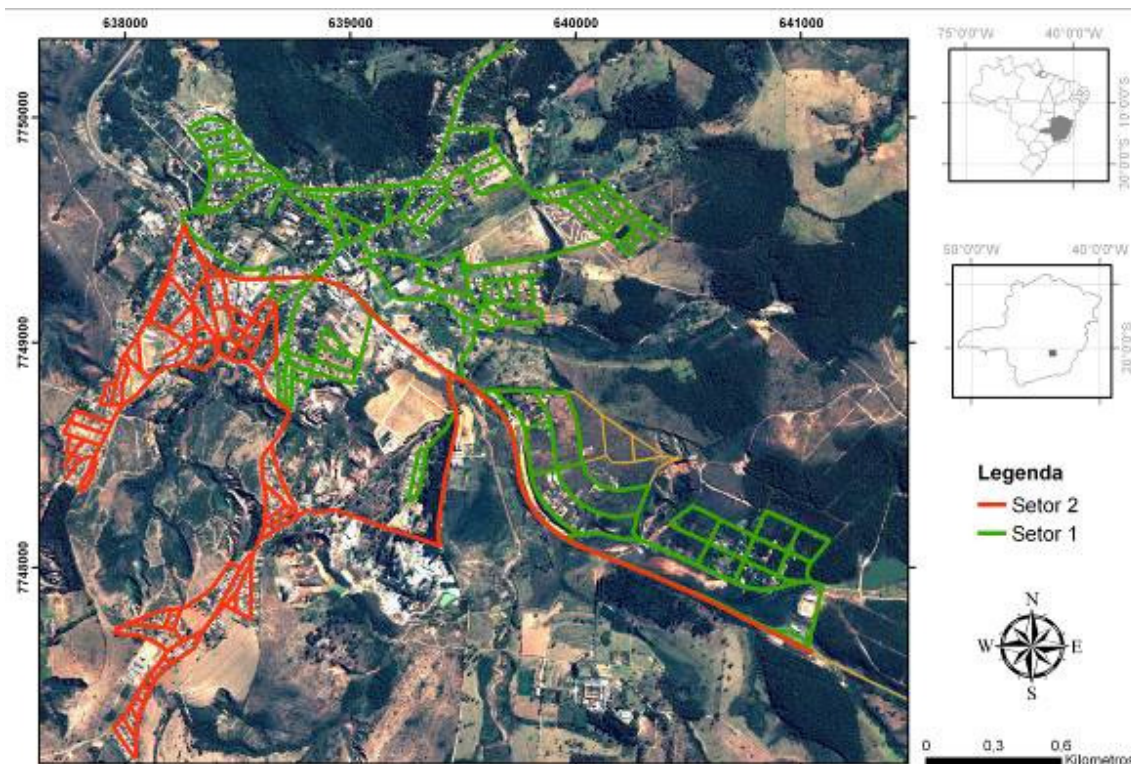


Figura 20 – Setores e rotas de coleta obtidos para o distrito de Cachoeira do Campo.

Além do mapa das rotas ao aplicar a metodologia proposta obtém-se as características dessas rotas por setor. Na Tabela 9 são apresentadas as características de cada setor, para o distrito de Cachoeira do Campo, tais como: distância total percorrida, percurso produtivo, percurso improdutivo, quantidade de resíduo coletado, tempo gasto para percorrer a rota, cálculo do número de caminhões necessários para atender o setor ( $N_s$ , definido pela Equação 8), assim como questões relacionadas à geração de resíduo por trecho de rua. É possível observar que embora os dois setores produzam praticamente a mesma quantidade de resíduos sólidos, a extensão total do Setor 1 é praticamente o dobro da do Setor 2; conseqüentemente, o tempo gasto para a coleta do setor 1 é três vezes maior do que para o Setor 2. Este fato pode estar associado à densidade demográfica em cada setor.

Tabela 9 – Características dos setores de coleta

Parâmetro	Setor	
	1	2
Extensão Total (Km)	32,21	19,63
Percurso Total (Km)	60,12	26,70
Percurso Produtivo (Km)	54,54	24,6
Percurso Improdutivo (Km)	5,58	2,10
Percurso Improdutivo (%)	9	7
Tempo Gasto (h)	8,4	2,6
Nº de caminhões por setor	0,60	0,45
Quantidade Trechos de Rua	248	171
Quantidade Total de Resíduo (Kg)	4495,68	4791,54
Quantidade Mínima/Trecho de Rua (Kg)	0	0
Quantidade Máxima/trecho de Rua (Kg)	208,68	169,20
Quantidade Média/Trecho de Rua (Kg)	18,12	28,02

Um outro resultado é a distribuição de frequência da quantidade de resíduo gerado por trecho de rua. Na Figura 21 é apresentado esse resultado para os Setores 1 e 2. É possível observar que os dois setores apresentam distribuição semelhante onde a maior parte dos trechos de rua geram ente 0 e 14 Kg de resíduo.

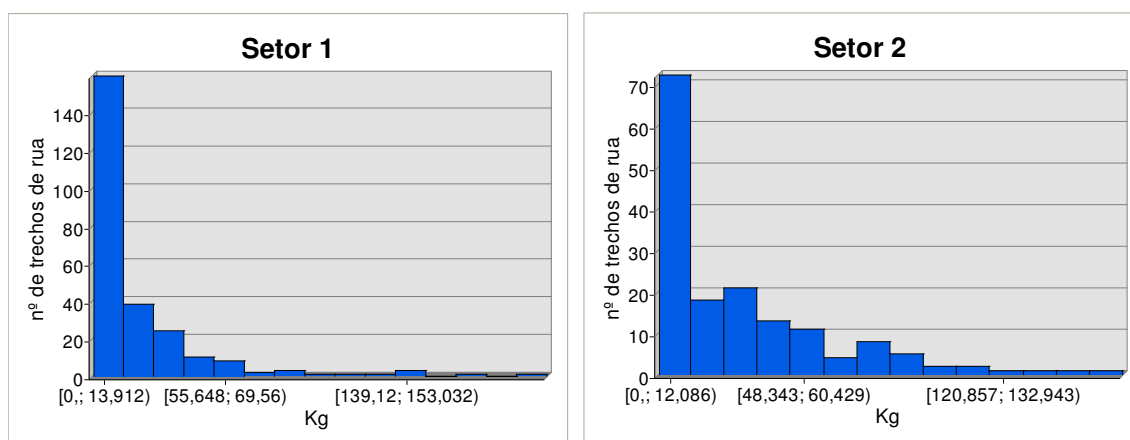


Figura 21 – Distribuição de frequência da quantidade de resíduo gerado por trecho de rua dos setores de coleta 1 e 2.

Na Figura 22 é apresentada graficamente a geração de resíduo em cada trecho de rua em comparação com a média dos resíduos gerados por setor. A partir da análise da Figura 22 é possível visualizar as áreas onde há maior geração de resíduo ao longo da malha viária de Cachoeira do Campo. Este recurso pode auxiliar os tomadores de decisão na realização de campanhas pontuais de educação ambiental, a fim de se reduzir a geração de resíduos sólidos naqueles pontos onde esta se apresenta maior do que a média.



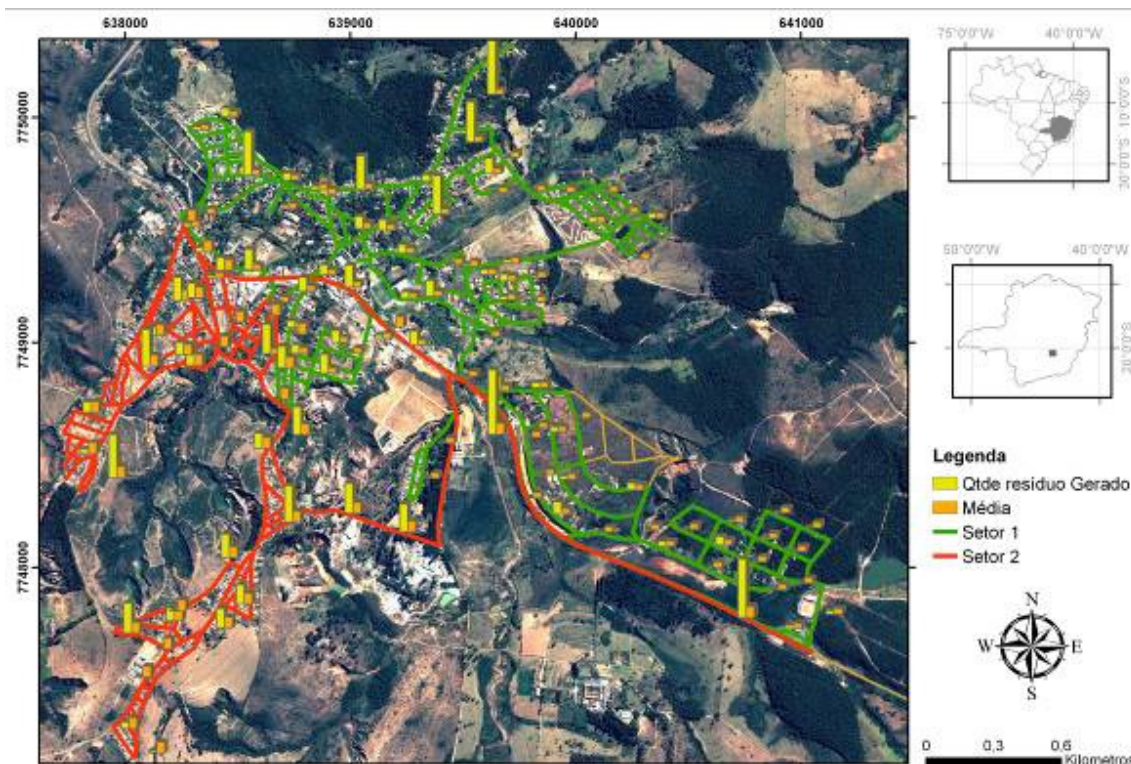


Figura 22 – Representação gráfica da geração de resíduo por trecho de rua.

Embora não tenha sido validada, a metodologia descrita no Capítulo 4 – Seção 4.2 apresenta-se como uma alternativa rápida e dinâmica para a definição de setores e rotas de coleta e destinação. O tempo de processamento para a obtenção dos setores e definição das rotas foi de aproximadamente cinco minutos, com a utilização de um processador com capacidade de processamento de 2,8 GHz.

Outra vantagem da metodologia utilizada é sua capacidade de recalcular as rotas caso haja alguma alteração no sistema (alteração no sentido de tráfego, interrupção do tráfego, alteração na capacidade de carga dos veículos coletores, periodicidade de coleta, entre outros).

Entretanto, deve-se ressaltar que a aplicação desta metodologia não dispensa o conhecimento especialista dos condutores de veículos de coleta de RS. É aconselhado que o método sugerido seja conciliado com a experiência prática adquirida na execução coleta dos resíduos sólidos urbanos.

### 5.3 Definição de locais para instalação de pontos de entrega voluntária de resíduos recicláveis

Ao aplicarmos a metodologia descrita no Capítulo 4 – Seção 4.3, obtemos uma alternativa, não aleatória, para possíveis locais de instalação de PEV de resíduos recicláveis. A metodologia utilizada pode ser considerada de fácil aplicação, uma vez que não exige dados vetoriais complexos e sim dados cadastrais básicos, conforme mencionado no Seção 4.3.

Entretanto, outros dados relacionados aos resíduos sólidos recicláveis podem ser adicionados a análise, tais como locais com grande geração ou associações de catadores e pontos de compra de resíduos sólidos recicláveis.

Na Figura 23 é apresentado o mapa de aptidão para a instalação de PEV para o distrito de Cachoeira do Campo – município de Ouro Preto.

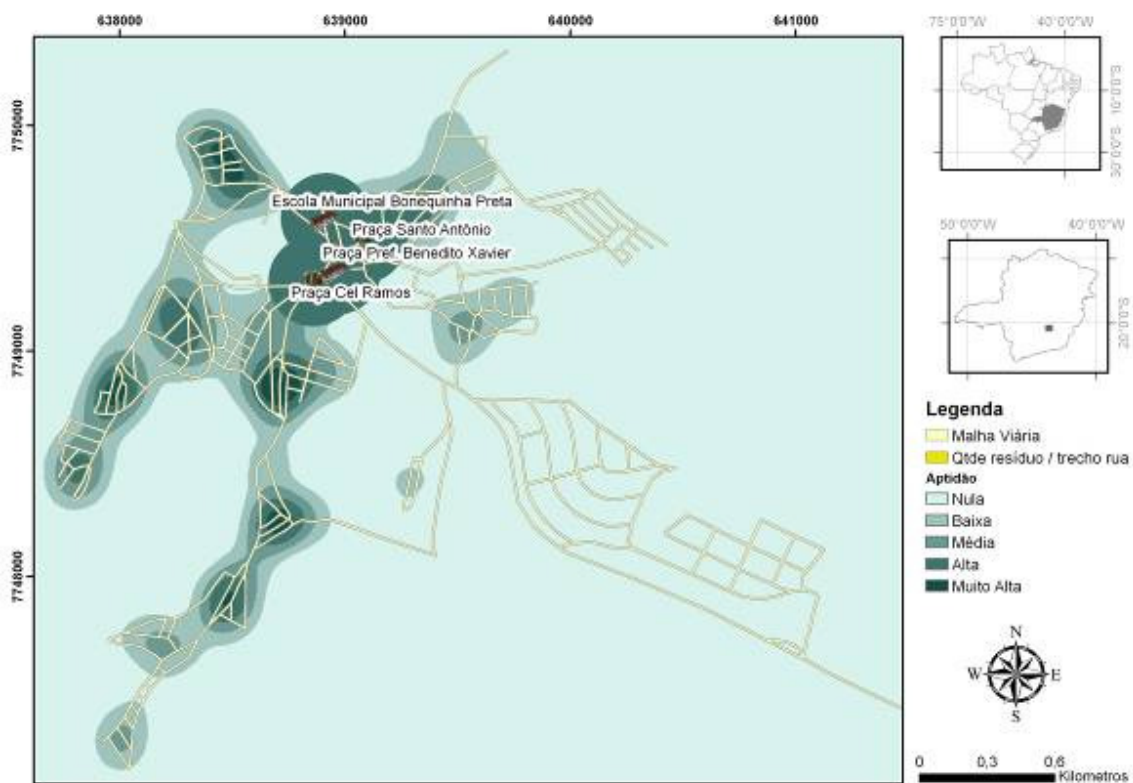
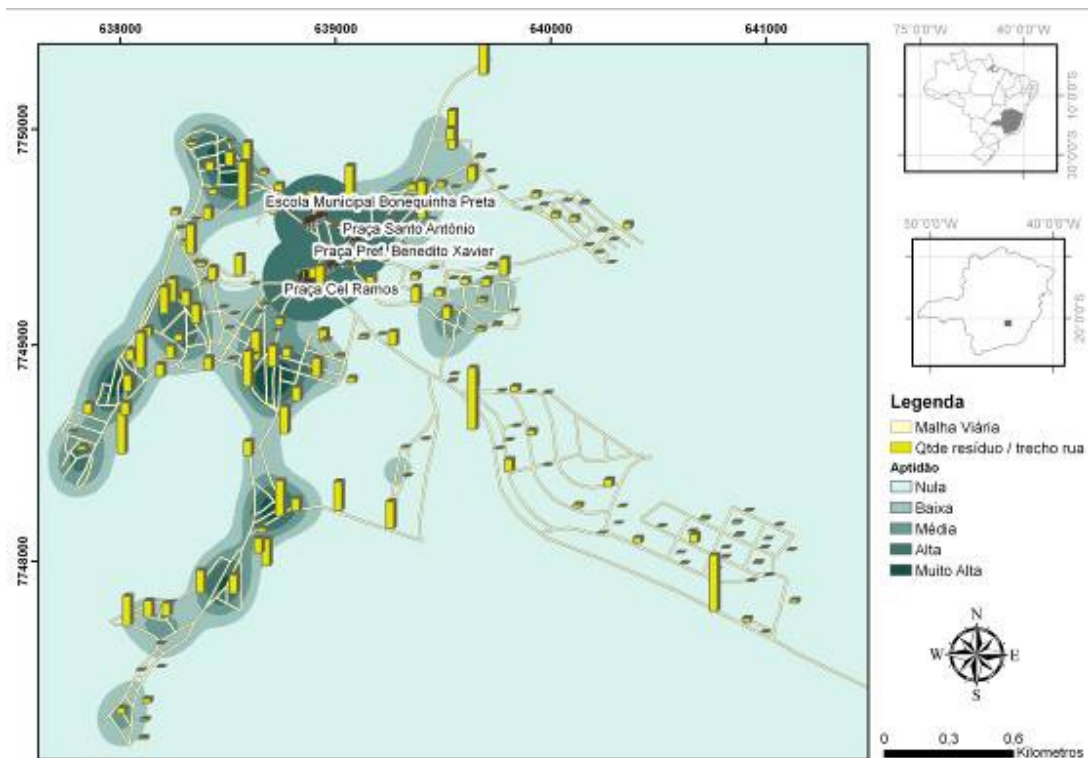


Figura 23 – Mapa de aptidão para instalação de PEV para o distrito de Cachoeira do Campo.

Os locais com aptidão “Muito Alta” apresentam-se como prioritários para a implantação de PEV de resíduos sólidos. A ordem de prioridade em que os PEV serão implantados pode ser estabelecida conforme a densidade populacional de cada local. Hierarquicamente os locais com maior densidade populacional deverão possuir maior prioridade do que os com menor densidade populacional.

Quando adicionamos à ao mapa da Figura 23 a representação gráfica da quantidade de resíduo gerado por trecho de rua é possível observar, na Figura 24, que alguns trechos com grande geração de resíduo possuem aptidão nula para a implantação de PEV. Isto ocorre basicamente devido ao fato de que trechos de ruas muito extensas apresentam alta geração de resíduo porém uma baixa densidade, devido à extensão da rua. Embora não tenha sido abordada na metodologia a presença de pontos com alta geração de resíduos como fábricas, restaurantes ou shoppings, estes podem ocasionar o mesmo efeito. Nestes casos, sugere-se que seja solicitado pelo poder público a implantação de um PEV individual para a separação e coleta dos resíduos recicláveis.



## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo contribuir com a operacionalização da gestão dos resíduos sólidos urbanos (GRSU) através da aplicação de conceitos, técnicas e procedimentos inerentes ao geoprocessamento e a análise espacial. Para isto foram propostas metodologias integradoras, no que diz respeito a base de dados, como alternativas que oferecem informações preliminares para auxiliar a tomada de decisão no cumprimento das seguintes etapas da GRSU: seleção de locais com potencial para a implantação de aterros sanitários; definição de rotas de coleta e destinação dos RSU; definição de locais para instalação de PEV de resíduos recicláveis.

Para testar a viabilidade da utilização das metodologias propostas no contexto do planejamento e gestão dos resíduos sólidos urbanos foram utilizados os distritos Rodrigo Silva e Cachoeira do Campo – município Ouro Preto – Minas Gerais.

No que diz respeito à seleção de áreas com potencial para implantação de aterro sanitário pode-se considerar que a metodologia aplicada apresenta-se como uma alternativa a padronização e ponderação dos planos de informação utilizados na análise. Esta alternativa, ao contrário daquela baseada no conhecimento de um único especialista, proporciona o tratamento estatístico da opinião de vários especialistas acerca dos múltiplos critérios analisados. Desta forma possíveis avaliações tendenciosas podem ser minimizadas. A metodologia utilizada permite a análise de critérios com diferentes grandezas e pode ser replicada para qualquer região onde haja disponibilidade de dados e informações.

A utilização do método de comparação par a par (ou Análise Hierárquica de Pesos – AHP) apresenta-se como uma alternativa viável para a ponderação de múltiplos critérios provenientes de áreas de conhecimento diversas. Entretanto, para que a sua utilização faça sentido é necessário que a comparação dos critérios seja realizada por profissionais capacitados nas diversas áreas do conhecimento envolvidas na análise, assim como as questões a serem levadas em consideração sobre cada critério devem estar explícitas no questionário Delphi, de forma que interpretações ambíguas sejam evitadas.

Outras funções de padronização das variáveis inerentes a cada plano de informação devem ser testadas e seus resultados comparados, a fim de se obter valores que melhor retratem a realidade.

A visita às áreas identificadas com alto potencial para implantação de aterros sanitários é fundamental para a validação da metodologia uma vez que a qualidade dos dados utilizados na análise é incerta. A realização de uma análise espacial mais detalhada, através de ferramentas como modelos digitais de elevação, campo de visão, entre outros, podem auxiliar na tomada de decisão em relação a escolha das áreas aptas e candidatas a implantação de aterros sanitários.

Em relação à definição de rotas de coleta e destinação de RSU podemos considerar que , embora os resultados obtidos não tenham sido validados em campo a metodologia utilizada atendeu ao objetivo proposto um vez que foram estabelecidas rotas com percentagem de percurso improdutivo inferior a 20%. No entanto, foi identificado que algumas questões devem ser levadas em conta a fim de que melhores resultados sejam obtidos e a utilização de aplicativos de roteirização seja otimizada para a definição de rotas de coleta de RSU mais eficazes.

Devem ser implementados algoritmos heurísticos que permitam a definição automatizada dos setores de coleta baseados em questões como: quantidade de resíduo a ser coletado, extensão a ser percorrida em cada setor, tempo gasto para percorrer cada setor. A definição manual dos setores, baseada nos fatores citados, apresenta-se como um problema complexo pois a variação espacial de tais fatores é extremamente heterogênea. Além disso, quando se leva em consideração apenas um fator para a definição dos setores corre-se o risco de obter resultados insatisfatórios para os outros fatores. Por exemplo, dois setores que produzem a mesma quantidade de resíduo podem possuir extensões completamente diferentes e conseqüentemente tempo de percurso diferentes, conforme demonstrado pela Tabela 10 (Capítulo 5 – Seção 5.2). Isto pode dificultar a operacionalidade da coleta assim como a gestão dos recursos humanos necessários para a sua realização. Desta forma a implementação de algoritmos heurísticos com o propósito de definição de setores poderiam reduzir o tempo gasto e otimizar os resultados.

Deve-se, também, levar em conta a restrição de acesso do veículo coletor a determinadas vias no que diz respeito à largura da via, ângulo de curvatura da via, declividade da via, possibilidade de manobra, trechos de coleta realizados à pé, entre outros.

Em relação à necessidade de definição de novas rotas por motivos de alteração no tráfego, obras ou outros, pode-se considerar que o algoritmo de Dijkstra apresenta soluções de fácil aplicação e resposta rápida. Entretanto, outros algoritmos devem ser testados para o propósito da definição de rotas de coleta e destinação de RSU.

Outrosim, os SIG permitem não só a definição de rotas de coleta e destinação como o gerenciamento dos recursos relacionados a esta etapa do GRSU. Através da elaboração de mapas descritivos e gráficos setorizados os tomadores de decisão poderão adotar medidas locais necessárias para a otimização do sistema de coleta, tais como: instalação de coletores de uso comum em locais onde não há possibilidade de acesso do caminhão, definição de locais onde a coleta deve ser realizada à pé ou onde há necessidade de realocação dos resíduos para um ponto da rota do caminhão.

Cabe ainda ressaltar que as ferramentas utilizadas na definição de rotas de coleta e destinação dos RSU também podem ser utilizadas para as atividades de capina e varrição, utilizando-se dados relativos à quantidade de resíduo produzido, locais de geração significativa de resíduos, localização de pontos de apoio, distribuição e rota de varredores, velocidade de varrição, entre outros.

Em relação a implantação de PEV para resíduos recicláveis outros critérios além da densidade populacional devem ser estabelecidos para a seleção dos melhores locais de implantação. Tais critérios devem levar em consideração os princípios da razoabilidade, proporcionabilidade, funcionalidade e universalização do acesso, estabelecidos pelas Políticas Nacionais de Saneamento Básico e de Resíduos Sólidos. Além disso, as instituições públicas, empreendimentos com grande geração de resíduos e os locais onde existe separação voluntária de resíduos recicláveis, em quantidade significativa, devem possuir PEV próprios para a coleta dos resíduos recicláveis.

Contudo, a utilização dos estimadores de densidade de kernel apresenta-se como alternativa viável para a definição de locais para instalação de PEV de resíduos recicláveis, considerando que, regiões com maior densidade populacional tendem a gerar maior quantidade de resíduos recicláveis.

Futuros trabalhos relacionados a aplicação de métodos de análise espacial na GRSU devem considerar as seguintes possibilidades:

- estabelecer indicadores espacializáveis sobre o desempenho operacional dos serviços públicos de limpeza e manejo dos RS conforme definido pela Política Nacional;
- desenvolver aplicações de métodos de análise espacial na gestão de outros tipos de resíduos sólidos urbanos, como por exemplo, os resíduos de serviços de saúde (RSS) e de construção e demolição (RCD);
- aplicar metodologias de forma a permitir soluções consorciadas intermunicipais para a gestão dos resíduos sólidos.

Por fim conclui-se que o uso dos métodos de análise espacial na GRSU apresenta-se não só possível como necessário, a fim de que a garantia da sustentabilidade operacional e financeira seja mantida e que as decisões relativas à GRSU sejam tomadas a partir de dados e informações concretos e específicos que retratem o espaço geográfico em estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2010**. São Paulo: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2010. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/downloads/Panorama2010.pdf>. Acesso em: novembro, 2010.

AGENDA 21. **Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento**. 1992: Rio de Janeiro: SENADO FEDERAL, 1996. 585 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, maio 2004. 71 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13.896**: aterros de resíduos não perigosos - critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, junho, 1997. 12 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13.333**: máquinas rodoviárias: dispositivos de suporte da caçamba basculante e de suporte de inclinação da cabine do operador. Rio de Janeiro, ago. 2003. 12 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13.334**: contentor metálico de 0,80 m<sup>3</sup>, 1,2 m<sup>3</sup> e 1,6 m<sup>3</sup> para coleta de resíduos sólidos por coletores-compactadores de carregamento traseiro: requisitos. Rio de Janeiro, out. 2007. 4 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 8.419**: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: Procedimento. Rio de Janeiro, abril, 1992. 7 p.

BAASCH, S. S. N. **Um sistema de suporte multicritério aplicado na gestão dos resíduos sólidos nos municípios catarinenses**. 1995. 120. p. Tese (Doutorado. Engenharia da Universidade Federal de Santa Catarina) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 1995.

BALTAZAR, O. F.; BAARS, F. J.; LOBATO, L. M.; REIS, L. B.; ACHTSCHIN, A. B.; BERNI, G. V.; SILVEIRA, V. D. **Mapa geológico com nota explicativa**. Belo Horizonte: CODEMIG, 2005. 1:50.000. CD-ROM.

BARÃO, R. F.; KRIPKA, M. Determinação da rota ótima para coleta de resíduos sólidos urbanos no município de Passo Fundo – RS. In: Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, 31, 2008, Belém. **Anais**. Disponível em: <http://www.sbmac.org.br/CNMAC2008/>. Acesso em: 15 ago. 2010.

BATH, N. V. A model for the optimal allocation of trucks for solid waste management. **Waste Management & Research**, v. 14, n. 1, p. 87-96, 1996

BERRY, B. A note concerning methods of classification. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 48, n. 3, p. 300-303, 1959.

BODIN, L. D. Twenty years of routing and scheduling. **Operations research**, 38, v.4, p. 571-579, 1990. Disponível em: <http://or.journal.informs.org/cgi/content/abstract/38/4/571>. Acesso em: 30 maio 2010.

BOLFE, E. L. Geotecnologias aplicadas à gestão de recursos naturais. In: III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, 3, 2006, Aracaju. **Anais**.



Disponível em: [http://www.cpatc.embrapa.br/labgeo/srgrs3/artigos\\_pdf/Palestra/001\\_p.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/labgeo/srgrs3/artigos_pdf/Palestra/001_p.pdf). Acesso em: 08 jun. 2009.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS**. Ontario: Delta Printing, 1994, 398 p.

BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 3 de ago. 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 07 nov. 2010

\_\_\_\_\_. Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo código florestal. **Diário Oficial da União, Poder Executivo**, 16 set. 1965. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L4771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm). Acesso em: 20 nov. 2009.

BRASILEIRO, A. L.; LACERDA, G. M. Análise do uso de SIG no sistema de coleta de resíduos sólidos domiciliares em cidades de pequeno porte. In: Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 6, 2002, Vitória. **Anais**. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/sibesa6/cndsiet.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2009.

BROLLO, M. J. **Metodologia automatizada para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos: aplicação na região metropolitana de Campinas (SP)**. 2001. 233 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública – Área de Concentração: Saúde Ambiental) – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2001.

BURROUGH, P. A.: **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Oxford University press, 1992. 194 p.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R.A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998. 329 p.

CALIJURI, L. M.; MELO, O. L. A.; LORENTZ, L. J. Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. **Informática Pública**, v. 4, n. 2, p. 231-250, 2002.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, M. A. V.; MEDEIROS, S. J. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 344p. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/paginadeacesso.html>. Acesso em: 25 jul. 2009.

\_\_\_\_\_; DRUCK, S; MONTEIRO, M, A. V.; CARVALHO, S. M. (ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>. Acesso em: 18 nov. 2010.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Pesquisa Ciclosoft 2008**. Disponível em: [http://www.cempre.org.br/ciclosoft\\_2008.php](http://www.cempre.org.br/ciclosoft_2008.php). Acesso em: 19 fev. 2010.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 275 de 31 de agosto de 2001. Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. **Diário Oficial da União**, 19 de jun 2001. Disponível

em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res01/res27501.html>. Acesso em: 20 abr. 2010

\_\_\_\_\_. Resolução nº 302 de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. **Diário Oficial da União**, 13 de maio 2002a. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>. Acesso em: 02 maio 2010.

\_\_\_\_\_. Resolução nº. 303 de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial da União**, 13 de maio 2002b. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30303.html>. Acesso em: 02 maio 2010.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 369 de 28 de março de 2006. Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP. **Diário Oficial da União**, 28 de março 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/.xml>. Acesso em: 20 abr. 2010

CORMEN, T. H. Dijkstra's algorithm. In: LEISERSON, C. E.; RIVEST, R. L. (Ed.). **Introduction to algorithms**. New York: MIT Press and McGraw-Hill, 2001. p. 595–601.

COTA, M. A. **Áreas de preservação permanente (APP): as resoluções CONAMA e o papel das técnicas de geoprocessamento na delimitação das classes de preservação**. 2008. 124 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2008.

CUNHA, C.B. **Uma contribuição para o problema de roteirização de veículos com restrições operacionais**. 1997. 197 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1997. Disponível em: [http://www.ptr.poli.usp.br/ptr/docentes/cbcunha/files/heuristicas\\_relag\\_VRPTW\\_CBC.pdf](http://www.ptr.poli.usp.br/ptr/docentes/cbcunha/files/heuristicas_relag_VRPTW_CBC.pdf). Acesso em: 15 jun. 2010.

CUNHA, C. B; BONASSER, U. O; ABRAHÃO, F. T. M. **Experimentos computacionais com heurísticas de melhorias para o problema do caixeiro viajante**. São Paulo: ANPET, 2002. Disponível em: [http://www.ptr.poli.usp.br/ptr/docentes/cbcunha/files/2-opt\\_TSP\\_Anpet\\_2002\\_CBC.pdf](http://www.ptr.poli.usp.br/ptr/docentes/cbcunha/files/2-opt_TSP_Anpet_2002_CBC.pdf). Acesso em: 15 fev. 2010.

DALMAS, B. F. **Geoprocessamento aplicado à gestão de resíduos sólidos na URGHI-11 Ribeira do Iguape e Litoral Sul**. 2008. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2008.

D'ALMEIDA, M. L. O. (Coord.). **Resíduo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2. ed. Brasília: CEMPRE, 2000.

ELMIRO, T. A. M. **Fundamentos de modelagem digital de terreno: MDT/MDE**. Belo Horizonte: UFMG [20-], 18 p. Disponível em: <http://www.geoprocessamento.net/forum/files/file/31-fundamentos-de-modelagem-digital-de-terreno-mdtmde/>. Acesso em: 25 jul. 2010

FARIAS, A. B.; JUCA, J. F. T. Propriedades físicas dos resíduos sólidos da Muribeca. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, Porto Alegre, 2000. **Anais**. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/iii-038.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2009

FREITAS, C. R. **Construção e aplicação de modelo de rede em Ouro Preto**: utilização de fatores ambientais e logísticos no cálculo de impedâncias. 2003. 50.p. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2003.

GOMES, F. P. A.; MAIA, B. J.; REZENDE, A.; BARBOSA, S. L. **Plano de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos**. Ouro Preto, 2007. 267 p.

GOMES, E. G.; LINS, M. P. E. Integração entre sistema de informação geográfica e métodos de análise multicritério no apoio à decisão espacial. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 31, 2008, Juiz de Fora-MG. **Anais**. Disponível em: <http://www.sobrapo.org.br/>. Acesso em: 18 jul. 2009

GOMES, L. F. A. M.; ALMEIDA, A. T.; GOMES, C. F. S. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GOMIDES, C. E.; GONÇALVES, S. S. **Orientações técnicas para atendimento do artigo 2º da DN 52/2001 do COPAM**. Belo Horizonte: FEAM, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2004. 200 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf). Acesso em: dezembro 2010.

\_\_\_\_\_. **Censo 2010**. Brasília: IBGE, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm1>. Acesso em: 02 jan. 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Resíduo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 2ª. Ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (IPT), 2000.

LINSTONE, A. H.; TUROFF, M. **The delphi method**: techniques and applications. [S.l]: [s.n], 2002. Disponível em: <http://is.njit.edu/pubs/delphibook>. Acesso em: 15 jul. 2010.

MANASSERO, M.; VAN IMPE, W. F.; BOUAZZA, A. Waste disposal and containment. In: **International Congress on Environmental Geotechnics**, State of the Art Reports, 2, [S.l], 1996, v 1, p. 193 – 242.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Fomento a projetos de ordenamento da coleta e disposição final adequada de resíduos sólidos**: manual para apresentação de propostas. Brasília: MMA, 2000.

\_\_\_\_\_. **Modelo de gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos**. Brasília: MMA, 2000. (Curso).

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 2ª ed. Belo Horizonte: Da autora, 2005. 272 p.

\_\_\_\_\_. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em análise de multicritérios. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, Florianópolis, 2007. p. 2899-2906. **Anais.** Disponível em: [http://www.arq.ufmg.br/Laboratorio\\_Geo/Artigos/XIII-SBSR-MulticriteriosAnaMoura.pdf](http://www.arq.ufmg.br/Laboratorio_Geo/Artigos/XIII-SBSR-MulticriteriosAnaMoura.pdf). Acesso em: 15 ago 2010.

MOURA, C. M.; FONTES, A. A.; RIBEIRO, S. A. A. C. Determinação da melhor rota para coleta seletiva de resíduo no campus da Universidade Federal de Viçosa utilizando dos sistemas de informação geográfica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10, Foz do Iguaçu, 2000. **Anais.** X SBSR, Foz do Iguaçu, 21-26 abril 2001, INPE, p.1119-1125.

MUZZARELLI, A; SECONDINI,P; DURAZZI, A. O estado atual e as potencialidades dos Sistemas Informativos Geográficos: a difusão e as aplicações na Europa em relação ao planejamento urbano e regional. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, Belo Horizonte: PUC-MG, n. 1, p. 27-38. 1993.

PAES, G. F. **Otimização de rotas para coleta do resíduo doméstico:** um tratamento GRASP do problema do carteiro chinês misto (PCCM). 2004. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Engenharia) – Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes, 2004.

RESENDE, S. V. A. F.; ALMEIDA, V. M. F.; NOBRE, F. F. Diagramas de Voronoi para a definição de áreas de abrangência de hospitais públicos no município do Rio de Janeiro. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, n. 16, v. 2, p. 467-475, abr-jun, 2000.

SAATY, T. L. **The analytical hierarchy process:** planning, priority setting, resource allocation. New York: MacGraw-HillUSA, 1980.

SAMIZAVA, M. T.; KAIDA, H. R.; IMAI, N. N.; NUNES, R. O. J. SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente – SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 60,v. 1, p. 15-22. abril 2008.

SILVA, A. N. R.; RAMOS, R. A. R.; SOUZA, L. C. L.; RODRIGUES, D. S.; MENDES, J. F. G. **SIG:** uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes. São Carlos: Ed. Dos Autores, 2004. 227 p.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Integrated solid waste management.** New York: MacGraw-Hill, 1993. 949 p.

VIEIRA, J. S. **Seleção de áreas para o sistema de tratamento e disposição final dos resíduos sólidos de Florianópolis/SC.** 1999. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 1999.

WEBER, E.; HASENACK. H. Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análise em SIG com classificação contínua dos dados. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2002. **Anais.** Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/paginas.centro/idrisi/artigos/aterro.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2010.

## A APÊNDICE A – RESUMO DA ESTRUTURA OPERACIONAL DA GRSU DE OURO PRETO

Distritos	Nº de Funcionários	Frequência Coleta	Turnos	Regularidade	Veículos	Rota de Coleta	Qualidade	Observação
Amarantina	6	3 vezes por semana	Diurno	Sim	1 caminhão compactador	Inexistente	Satisfatória	Cursos d'água com deposição de muito resíduo
Antônio Pereira	7	3 vezes por semana	Diurno	Sim	1 caminhão compactador	Inexistente	Satisfatória	
Cachoeira do Campo	18	Diária no centro comercial e 3 vezes por semana nos bairros	Diurno	Boa no centro e ruim nos bairros	1 caminhão compactador	Inexistente	Insatisfatória	Cursos d'água com deposição de muito resíduo
Engenheiro Corrêa	2	3 vezes por semana	Diurno	Sim	1 caminhão compactador	Inexistente	Insatisfatória	O resíduo é jogado em um lixão ao lado da estrada. O Distrito fica situado a 42 km do Aterro
Glaura	1	2 vezes por semana	Vespertino	Sim	1 caminhão compactador	Inexistente	Satisfatória	Estradas mal conservadas em alguns trechos e possui a distância de 35 km até o Aterro
Lavras Novas	2	2 vezes por semana	Diurno ou vespertino	Sim	1 caminhão compactador	Inexistente	Satisfatória	Pontos de estrangulamento estrada de terra
Miguel Burnier	2	3 vezes por semana	Diurno	Sim	1 caminhão compactador	Inexistente	Insatisfatória	Área de difícil acesso devido à distância de 57 km. Aterro controlado
Rodrigo Silva	2	2 vezes por semana	Diurno	Não	1 caminhão compactador	Inexistente	Insatisfatória	Ruas bastante estreitas
Santa Rita de Ouro Preto	4	3 vezes por semana	Diurno	Sim	1caminhão compactador	Inexistente	Insatisfatória	Grande quantidade de rejeito de pedra sabão
Santo Antônio do Leite	4	2 vezes por semana	Diurno	Sim	1caminhão compactador	Inexistente	Insatisfatória	
Santo Antônio do Salto	2	2 vezes por semana	Diurno	Sim	2 caminhões	Inexistente	Insatisfatória	
São Bartolomeu		1 vez por semana	Diurno	Sim	1caminhão compactador			
Sede	86	Diária no centro Três vezes por semana nos bairros	Diurno e noturno	Sim	1 caminhão compactador e 1 basculante	Existente	Satisfatória	Cursos d'água com deposição de muito resíduo

Fonte: Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos de Ouro Preto (GOMES et al., 2007)

## B APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DELPHI

### Questionário de Avaliação DELPHI

Discente: Adílio Rodrigues Ornelas

Dissertação: “Aplicação de métodos de análise espacial na gestão de resíduos sólidos urbanos”.

Orientadores: Profs. Ilka Soares Cintra e Sergio Donizete Faria

O presente questionário possui como objetivo ponderar os critérios selecionados para a definição de locais para implantação de aterros sanitários e instalação de pontos de entrega voluntária (PEV) de resíduos sólidos recicláveis.

O método utilizado para a definição das notas é o da Análise Hierárquica de Pesos (AHP). Este método realiza a comparação par a par dos critérios envolvidos no processo de tomada de decisão através de uma escala de comparação. A tabela 1 apresenta a escala de comparação a ser utilizada na ponderação dos critérios.

Tabela 1 – Escala de comparação de critérios.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Bastante	Muito	Pouco	Igual	Pouco	Muito	Bastante	Extremamente
MENOS IMPORTANTE					MAIS IMPORTANTE			

A tabela 2 apresenta um exemplo de critérios e ponderações definidos para a aquisição de um carro. Levando-se em consideração a escala de comparação apresentada na Tabela 1, o entrevistado considera o desempenho muito mais importante do que o custo, a beleza é pouco menos importante do que o custo e muito menos importante do que o desempenho.

Tabela 2 – Critérios e respectivas ponderações definidos para compra de um carro.

Critérios	Custo	Desempenho	Beleza
Custo	1	5	1/3
Desempenho		1	1/5
Beleza			1

A partir da escala de comparação e do exemplo apresentados pondere os critérios selecionados para os dois processos de tomada de decisão abaixo.

#### 1) Definição de locais para implantação de aterros sanitários

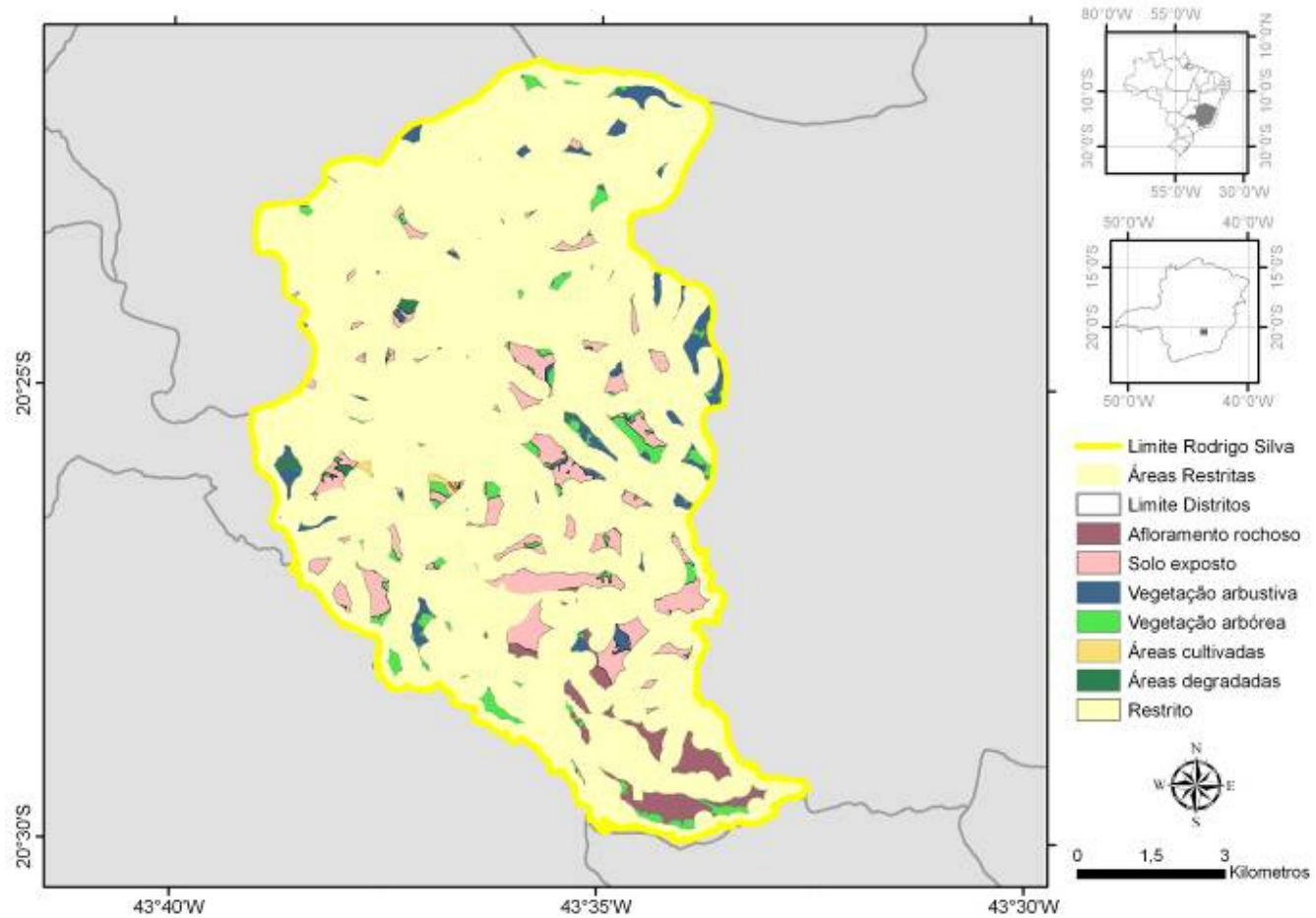
Critérios	Geologia	Declividade	Uso e Cobertura	Distância Rios	Distância Estradas	Distância Casas
Geologia	1					
Declividade		1				
Uso e Cobertura			1			
Distância Rios				1		
Distância Estradas					1	
Distância casas						1

2) Sugestão de inclusão de algum critério nos processos de tomada de decisão propostos?

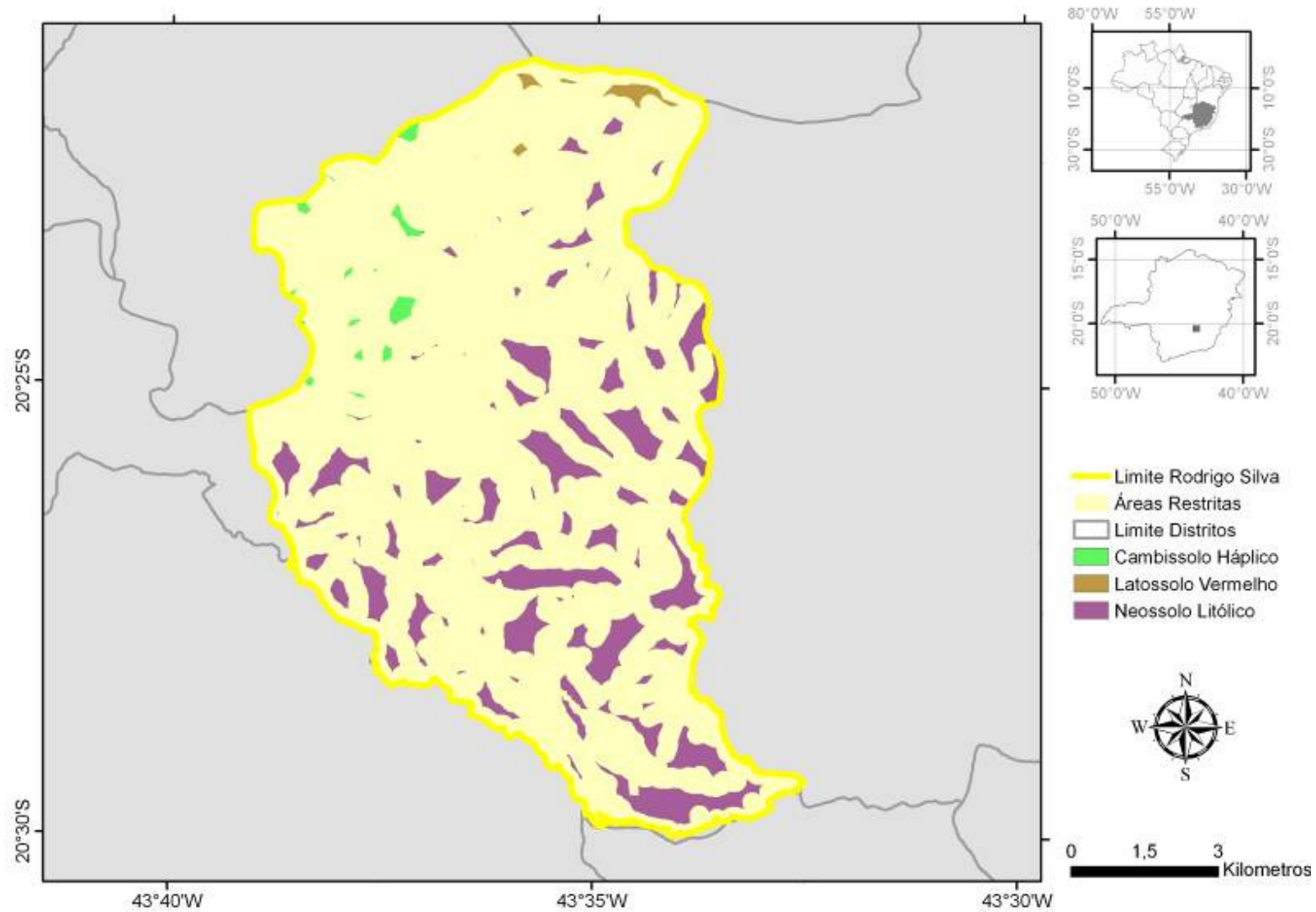
3) Sugestões ou críticas?

## C APÊNDICE C – PLANOS DE INFORMAÇÃO

### C.1 Uso e cobertura do solo

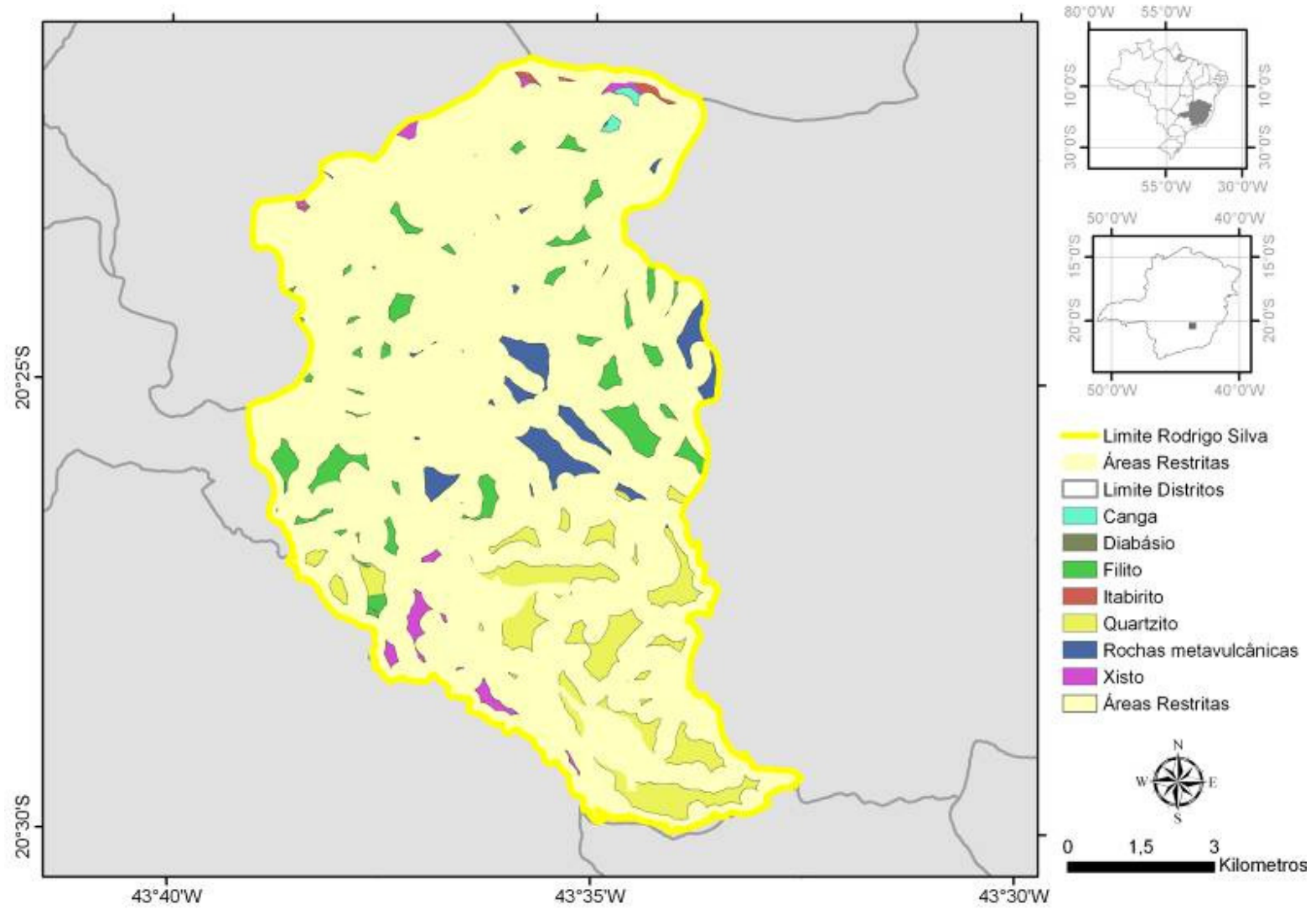


## C.2 Solos

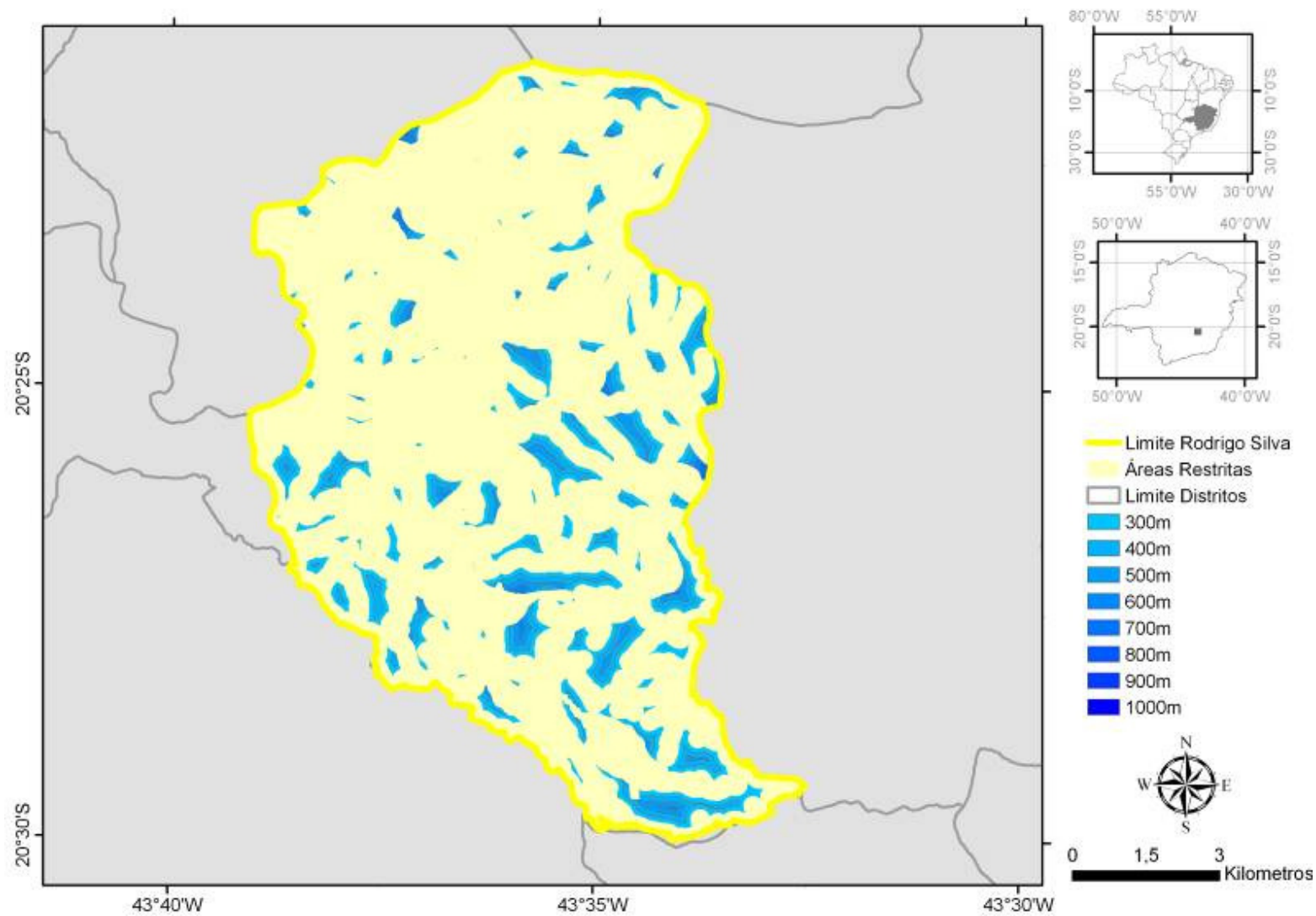




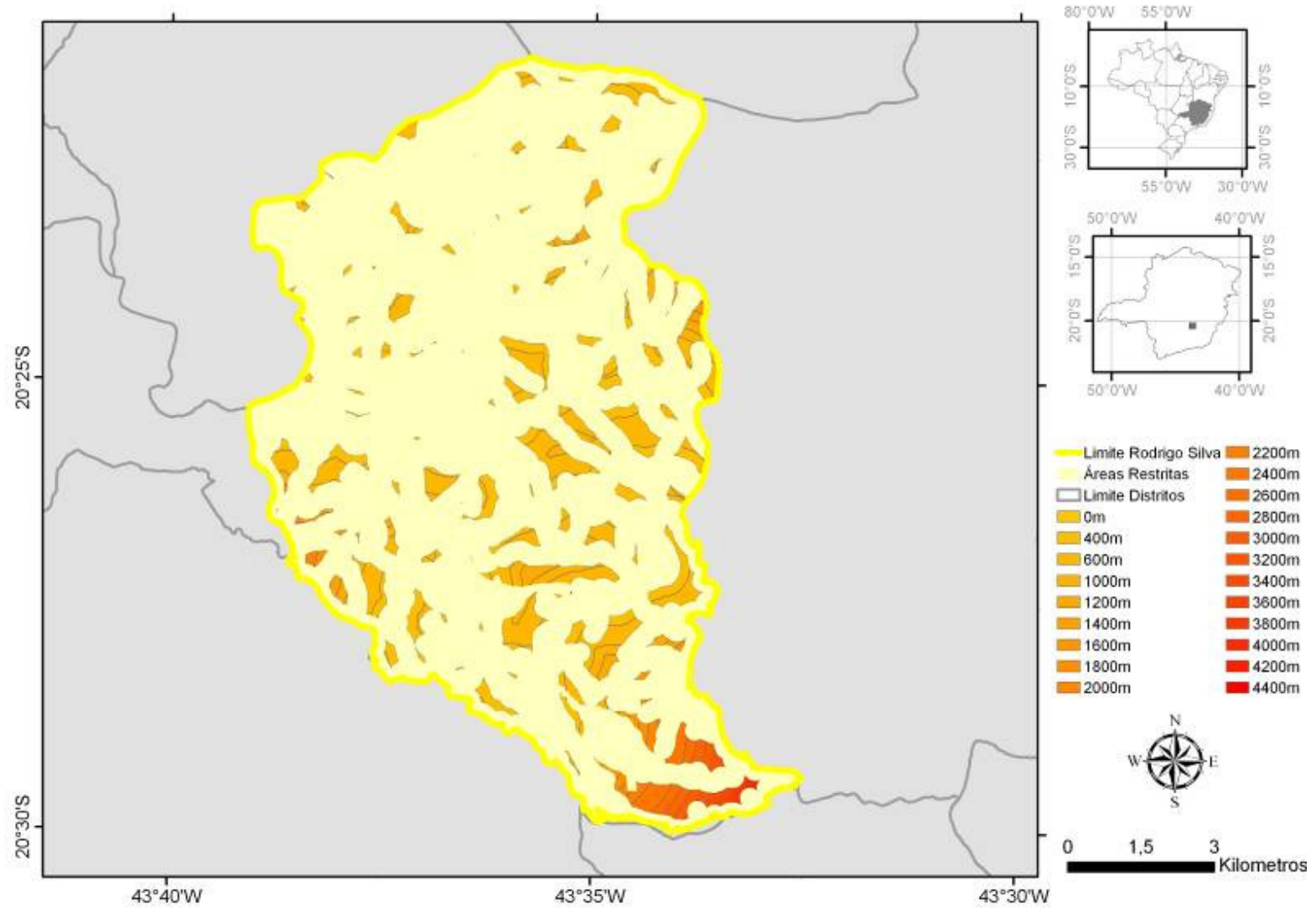
### C.3 Geologia



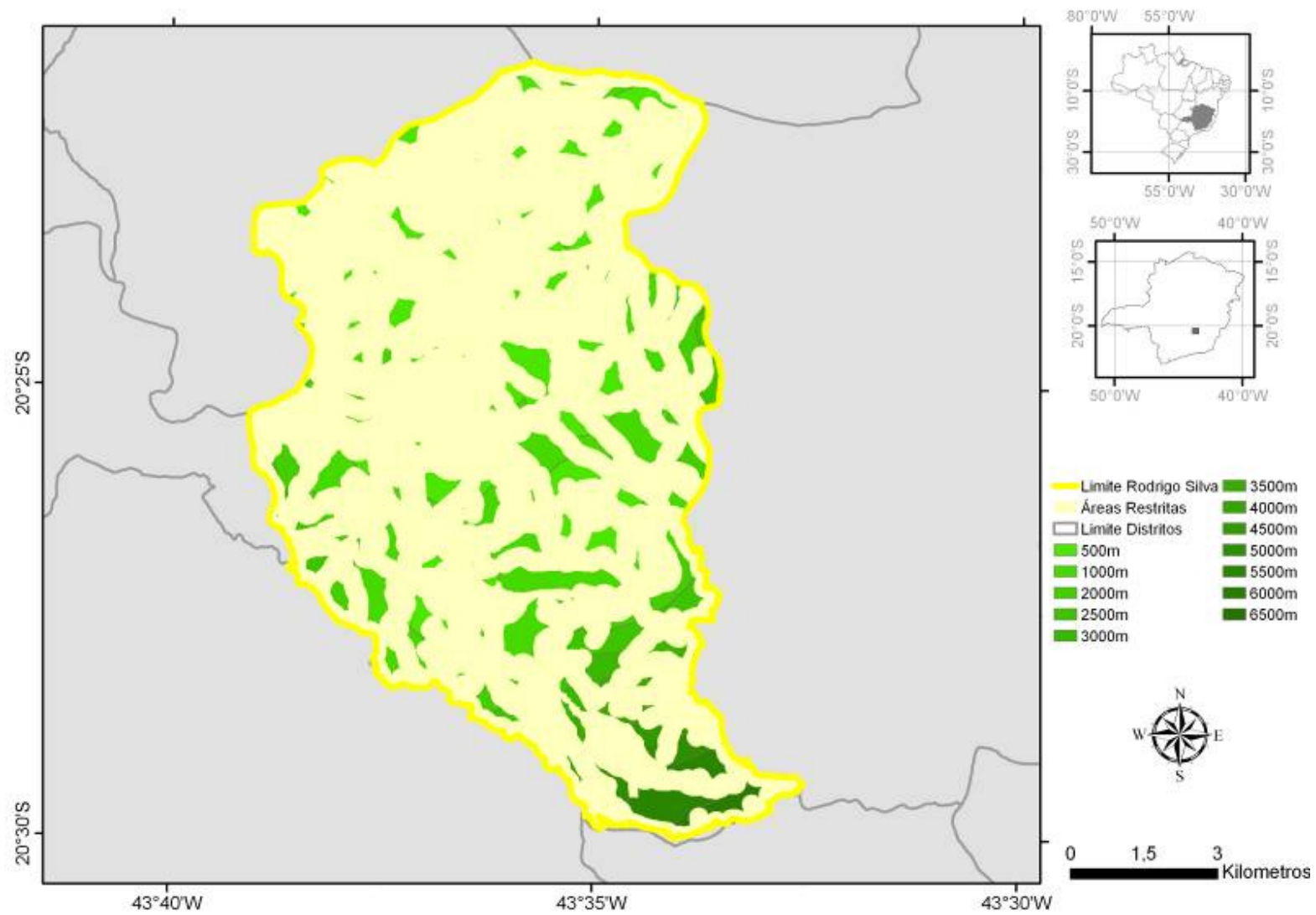
#### C.4 Distância de rios



### C.5 Distância de estradas



## C.6 Distância de casas



## C.7. Declividade

