

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas  
Ambientais

## **Análise de Municípios Mineiros quanto à Situação de seus Lixões**

Belo Horizonte  
Março de 2009

Gerson José de Mattos Freire

## **Análise de Municípios Mineiros quanto à Situação de seus Lixões**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do Departamento de Cartografia e Centro de Sensoriamento Remoto do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito à obtenção do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Área de concentração: Análise de recursos ambientais

Linha de pesquisa: Áreas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos

Orientadora: Profa. Dra. Ilka Soares Cintra

Co-orientador: Prof. Dr. Friederich Ewald Renger

Freire, Gerson José de Mattos

2009 Análise de Municípios Mineiros quanto à Situação de seus Lixões  
/ Gerson José de Mattos Freire – 2009

104 p.: Il.

Orientadora: Ilka Soares Cintra

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais –  
Instituto de Geociências – Departamento de Cartografia

1. Análise Ambiental. 2. Resíduos Sólidos. 3. Geoprocessamento. 4. Título.

## **Agradecimentos**

A Deus, por andar sempre comigo e pelas oportunidades que me dá;

A Minha Mãe, Maria Izabel, que com sua força me tirou do fundo do abismo, pelo seu exemplo de tenacidade e vontade;

A Meu Pai, Gerson Crisóstomo, onde estiver, com a certeza de que vamos nos reencontrar;

A Meu Filho, João Victor, amigo e companheiro de todas as horas, por seu amor desinteressado, que me lembra a todo momento que tudo é possível;

À minha Orientadora, Professora Dra. Ilka Soares Cintra, pela paciência e boa vontade em todas as horas;

À Professora Dra. Ana Clara Mourão Moura, por sua acolhida e companheirismo. Contar com sua amizade é uma honra e um privilégio;

Ao Professor Dr. Friederich Ewald Renger, que com seu humor único e dedicação é para mim um exemplo de docência;

A todos os professores e funcionários do IGC, especialmente ao funcionário Paulo Gonçalves de Lima, do Laboratório de Topografia;

Aos companheiros alunos dos programas de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais e de Geografia, pela harmonia na convivência e apoio nas disciplinas que cursamos juntos;

Às Colegas Sheyla Aguilar Santana, Renata Hungari, Ana Maria Coimbra, pela orientação e apoio nas mais diversas dúvidas;

À Geógrafa Letícia Oliveira Freitas, pelo companheirismo e apoio na confecção de mapas temáticos;

À Graduanda em Geografia Clarissa Malard, pela paciência e empenho no levantamento de dados;

Ao Engenheiro Marcílio Felício Pereira, MSc. Eng. América Maria Eleuthério Soares, MSc. Geóloga Luciana Felício Pereira e demais companheiros de trabalho na Aluvial Engenharia e Meio Ambiente Ltda., pelo apoio na execução deste trabalho;

Finalmente o meu agradecimento especial ao Professor Emérito Dr. Jorge Xavier-da-Silva e ao Técnico Matemático Osvaldo Elias Abdo, pela especial acolhida no LAGEOP- UFRJ, uma oportunidade única que tornou possível a execução deste trabalho;

A todos os meus amigos e companheiros de jornada, os meus sinceros agradecimentos.

E o nome da estrela era Absinto,  
e a terça parte das águas tornou-se em absinto, e muitos homens morreram das águas,  
porque se tornaram amargas.

*Apocalipse 8:11*

Dissertação defendida e aprovada, em 03 de abril de 2009, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

*Ilka Soares Cintra*

---

Profa. Dra. Ilka Soares Cintra

*Ana Clara Mourão Moura*

---

Profa. Dra. Ana Clara Mourão Moura

*Jorge Xavier da Silva*

---

Prof. Dr. Jorge Xavier da Silva

## Índice

1	Introdução.....	1
2	Objetivos.....	2
2.1	Objetivo Geral .....	2
2.2	Objetivos Específicos .....	2
3	Revisão da Literatura.....	3
3.1	Os Resíduos Sólidos Urbanos .....	3
3.1.1	Conceituação de resíduos .....	3
3.1.2	Classificação de Resíduos Sólidos Urbanos.....	4
3.1.3	Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos .....	9
3.1.4	Geração Per Capita .....	12
3.1.5	Os Resíduos como fonte de poluição .....	13
3.2	Os RSU após sua disposição .....	14
3.2.1.1	Fase Sólida.....	15
3.2.1.2	Fase Líquida – Chorume .....	16
3.2.1.3	Fase Gasosa .....	21
3.3	Formas de disposição adotadas para os RSU .....	22
3.3.1	Lixão.....	22
3.3.2	Aterro Controlado.....	22
3.3.3	Aterro Sanitário .....	23
3.3.3.1	Tratamento de chorume nos aterros sanitários .....	24
3.3.4	Usinas de Triagem e Compostagem .....	24
3.4	Riscos sanitários e ambientais da disposição inadequada de RSU para os municípios 25	
3.5	Legislação referente à disposição de Resíduos Sólidos Urbanos em Minas Gerais. 26	
3.5.1	Marcos regulatórios iniciais.....	26
3.5.2	Deliberação Normativa COPAM 07/1994 .....	27
3.5.3	Deliberação Normativa COPAM 52/2001 .....	28
3.5.4	O Programa Minas Sem Lixões.....	29
3.5.5	Desenvolvimento do Programa .....	29
3.5.5.1	Deliberação Normativa COPAM n.º 074/2004, de 02/12/2004 .....	29
3.5.5.2	Deliberação Normativa COPAM n.º 75/2004 .....	29
3.5.5.3	Deliberação Normativa COPAM n.º 81/2005 .....	29
3.5.5.4	Deliberação Normativa COPAM n.º 105/2006 .....	30
3.5.5.5	Deliberação Normativa COPAM n.º 118/2008 .....	30
3.5.6	Legislação prevista .....	31
3.5.7	Ações em curso à época da elaboração do presente trabalho.....	32
3.6	Ferramentas de Geoprocessamento e Análises Espaciais.....	36
3.6.1	Definições.....	36
3.6.2	Sistemas de Informação Geográficos .....	36
3.6.3	Vetor .....	37
3.6.4	<i>Raster</i> .....	38
3.6.5	Comparação entre sistemas <i>raster</i> e Vetoriais .....	38
3.6.6	Histórico de SIG .....	39
3.6.7	Modelagem cartográfica ou álgebra de mapas .....	42
3.6.8	Operações Locais.....	43
3.6.8.1	Reclassificação .....	43
3.6.8.2	Sobreposição.....	43
3.6.9	Operações de vizinhança local .....	44
3.6.9.1	Filtragem.....	44

3.6.9.2	Declividade.....	44
3.6.10	Operações de vizinhança geral.....	45
3.6.10.1	Distância, Proximidade e Conectividade.....	45
3.6.10.2	Criação de Buffers (Buffering).....	45
3.6.11	Análise da paisagem.....	45
3.6.12	Operações em regiões.....	46
3.6.12.1	Área e perímetro.....	46
3.6.13	Análise Ambiental.....	46
3.6.13.1	Análise de multicritérios.....	47
4	Metodologia de trabalho.....	49
4.1	Metodologia de análise dos dados de lixões desativados no Estado de Minas Gerais	50
4.2	Metodologia de Análise de dados de Lixões em atividade no Estado de Minas Gerais	52
4.3	Metodologia de definição dos planos de informação.....	54
4.4	Metodologia de Síntese dos Planos de Informação.....	55
4.5	Definição de Fatores naturais.....	55
4.5.1	Declividade dos Locais.....	56
4.5.2	Distância de Cursos D'água.....	57
4.5.3	Permeabilidade de solos e tipologia de aquíferos.....	58
4.5.4	Vazões críticas devido às precipitações nos locais.....	60
4.6	Definição de Fatores antrópicos.....	62
4.6.1	Dependência de águas subterrâneas.....	62
4.6.2	Geração diária de resíduos.....	64
4.6.3	Distância de Núcleos Populacionais.....	64
4.6.4	Unidades de Conservação.....	64
5	Resultados preliminares.....	65
5.1	Declividade nos lixões.....	65
5.2	Distância de Cursos D'água.....	66
5.3	Permeabilidade e Tipologia de Aquíferos.....	68
5.4	Vazões críticas devido às precipitações nos locais.....	71
5.5	Distância de Núcleos Populacionais.....	72
5.6	Unidades de Conservação.....	74
5.7	Geração diária de resíduos.....	75
5.8	Usos de recursos hídricos subterrâneos.....	76
5.9	Integração dos Planos de Informação.....	80
5.9.1	Pré-Processamento.....	82
5.9.2	Árvore de Decisão.....	82
6	Resultados Finais da pesquisa.....	89
7	Discussão de resultados obtidos.....	91
7.1	Aplicação dos resultados.....	91
7.2	Validação.....	91
7.3	Categorização dos municípios conforme a situação de seus lixões.....	94
8	Conclusão.....	95
9	Referências Bibliográficas.....	97



## Lista de Ilustrações

Figura 1.	Fases da formação de chorume em áreas de disposição de RSU (adaptado de Qasim e Chiang, 1994).....	19
Figura 2.	Tipologias de disposição de RSU – Minas Gerais – 2007 .....	34
Figura 3.	Tipologias de disposição de RSU.....	35
Figura 4.	Distribuição populacional de disposição de RSU .....	35
Figura 5.	Mapa do estado americano de Connecticut, produzido pelo SYMAP. ....	40
Figura 6.	Municípios com Lixões no Estado de Minas Gerais .....	54
Figura 7.	Diagrama explicativo da metodologia “GOD”. Fonte: Foster (1993).....	59
Figura 8.	Declividade nos locais de disposição de resíduos, por município.....	66
Figura 9.	Distância de lixões a cursos d’água, por município .....	67
Figura 10.	Permeabilidade de solos em Minas Gerais .....	69
Figura 11.	Sistemas aquíferos de Minas Gerais.....	70
Figura 12.	Precipitações máximas em municípios com lixões em MG.....	72
Figura 13.	Criação de Buffer para aferição de distância de núcleos urbanos a áreas de disposição de RSU.....	73
Figura 14.	Distância de núcleos urbanos a áreas de disposição em RSU .....	74
Figura 15.	Municípios cujos lixões interferem com unidades de conservação.....	75
Figura 16.	Classificação de porte de Municípios conforme a geração diária de RSU.....	76
Figura 17.	Outorgas subterrâneas no estado de Minas Gerais (IGAM, 2008).....	77
Figura 18.	Classificação de municípios conforme consumo de água subterrânea – usos urbanos	79
Figura 19.	Classificação de municípios conforme consumo de água subterrânea – usos não urbanos	80
Figura 20.	Árvore de decisões adotada .....	83
Figura 21.	Fatores Topográficos e geológicos .....	84
Figura 22.	Fatores Hidrológicos .....	85
Figura 23.	Fatores Locacionais .....	86
Figura 24.	Fatores Dinâmicos .....	87
Figura 25.	Fatores Naturais.....	88
Figura 26.	Fatores antrópicos.....	89
Figura 27.	Resultados finais.....	90

## Lista de Tabelas

Tabela 1.	Composição de RSU.....	10
Tabela 2.	Composição média dos resíduos sólidos urbanos .....	11
Tabela 3.	Composição média dos RSU x Renda per capita .....	11
Tabela 4.	Geração de resíduos por região geográfica e per capita .....	13
Tabela 5.	Geração de RSU x populações .....	13
Tabela 6.	Evolução da composição do chorume ao longo do tempo .....	20
Tabela 7.	Processos e tipos de tratamento de chorume em Aterros Sanitários .....	24
Tabela 8.	Porte de unidades de tratamento e/ou disposição de RSU – DN 07/94.....	27
Tabela 9.	Municípios de Minas Gerais e forma de disposição de RSU adotada.....	33
Tabela 10.	Síntese de resultados da pesquisa em processos de licenciamento ambiental da FEAM	51
Tabela 11.	Lixões em operação - Dados do Inventário de Resíduos Sólidos Estaduais ....	53
Tabela 12.	Classes de vulnerabilidade de aquíferos.....	59
Tabela 13.	Tipologia de solos e permeabilidade .....	69
Tabela 14.	Aquíferos e características gerais .....	71
Tabela 15.	Classificação e atribuição de pesos e notas aos planos de informação .....	81
Tabela 16.	Municípios com pior classificação e suas populações.....	91
Tabela 17.	Eixos classificatórios, pesos e probabilidades de obtenção aleatória de notas.	93
Tabela 18.	Piores notas na classificação obtida.....	94

## Lista de Abreviaturas e Siglas

AAF – Autorização Ambiental de Funcionamento  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ALMG – Assembléia Legislativa de Minas Gerais  
CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem  
CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – São Paulo  
CMRR – Centro Mineiro de Referência em Resíduos  
CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
COPAM - Conselho de Política Ambiental – COPAM – Minas Gerais  
COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais  
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DN – Deliberação Normativa  
DQO - Demanda Química de Oxigênio  
EIA – Estudo de Impacto Ambiental  
EMATER – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural – Minas Gerais  
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente - Minas Gerais  
GEOMINAS - Programa de Uso Integrado de Geoprocessamento pelo Governo de Minas Gerais  
IBAM - IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
ICMS – Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços  
IEF – Instituto Estadual de Florestas  
IGAM – Instituto Mineiro de Gestão de Águas  
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo  
LAGEOP - Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Rio de Janeiro  
LI – Licença de Instalação  
LO – Licença de Operação  
LP – Licença Prévia  
NARC - Núcleo de Apoio as Regionais do COPAM – Minas Gerais  
NBR – Norma Brasileira  
OMS – Organização Mundial da Saúde  
PCA – Plano de Controle Ambiental

PET - Politereftalato de etila

PGIRS – Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PL – Projeto de Lei

PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PVC - Policloreto de Vinila

RCA – Relatório de Controle Ambiental

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SAGA - Sistema de Análise Geo-Ambiental

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

SGBD – Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados

SIG(s) - Sistema(s) de Informação Geográfico(s)

SLU – Superintendência de Limpeza Urbana – Belo Horizonte

SST – Sólidos em Suspensão Totais

SUPRAM - Superintendência Regional de Minas Gerais

UC – Unidade de Conservação

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

URC – Unidades Regionais Colegiadas

UTC – Usinas de Triagem e Compostagem

## Resumo

Desde 2001, a legislação ambiental no Estado de Minas Gerais – Brasil prevê que cada município ou consórcio de municípios deve apresentar o Projeto de Aterro Sanitário, contemplando sistemas apropriados de drenagem pluvial, coleta dos efluentes líquidos e drenagem de gases. O processo de licenciamento exige a identificação de todas as áreas no município que já foram, em algum momento, utilizadas para a disposição de resíduos, bem como a descrição das medidas a serem adotadas para recuperação da área do antigo lixão, caso se preveja a mudança de local de disposição. O emprego destas medidas, apesar de necessárias, vem sendo negligenciado na maior parte dos locais, gerando passivos ambientais de difícil controle e quantificação. A pulverização dos locais gera dificuldades aos gestores municipais, tanto na fiscalização dos locais em operação quanto na verificação da eficiência das medidas necessárias para recuperação de locais abandonados; Análises de processos de áreas de lixões que tiveram suas atividades encerradas indicam um baixo índice de implementação destas medidas. Os custos envolvidos na total recuperação de qualquer uma destas áreas indicam a necessidade de priorização e sistematização de ações. Este trabalho tem o objetivo de discutir a temática de recuperação de áreas já degradadas por Resíduos sólidos urbanos. Várias técnicas vêm sendo utilizadas como contribuição à questão de recuperação de áreas degradadas, entre elas as técnicas de geoprocessamento que, aplicadas aos dados disponíveis, permitem a análise e a obtenção de diversos planos de informação homogêneos para locais distintos.

*Palavras Chave: geoprocessamento, lixões, análise multicritérios*

## Abstract

Since 2001, the environmental legislation in State of Minas Gerais, Brazil, foresees that every county or consortium of counties must present a Sanitary Landfill Project, contemplating the appropriate systems of pluvial drainage, liquid effluent collection and gas drainage. The licensing process requires the identification of all areas in the county that were, at some point, used for the disposition of wastes, as well as the description of the measures to be adopted for the recovery of the former landfill area, if the change of the disposal area is foreseen. The use of these measures, although necessary, has been neglected in most of the areas, generating environmental liabilities that are difficult to control and to quantify. Dispersion of the areas raises difficulties to the municipal managers, both to the inspection of the areas in operation and to the checking the efficiency of the required measures to recover the abandoned areas. Analyses of landfill areas processes, which had their activities closed, indicate a low index of implementation of these measures. The costs involved in the total recovery of any of these areas indicate the need of prioritization and systematization of actions. This paper aims at discussing the subject matter of the recovery of areas already degraded. Several techniques have been used as a contribution to the subject matter of recovery of degraded areas, among them, the geoprocessing techniques which, applied to the data available, allows the analysis and obtainment of several homogenous information plans for different areas.

*Key-words: geoprocessing, landfill, multi-criteria analysis*

## 1 Introdução

Os municípios do Estado de Minas Gerais foram convocados a efetuarem o licenciamento ambiental dos seus sistemas de disposição de resíduos sólidos urbanos - RSU. Desde 2001, a legislação ambiental no estado prevê que cada município ou consórcio de municípios deve apresentar o Projeto de Aterro Sanitário, contemplando sistemas apropriados de drenagem pluvial, coleta dos efluentes líquidos e drenagem de gases. A Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) é a entidade executora do programa denominado de Minas sem Lixões e vem exercendo ações de capacitação e fiscalização visando a adesão das prefeituras municipais à legislação atual. O processo de licenciamento exige a identificação de todas as áreas no município que já foram, em algum momento, utilizadas para a disposição de resíduos. Normalmente, estas áreas são denominadas “lixões”. Ainda, exige-se a descrição das medidas a serem adotadas para recuperação da área do antigo lixão, caso se preveja a mudança de local de disposição. Estas medidas incluem cercamento, cobertura, identificação e sistema de drenagem pluvial, dentre outras, necessárias à reabilitação da área. O emprego destas medidas, apesar de necessárias, vem sendo negligenciado na maior parte dos locais, gerando passivos ambientais de difícil controle e quantificação. O poder público municipal tem a atribuição constitucional de gerir e dispor corretamente os resíduos gerados em seu território, sendo estimulado pelo Estado, para adesão ao programa Minas Sem Lixões, com o aumento da participação destas na receita do ICMS Ecológico. Este mecanismo, entretanto, vem demonstrando baixa eficiência em sua capacidade de mobilização, em especial nos municípios de menor porte. A pulverização dos locais gera dificuldades aos gestores do programa, tanto na fiscalização dos locais em operação quanto na verificação da eficiência das medidas necessárias para recuperação de locais abandonados. Análises de processos de áreas de lixões que tiveram suas atividades encerradas indicam um baixo índice de implementação destas medidas. Os custos envolvidos na total recuperação de qualquer uma destas áreas indicam necessidade de priorização e sistematização de ações. Além disso, os estudos existentes sobre o tema concentram-se na análise de áreas propícias à instalação de aterros sanitários para disposição de Resíduos Sólidos Urbanos, abrindo-se a perspectiva da discussão da temática de recuperação de áreas já degradadas.

A meta do programa Minas Sem Lixões é erradicar, até o ano de 2011, 70 % dos locais de disposição inadequada de RSU. Considerando-se somente sobre o estoque atual de 559 lixões em operação, serão cerca de 380 locais nos quais deverão ser adotadas medidas mínimas de

controle, para evitar que os resíduos se constituam em risco para a saúde de populações vizinhas e para o meio ambiente.

Várias técnicas vêm sendo utilizadas como contribuição à questão de recuperação de áreas degradadas, entre elas as técnicas de geoprocessamento que, aplicadas aos dados disponíveis, estes embasados em experiências anteriores e na observação da realidade, permitem a análise e a obtenção de diversos planos de informação homogêneos para locais distintos. Torna-se oportuno o desenvolvimento de uma ferramenta de análise que permita a categorização dos locais, com a proposição de medidas globais para categorias semelhantes, que unifiquem o diálogo e facilitem a tarefa dos administradores.

Assim, com este trabalho pretende-se desenvolver uma formatação metodológica e uma análise dos dados disponíveis como contribuição para o entendimento da situação dos municípios mineiros em relação aos seus lixões, categorizando-os em níveis de situação de risco que permitam a tomada de decisões em favor da recuperação de áreas mais críticas.

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo Geral**

- Desenvolver uma proposta de análise ambiental para a área de influência de lixões, utilizando as ferramentas do geoprocessamento de maneira integrada às informações de conformidade legal, física e de operação nestes locais.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos, pretende-se:

- Aplicar a ferramenta de análise ambiental por geoprocessamento do SAGA/UFRJ, integrando-a às condições previstas pela legislação que rege a destinação de RSU no estado de Minas Gerais;
- Prover uma ferramenta de decisão para orientar as ações futuras e/ou definir o tipo de intervenção para máxima eficiência na reabilitação ambiental da área de influência de lixões a serem desativados no estado de Minas Gerais.

### 3 Revisão da Literatura

#### 3.1 Os Resíduos Sólidos Urbanos

##### 3.1.1 Conceituação de resíduos

A conceituação legal para a temática de resíduos sólidos adotada atualmente no Brasil é a prescrita pela ABNT 10.004/2004 – *Resíduos Sólidos – Classificação*. Esta norma foi elaborada em 1987, passando por um processo de revisão em 2004. Essa revisão foi baseada no Regulamento Técnico Federal Norte-americano denominado *Code of Federal Regulation (CFR) – Title 40 – Protection of environment – Part 260-265 – Hazardous Waste Management*. O objetivo da NBR 10.004 é o de classificar os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente.

A NBR 10.004 define os resíduos sólidos como:

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

Já o Projeto de Lei 1991/2007, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, em tramitação no Congresso nacional à época da elaboração deste trabalho, apresenta em seu Art.7º, inciso XIII, a definição de Resíduos Sólidos como

*“aqueles resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem urbana, industrial, de serviços de saúde, rural, especial ou diferenciada.”*

O PL em questão apresenta também as seguintes definições, em seu Art. 11.

- Resíduos Sólidos Urbanos: Resíduos sólidos gerados por residências, domicílios, estabelecimentos comerciais, prestadores de serviços e os oriundos dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, que por sua natureza ou composição, tenham as mesmas características dos gerados nos domicílios.



- Resíduos sólidos especiais ou diferenciados: Aqueles que por seu volume, grau de periculosidade, de degradabilidade ou outras especificidades, requeiram procedimentos especiais ou diferenciados para o manejo e a disposição final dos rejeitos, considerando os impactos negativos e os riscos à saúde e ao meio ambiente
- Rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos acessíveis e disponíveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

Ressalte-se aqui o entendimento popular corrente de que a palavra *lixo* em Português, do latim *lix* (que significa cinzas), é o que os técnicos denominam resíduos sólidos. Esta expressão, resíduos sólidos, traz certa uniformidade de nomenclatura, pois outros graves problemas ambientais estão relacionados com resíduos líquidos e resíduos gasosos (Cintra, 2003). Considerando-se a definição de resíduos como todo aquele material inservível e não aproveitável, neste trabalho adotar-se-á a nomenclatura Resíduos Sólidos, consagrada na bibliografia.

### 3.1.2 Classificação de Resíduos Sólidos Urbanos

Um resíduo pode ser enquadrado em mais de uma forma de classificação. O tipo de tratamento adotado depende da classificação dos resíduos sólidos. Estes são classificados de diferentes formas, a saber: periculosidade, origem, natureza física e outras. Quanto à periculosidade, conforme a norma ABNT 10.004/2004 os resíduos sólidos podem ser classificados como:

- Classe I – Perigosos: São aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, ou ainda os inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos ou patogênicos.
- Classe II A – Não inertes: Aqueles que não se enquadram na classificação de resíduos Classe I ou resíduos Classe II B.
- Classe II B – Inertes: - Quando amostrados de forma representativa, conforme NBR 10.007, e submetidos aos procedimentos da NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspecto, turbidez, dureza e sabor.

A periculosidade de um determinado resíduo é definida em função do grau de inflamabilidade (ex. pólvora suja, frascos pressurizados de inseticidas, etc.), corrosividade (ex. resíduos de processos industriais contendo ácidos e bases fortes), reatividade (ex. resíduos industriais contendo substâncias altamente reativas com água), toxicidade (ex. lodo de processos

contendo altas concentrações de metais pesados) e finalmente, pela sua patogeneicidade (ex. materiais com presença de vírus e bactérias).

Quanto a sua origem, os resíduos podem ser divididos em

- a) Resíduos domiciliares: são os gerados nas atividades diárias em residências, constituídos geralmente por restos de alimentos, jornais e revistas, embalagens em geral, papel higiênico e diversos outros itens como até alguns resíduos tóxicos;
- b) Resíduos comerciais: são gerados em estabelecimentos comerciais variando de acordo com a atividade desenvolvida. São, normalmente, constituídos dos mesmos itens encontrados no lixo doméstico, porém em maior proporção;
- c) Resíduos urbanos: são gerados pela limpeza pública (ruas, praças, praias, terrenos, entre outros) e constituídos por restos vegetais diversos, corpos de animais, embalagens;
- d) Resíduos de serviços de saúde: são gerados por hospitais, farmácias, clínicas e outros serviços de saúde. Merecem cuidados especiais em seu manuseio, transporte ou disposição final. Geralmente, o tratamento mais indicado é a incineração. Subdividem-se, conforme a Resolução CONAMA 358/05, em:

*GRUPO A:* Resíduos com a possível presença de agentes biológicos que, por suas características de maior virulência ou concentração, podem apresentar risco de infecção. Estes subdividem-se conforme se segue.

Subgrupo A1:

1. Culturas e estoques de microrganismos; resíduos de fabricação de produtos biológicos, exceto os hemoderivados; descarte de vacinas de microrganismos vivos ou atenuados; meios de cultura e instrumentais utilizados para transferência, inoculação ou mistura de culturas; resíduos de laboratórios de manipulação genética;
2. Resíduos resultantes da atenção à saúde de indivíduos ou animais, com suspeita ou certeza de contaminação biológica por agentes classe de risco 4, microrganismos com relevância epidemiológica e risco de disseminação ou causador de doença emergente que se torne epidemiologicamente importante ou cujo mecanismo de transmissão seja desconhecido;
3. Bolsas transfusionais contendo sangue ou hemocomponentes rejeitadas por contaminação ou por má conservação, ou com prazo de validade vencido, e aquelas oriundas de coleta incompleta;

4. Sobras de amostras de laboratório contendo sangue ou líquidos corpóreos, recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde, contendo sangue ou líquidos corpóreos na forma livre;

**Subgrupo A2:**

1. Carcaças, peças anatômicas, vísceras e outros resíduos provenientes de animais submetidos a processos de experimentação com inoculação de microorganismos, bem como suas forrações, e os cadáveres de animais suspeitos de serem portadores de microrganismos de relevância epidemiológica e com risco de disseminação, que foram submetidos ou não a estudo anatomopatológico ou confirmação diagnóstica;

**Subgrupo A3:**

1. Peças anatômicas (membros) do ser humano; produto de fecundação sem sinais vitais, com peso menor que 500 gramas ou estatura menor que 25 centímetros ou idade gestacional menor que 20 semanas, que não tenham valor científico ou legal e não tenha havido requisição pelo paciente ou familiares;

**Subgrupo A4:**

1. Kits de linhas arteriais, endovenosas e dialisadores, quando descartados;
2. Filtros de ar e gases aspirados de área contaminada; membrana filtrante de equipamento médico-hospitalar e de pesquisa, entre outros similares;
3. Sobras de amostras de laboratório e seus recipientes contendo fezes, urina e secreções, provenientes de pacientes que não contenham e nem sejam suspeitos de conter agentes Classe de Risco 4, e nem apresentem relevância epidemiológica e risco de disseminação, ou microrganismo causador de doença emergente que se torne epidemiologicamente importante ou cujo mecanismo de transmissão seja desconhecido ou com suspeita de contaminação com príons.
4. Resíduos de tecido adiposo proveniente de lipoaspiração, lipoescultura ou outro procedimento de cirurgia plástica que gere este tipo de resíduo;
5. Recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde, que não contenha sangue ou líquidos corpóreos na forma livre;
6. Peças anatômicas (órgãos e tecidos) e outros resíduos provenientes de procedimentos cirúrgicos ou de estudos anatomopatológicos ou de confirmação diagnóstica;

7. Carcaças, peças anatômicas, vísceras e outros resíduos provenientes de animais não submetidos a processos de experimentação com inoculação de microorganismos, bem como suas forrações; e

8. Bolsas transfusionais vazias ou com volume residual pós-transfusão.

Subgrupo A5:

1. Órgãos, tecidos, fluidos orgânicos, materiais perfuro cortantes ou escarificantes e demais materiais resultantes da atenção à saúde de indivíduos ou animais, com suspeita ou certeza de contaminação com príons.

*GRUPO B:* Resíduos contendo substâncias químicas que podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade.

a) produtos hormonais e produtos antimicrobianos; citostáticos; antineoplásicos; imunossupressores; digitálicos; imunomoduladores; anti-retrovirais, quando descartados por serviços de saúde, farmácias, drogarias e distribuidores de medicamentos ou apreendidos e os resíduos e insumos farmacêuticos dos medicamentos controlados pela Portaria MS 344/98 e suas atualizações;

b) resíduos de saneantes, desinfetantes, desinfestantes; resíduos contendo metais pesados; reagentes para laboratório, inclusive os recipientes contaminados por estes;

c) efluentes de processadores de imagem (reveladores e fixadores);

d) efluentes dos equipamentos automatizados utilizados em análises clínicas; e

e) demais produtos considerados perigosos, conforme classificação da NBR 10.004 da ABNT (tóxicos, corrosivos, inflamáveis e reativos).

*GRUPO C:* Quaisquer materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de eliminação especificados nas normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN e para os quais a reutilização é imprópria ou não prevista.

a) enquadram-se neste grupo quaisquer materiais resultantes de laboratórios de pesquisa e ensino na área de saúde, laboratórios de análises clínicas e serviços de medicina nuclear e radioterapia que contenham radionuclídeos em quantidade superior aos limites de eliminação.

*GRUPO D:* Resíduos que não apresentem risco biológico, químico ou radiológico à saúde ou ao meio ambiente, podendo ser equiparados aos resíduos domiciliares.

- a) papel de uso sanitário e fralda, absorventes higiênicos, peças descartáveis de vestuário, resto alimentar de paciente, material utilizado em anti-sepsia e hemostasia de venóclises, equipo de soro e outros similares não classificados como A1;
- b) sobras de alimentos e do preparo de alimentos;
- c) resto alimentar de refeitório;
- d) resíduos provenientes das áreas administrativas;
- e) resíduos de varrição, flores, podas e jardins; e
- f) resíduos de gesso provenientes de assistência à saúde.

*GRUPO E:* Materiais perfuro cortantes ou escarificantes, tais como: lâminas de barbear, agulhas, escalpes, ampolas de vidro, brocas, limas endodônticas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas; tubos capilares; micropipetas; lâminas e lamínulas; espátulas; e todos os utensílios de vidro quebrados no laboratório (pipetas, tubos de coleta sanguínea e placas de Petri) e outros similares.

- e) Resíduos de Portos, Aeroportos, Terminais Rodoviários e Ferroviários: possuem legislação própria e não se encaixam nos urbanos e nos comerciais, pois podem hospedar doenças provenientes de outras cidades, estados ou países. São constituídos por restos de alimentos e material de higiene pessoal;
- f) Resíduos industriais: são gerados pelas atividades industriais apresentando características diversificadas, pois dependem do tipo do produto manufaturado, podendo ser exemplificados por óleos, plásticos, papel, madeira, borracha, metal, vidros, fibras, resíduos alcalinos e ácidos;
- g) Resíduos radioativos: são provenientes das atividades nucleares (resíduos de atividades com urânio, cézio, tório, radônio e cobalto) devendo ser manuseados apenas com equipamentos e técnicas adequadas;
- h) Resíduos agrícolas: gerados nas atividades pecuárias e agrícolas como embalagens de ração, adubos, etc. O lixo proveniente de fertilizantes químicos e pesticidas são tidos como tóxicos e necessitam de tratamento especial;
- i) Resíduos da Construção Civil – Aqueles oriundos de atividades específicas de edificações. Conforme a Resolução CONAMA nº. 307, de julho de 2002, classificam-se em:
  - Classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como os oriundos de:
    - Pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

- Edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento), argamassa e concreto;
- Processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios) produzidas nos canteiros de obras.
- Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros.
- Classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos fabricados com gesso.
- Classe D: são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos, amianto e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

### **3.1.3 Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos**

A composição dos resíduos sólidos é variada, podendo apresentar os materiais indicados na Tabela 1.

Tabela 1. Composição de RSU

<b>Categoria</b>	<b>Exemplos</b>
Matéria orgânica putrescível	Restos alimentares, flores, podas de árvores.
Plástico	Sacos, sacolas, embalagens de refrigerantes, água e leite, recipientes de produtos de limpeza, beleza e alimentícios, esponjas, isopor, utensílios de cozinha, látex, sacos de ráfia.
Papel e papelão	Caixas, revistas, jornais, cartões, papel, pratos, cadernos, livros, pastas.
Vidro	Copos, garrafas de bebidas, pratos, espelhos, embalagens de produtos de limpeza, beleza e alimentícios.
Metal ferroso	Palha de aço, alfinetes, agulhas, embalagens de produtos alimentícios.
Metal não-ferroso	Latas de bebidas, restos de cobre e chumbo, fiação elétrica
Madeira	Caixas, tábuas, palitos de picolé e de fósforos, tampas, móveis, lenha.
Panos, trapos, couro e borracha	Roupas, panos de limpeza, pedaços de tecido, bolsas, mochilas, sapatos, tapetes, luvas, cintos, balões.
Contaminante químico	Pilhas, medicamentos, lâmpadas, inseticidas, raticidas, colas em geral, cosméticos, vidro de esmaltes, embalagens pressurizadas, canetas com carga, papel carbono, filme fotográfico.
Contaminantes biológicos	Papel higiênico, cotonetes, algodão, curativos, gazes e panos com sangue, fraldas descartáveis, absorventes higiênicos, seringas, lâminas de barbear, cabelos, pêlos, embalagens de anestésicos, luvas.
Pedra, terra e cerâmica	Vasos de flores, pratos, restos de construção, terra, tijolos, cascalho, pedras decorativas.
Diversos	Velas de cera, restos de sabão e sabonete, carvão giz, pontas de cigarro, rolhas, cartões de crédito, lápis de cera, embalagens longa-vida, embalagens metalizadas, sacos de aspiradores de pó, lixas e outros materiais de difícil identificação.

Fonte: Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros Sanitários – PUC - Rio – [http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/rsudoutrina\\_01.pdf](http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/rsudoutrina_01.pdf) - acessado em 03/02/2009

A Tabela 2 apresenta a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos em Belo Horizonte e no Brasil.

Tabela 2. Composição média dos resíduos sólidos urbanos

Tipos de materiais presentes nos resíduos sólidos urbanos	Brasil	Belo Horizonte
	% em peso	% em Peso
Borracha	0,3	0,4
Couro	0,1	0,2
Madeira	0,1	0,6
Matéria orgânica	52,5	64,4
Metais ferrosos	1,4	2,5
Metais não ferrosos	0,9	0,2
Papel e papelão	24,5	13,5
Plásticos	2,9	6,5
Trapos	0,2	1,5
Vidros	1,6	2,2
Outros	15,5	8,0
TOTAL	100	100

Fonte: Modificado de Cintra, 2003; Pereira Neto, 1992 / SLU

Já a Tabela 3 relaciona os percentuais de materiais encontrados nos RSU, e sua variação em função da renda per capita em diversos países.

Tabela 3. Composição média dos RSU x Renda per capita

Tipos de materiais presentes nos RSU	Países de baixa renda per capita	Países de média renda per capita	Países de elevada renda per capita
<i>Orgânicos</i>			
Restos de alimento	40-85	20-65	6-30
Papel <sup>a</sup> e papelão <sup>b</sup>	1-10 (a+b)	8-30 (a+b)	20-45 e 5-15
Plásticos	1-5	2-6	2-8
Têxteis	1-5	2-10	2-6
Borracha e couro	1-5	2-10	0-2
Podas <sup>c</sup> e madeira <sup>d</sup>	1-5 (c+d)	1-10 (c+d)	10-20 e 1-4
<i>Inorgânicos</i>			
Vidro	1-10	1-10	4-12
Metais em geral	1-5	1-5	3-12
Terra, pó, cinzas	1-40	1-30	0-10

Fonte: HAMADA, J. - Caracterização de Resíduos Sólidos – UNESP – Bauru, 2007



### 3.1.4 Geração Per Capita

A geração de resíduos sólidos vem merecendo a atenção de diversos analistas ao longo dos anos. Desde os estudos clássicos de McBean et al, que definiam o padrão de geração em função da população das comunidades variando de 0,91 a 1,63 kg/habitante/dia, os valores vêm sendo aprimorados e adaptados à realidade dos locais envolvidos. A evolução envolve não só a metodologia para o levantamento dos dados com também a natureza dos resíduos gerados. Esta vem sofrendo alterações com o tempo, com a introdução, no padrão de consumo das famílias, de novos materiais antes inexistentes, como os plásticos, PET (Politereftalato de etila) e PVC (Policloreto de Vinila) em suas diversas formas, além do desenvolvimento de novas formas de embalagem e acondicionamento de produtos alimentícios e de higiene. Além disso, bens semiduráveis como os produtos da indústria eletro-eletrônica tiveram seu uso disseminado ao longo dos últimos vinte anos e seu descarte necessita ser levado em consideração nas estimativas mais recentes.

Em todas as análises efetuadas, os avanços do consumo e da industrialização adicionados à integração de pequenas comunidades aos mercados indicam que vem aumentando a geração de RSU em todo o mundo. Nos países ditos desenvolvidos, os índices atingem nos dias de hoje cerca de 1,77 kg/hab./dia (ROSA et al., 2001) Dados da Organização Pan-Americana da Saúde - OPAS (1999) indicam uma produção de 0,92 kg/hab./dia; Para as grandes cidades brasileiras, os dados mais recentes indicam que a geração de resíduos sólidos domiciliares no Brasil é de cerca de 0,6kg/hab./dia e mais 0,3kg/hab./dia de resíduos de varrição, limpeza de logradouros e entulhos (IPT/CEMPRE, 2000). No Brasil, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB, 2000), coletam-se coleta cerca de 228.413 toneladas de resíduos sólidos diariamente, sendo 125.258 toneladas referentes aos resíduos domiciliares. A Tabela 4 apresenta a população brasileira e sua distribuição regional, a quantidade de resíduos sólidos gerados diariamente e a geração por pessoa e por região.

Tabela 4. Geração de resíduos por região geográfica e per capita

	População total		Geração de Resíduos (tonelada/dia)		
	Valor	Percentual (%)	Valor	Percentual (%)	Geração per capita (kg/hab./dia)
<b>Brasil</b>	<b>169.799.170</b>		<b>228.413</b>	<b>100,0</b>	<b>1,35</b>
Norte	12.900.704	7,6	11.067	4,8	0,86
Nordeste	47.741.711	28,1	41.558	18,2	0,87
Sudeste	72.412.411	42,6	141.617	62,0	1,96
Sul	25.107.616	14,8	19.875	8,7	0,79
Centro-Oeste	11.636.728	6,9	14.297	6,3	1,23

Fonte: PNSB (IBGE, 2000)

De uma forma geral, os valores apresentados na Tabela 4 são compatíveis com o levantamento realizado pela Secretaria de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República, em 1998, quando foram obtidos os seguintes valores: 0,58 Kg/hab./dia para a Região Norte; 1,08 Kg/hab./dia para a Região Nordeste; 1,3 Kg/hab./dia para a Região Sudeste; 0,95 Kg/hab./dia para a Região Centro-Oeste; e 0,89 Kg/hab./dia para a Região Sul. Em relação à geração de resíduos domiciliares, a PNSB indica um valor médio nacional de 0,74 kg por habitante por dia; Já a Tabela 5 sintetiza os dados da CETESB/IBGE (2000).

Tabela 5. Geração de RSU x populações

Classificação	População	Kg/habitante/dia	Toneladas/dia	%
<b>Até 100 mil hab.</b>	84.433.133	0,4	33.773	39
<b>100 e 200 mil hab.</b>	16.615.355	0,5	8.308	10
<b>200 e 500 mil hab.</b>	22.040.778	0,6	13.224	15
<b>Acima de 500 mil hab.</b>	45.777.000	0,7	32.044	37
<b>Total</b>	169.544.443	0,52	87.349	100

Fonte: Modificado de CETESB (2001) e Censo IBGE (2001)

### 3.1.5 Os Resíduos como fonte de poluição

A disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos constitui-se numa considerável fonte de propagação de poluentes. Estes poluentes podem alcançar as águas superficiais ou subterrâneas através do lançamento direto, precipitação, escoamento pela superfície do solo

ou infiltração. As fontes de poluição da água podem ser caracterizadas como *localizadas* ou *pontuais*, quando o lançamento da carga poluidora é feito de forma concentrada, em determinado local, e *não-localizadas* ou *difusas*, quando os poluentes alcançam um manancial de modo disperso, não se determinando um ponto específico de introdução. O **chorume**, resíduo gerado nos processos de degradação dos resíduos sólidos urbanos em locais de disposição de resíduos sólidos urbanos (Santos, 2004) é um líquido que apresenta características de altas cargas de contaminantes orgânicos e inorgânicos e sendo assim, representam uma fonte de poluição significativa, seja em grandes centros ou pequenos aglomerados urbanos. A percolação do chorume resultante de depósitos de resíduos no solo é caracterizada como difusa, não se podendo determinar com exatidão o grau de contaminação gerado. Ressalte-se que as águas superficiais e subterrâneas se encontram interligadas na maioria dos casos; Em algumas situações, os mananciais de superfície proporcionam a recarga dos reservatórios subterrâneos, enquanto, em outras, as águas do subsolo descarregam em recursos hídricos superficiais. Assim, um manancial de superfície, poluído, pode causar a poluição de um aquífero subterrâneo e vice-versa, conforme será abordado em outra seção deste trabalho; Além disso, a disposição de RSU associa, à poluição da água, alterações provocadas no solo ou no ar. O carreamento de resíduos pelas chuvas e a precipitação de impurezas do ar constituem também mecanismos de poluição da água.

A disposição inadequada dos resíduos sólidos constitui um grande problema para o mundo moderno. O aumento gradual do consumo, conseqüentemente da geração e descarte de resíduos, contribui para o agravamento da situação de áreas que funcionavam como depósito de lixo e que hoje se encontram contaminada com os diferentes tipos de materiais lá depositados. Em sua maioria, tratam-se de substâncias tóxicas que tiveram seu uso disseminado durante a vida útil do lixo.

Assim, as áreas ocupadas pelos chamados “lixões” destacam-se por seu potencial de danos ambientais, sanitários e sociais, necessitando de especial atenção por parte da sociedade. Este trabalho tem seu enfoque nestas áreas.

### **3.2 Os RSU após sua disposição**

Após a disposição dos RSU no solo, inicia-se o processo de decomposição e transformação. Estes processos serão analisados no presente trabalho dando enfoque separadamente a cada um das fases nas quais os RSU se transformam: Fase sólida, fase líquida e fase gasosa.

Entretanto a fase líquida denominada chorume ou líquido lixiviado requer maior detalhamento por se constituir em elemento contaminante dos corpos hídricos.

### 3.2.1.1 Fase Sólida

Conforme se viu, a fase sólida é composta principalmente por restos de alimentos, papel e papelão, plásticos, têxteis, borracha e couro, podas e madeira, além dos inorgânicos vidro, metais em geral, terra, pó e cinzas. A composição é bastante variada, utilizando-se para a sua caracterização os seguintes parâmetros e propriedades físicas:

- **Peso Específico**

Trata-se do resultado da divisão da massa dos resíduos pelo seu volume. O peso específico do lixo varia em função de sua composição, e aumenta proporcionalmente com a profundidade, como resultado do peso da pilha de lixo e a compactação diária aplicada ao aterro, sendo aceitos valores entre 3 a 18 KN/m<sup>3</sup> (Carvalho, 2008).

- **Umidade**

O teor de umidade em aterros de resíduos sólidos é dependente de vários fatores incluindo: composição e condições iniciais do lixo, condições climáticas do local, procedimento de operação do aterro, presença de lixiviação, cobrimento e quantidade de umidade gerada pelo processo biológico de degradação dos resíduos. O teor de umidade do lixo sólido pode ser expresso de acordo com o peso úmido ou peso seco. Conforme Carvalho (op.cit.) são aceitos valores entre 15 e 40 % (Carvalho, 2008).

- **Tamanho das partículas e sua distribuição**

É analisada com peneiras previamente calibradas. De um modo geral, ocorre uma tendência de aumento da quantidade de material granular fino com a idade do lixo, servindo este parâmetro para indicar sua idade.

- **Capacidade de campo**

É definida como a quantidade máxima de água retida na massa de RSU em oposição à força da gravidade. Seus valores reportados na literatura apresentam uma faixa muito ampla. Isto pode ser explicado pela influência de diferentes fatores, tais como a composição, peso específico, porosidade e idade dos RSU (YUEN *et al.*, 2001).

- **Porosidade**

É a característica de um meio poroso, permitir um líquido fluir entre suas partículas com maior ou menor velocidade. Representa o tempo necessário para que um líquido percorra os vazios de uma massa de solo, ou de resíduos (YUEN, op.cit.).

A fase sólida dos Resíduos Sólidos Urbanos deve ser analisada pelos seus principais aspectos causadores de impactos negativos no meio ambiente, a saber: a queima, a transmissão de vetores e a coleta irregular de materiais. Nos lixões, devido à forma irregular de disposição e às reações físico-químicas presentes, ocorre um aumento de temperatura no maciço de resíduos que favorece a combustão, espontânea ou induzida por agentes. A queima destes conduz gases tóxicos para a atmosfera bem como metais pesados e outros elementos, que se constituem em risco ao meio ambiente e à saúde das populações vizinhas. Estas também são afetadas diretamente pelos vetores de doenças e pela atividade de catadores.

### 3.2.1.2 Fase Líquida – Chorume

Conforme discutido anteriormente, um dos parâmetros importantes na caracterização dos resíduos sólidos urbanos é o teor de umidade, que representa a quantidade de água na massa de resíduos. Esta água tenderá a solubilizar substâncias presentes nos resíduos sólidos, principalmente as de composição orgânica, dando origem a uma mistura líquida complexa com composição química variável (qualitativa e quantitativa) denominada chorume.

Chorume pode ser definido como a fase líquida da massa de lixo aterrada, que percola através desta removendo materiais dissolvidos ou suspensos e tornando-se assim um líquido lixiviado. Na maioria dos aterros sanitários, o chorume é composto basicamente pelo líquido que entra na massa aterrada de lixo, advindo de fontes externas, tais como sistemas de drenagem superficial, chuva, lençol freático, nascentes e aqueles resultantes da decomposição dos resíduos sólidos urbanos.

Segundo YUEN et al (2001) a geração de chorume pode ser influenciada pelos seguintes fatores:

- Climatológicos e correlatos;
- Regime de chuva e precipitação pluviométrica anual;
- Escoamento superficial;
- Infiltração;
- Evapotranspiração e temperatura;
- Características do resíduo sólido;
- Composição;
- Densidade;
- Teor de umidade inicial;
- Tipo de disposição;
- Características de permeabilidade do aterro ou lixão;

- Idade do aterro ou lixão;
- Profundidade do aterro ou lixão.

A quantidade de matéria orgânica presente no resíduo de Belo Horizonte é de 64,4% e no Brasil é superior a 50%, conforme apresentado na Tabela 2 (composição média dos resíduos sólidos urbanos), citado de Pereira Neto (2002). A presença da matéria orgânica nos resíduos sólidos urbanos é a principal responsável pela geração do chorume, que possui elevada carga orgânica capaz de contaminar o lençol freático e cursos d'água localizados nas proximidades. A qualidade do chorume é principalmente o resultado das características físicas, químicas e processos biológicos assim como de outras variáveis entre as quais a circulação da água, os nutrientes e a presença de substâncias tóxicas ou de compostos ou elementos inibidores. O processo gradual decomposição de RSU foi dividido em várias fases (Qasim e Chiang, 1994; McBean et al., 1995; Oweis e Khera, 1998; McBean e Rovers, 1999). Apesar da grande variabilidade de composição gravimétrica presente nos aterros e lixões, o processo de decomposição da matéria orgânica é basicamente o mesmo, caracterizando-se inicialmente por uma fase aeróbia, de pequena duração, e várias fases anaeróbias.

Na fase inicial (descrita como "Fase I", por McBean e Rovers, 1999) há o predomínio de uma decomposição aeróbia. Esse processo é relativamente rápido, se comparado à decomposição anaeróbia. Durante essa fase uma grande quantidade de calor é produzida e a temperatura do aterro sobe consideravelmente acima da temperatura ambiente. Picos de temperatura de até 71° C podem ocorrer de poucos dias a poucas semanas após a aplicação de cobertura (Oweis e Khera, 1998). Nessa fase não é produzida uma quantidade muito grande de chorume, uma vez que se espera que a água resultante no processo esteja reagindo com sais altamente solúveis, tais como NaCl e outros (Qasim e Chiang, 1994). Esta fase é normalmente muito curta, durando menos de um mês, devido à quantidade limitada de oxigênio no aterro e alta demanda de oxigênio dos RSU.

Quando o oxigênio se esgota, predomina a decomposição anaeróbica por microrganismos. Nesta fase, denominada "Fase II" (McBean e Rovers, op.cit.), grande quantidade de ácidos graxos, como o ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), e dióxido de carbono são produzidos. Esses ácidos reduzem o pH para valores entre 4 e 5. A condição de baixo pH contribui para mobilizar materiais inorgânicos como os metais pesados. Chorume produzido durante esta etapa geralmente é caracterizado por elevados valores de DBO (geralmente superiores a 10.000 mg/L) e elevadas proporções de DBO/DQO (geralmente superiores a 0,7), o que indica que altas proporções de materiais orgânicos solúveis são facilmente biodegradáveis.

A decomposição anaeróbia é muito favorecida quando a população de metanobactérias aumenta. O metano é, depois do CO<sub>2</sub>, o gás que mais contribui para o efeito estufa de origem antropogênica, tornando-se um dos gases importantes no estudo das alterações climáticas induzidas pelo homem. A produção de gás metano na natureza ocorre pela degradação de material orgânico por bactérias em meios livres de oxigênio (meios anaeróbicos), tais como sedimentos aquáticos, trato gastrointestinal de alguns animais e nos esgotos. Vários fatores químicos e biológicos influenciam a produção de metano em determinado meio, destacando-se a temperatura, o pH e a disponibilidade de alimento. As bactérias produtoras de metano, denominadas metanobactérias, podem processar apenas um pequeno número de compostos para o seu crescimento.

Ácidos voláteis e outros materiais orgânicos são, portanto, convertidos em metano e dióxido de carbono. Assim, a concentração de ácidos voláteis é reduzida a níveis mais baixos, e a composição gasosa torna-se uma mistura de dióxido de carbono e metano. O pH começa a subir, o que favorece a produção de metano ("Fase III-IV", McBean e Rovers, op.cit.). Próximo ao patamar de pH neutro, a condutividade cai porque uma menor quantidade de materiais inorgânicos é solubilizada. O potencial redox deve ser menor do que durante as fases precedentes da decomposição anaeróbia, refletindo o aumento da produção de metano e aumento no pH (Qasim e Chiang, 1994). Esta etapa dura anos, ou mesmo décadas.

A matéria orgânica nos aterros varia desde compostos de ácidos voláteis com baixo peso molecular até compostos de intermediário e alto peso molecular. A biodegradabilidade da matéria orgânica em chorume geralmente é inversamente proporcional ao peso molecular dos diversos componentes da matéria orgânica, ou seja, um peso molecular mais baixo indica um maior grau de biodegradabilidade. No estágio seguinte, a taxa de decomposição bacteriana pode diminuir devido ao esgotamento do substrato ("Fase V", McBean e Rovers, op. cit.). Lentamente, porções de aterro podem restabelecer condições aeróbicas enquanto águas com altos teores de oxigênio continuarem a percolar através do aterro (Qasim e Chiang, 1994).

O resultado é que o chorume é geralmente composto de centenas de contaminantes orgânicos e inorgânicos classificados em quatro grupos como se segue.

1. Compostos orgânicos antropogênicos, provenientes diretamente de produtos químicos de uso doméstico ou industrial;
2. Matéria orgânica, que consiste principalmente do produto de degradação de matéria orgânica sólida nos resíduos, que tipicamente têm concentrações inferiores a 1 mg/L;
3. Substâncias inorgânicas incluindo cálcio, magnésio, sódio, potássio, amônia, ferro, manganês, cloretos, sulfatos e bicarbonatos;

4. Metais pesados, incluindo o cádmio, cromo, cobre, chumbo, níquel e zinco.

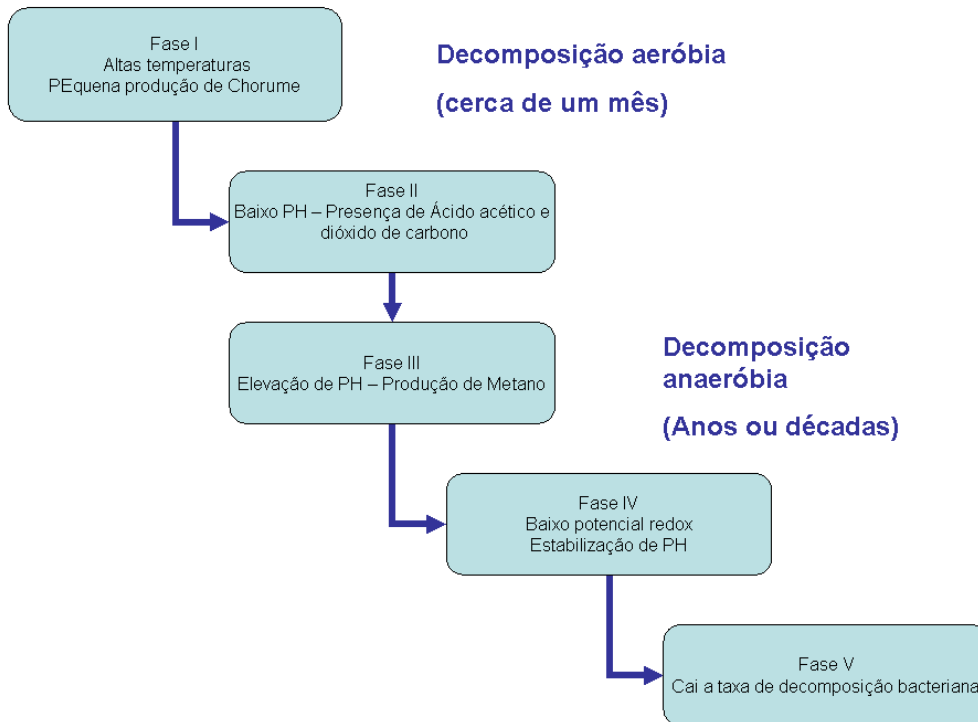


Figura 1. Fases da formação de chorume em áreas de disposição de RSU (adaptado de Qasim e Chiang, 1994)

O alto grau de diferenciação interna e os diversos processos, ocorrendo simultaneamente em cada ponto da massa de resíduos, levam os autores a propor outros modelos para a decomposição; Assim, o processo gradual decomposição de RSU foi dividido em várias fases (Qasim e Chiang, 1994; McBean et al., 1995; Oweis e Khera, 1998; McBean e Rovers, 1999). Apesar da grande variabilidade de composição gravimétrica presente nos aterros e lixões, o processo de decomposição da matéria orgânica é basicamente o mesmo, caracterizando-se inicialmente por uma fase aeróbia, de pequena duração, e várias fases anaeróbias. Alguns dos autores citados dividem o processo em duas fases somente (aeróbica e anaeróbica), outros em três ou quatro fases, com diferentes divisões do processo anaeróbico, conforme discutido por CINTRA (2003). O chorume recolhido a partir de um único local dentro de um aterro sanitário é bastante variável ao longo do tempo. Além disso, a heterogeneidade espacial na qualidade do chorume também pode ser observada, por exemplo, alguns locais dentro de um aterro sanitário ou lixão podem estar em uma dada fase de decomposição, enquanto outros locais se encontram em diferentes estágios de decomposição.

A Tabela 6 apresenta a evolução da composição físico-química do chorume ao longo do tempo.



Tabela 6. Evolução da composição do chorume ao longo do tempo

Parâmetros	Unidade de análise	Idade do aterro		
		1 ano	5 anos	16 anos
Alcalinidade (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l CaCO <sub>3</sub>	800-4.000	5.810	2.250
Cádmio	mg / l	-	<0,05	<0,05
Cálcio	mg/l	900-1.700	308	109
Chumbo	mg / l	-	0,5	1,0
Cloro	mg / l	600-800	1.330	70
Cobre	mg / l	-	<0,5	<0,5
Condutividade	eV	600-9.000	-	-
DBO	mg/IO <sub>2</sub>	7.500-28.000	4.000	80
DQO	mg/IO <sub>2</sub>	10.000-40.000	8.000	400
Dureza (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l CaCO <sub>3</sub>	3.500-5.000	2.200	540
Ferro	mg / l	210-325	6,3	0,6
Fósforo total	mg / l	25-35	12	8
Magnésio	mg / l	160-250	450	90
Manganês	mg / l	75-125	0,06	0,06
Nitrato	mg/lN	0,2-0,8	0,5	1,6
Nitrogênio amoniacal	mg/l	56-482	-	-
Ortofosfato	mg/LP	23-33	-	-
Ph	-	5,2-6,4	6,3	-
Potássio	mg/l	295-310	610	39
SDT	mg/l	10.000-14.000	6.794	1.200
Sódio	mg/l	450-500	810	34
SST	mg / l	100-700	-	-
Sulfatos	mg/ISO <sub>4</sub>	400-650	2	2
Zinco	mg / l	10-30	0,4	0,1

Fonte: Modificado de QASIM & CHIANG (1994) citados pelo Manual de Gerenciamento integrado (2000)

Os padrões de lançamento de efluentes líquidos, de forma direta ou indireta, nos cursos d'água do Estado de Minas Gerais são estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM n.º 010/86. Assim, toda fonte de poluição deve promover a adequação do efluente a ser descartado aos limites máximos descritos na legislação, inclusive **os líquidos lixiviados** em massa de resíduos, gerados a partir dos resíduos sólidos depositados. Já o objetivo da análise do chorume é determinar sua composição e determinar qual o tratamento mais adequado. O

chorume contém matéria orgânica tanto dissolvida como em suspensão coloidal. A característica mais marcante é que a matéria orgânica do chorume após percolação em mais de 30 metros de camada de aterros apresenta-se com baixa biodegradabilidade. A DQO do chorume velho tem variado na faixa de 1200 a 2200 mg O<sub>2</sub>/l. O chorume contém sais, principalmente cloretos e bicarbonatos de sódio e potássio, e em menores concentrações bicarbonato de cálcio e magnésio. As concentrações de sólidos totais dissolvidos variam de 10.000 a 20.000 mg/L, com e sem recirculação do chorume pelo aterro respectivamente. A presença de nitrogênio amoniacal é relevante introduzindo um caráter tóxico ao chorume (principalmente para a biota aquática). A amônia, por sua solubilidade e altas concentrações é um importante traçador da contaminação do chorume nos corpos hídricos. Além disso, análises que permitam detectar a presença de metais pesados não devem ser negligenciadas.

A composição química do chorume varia muito, dependendo da idade do aterro e dos eventos que ocorreram antes da amostragem do mesmo. Conforme HAMADA (1997), se o chorume é coletado durante a fase ácida, o pH será baixo, porém parâmetros como DBO, Coliformes Totais, DQO, nutrientes e metais pesados deverão ser altos. Contudo durante a fase metanogênica o pH varia entre 6,5 e 7,5 e os valores dos parâmetros citados previamente serão bastante menores.

### 3.2.1.3 Fase Gasosa

Já se viu como as reações químicas presentes no maciço de resíduos geram gases, principalmente metano e outros compostos voláteis. Enquanto que nos aterros estes gases são drenados através de sistema de coleta específicos, nos lixões estes elementos são desprezados, ocorrendo um contínuo processo de dissipação destes gases na atmosfera. Características físicas dos maciços podem favorecer a formação de bolsões de gás altamente inflamáveis e por vezes explosivos, com os conseqüentes riscos às pessoas envolvidas no manuseio de resíduos. As taxas de geração de gases são variáveis em função principalmente da composição dos resíduos e dos teores de matéria orgânica presente; Entretanto, consideram-se aceitáveis para efeito de dimensionamento de sistemas de drenagem de gás os valores de 0,05 m<sup>3</sup>/kg/ano (Oliveira, 2007). Os gases gerados em lixões e seu desperdício traduzem-se em perdas econômicas, uma vez que deixam de ser aproveitados para a geração de energia. Os estudos sobre a geração de metano no aterro da Cachimba, que recebe o lixo de Curitiba, indicaram um receita potencial de R\$ 268,9 milhões ao longo de um período de 18 anos (Oliveira, op. cit.). Outras municipalidades nas quais a coleta é realizada corretamente reduzem gastos com

energia, como é o caso de Hong-Kong, na China, onde o gás proveniente dos aterros é responsável por até 6 % da oferta energética (LI, 2002).

### **3.3 Formas de disposição adotadas para os RSU**

Apesar da presença do tratamento em suas diferentes modalidades, no Brasil predominam como forma de disposição adotadas para os RSU os Lixões, os Aterros Controlados e em muito menor escala os Aterros Sanitários. A situação não é diferente para Minas Gerais, embora algumas localidades tenham passado a adotar as Usinas de Triagem e Compostagem.

#### **3.3.1 Lixão**

Conforme o Manual de Gerenciamento Integrado, IPT/2000, lixão é uma forma inadequada de disposição final inadequada de resíduos sólidos municipais, que se caracteriza pela simples descarga de resíduos em determinadas áreas, sem medidas de proteção ambiental e sem proteção a saúde pública. Está localizado em áreas sem preparação anterior e que não têm nenhum sistema de tratamento de efluentes líquidos; Estes percolam através do solo conduzindo substâncias tóxicas e contaminantes para o lençol freático. A ausência de qualquer sistema de mitigação ou controle favorece a proliferação de moscas, aves necrófagas como urubus, harpias e alguns tipos de gavião, além de ratos e outros pequenos animais, que se transformam em vetores de agentes patogênicos; Ao dano ambiental dessas áreas está normalmente associado a presença de catadores de lixo, em busca de materiais recicláveis com aproveitamento econômico. Entretanto, não se adotam procedimentos que evitem as conseqüências sociais negativas, como o isolamento social dos catadores. Os lixões apresentam também grande impacto sobre a paisagem e sua simples presença causa desconforto e traz a desvalorização das áreas adjacentes. As conseqüências da operação de lixões se estendem por vários anos; Como estas áreas se situam normalmente nas periferias das cidades, a expansão urbana aumenta os riscos de contaminação das populações e de acidentes relacionados à instabilidade geotécnica e às emissões de gases, mesmo muitos anos após o encerramento das atividades de disposição de resíduos no local.

#### **3.3.2 Aterro Controlado**

O aterro controlado é uma forma de disposição criada para mitigar os efeitos adversos do lançamento a céu aberto. Trata-se de uma instalação destinada à disposição de resíduos sólidos urbanos, na qual alguns – ou diversos – tipos e/ou modalidades objetivos de controle são periodicamente exercidos, quer sobre o maciço de resíduos, quer sobre seus efluentes. Normalmente trata-se de uma célula adjacente a um lixão no qual se adotaram tentativas de

remediação. Esta célula adjacente é preparada para receber resíduos com sistema de impermeabilização adequado e é operada de forma a reduzir os impactos negativos, com a adoção de providências como a cobertura diária da pilha de lixo com terra ou outro material disponível como forração ou saibro. Admite-se que o aterro controlado se caracterize como um estágio intermediário entre o lixão e o aterro sanitário; Para efeitos legais no estado de Minas Gerais, definem-se os aterros controlados como aqueles onde as medidas do artigo 2º da Deliberação Normativa COPAM No. 52/2001 são observadas, como se verá adiante. Deve-se ressaltar, entretanto, que todas as medidas adotadas nestes locais são ineficientes na mitigação dos impactos ambientais relacionados à contaminação de águas subterrâneas; É opinião deste autor que a denominação Aterro Controlado é inadequada, pois à leva à percepção errônea que a disposição de RSU atingiu o status de *aterro*, com uma operação *sob controle*: Uma forma mais apropriada de denominação seria *lixão controlado*.

### 3.3.3 Aterro Sanitário

O aterro sanitário é a forma de disposição considerada adequada para a disposição de RSU. Em seu projeto, é prevista a preparação do terreno com providências para sua impermeabilização, como o nivelamento e o selamento da base com argila ou mantas de PVC ou PEAD (Polietileno de Alta Densidade), para garantir que o lençol freático não seja contaminado. São implantados também sistemas de drenagem de gases e tratamento de chorume. A coleta de chorume se dá através de sistemas de drenagem específicos; Este é então dirigido a um sistema de tratamento adequado. Na operação do aterro sanitário é prevista a cobertura diária dos resíduos, para que se evite a proliferação de vetores, mau cheiro e poluição visual. Este confinamento se dá com material inerte, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Além disso, nos aterros sanitários é proibida a atividade de catadores e a quantidade de resíduos que entra é controlada. São implantados também sistemas de captação e armazenamento ou queima do gás metano, resultante da decomposição da matéria orgânica. Ao final da vida útil a empresa que opera é responsável por efetuar um plano de recuperação do terreno que em muitos casos deve incluir a recomposição da paisagem. A decomposição, a estabilização e a remoção de poluentes provenientes de um aterro são dependentes de diversos fatores; da composição dos resíduos, do grau de compactação, da presença de materiais inibidores, da quantidade de umidade presente, da entrada e saída de água, da taxa de circulação da água, das propriedades hidrológicas do local e da temperatura.

### 3.3.3.1 Tratamento de chorume nos aterros sanitários

Devido à cadeia de constituintes existentes no chorume, e às variações quantitativas sazonais e ao longo da escala temporal, não se deve considerar uma solução única de processo para seu tratamento (Hamada & Matsunaga, 2000). Os autores citam o critério de Forgie (1988) que permite a decisão na seleção de processos. Quando o chorume apresentar DQO elevada (acima de 10.000 mg/l), baixa concentração de nitrogênio amoniacal e uma relação DBO/DQO entre 0,4 e 0,8, associado a uma concentração significativa de ácidos graxos voláteis de baixo peso molecular, o tratamento pode ser efetuado por ambos os processos, ou seja, anaeróbio e aeróbio.

Assim, diversos tipos de tratamento e disposição final podem ser adotados para o chorume, ocorrendo grande divergência entre os autores quanto ao modelo a ser adotado. No Brasil, os tratamentos abaixo listados já se encontram em uso, singularmente ou associados a outros processos.

Tabela 7. Processos e tipos de tratamento de chorume em Aterros Sanitários

PROCESSO	TIPO DE TRATAMENTO DE CHORUME
Drenagem de chorume	- Recirculação sobre a massa de resíduos
Processos biológicos	- Tratamento conjunto com águas residuárias;
	- Tratamento aeróbio;
	- Tratamento anaeróbio
Processos físico-químicos	- Precipitação química; - Oxidação química - Adsorção com carbono ativo
	- Filtração;
	- Osmose inversa;
	- Charcos artificiais
Tratamento natural	- Aplicação no terreno
	- Jardinagem com aplicação no terreno
Tratamentos Mistos	- Diferentes combinações de vários tratamentos

Fonte: Adaptado de JUCÁ, J.F.T - Destinação Final dos Resíduos Sólidos no Brasil: Situação Atual e Perspectivas – UFPE – 2007

### 3.3.4 Usinas de Triagem e Compostagem

As Usinas de Triagem e Compostagem (UTCs) são locais onde os resíduos são submetidos a um processo de separação sistemática, no qual os resíduos inorgânicos são destinados à atividade de reciclagem e os orgânicos são conduzidos à *compostagem*, definida como o

processo natural de decomposição biológica de materiais orgânicos, de origem animal e vegetal, pela ação de microorganismos (IBAM, 2001). Através de disposição adequada, controle de temperatura e umidade, é produzido um composto orgânico rico em nutrientes que pode ser armazenado e aproveitado como fertilizante. AS UTC têm eficiência comprovada em locais onde são implantados programas de coleta seletiva de RSU, em que já ocorra a separação entre o chamado *resíduo seco* (papel, papelão, latas, sacos plásticos e embalagens PET, etc.) e o *resíduo úmido* (restos de alimentos e outros dejetos orgânicos); Nestes locais, o processo de separação de resíduos é muito simplificado. Entretanto, o processo gera resíduos orgânicos e inorgânicos que não podem ser adicionados às pilhas de composto, tais como carvão mineral e vegetal, papel colorido, plantas doentes, materiais biodegradáveis, fezes de animais de estimação, lodos oriundos de sistemas de tratamento de esgoto, produtos químicos tóxicos e outros, que devem ter outra forma de disposição em aterros. Assim, a operação de UTC's normalmente está associada a um aterro sanitário, ocorrendo também em conjunto com aterros controlados.

### **3.4 Riscos sanitários e ambientais da disposição inadequada de RSU para os municípios**

Os gestores públicos procuram em maior ou menor grau voltar sua atenção para a temática da disposição de RSU, de acordo com as características e peculiaridades de cada comunidade. A distribuição da população no espaço municipal pode acarretar problemas logísticos na coleta de resíduos; A predominância de determinada atividade econômica pode acrescentar dificuldades, como a gestão de determinados tipos de resíduos tóxicos, como nos pólos produtores de tecidos ou curtumes. Entretanto, a operação de lixões sempre acarretará, em maior ou menor grau, em conseqüências danosas.

A primeira conseqüência detectável é a poluição do solo. Com a alteração de suas características físico-químicas, os lixões representarão uma séria ameaça à saúde pública, tornando-se também um ambiente propício ao desenvolvimento de transmissores de doenças, além do visual degradante associado ao local.

De maior gravidade, pelos seus efeitos difusos, a poluição da água ocorre com a alteração de características do ambiente aquático, através da percolação do líquido gerado pela decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos, associado com as águas pluviais e nascentes existentes nos locais de descarga dos mesmos.

Não deve ser esquecida a poluição do ar, devido à formação de gases naturais na massa de resíduos pela decomposição destes com e sem a presença de oxigênio, originando riscos de migração de gás, explosões e até de doenças respiratórias à população de entorno.

Além da poluição do solo, do ar e dos mananciais, os principais riscos associados à disposição inadequada de RSU são:

- Proliferação de vetores e de doenças relacionadas à poluição gerada;
- Fogo, deslizamentos e explosões devido aos gases gerados na decomposição de matéria orgânica e queima clandestina dos resíduos sólidos; Emissão de partículas sólidas em função do trânsito de veículos e geração de odores desagradáveis oriundos dos processos de decomposição;
- Atividade de catadores, com a degradação, redução da auto-estima e custos sociais decorrentes;
- Espalhamento dos resíduos pelo vento, animais e águas superficiais provenientes das chuvas.

Acrescentam-se, no caso de Minas Gerais, os danos econômicos. Ao manter seus lixões em operação, as municipalidades são consideradas inaptas para o recebimento de parcela do ICMS Ecológico, com conseqüente comprometimento de receita municipal.

### **3.5 Legislação referente à disposição de Resíduos Sólidos Urbanos em Minas Gerais**

#### **3.5.1 Marcos regulatórios iniciais**

A legislação ambiental em Minas Gerais é sempre pioneira no trato das questões que envolvem o meio ambiente, desde a criação do COPAM, nos anos 80. À Comissão de Política Ambiental - COPAM, criada pela Lei Estadual 7.772 de 8 de setembro de 1980, cabia atuar na proteção, conservação e melhoria do meio ambiente. Logo após sua criação, emitiu a Deliberação Normativa COPAM nº 07, de 29 de setembro de 1981, que já procurava disciplinar a disposição de resíduos sólidos urbanos, estabelecendo que a disposição de resíduos no solo fosse feita “de forma adequada, estabelecida em projetos específicos de transporte e destino final, ficando vedada a simples descarga ou depósito em propriedade pública ou particular”. Além disso, previa procedimentos específicos para a disposição de resíduos perigosos; Mas pecava na proteção ao ambiente ao somente exigir proteção para as águas subterrâneas ou superficiais quando a disposição final exigisse a execução de aterros sanitários, não citando as outras formas de disposição, em especial os lixões.

A Lei Estadual nº 9.514, de 29 de dezembro de 1987 transformou a Comissão de Política Ambiental em Conselho Estadual de Política Ambiental. O COPAM, por intermédio das

Câmaras Especializadas, das Unidades Regionais Colegiadas (URCs), das Superintendências Regionais de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Suprams), da Feam e do Instituto Estadual de Florestas (IEF), exerce as atribuições de licenciamento ambiental e de Autorização Ambiental de Funcionamento (AAF).

A Constituição Federal de 1988 estabeleceu como competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e Municípios a proteção do meio ambiente, o combate à poluição em qualquer de suas formas e a preservação das florestas, da fauna e da flora. Além disso, incumbiu, em seu art. 12, o Distrito Federal os Municípios pela gestão dos resíduos sólidos gerados em seus respectivos territórios.

### 3.5.2 Deliberação Normativa COPAM 07/1994

Em 1994, o COPAM estabeleceu critérios de porte, normas e etapas para enquadramento no licenciamento ambiental para a atividade de tratamento e/ou disposição final de resíduos sólidos urbanos, dispoindo etapas para a concessão de licença ambiental, conforme se segue:

- Licença Prévia (LP): fase preliminar de planejamento da atividade em que se avalia a concepção e localização do empreendimento. Na maioria dos casos, nessa etapa são analisados o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) ou, conforme o caso, o Relatório de Controle Ambiental (RCA).
- Licença de Instalação (LI): autoriza a implantação do empreendimento. Nessa etapa é analisado o Plano de Controle Ambiental (PCA), que contém projetos dos sistemas de tratamento e/ou disposição de efluentes líquidos, atmosféricos e de resíduos sólidos etc.
- Licença de Operação (LO): autoriza a operação do empreendimento após a verificação do cumprimento das medidas determinadas nas fases de LP e LI

Posteriormente, a Deliberação Normativa nº 36, de 07 de julho de 1999 (Publicação - Diário do Executivo - "Minas Gerais" - 08/07/1999) alterou os critérios de porte, como se segue.

Tabela 8. Porte de unidades de tratamento e/ou disposição de RSU – DN 07/94

Porte	Pequeno	Médio	Grande
Geração de resíduos por dia	3t/dia < QO < 15 t/dia	15t/dia < QO < 100 t/dia	QO > 100 t/dia

Fonte: FEAM (1994)

Somente em 1997 a legislação federal, através da Resolução CONAMA nº. 237, determinou que a disposição de RSU constituísse uma atividade sujeita ao licenciamento ambiental, através de procedimentos de obtenção de Autorização Ambiental de Funcionamento ou



Licenciamento ambiental, em suas etapas: Licença Prévia, Licença de Instalação e Licença de Operação.

### 3.5.3 Deliberação Normativa COPAM 52/2001

A principal diretriz da política de disposição adequada de resíduos sólidos urbanos é a Deliberação Normativa (DN) Copam 52/2001. A DN 52/01 determina que todos os municípios, independente do porte, programem as seguintes medidas para dar fim aos lixões:

- Dispor os resíduos sólidos urbanos em local com solo e/ou rocha de baixa permeabilidade, com declividade inferior a 30%, boas condições de acesso, a uma distância mínima de 300m de cursos d'água ou qualquer coleção hídrica e de 500m de núcleos populacionais, fora de margens de estradas, de erosões e de áreas de preservação permanente;
- Implantar sistema de drenagem pluvial em todo o terreno para reduzir o ingresso das águas de chuva na massa de lixo aterrado;
- Compactar e recobrir os resíduos sólidos urbanos com terra ou entulho, no mínimo, três vezes por semana;
- Isolar com cerca complementada por arbustos ou árvores que contribuam para dificultar o acesso de pessoas e animais;
- Proibir a permanência de pessoas no local de disposição final de lixo para fins de catação. Esta determinação teve sua redação alterada pela DN COPAM Nº 67/2003, que impôs aos Municípios a obrigação adicional de criar (...) *alternativas técnica, sanitária e ambientalmente adequadas para a realização das atividades de triagem de recicláveis, de forma a propiciar a manutenção de renda para as pessoas que sobrevivem dessa atividade, prioritariamente, pela implantação de programa de coleta seletiva em parceria com os catadores.*

Além disso, a DN 52/2001 estabelece que os municípios devem dar prioridade à implementação dos Sistemas de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos por meio de consórcios intermunicipais; e veda (...) *“a instalação de sistemas de destinação final de lixo em bacias cujas águas sejam classificadas na Classe Especial e na Classe I da Resolução CONAMA nº 20, de 18 de junho de 1986 e na Deliberação Normativa COPAM nº 10, de 16 de dezembro de 1986, tendo em vista, notadamente, a proteção de mananciais destinados ao abastecimento público.”*

### **3.5.4 O Programa Minas Sem Lixões**

O Governo de Minas Gerais criou em 2003, o Programa Minas sem Lixões, coordenado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (Feam), para prover o apoio técnico para o atendimento às normas de gestão adequada definidas pelo Copam.

Ainda, com a instalação do programa, o Estado estabeleceu as seguintes metas a serem cumpridas até o ano de 2011:

- Fim de 70% dos lixões
- Até 2008, disposição final de 60% dos resíduos sólidos urbanos gerados em Minas em sistemas tecnicamente adequados, devidamente licenciados pelo Copam.

Estas metas referiam-se ao estoque de 2003, levantados as bases populacionais pelo censo do IBGE e considerados os sistemas de disposição de RSU implantados até então.

### **3.5.5 Desenvolvimento do Programa**

Com a publicação da DN 52/2001, a FEAM iniciou ações de fiscalização, educação ambiental e capacitação dos gestores ambientais visando à adaptação dos locais de disposição de RSU. Os principais marcos regulatórios sobre o tema, desde então, procuraram ampliar os prazos para atendimento pelos municípios das condições impostas pela DN, conforme se vê a seguir.

#### **3.5.5.1 Deliberação Normativa COPAM n.º 074/2004, de 02/12/2004**

Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental.

#### **3.5.5.2 Deliberação Normativa COPAM n.º 75/2004**

Em 2004, o governo estabeleceu novos prazos para atendimento às medidas para finalizar os lixões, estabelecendo que até abril de 2005 fosse efetuado o cadastro do responsável técnico e ART e até outubro de 2005 as medidas fossem implementadas, com o encaminhamento à FEAM ou Núcleo de Apoio à Regional do COPAM – NARC de um relatório técnico das medidas adotadas. Além disso, incluiu os municípios entre 30 e 50 mil habitantes (conforme o censo de 2000) naqueles convocados ao licenciamento ambiental de sistemas adequados de disposição de RSU.

#### **3.5.5.3 Deliberação Normativa COPAM n.º 81/2005**

Em 2005, o governo prorrogou os prazos para que os municípios com população até 50.000 habitantes licenciassem sistema adequado de destinação final de resíduos sólidos urbanos,

apresentando solicitação para obtenção de Licença de Instalação até outubro de 2005 e licença de operação até setembro de 2006.

#### **3.5.5.4 Deliberação Normativa COPAM n.º 105/2006**

Estes prazos foram novamente prorrogados pela A Deliberação Normativa COPAM nº 105, de 18 de Novembro de 2006, para respectivamente abril de 2006 e abril de 2007.

#### **3.5.5.5 Deliberação Normativa COPAM nº118/2008**

Esta deliberação indica uma mudança de tendência no programa. Ao invés de simplesmente prorrogar os prazos, o COPAM reformulou os princípios indicados pela DN 52, buscando a adaptação à realidade do Programa. Assim, altera os seguintes mecanismos:

- Inclui na lista de locais a serem vetados para a escolha de locais de lixões as áreas cársticas;
- Mantém a distância mínima de 300 m de cursos d'água, porém aceitando aqueles locais a 200 m de distancia, desde que não haja alternativa locacional e seja encaminhada à Feam declaração emitida por profissional devidamente habilitado, com apresentação de cópia da Anotação de Responsabilidade Técnica – ART, afirmando a viabilidade locacional;
- Passa-se a exigir para os sistemas de drenagem pluvial o encaminhamento das águas coletadas para lançamento em estruturas de dissipação e sedimentação;
- Passa a tornar obrigatória a realização de recobrimento do lixo com terra, dividindo os municípios por faixa populacional, de acordo com a frequência abaixo:
  - população urbana inferior a 5.000 habitantes – no mínimo uma vez por semana;
  - população urbana entre 5.000 e 10.000 habitantes – no mínimo duas vezes por semana;
  - população urbana entre 10.000 e 30.000 habitantes – no mínimo três vezes por semana;
  - população urbana acima de 30.000 habitantes – recobrimento diário;
- Passa a exigir que área do depósito de lixo seja isolada com cerca, preferencialmente complementada por arbustos ou árvores, e que possua portão na entrada, de forma a dificultar o acesso de pessoas e animais, além de possuir placa de identificação e placa de proibição de entrada e permanência de pessoas estranhas;
- Complementa a vedação de acesso de pessoas aos locais dos lixões com a recomendação de que os municípios criem alternativas para a realização das atividades de triagem de materiais, de forma a propiciar a manutenção de renda para as pessoas que sobrevivem dessa atividade, prioritariamente, pela implantação de programa de coleta seletiva em parceria com os catadores;

- Finalmente, proíbe a disposição nos locais de pneus e baterias e o uso do fogo.

Como se vê, o poder público prossegue em sua tentativa de adequar os sítios, porém com exigências mais específicas para que os municípios, especialmente aqueles de pequeno porte, se adéquem à legislação.

### **3.5.6 Legislação prevista**

Quando da elaboração deste trabalho, tramitava no Congresso Nacional o Projeto de Lei (PL) 1991/2007, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que estabelece as competências legislativas sobre o tema, bem como incumbe ao Distrito Federal e aos Municípios a gestão dos resíduos sólidos gerados em seus respectivos territórios. Estabelece, ainda, que os Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos devem ser elaborados pelo Distrito Federal e os Municípios, como condição para o acesso a recursos da União destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos. O PL obriga ainda os geradores dos resíduos sólidos industriais, de serviços de saúde, rurais, especiais ou diferenciados a elaborar e dar publicidade aos seus Planos de Atuação para os Resíduos Sólidos, com uma periodicidade máxima de 4 anos e como parte integrante do processo de licenciamento ambiental. O plano, dentre outros temas, deverá conter: •

- Descrição do empreendimento;
- A visão global das ações relacionadas aos resíduos sólidos, de forma a estabelecer o cenário atual e futuro de seus resíduos.
- Um diagnóstico dos resíduos sólidos gerados ou administrados.
- Descrição dos procedimentos operacionais de segregação, acondicionamento, coleta, triagem, armazenamento, transbordo, transporte, tratamento de resíduos sólidos e disposição final adequada dos rejeitos.
- Previsão das modalidades de manejo e tratamento que correspondam às particularidades dos resíduos sólidos e dos materiais que os constituem e a previsão da forma de disposição final ambientalmente adequada dos respectivos rejeitos.

Outro tema presente no PL diz respeito à Logística Reversa, definida como o conjunto de ações, procedimentos e meios, destinados a facilitar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos aos seus geradores para que sejam tratados ou reaproveitados em novos produtos, na forma de novos insumos, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, visando a não geração de rejeitos. O PL estabelece uma série de responsabilidades para implantação da logística reversa:

- Ao consumidor: acondicionar adequadamente e de forma diferenciada os resíduos sólidos gerados, atentando para práticas que possibilitem a redução de sua geração, etc.
- Ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: adotar tecnologias de modo a absorver ou reaproveitar os resíduos sólidos reversos oriundos dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, etc.
- Ao fabricante e ao importador de produtos: recuperar os resíduos sólidos, na forma de novas matérias-primas ou novos produtos em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, etc.
- Aos revendedores, comerciantes e distribuidores de produtos: receber, acondicionar e armazenar temporariamente, de forma ambientalmente segura, os resíduos sólidos reversos oriundos dos produtos revendidos, comercializados ou distribuídos, etc.

Em relação à definição de responsabilidades, o PL estabelece que compete ao gerador de resíduos sólidos a responsabilidade pelos resíduos sólidos gerados, compreendendo as etapas de acondicionamento, disponibilização para coleta, coleta, tratamento e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos. Esta responsabilidade cessa, de acordo com o projeto, com a disponibilização adequada de seus resíduos sólidos para a coleta.

O PL proíbe, ainda, a importação de resíduos sólidos e rejeitos cujas características causem danos ao meio ambiente e à saúde pública, ainda que para tratamento, reforma, reuso, reutilização ou recuperação.

Em relação a Minas Gerais, quando da elaboração deste trabalho, o Projeto de Lei 1.269/2007, encaminhado à ALMG pelo Governo do Estado, aguardava parecer da Comissão de Constituição e Justiça. A proposta de Política Estadual de Resíduos Sólidos prevê que o poder público deve incentivar a formação de cooperativas e associações de catadores e promover a inclusão social desses trabalhadores. Os princípios dessa política são a redução da geração, a reciclagem, o tratamento e disposição final adequada dos resíduos sólidos urbanos.

O PL 1.269/2007 prevê ainda a recuperação de áreas degradadas pela deposição inadequada de resíduos, a cobrança progressiva pela coleta de lixo e adoção de incentivos fiscais para unidades recicladoras. Com a aprovação do projeto, seria proibido lançar lixo in natura a céu aberto, assim como catar materiais nas áreas de destinação final de resíduos. O PL prevê também que cada município deverá elaborar um plano de gestão integrada de resíduos.

### **3.5.7 Ações em curso à época da elaboração do presente trabalho**

Em outubro de 2005, a FEAM apresentou sumário de resultados obtidos do programa, indicando à época a existência de 566 lixões e Minas Gerais. Além disso, anunciou a localização de 415 locais de disposição de RSU. Estes dados foram disponibilizados à

consulta pública, através de sistema WebGis de acesso público (via Internet) no endereço [www.feam.com.br/siam/residuos](http://www.feam.com.br/siam/residuos) e serão objeto de discussão mais aprofundada posteriormente.

O Programa Minas Sem Lixões durante o ano de 2008 anunciou a ampliação de seu cronograma de ações com seminários, cursos e publicação de cadernos técnicos. Conforme a FEAM, parte das ações do programa é realizada no Centro Mineiro de Referência em Resíduos (CMRR), com sede em Belo Horizonte, onde os gestores municipais são orientados sobre as alternativas de disposição e tratamento dos resíduos sólidos urbanos, etapas do processo de licenciamento, procedimentos para implantação da coleta seletiva e acesso a fontes de financiamento.

O Centro Mineiro de Referência em Resíduos e o Minas sem Lixões encontram-se atualmente inseridos no Projeto Estruturador de Resíduos Sólidos, do Governo do Estado, que tem como objetivo *promover e fomentar a não-geração, o reaproveitamento, a reciclagem e a disposição adequada de resíduos sólidos com vistas à melhoria da saúde ambiental*. Somente em 2007 foram investidos no projeto, em recursos do orçamento, cerca de R\$ 5 milhões.

Foi proposto para o ano de 2008 a publicação de um referencial metodológico com orientações para implantação de Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PGIRS). Este plano investe em ações educativas para, além de erradicar os lixões, evitar o desperdício, fazer a coleta, transporte e triagem adequados, além de conhecer o potencial do lixo que é gerado, de maneira a incentivar a sua reciclagem e reutilização por meio de associações de catadores. Prevêem-se também a realização de cursos à distância sobre gestão de resíduos de serviços de saúde e o apoio à implantação, pelos municípios, de sistemas de coleta seletiva.

A contagem de municípios, em relação à disposição de RSU, em fevereiro de 2007, era a indicada na Tabela 9:

Tabela 9. Municípios de Minas Gerais e forma de disposição de RSU adotada

Forma de disposição de RSU adotada	Número de municípios
Lixão	519
Aterro sanitário	17 <sup>(1)</sup>
Aterro Controlado	207
Usina de Triagem e Compostagem	56 <sup>(2)</sup>

(1) atendendo a 31 municípios; (2) atendendo a 58 municípios.

Fonte: FEAM – Programa Minas Sem Lixões – Fevereiro de 2007

Também o mapa apresentado na Figura 2 sintetiza a situação dos municípios, em relação aos seus sítios de disposição de RSU.

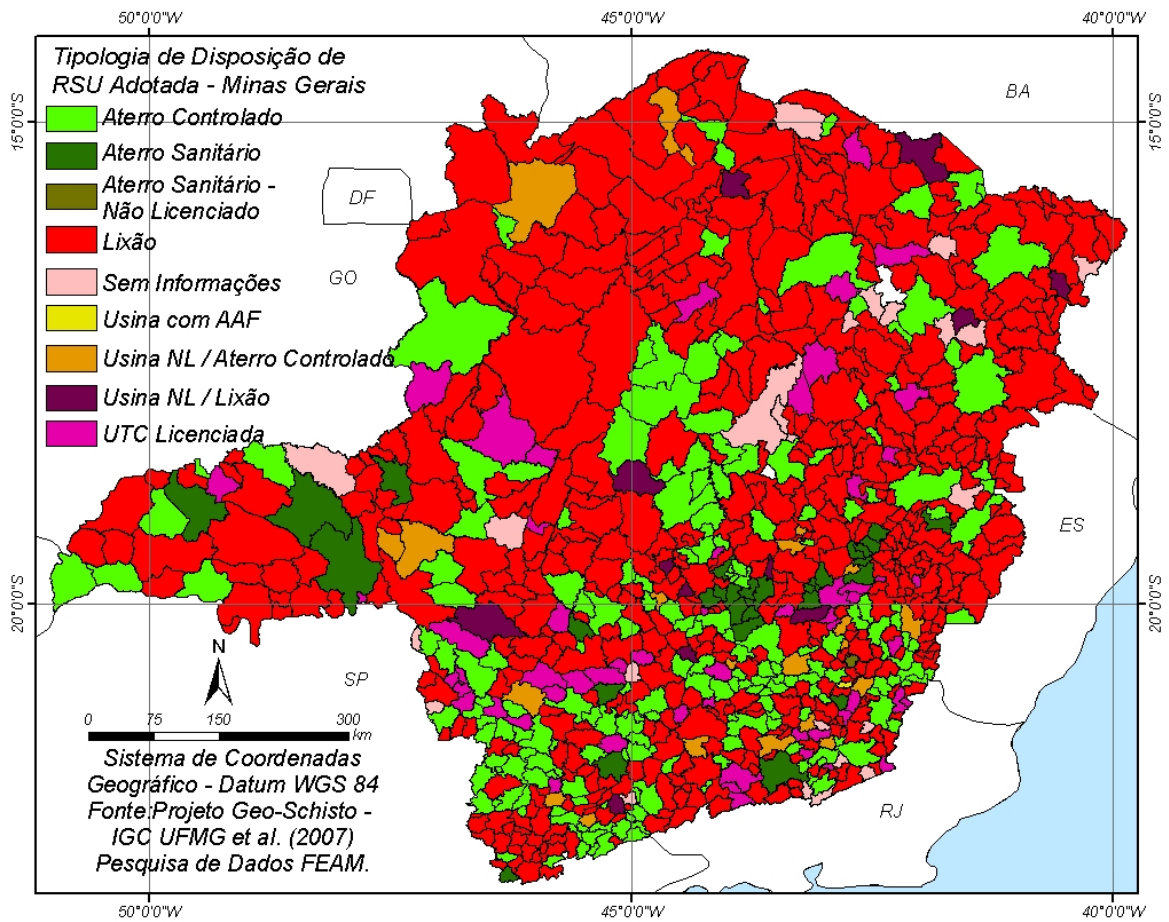


Figura 2. Tipologias de disposição de RSU – Minas Gerais – 2007

A Figura 3 expõe a divisão percentual em relação ao número total de municípios do estado.

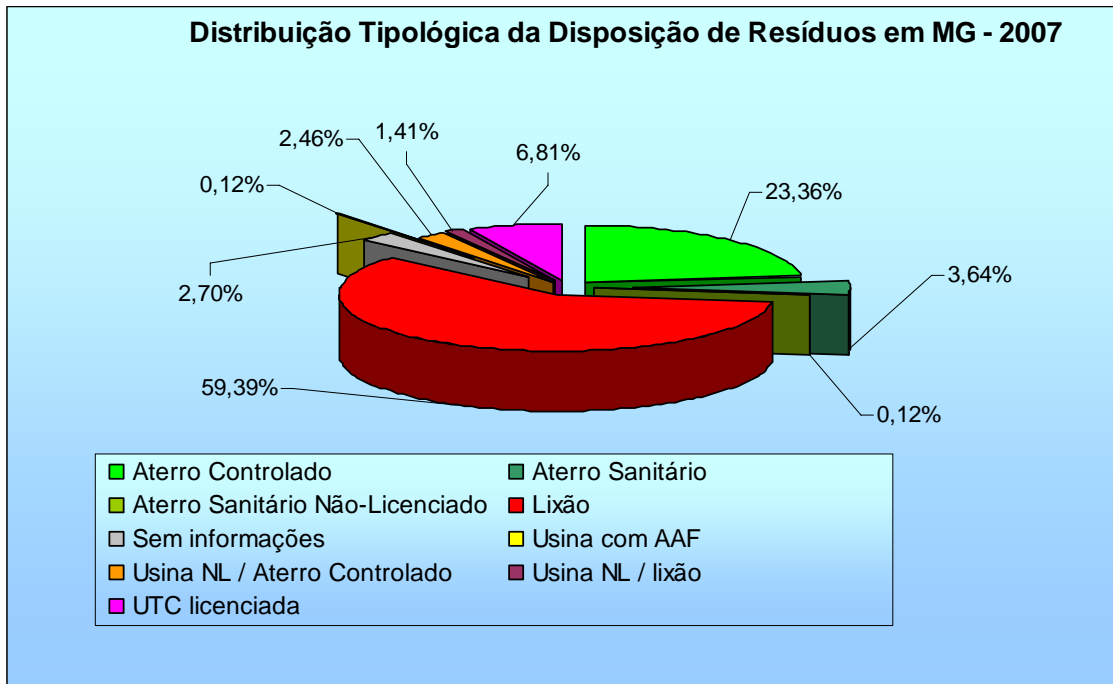


Figura 3. Tipologias de disposição de RSU

A distribuição populacional em relação à forma de disposição dos resíduos pode ser averiguada na Figura 4.

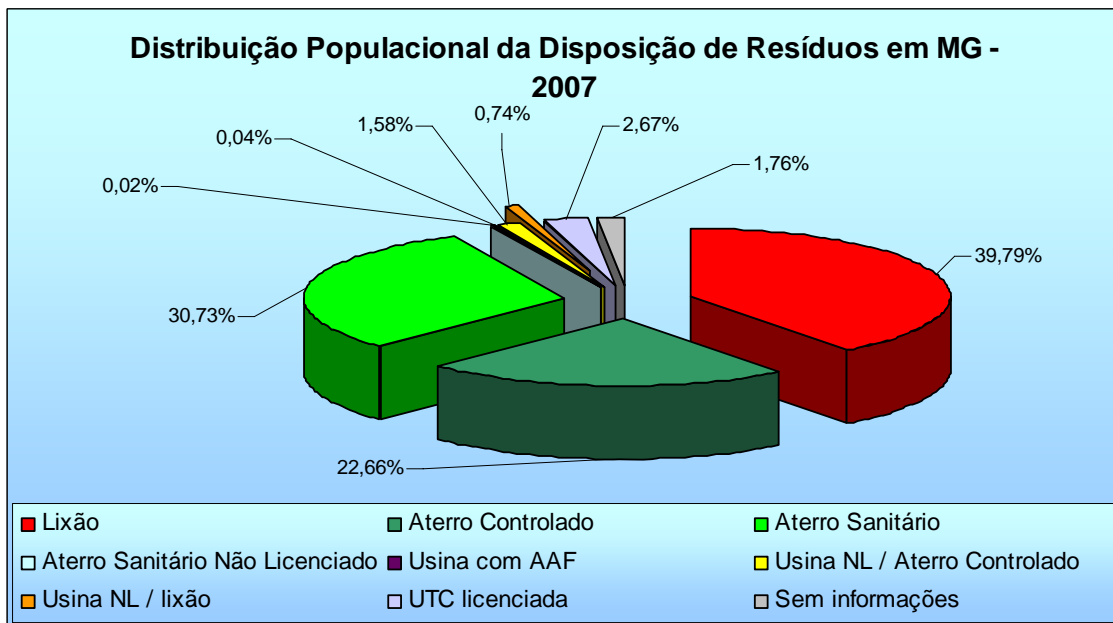


Figura 4. Distribuição populacional de disposição de RSU



A partir de dados do IBGE (2002), do total de 7.118.213 habitantes em localidades que dispõem seus resíduos sólidos em lixões, 2.049.372 (28,80 %) vivem numa relação de 20 cidades acima de 50.000 habitantes; outros 12,18 % (866.747 pessoas) vivem em outras 23 cidades com população entre 30 e 50 mil habitantes.

Dos dados anteriormente descritos pode-se concluir que o lixão representa a maior proporção, tanto em números absolutos quanto em relação à população que atualmente tem esta metodologia de disposição como a adotada por seu município de residência.

### **3.6 Ferramentas de Geoprocessamento e Análises Espaciais**

#### **3.6.1 Definições**

Para o estabelecimento de relações entre os diferentes componentes temáticos e sua forma de apresentação no espaço geográfico, utilizam-se neste trabalho as ferramentas de Geoprocessamento.

Segundo Moura (2003, p. 8) o termo Geoprocessamento, surgido do sentido de processamento de dados georreferenciados, significa implantar um processo que traga um progresso, um andar avante, na grafia ou representação da Terra. Para a autora, trata-se não somente de representar, mas de também associar a esse ato um novo olhar sobre o espaço, um ganho de conhecimento, que é a informação.

Xavier da Silva (2001) define Geoprocessamento, numa visão sistêmica como estrutura de percepção ambiental, como o "conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de dados (que são registros de ocorrências) georreferenciados, para transformá-los em informação (que é um acréscimo de conhecimento)."

Ainda segundo Moura (op.cit.) o geoprocessamento engloba processamento digital de imagens, cartografia digital e os sistemas de informações geográficas (SIG's). Entre as etapas componentes do Geoprocessamento destaca-se a aplicação de modelos de análise espacial destinados à caracterização de ocorrências espaciais, com o apoio dos Sistemas de Informação Geográficos.

#### **3.6.2 Sistemas de Informação Geográficos**

Um Sistema de Informação Geográfico (SIG) pode ser definido como um sistema baseado em computador para a entrada digital, armazenamento, transformação, análise e visualização de dados espaciais. Embora algumas vezes o conceito de dados espaciais esteja restrito a mapas temáticos (uso e ocupação do solo, vegetação, etc.), nele também podem se inserir as imagens (de sensores, ortofotos), os dados provenientes de observações pontuais (por exemplo, precipitações), ou ainda aqueles tabelados associados com áreas geográficas (por exemplo,

dados populacionais). Além de mapas, um SIG deve ser capaz de manipular outros tipos de dados espaciais.

Diversos autores, entretanto, têm a sua própria definição, voltada para seus próprios interesses e necessidades e dependente da forma como o SIG será aplicado. Goodchild (1998) define SIG como "... um sistema que utiliza um banco de dados espaciais para fornecer respostas a perguntas de natureza geográfica. (...) Um SIG deve permitir uma variedade de manipulações que se pretenda realizar, como seleção, triagem, cálculos e análises espaciais e modelagem."

Para Xavier-da-Silva (2001), "Os SIGs são os instrumentos computacionais do geoprocessamento. Estes, aliados aos conceitos do geoprocessamento, constituem uma estrutura de interface entre as diversas ciências que utilizam informações geográficas, o processamento de dados e a comunicação."

Um SIG pode armazenar dois tipos de dados encontrados em um mapa: As feições geográficas da superfície da terra e os atributos ou qualidades associados à localização espacial. Nem todos os sistemas utilizam a mesma lógica para atingir este objetivo. A maioria, porém utiliza uma de duas técnicas fundamentais para representação de mapas: Vetor ou *raster*.

### **3.6.3 Vetor**

Através da representação vetorial, os limites, bordas ou alinhamento das características são definidos por uma série de vértices representados por posições de coordenadas que, quando interligados através de linhas na forma de vetores, formam a representação gráfica destes atributos. A partir da representação por vértices, são usadas as primitivas gráficas ponto, polilinha e polígono para representarem a espacialização de entidades e eventos espaciais. Aos elementos gráficos são associados atributos que os caracterizam. Os atributos são armazenados em um arquivo contido em um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) tradicional. Por exemplo, um vetor que represente uma área de parcelamento de solo pode ser vinculado a um atributo em SGBD, contendo o endereço, o nome do proprietário, dados de valor da terra ou de utilização do solo. A ligação entre os dois arquivos é dada por um número de identificação ou indexador, que é atribuído a cada elemento gráfico no mapa.

A vantagem do armazenamento de dados em formato vetorial é o fato destes dados se encontrarem em forma de tabela, tornando possível a qualquer momento a recuperação e alteração de dados. A análise destes dados é realizada simultaneamente de uma forma gráfica e tabular.

### 3.6.4 *Raster*

A outra forma de representação é conhecida como *raster*. No formato *raster*, a representação gráfica de entidades, eventos e seus atributos são fundidos em arquivos de dados unificados. A área de estudo é subdividida em uma malha de quadrículas celulares, ou estrutura matricial, nas quais cada valor ou atributo da superfície em estudo é gravada. A cada célula é atribuído um valor numérico que pode representar um identificador, código ou atributo qualitativo ou quantitativo. Por exemplo, a uma determinada célula pode ser atribuído o valor “N”, sendo que este valor pode indicar que ela pertence ao distrito N (identificador) ou que o solo na célula é do tipo N (atributo qualitativo) ou que ela se encontra a N metros acima do nível do mar (atributo quantitativo). Ainda que os dados armazenados nas células não se refiram a fenômenos físicos, os seus resultados podem ser mostrados na forma de imagens através da varredura das células (e dos dados referentes a estas).

Para os processos computacionais, a varredura ocorre em uma grade de pequenos elementos denominados *pixels*, uma contração da expressão *picture element* – elemento de imagem. A cada um dos *pixels* pode ser feita uma escala de variação de cor ou índice, o que significa trabalhar com cores indexadas. A cada índice é associado um atributo, que pode ser lido pelo processo de varredura.

### 3.6.5 Comparação entre sistemas *raster* e Vetoriais

Sistemas *raster* normalmente ocupam muita memória e geram grandes bancos de dados, uma vez que a informação deve ser gravada para cada célula, independente desta ser ou não de interesse. Entretanto, a vantagem geográfica da estrutura *raster* é que o espaço é definido de modo uniforme e previsível. Resulta que os sistemas *raster* têm muito maior capacidade analítica que os sistemas vetoriais em aplicações sobre um espaço contínuo e são, portanto, ideais para a análise de dados que estão constantemente mudando ao longo do espaço, tais como uso do solo, vegetação, biomassa, precipitações e outros do mesmo gênero. A segunda vantagem é que o sistema de varredura em sua estrutura corresponde à arquitetura utilizada em sistemas computacionais. Assim, sistemas *raster* são, de um modo geral, muito mais rápidos na avaliação de problemas que envolvam várias combinações matemáticas de dados em múltiplas camadas. Os métodos de processamento de dados *raster* são apropriados para aplicações onde a precisão geográfica, em determinada resolução, não seja um requisito essencial. Assim, eles se tornam excelentes para a avaliação de modelos ambientais tais como a análise do potencial de erosão dos solos ou a aptidão para manejo florestal. Além disso, uma vez que as imagens de satélite empregam uma estrutura *raster*, a maioria dos sistemas pode

incorporar estes dados e aplicá-los ao processamento digital de imagens de uma forma simples.

Enquanto os sistemas *raster* são na maior parte das vezes orientados para a análise, sistemas vetoriais são orientados para o gerenciamento de dados. Sistemas vetoriais são mais eficientes no armazenamento de dados, como os cadastros, uma vez que é necessário guardar as fronteiras dos recursos ou tipologias analisados e não o que há dentro destes limites. Como sua representação gráfica está diretamente relacionada com o atributo armazenado no banco de dados, estes sistemas permitem a identificação de características associadas através de sua seleção e a pesquisa relacionada diretamente ao atributo, tais como a distância entre pontos e ao longo de linhas, áreas definidas por poligonais e assim por diante. Além disso, estes sistemas podem produzir mapas temáticos de consulta de uma forma mais eficiente.

A capacidade de análise espacial e temporal dos sistemas *raster* é maior, de um modo geral, que o dos sistemas vetoriais; Entretanto, estes são melhores nos problemas relativos aos movimentos ao longo de uma rede, além de também empreender outras operações mais simples em SIG. Cada um dos sistemas discutidos tem suas vantagens. Alguns SIG incorporam elementos de ambas as técnicas de representação. A aplicação é que vai definir a técnica a ser utilizada. O SIG pode incluir um sistema vetorial, ou *raster*, ou ambos, dependendo do tipo de tarefa a ser executada. No caso do presente estudo, enquanto alguns dados estão associados diretamente ao formato *raster*, outros terão sua conversão de formato vetorial para *raster*, como se verá adiante.

### **3.6.6 Histórico de SIG**

Nos últimos cinquenta anos um dos acontecimentos mais importantes para a evolução da pesquisa aplicada no campo da geografia foi o surgimento dos SIG's. O processo de desenvolvimento iniciou-se nos anos 50, quando pesquisadores do Massachusetts Institute of Technology (MIT) geraram os primeiros modelos com o auxílio de computador com o objetivo de melhorar a análise geográfica (MILLER, 1989). Os primeiros modelos digitais de terreno (MDT), utilizados para o planejamento de infra-estrutura viária, foram desenvolvidos em 1958. Neste período, o processamento digital de imagens era efetuado em computadores do tipo "mainframe" utilizando programas bastante simples.

Conforme a publicação *GIS Implementation for Water and Wastewater Treatment Facilities: Manual of Treatment Facilities*, o desenvolvimento das primeiras ferramentas aplicadas ao geoprocessamento iniciou-se 1959, quando Waldo Tobler desenhou um modelo simples denominado MIMO (map in-map out) para aplicar técnicas computacionais à cartografia. Os princípios presentes no sistema MIMO deram origem aos termos geocodificação, captura de

dados, análises de dados e resultados através de uma apresentação cartográfica. O sistema MIMO abrangeu todos os elementos padrão presentes ainda hoje nos programas de SIG.

GOODCHILD e KEMP (1990) e a publicação *Gis Timeline* (2008) detalham os principais passos no desenvolvimento dos SIG, ressaltando o desenvolvimento, em 1963, do Canada Geographic Information System (CGIS) pela equipe liderada por Roger Tomlinson. O sistema foi utilizado para fazer a análise do inventário de terras canadenses, e foi o pioneiro de muitos aspectos utilizados em SIG. Os autores citam também como um marco do desenvolvimento do SIG o surgimento, em 1964 do modelo DIME (*Dual Independent Map Encoding*), desenvolvido pelo U.S. Census Bureau, que foi usado para representar as redes rodoviárias e dados populacionais em formato digital. Este foi o primeiro sistema a efetuar uma distinção entre as estruturas de dados cartográfica e topológica. A estrutura de dados topológica leva em conta a relação com os objetos na vizinhança (por exemplo, combinações e sobreposições) o que constitui uma diferença essencial entre SIG e cartografia assistida por computador.

PIDWIRNY (2008) destaca a fundação, em 1964, do Harvard Lab for Computer Graphics (HLCG), um importante centro de pesquisas chefiado por Howard Fisher. O laboratório criou sistemas computacionais pioneiros para o manejo de dados espaciais. Vários dos pioneiros no desenvolvimento de SIG ali estudaram, destacando-se as pessoas de David Sinton (Intergraph), Jack Dangermond (ESRI), Lawrie Jordan e Bruce Rado (ERDAS), Hans Koeppel e Nicos Polydorides. Esta equipe finalizou em 1965 a concepção do SYMAP (Synagraphic Mapping System), uma aplicação pioneira na automatização de mapeamentos.

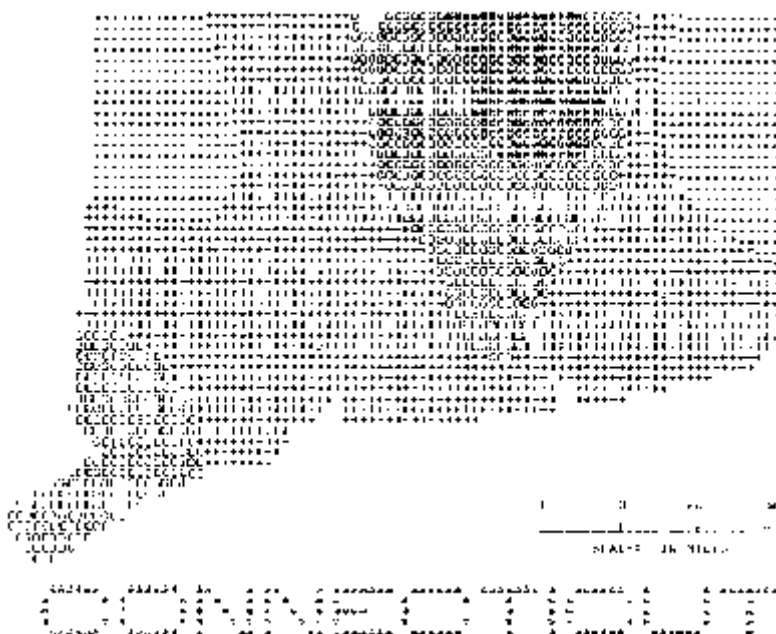


Figura 5. Mapa do estado americano de Connecticut, produzido pelo SYMAP.

Fonte: Siegfried Schulte, Department of Geography, University of Toronto

GOODCHILD e KEMP (op. cit.) destacam ainda:

- A implantação, em 1967, pelo Royal College of Art in London, de uma Unidade de Cartografia Experimental, chefiada por David P. Bickmore;
- A publicação, em 1969, do livro *Design With Nature*, de autoria de Ian McHarg, que popularizou o desenvolvimento de técnicas de sobreposição de mapas;
- A geração, em 1970, do Atlas Urbano de Jerusalém, através de uma combinação de um banco de dados em bloco com um sistema de manipulação de grades (grid system), desenvolvido pela equipe de Arie Shachar na Hebrew University de Jerusalém.

HENNEBERGER e HÜBNER (2003) destacam que os anos 70 foram marcados pelos seguintes eventos:

- Um grande aumento do uso de sistemas de informação de gestão de usos e ocupação da terra;
- A realização da primeira conferência sobre SIG, realizada pela International Geographic Union (IGU), no Canadá;
- Os primeiros passos da cartografia em CAD, embora a utilização do CAD (Computer Aided Design) tenha sido como continua até hoje, limitada às tarefas de desenho geométrico;
- A entrada em uso das primeiras imagens via satélite Landsat, que forneceram dados da superfície terrestre e de suas zonas costeiras; e
- O início do processo de transformação dos dados geográficos anteriormente registrados através de leitura ótica, com o desenvolvimento de scanners digitais.

Conforme GONÇALVES (2007) o geoprocessamento foi introduzido no Brasil no início dos anos 80, com o estabelecimento do LAGEOP - UFRJ pelo prof. Jorge Xavier da Silva. BARBIERI (2004) lembra que em 1982 esteve no Brasil o Professor Roger Tomlinson, o que incentivou o aparecimento de vários grupos interessados em desenvolver tecnologias e aplicações em SIG.

Nesta época, com a massificação do uso de computadores pessoais e dos sistemas gerenciadores de bancos de dados (SGBD), ocorreu uma grande difusão do uso de SIG, com o aumento do leque de aplicações devido à incorporação de funções de análise espacial. A partir daí, aumenta a utilização de SIG nas empresas, devido aos custos decrescentes de implantação e ao surgimento de alternativas mais baratas de construção de bases de dados geográficas. Ainda nos anos 80, além das conquistas técnicas dos SIG, ocorreram também melhorias

significativas na área de imageamento através de sensores orbitais. As imagens mais precisas levaram ao desenvolvimento de novos campos no SIG como o monitoramento de áreas.

HENNEBERGER e HÜBNER (op.cit.) continuam a análise histórica afirmando que os anos 90 consolidaram definitivamente o uso do Geoprocessamento como ferramenta de apoio à tomada de decisão, com a crescente desvinculação dos programas acadêmicos e a entrada no mercado, através de investimentos de Instituições do Governo e grandes empresas na utilização de aplicativos disponíveis no mercado como o ArcView da ESRI e AutoCAD MAP da Autodesk, dentre outros. Foi o início de utilização de aplicativos que agregam diversas funções no mesmo sistema (modelagem 3D, análise espacial, processamento digital de imagens, etc.). Porém, neste período, os usuários ainda eram especialistas e a difusão dos benefícios do uso de aplicações de geoprocessamento ainda estava em seu início. Em 1994, o Open GIS Consortium (OGC) foi fundado no EUA como uma organização internacional sem fins lucrativos, que tem como tarefa o desenvolvimento de software para o mercado de SIG. O projeto OpenGIS trabalha no desenvolvimento de especificações de interfaces de software. A vantagem para o cliente é o acesso direto aos sistemas distribuídos. Os principais desenvolvedores de software em SIG, grandes empresas como IBM, Microsoft e Oracle, além de universidades e empresas de telecomunicações são membros do OGC.

Nos dias atuais, a Internet está em pleno funcionamento, adotada pelo público em geral. Os SIG's iniciam seu processo de migração para a rede, com a simplificação de aplicativos que possibilitam o acesso ao usuário médio aos sistemas. Destes não se espera mais o conhecimento técnico especializado, o que possibilita o florescimento de sites especializados, com a criação de mecanismos de acesso a mapas e informações através de programas populares e de fácil utilização, tais como o GoogleEarth, MapQuest e outros.

No Brasil, além do termo Geoprocessamento, alguns autores passam a adotar os termos Geotecnologias (FLORENZANO, 2005) e Geomática (MEIRELLES, 2007) para representar os mesmos conceitos.

O mercado de produtos em SIG ainda hoje oferece um vasto espectro de inovações. Além disso, abre a oportunidade de se auferir conhecimento geográfico científico e torná-lo acessível a um público cada vez maior.

### **3.6.7 Modelagem cartográfica ou álgebra de mapas**

O conceito de modelagem cartográfica ou álgebra de mapas foi desenvolvido por Dana Tomlin em 1983 com o *Map Analysis Package* (um software SIG *raster*). Um modelo cartográfico pode ser entendido como uma coleção de mapas registrados numa base

cartográfica comum, em que cada mapa é uma variável sujeita a operações matemáticas tradicionais.

A álgebra de mapas é um processo que decorre de operações pontuais, de vizinhança e de regiões sobre diferentes mapas, numa lógica seqüencial para interpretar e resolver problemas espaciais. Neste contexto, a seqüência de operações é similar à solução algébrica de um conjunto de equações. Através dessa abordagem, torna-se possível compilar um conjunto de funções que permitam o processamento de variáveis geográficas contidas num SIG, de forma a obter novas informações. A capacidade de converter dados observados em informações úteis se constitui na principal função da análise espacial dos SIG's.

Na álgebra de mapas, todas as localizações espaciais estão definidas por uma grade (grid) ou matriz composta por linhas e colunas, onde cada célula é uma unidade territorial. A unidade básica de processamento é o *pixel*, que pode ser processado independentemente, integrado numa vizinhança ou numa região de elementos com o mesmo atributo. Assim, as operações podem se dar num nível local, de vizinhança ou numa escala regional.

### **3.6.8 Operações Locais**

Estas operações produzem um novo mapa a partir de um ou mais mapas de entrada.

#### **3.6.8.1 Reclassificação**

Através desse operador, um novo mapa é criado através da alteração dos valores (atributos) dos pixels do mapa original.

Conforme SEIXAS e FERREIRA (2008) existem quatro abordagens possíveis para a reclassificação dependendo do objetivo do processo:

- (1) Associar um novo valor a cada valor do mapa de entrada com o propósito de criar uma máscara binária (0 ou 1) para uso subsequente;
- (2) Associar novos valores a classes ou gamas de valores com o propósito de reduzir o número de classes original ou agrupar valores em categorias;
- (3) Associar ordens (níveis de importância ou de precedência) a valores ou categorias únicos no mapa original. Aplica-se quando se pretende avaliar a capacidade, aptidão ou potencial de certos fenômenos ou atividades;
- (4) Associar ordens ou pesos a um mapa qualitativo (escala nominal) para gerar um mapa quantitativo (escala ordinal, de intervalos ou probabilidades).

#### **3.6.8.2 Sobreposição**

Sobrepor mapas é uma das operações mais importantes e mais usadas em análise espacial. Usualmente envolve operações aritméticas em duas ou mais matrizes de igual dimensão, que devem compartilhar o mesmo registro geográfico.



Considerando-se [A] o mapa 1, [B] o mapa 2 e [X] o mapa criado através da sobreposição, as seguintes operações aritméticas são possíveis:

$$[X] = [A] + [B]$$

$$[X] = ([A] + [B]) / 2$$

$$[X] = [A] - [B]$$

$$[X] = [A] * [B]$$

$$[X] = [A] / [B]$$

$$[X] = [A] \text{ if } [A] > [B]$$

$$[X] = [A] \text{ if } [A] < [B]$$

$$[X] = [B] \text{ se } [B] > 0; \text{ caso contrário, } [X] = [A]$$

A adição corresponde à operação lógica "união", enquanto a multiplicação corresponde à "interseção". A subtração é útil na detecção de alterações que podem ocorrer em 2 tempos diferentes (se o pixel não sofreu alterações, o resultado vem nulo). A divisão pode também ser usada para a análise de alterações (pixels com valor 1 não sofreram alterações)

### **3.6.9 Operações de vizinhança local**

Também conhecidas como operações de contexto, envolvem a manipulação de um conjunto de pixels relativamente próximos num mapa. Um novo mapa é produzido como resultado dessas operações.

#### **3.6.9.1 Filtragem**

É usada para melhorar aspectos da imagem, através da detecção de propriedades similares (filtros de baixa frequência, como média, moda, valor mínimo ou máximo), ou de propriedades dissimilares (filtros de alta frequência, como detecção de bordas). O uso de filtros se baseia numa janela (por exemplo, com uma dimensão de 3 x 3 pixels) que vai "correndo" a imagem toda. Esta janela (também designada kernel) contém os valores ou coeficientes de interesse para a operação. (BARBOSA et al., 2003)

#### **3.6.9.2 Declividade**

De acordo com SEIXAS e FERREIRA (2008), o cálculo das declividades presentes em uma dada superfície é uma das operações espaciais mais exemplificativas baseadas em vizinhança, derivada de um mapa com dados de altimetria. Para uma janela de 3x3 pixels, o pixel central é rodeado por 8 pixels, cada um dos quais está associado a uma direção específica N, NE, E, SE, S, SW, W, e NW. O ângulo de declive do pixel central é calculado com base na informação dos pixels vizinhos nas diferentes direções. Por exemplo, para calcular o declive (ângulo) nas direções N, E, S, e W, a diferença na altimetria entre o pixel central e o pixel de cada uma das direções é considerada para fornecer o valor da distância vertical. A distância

horizontal entre o pixel central e cada um dos pixels nas diferentes direções é igual à resolução espacial dos dados (assumindo-se que são usados pixels quadrados). Para efetuar-se o cálculo dos declives das direções NE, SE, SW, e NW, a distância vertical segue o mesmo procedimento, e a distância horizontal é extraída pelo Teorema de Pitágoras. Por comparação dos ângulos calculados para as 8 direções, é encontrado o ângulo máximo. A direção correspondente a este ângulo máximo indica o sentido da declividade para a célula. Este procedimento é utilizado em estudos hidrológicos e na geração de modelos digitais de terreno (MDT).

### **3.6.10 Operações de vizinhança geral**

Estas operações envolvem um conjunto de pontos que se podem estender por uma grande área, incluindo um grande número de pixels.

#### **3.6.10.1 Distância, Proximidade e Conectividade**

Distância é um dos conceitos fundamentais em geografia, e é usada para determinar o grau de interação entre dois elementos no espaço, por exemplo, o caminho mais curto entre dois pontos, ou distâncias de um elemento espacial (casa) a uma característica (estrada ou corpo de água).

#### **3.6.10.2 Criação de Buffers (Buffering)**

Buffering é uma das operações espaciais mais úteis que se baseia na distância. A operação buffer trata da expansão de uma propriedade espacial às células adjacentes, seja essa propriedade um ponto, uma linha ou uma área. Buffers podem ser construídos à volta de lagos e cursos de água (Áreas de preservação), à margem de rodovias (estabelecimento de faixas de domínio), ou à volta de unidades industriais (estabelecimento de zonas de proteção contra emissões).

### **3.6.11 Análise da paisagem**

A ecologia da paisagem é uma ciência que trabalha com três características da paisagem: estrutura, que são as relações entre os distintos ecossistemas ou elementos presentes em relação ao tamanho, forma, número, tipo e configuração; funcionamento, que se traduz nos fluxos de energia, matéria e espécies dentro da paisagem; e alterações que são as modificações observadas na estrutura e fluxos do mosaico ecológico (FORMAN e GODRON, 1986).

A álgebra de mapas pode fornecer informações relevantes e necessárias à análise da paisagem. Em relação ao arranjo estrutural, a análise permite a classificação dos variados usos da cobertura da terra e sua quantificação. Em relação ao funcionamento, permite a indexação destes usos e o estabelecimento de hipóteses para os balanços de massa e energia. Finalmente,

em relação às alterações, permite o monitoramento de atividades e/ou fenômenos naturais que introduzem modificações no arranjo ou no funcionamento dos sistemas integrantes. A análise da paisagem pode fornecer ainda informações de caráter específico, como a relação tridimensional entre os elementos componentes da paisagem natural e os elementos da paisagem urbana, ou entre os espaços edificados e os espaços livres de edificação nas áreas urbanas. São exemplos do uso da técnica as análises de exposição do terreno, que se baseiam em dados de altimetria para determinar que áreas são ou não visíveis para um observador situado num local específico (ou a intervisibilidade entre dois pontos).

### **3.6.12 Operações em regiões**

Uma região é uma área (conjunto de *pixels*) mais ou menos extensa com características homogêneas (mesmo atributo). Uma região de trigo é uma área em que o atributo (trigo) se mantém. Uma região pode ser compacta, alongada, fragmentada, em termos da sua forma. Uma operação comum sobre regiões é identificar a(s) região(ões) baseada num critério estabelecido para o atributo.

#### **3.6.12.1 Área e perímetro**

A determinação de áreas e perímetros de uma região são exemplos de operações espaciais assentes na informação de regiões. A área e o perímetro podem ser usados para se obter uma idéia da forma da região. Por exemplo, o resultado da divisão do perímetro pela área dá uma idéia sobre a fragmentação ou compactação de uma região. Um valor baixo para este resultado significa uma forma compacta, circular, enquanto um valor elevado está associado a uma forma alongada.

### **3.6.13 Análise Ambiental**

O objetivo principal da análise ambiental é identificar propriedades espaciais dos dados para detectar padrões, formular hipóteses a partir da localização dos dados, apoiados pela modelagem espacial que visa estrutura respostas para estas ocorrências. A análise exploratória de dados é baseada tanto em métodos gráficos e visuais como em técnicas numéricas, normalmente estatísticas. A análise de tendências e a geoestatística são utilizados num SIG principalmente com o objetivo de gerar dados (interpolação) e não como uma técnica de análise, interpretação e modelagem de dados.

De um modo geral, a modelagem ambiental pretende simular fenômenos e processos que têm uma dimensão espacial explícita, como, por exemplo: processos de escoamento em uma bacia, processos erosivos, a contaminação dos solos a partir de uma fonte poluidora, a propagação de incêndios florestais, a dispersão de poluentes num curso d'água e outros, que não devem ser estudados sem a consideração da componente espacial. Entretanto, conforme

CHRISTOFOLETTI (1999), os modelos são representações simplificadas da realidade. Atenção especial deve ser dedicada à seleção de aspectos mais relevantes, buscando evidenciar o comportamento das diversas variáveis ambientais. Após sua elaboração, o modelo deve passar por uma fase de calibração, onde ocorre uma avaliação dos parâmetros envolvidos. Após a fase de calibração o modelo deve ser validado, ou seja, aplicado a uma situação conhecida.

### 3.6.13.1 Análise de multicritérios

Conforme MOURA(2007),

*“O procedimento de análise de multicritérios é muito utilizado em geoprocessamento, pois se baseia justamente na lógica básica da construção de um SIG: Seleção das principais variáveis que caracterizam um fenômeno, já realizando um recorte metodológico de simplificação da complexidade espacial; representação da realidade segundo diferentes variáveis, organizadas em camadas de informação; Discretização dos planos de análise em resoluções espaciais adequadas tanto para as fontes dos dados como para os objetivos a serem alcançados; promoção da combinação das camadas de variáveis, integradas na forma de um sistema, que traduza a complexidade da realidade; finalmente, possibilidade de validação e calibração do sistema, mediante identificação e correção das relações construídas entre as variáveis mapeadas.”*

Assim, as avaliações ambientais são resultados obtidos pela combinação direta dos dados contidos no SIG ou através da aplicação do conceito de média ponderada, que resulta em um plano classificatório representando para cada pixel da base de dados o seu potencial ou risco ambiental, dependendo da questão a ser avaliada.

A análise de multicritérios é um roteiro metodológico aplicado para combinar variáveis que respondam por algum fenômeno ou potencial. Um dos algoritmos possíveis de serem utilizados no processo de avaliação ambiental, baseado em média ponderada, está representado abaixo:

$$A_{ij} = \sum_{K=1}^n (P_k \times N_k) \quad , \text{ onde:}$$

$A_{ij}$  = pixel da base georreferenciada sob análise;

$n$  = número de cartogramas digitais utilizados;

$P_k$  = pontos percentuais atribuídos ao cartograma digital "k",dividido por 100;

$N_k$  = possibilidade (nas escalas de "0 a 10" ou "0 a 100") da ocorrência conjunta da classe "k" com a questão ambiental sob análise.

O algoritmo acima relaciona os processos componentes das situações ambientais, com a convergência de fatores (variáveis) considerados relevantes. Esta relação se dá pela definição dos pesos de cada fator (plano de informação), que é o seu grau de importância em relação aos outros fatores, e pelas notas, que representam a possibilidade de ocorrência conjunta de cada categoria do fator com o fenômeno em estudo.

#### 4 Metodologia de trabalho

Com o objetivo de reconhecer as áreas onde lixões e antigos depósitos de RSU foram desativados, conhecer o modelo adotado para a recuperação das áreas e as medidas tomadas pelos entes responsáveis, efetuou-se pesquisa em processos de licenciamento ambiental, arquivados junto à FEAM - MG, referentes à entrada em operação de aterros sanitários.

Dados referentes aos Lixões em operação foram adquiridos, através do inventário de Resíduos Sólidos disponibilizado pelo governo do estado via Internet e transformados em dados *raster* e/ou vetoriais, para sua caracterização em relação às variáveis analisadas.

Além disso, a FEAM forneceu dados disponíveis de coordenadas de lixões. A Tabela 10, à pagina 55, foi georreferenciada e pode-se verificar que dos 339 municípios mapeados pela FEAM até o final de 2006 somente 230 tiveram coordenadas aproveitáveis, com as demais consideradas como incorretas por erros de levantamento ou compilação de dados. A filtragem dos registros válidos levou em conta os casos de municípios que lançam seus RSU em municípios vizinhos. Esta base de 230 municípios foi selecionada como a base de trabalho para aplicação da análise ambiental proposta. Entretanto, resalte-se que a base ideal deveria conter os dados de todos os municípios onde a disposição de RSU se faz ainda em lixões.

Optou-se pela ferramenta de avaliação ambiental baseada na análise de multicritérios, consagrada na literatura como a mais adequada para o tema em questão, pois os dados, pela sua própria natureza procuram exprimir relações entre grandezas de diferente escala. Neste trabalho a avaliação ambiental foi utilizada para gerar um mapa de hierarquização de municípios em relação ao estado dos seus sítios de disposição de resíduos sólidos urbanos. Conforme a metodologia proposta por Xavier-da-Silva (2001) elaborou-se uma Árvore de Decisão, atribuindo-se pesos e notas para os planos de informação e cada uma de suas legendas.

Para a realização da álgebra de mapas, segundo o modelo de análise de multicritérios, todos os dados foram convertidos para planos de informação *raster*, matrizes de dados, a partir da definição de um retângulo de envolvimento, unidade de resolução e, conseqüentemente, número de linhas e colunas da matriz. Após a modelagem de cada unidade temática dos mapas foi feita atribuição de pesos e notas às variáveis.

Os pesos e notas de cada variável foram atribuídos utilizando-se a técnica “Delphi”, que consiste em operacionalizar o debate entre especialistas, a fim de se estabelecer um processo de tomada de decisão quanto ao que fazer, por meio de rodadas sucessivas de discussão e

reavaliação. Assim, buscou-se atribuir às variáveis aqueles pesos em função dos riscos às populações vizinhas e ao meio ambiente, causado pelos lixões.

A partir do conceito explicitado por George (1970) de que “a cartografia (temática) é o instrumento de expressão dos resultados adquiridos pela geografia, mas, ela própria é uma técnica que pode ser aplicada para projetar no espaço qualquer noção ou ação que se torne necessária representar espacialmente sem que essa noção ou ação faça parte de um sistema de relações geográficas”, a geração de cada plano de informação é sintetizada em um mapa temático, de escala municipal, que se constitui em resultado preliminar e que comporá as demais fases da análise. Assim, visando facilitar a legibilidade deste trabalho, optou-se por expor a metodologia de construção dos planos de informação em duas partes:

- Na primeira parte, retoma-se a revisão bibliográfica para estabelecer em detalhe a influência e relevância de cada plano de informação a ser obtido em relação às áreas de disposição de RSU, agrupando-os nos principais temas relativos à análise.
- Na segunda parte, apresentam-se os detalhes de obtenção de cada plano e os resultados preliminares obtidos.

### **4.1 Metodologia de análise dos dados de lixões desativados no Estado de Minas Gerais**

Os processos de licenciamento de novos aterros sanitários foram analisados, no período de Novembro de 2007 a Fevereiro de 2008, no arquivo central da FEAM em Belo Horizonte – MG. Para os processos analisados, procurou-se identificar as áreas anteriormente ocupadas pelos RSU e ainda conhecer o modelo adotado para a recuperação das áreas e as medidas tomadas pelos administradores. Algumas áreas não foram localizadas e/ou não se encontravam explicitadas nos processos de licenciamento; Outras, apesar de citadas, não puderam ser identificadas exatamente através das informações disponíveis. Para as localidades de Arcos, Caeté, Extrema, Itabirito, Ituitaba, Juiz de Fora, Nova Lima, Rio Piracicaba, Timóteo e Três Corações, foi possível a localização e o georreferenciamento dos antigos lixões abandonados, através da conjugação das informações existentes nos processos e análises sobre imagens SPOT<sup>®</sup>, disponível no site GoogleEarth<sup>®</sup>. Estes resultados encontram-se indicados na Tabela 10 que sintetiza os dados pesquisados nos licenciamentos ambientais de destinação de resíduos da FEAM.

Tabela 10. Síntese de resultados da pesquisa em processos de licenciamento ambiental da FEAM

MUNICÍPIO	TIPO	IDENTIFICAÇÃO DO PROCESSO DE LICENCIAMENTO DE ATERRO SANITÁRIO	RESULTADO PARA O LIXÃO	COORD. GEOGRÁFICAS (UTM, fuso 23S)
Coronel Fabriciano	LI	0143/1998/001/1998	Identificação	
João Monlevade	LI	00349/1996/003/2005	Identificação	
Monte Carmelo	LI	096/1998/003/2002	Identificação <sup>(1)</sup>	
Pedra do Anta	LI	209/2003/001/2003	Identificação	
Sabará	LI	543/2001/001/2001	Identificação	
Visconde do Rio Branco	LI	006/1998/003/2002	Identificação	
Arcos	LO	00419/1997/004/2003	Localização	447447, 7756429
Caeté	LP	00128/1995/002/1999	Localização	638398, 7802882
Extrema	LI	424/1998/001/1998	Localização	369265, 7477738
Itabirito	LI	437/1998/001/1998	Localização	477068, 7601847
Ituitaba	LI	244/1992/008/2001	Localização	659199, 7895465
Juiz de Fora	LI	255/1999/005/2002	Localização	667630, 7584884
Nova Lima	LI	00284/1991/005/2002	Localização	622929, 7789415
Raposos	LI	Processo de Nova Lima	Localização	622929, 7789415
Rio Acima	LI	Processo de Nova Lima	Localização	622929, 7789415
Rio Piracicaba	LO	Processo de João Monlevade	Localização	689600, 7793256
Timóteo	LP	Processo de Coronel Fabriciano	Localização	745925, 7840013
Três Corações	LP	322/1995/003/1999	Localização	477050, 7601690
Bela Vista de Minas	LO	Processo de João Monlevade	Não Localizado <sup>(2)</sup>	
Betim	LI	00177/1994/002/1995	Não Localizado	
Nova Era	LO	Processo de João Monlevade	Não Localizado	
Uberlândia	LI	353/1996/006/2003	Não Localizado	
Campo Belo	LI	00003/1991/011/2005	Sob Aterro	
Uberaba	LI	079/1989/006/1995	Sob Aterro	

Fonte: FEAM, 2007, FEAM, 2008 (1,2) Medidas de recuperação informadas no processo.

A pesquisa permitiu identificar a localização de quatorze locais de lixões desativados, a saber: Arcos, Bela Vista de Minas, Caeté, Coronel Fabriciano, Extrema, João Monlevade, Itabirito, Ituitaba, Juiz de Fora, Monte Carmelo, Nova Lima (que era utilizado também para a disposição dos RSU de Raposos e Rio Acima), Rio Piracicaba, Timóteo e Três Corações.

Também se averiguou a implantação das seguintes medidas mitigadoras em Arcos, Monte Carmelo e Três Corações:

- Reconformação física da área
- Implantação do sistema de drenagem dos gases



- Implantação do sistema de coleta e destino final das águas pluviais
- Cobertura de toda a área com argila de 80 cm, com compactação de 20 em 20 cm, com aplicação de terra vegetal de 40 cm e posteriormente o plantio de grama
- Incorporação da área à paisagem local.

Para cinco destes lixões (Bela Vista de Minas, Itabirito, Ituiutaba, Juiz de Fora e Nova Lima), as medidas mitigadoras adotadas foram a cobertura dos locais com uma camada de terra, seu cercamento e revegetação.

Não foram identificadas medidas de mitigação de impactos para nos sítios dos municípios de Caeté, Coronel Fabriciano, Extrema, João Monlevade, Rio Piracicaba e Timóteo.

A análise revelou que menos de 30 % dos locais identificados tiveram medidas de mitigação e recuperação com implantação sistematizada.

#### **4.2 Metodologia de Análise de dados de Lixões em atividade no Estado de Minas Gerais**

Com base nas informações de lixões em atividade, prestadas pela FEAM, foi elaborada uma base de dados tabular, que por sua extensão teve uma pequena amostra reproduzida na Tabela 11 a seguir, com características relevantes para a classificação e normatização dos locais.

Tabela 11. Lixões em operação - Dados do Inventário de Resíduos Sólidos Estaduais

MUNIC_P_O	Águas Formosas	Aiuruoca	(...)	Tiradentes	Veredinha
LAT1	*(1)		(...)	-21,119666714	
LONG1			(...)	-44,154305620	
E1	294.189	540.262	(...)		739.398
N1	8.107.572	7.566.003	(...)		8.076.619
FUSO1	24	23	(...)		23
IND	203	368	(...)	452	300
SUPRAM	Leste Mineiro	Sul de Minas	(...)	Sul de Minas	Jequitinhonha
REL_VIST	00169/2006	019813/2006	(...)	10.382/05	13036/2006
LOCALIZ	Aeroporto	Fazenda Angaí	(...)		Sítio Bela Vista
DIST_NUCLE	3,0	13,0	(...)		1,0
TIPO	Céu Aberto	Céu Aberto	(...)		Céu Aberto
AREA	1,50	0,50	(...)		*
TIPO_DISP	Mesma área	Mesma área	(...)		Nova área
RECOBRIM	Não	Não	(...)		*
DECLIV	>30%	>30%	(...)		<30%
DREN	Não	Não	(...)		*
APP	Não	Não	(...)		
AREA_CERC	Parcial	Parcial	(...)		Sim
CERCA_VIVA	Não	Não	(...)		*
CATADOR	Não	*(1)	(...)		*
QUEIMA	Sim	Sim	(...)		Sim
ACESSO	Razoáveis	Boas	(...)		*
DIST_MANCH	> 500 m	> 500 m	(...)		*
FAIXA_DOMI	Não	Não	(...)		*
RES_SAUDE	Valas separadas, sem recobrimento	Junto aos comuns	(...)		*
CLASSIFIC	Lixão	Lixão	Lixão	Lixão	Lixão

(1) Indica dados faltantes na base de dados original.

Fonte: Inventário de Resíduos Sólidos - FEAM, 2006.

A Figura 6 sintetiza os resultados encontrados, indicando os Municípios com lixões localizados e não localizados através de georreferenciamento.

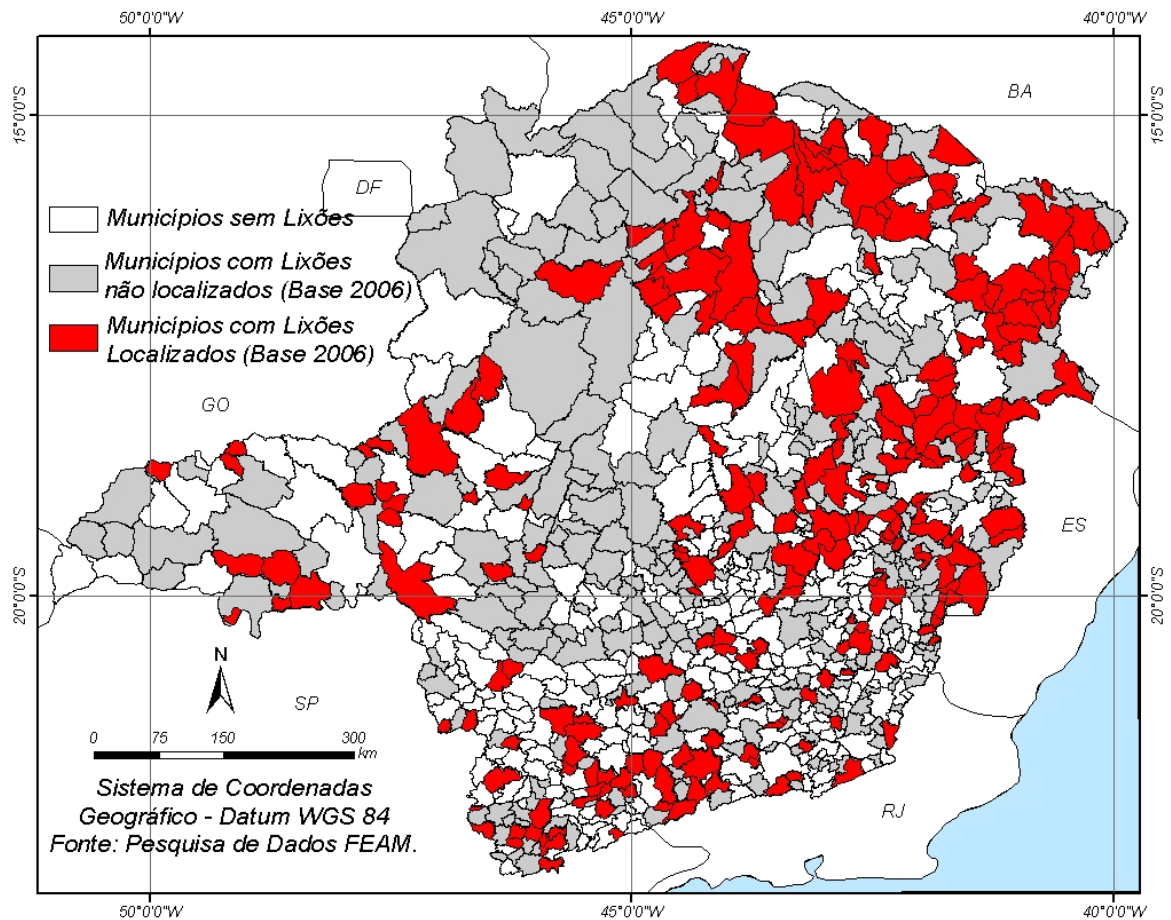


Figura 6. Municípios com Lixões no Estado de Minas Gerais

### 4.3 Metodologia de definição dos planos de informação

O estado de Minas Gerais dispõe de diversas bases de dados, sejam através do site Geominas ou de outros órgãos ambientais, com potencial de informação sobre a temática das áreas de entorno dos lixões e sua aplicação à escala municipal. Outros dados foram adquiridos através de sensoriamento remoto, levantamentos populacionais e pela compilação de dados de estações pluviométricas. As informações foram estratificadas em níveis distintos, permitindo a elaboração de Planos de Informação, utilizando-se, conforme apresentado por XAVIER-DA-SILVA (2000), as seguintes técnicas de planimetria, esta definida como a identificação da extensão territorial de ocorrências:

- Extração direta de dados básicos; e
- Extrações seletivas e combinadas sobre a base geocodificada.

A publicação “Manual de Gerenciamento Integrado” (IPT/CEMPRE, 2000) considera que a adequação de um local de disposição de RSU decorre de três macroconjuntos de parâmetros, relativos à qualidade natural do local, à infra-estrutura instalada e aos procedimentos operacionais adotados. As informações relativas à infra-estrutura dos locais, bem como aos procedimentos adotados em cada um deles, encontravam-se, à época da elaboração deste trabalho, esparsas entre os diversos municípios, apresentando diferentes gradações de confiabilidade, insuficientes para a inclusão destas variáveis, de forma homogênea, na tomada de decisões. Assim, procurou-se analisar de forma intensiva os fatores naturais e aqueles resultantes da atividade antrópica, obtidos de forma sistemática em todos os municípios selecionados. Os critérios utilizados para avaliação dos locais para disposição de RSU foram escolhidos pela disponibilidade de dados, pela relevância destes perante o aparato legal (especialmente a DN 52/2001) e no processo de avaliação de áreas para fins de impactos negativos sobre o ambiente. Entretanto, não se pretende aqui esgotar as possibilidades de utilização da Álgebra de Mapas ao tema proposto, uma vez que outras características envolvidas são mapeáveis, desde que disponíveis as informações, especialmente as relativas à operação do lixão, existência ou não de processos de queima, etc. que poderão ser contempladas em futuros trabalhos sobre o tema.

#### **4.4 Metodologia de Síntese dos Planos de Informação**

Esta etapa compreendeu a combinação de variáveis espaciais para a caracterização territorial, ou a classificação do espaço geográfico baseado nos levantamentos de conjunções das características ambientais representadas na base de dados para a finalidade de classificar o dano causado pelos lixões. Com esta finalidade, foi efetuado o cômputo numérico de definição da ocorrência conjunta de características ambientais. Visou-se a elaboração de uma estrutura lógica de análise que incorporasse a realização de álgebra de mapas, segundo o modelo de análise de multicritérios, conduzindo à categorização de áreas de disposição de RSU, através do processo de avaliação ambiental, amparado pela elaboração de uma árvore de decisão.

#### **4.5 Definição de Fatores naturais**

Definem-se como fatores naturais para a análise os elementos presentes nos locais de disposição de RSU perenes ao longo do tempo e independentes da ação antrópica, como os aspectos de declividade nos locais, distância destes a cursos d’água e fragilidade dos aquíferos subterrâneos na área de influência. Incluem ainda variáveis relacionadas ao ciclo hidrológico

e suas interações com o local, através da percolação de água e lixiviados através do solo ou seu escoamento superficial até corpos receptores.

#### **4.5.1 Declividade dos Locais**

A declividade dos locais de disposição é um dos critérios mais consagrados na literatura para avaliação de qualidade de sítios de disposição de RSU, desde as recomendações presentes no manual do IPT-CEMPRE (2001, op.cit.) até os trabalhos em que se almeja optar entre diversas áreas para a escolha da mais apta para a disposição, como nos trabalhos de Weber (2000), Rocha et al.(in Xavier-da-Silva e Zaidan, 2004), e outros. Entretanto, enquanto o IPT utiliza a declividade para a elaboração de um índice de qualidade de locais de disposição de RSU, o IQR, os demais autores utilizam o critério para a seleção de áreas propícias a serem destinadas à instalação de sistemas de disposição, ainda assim já projetados com todas as estruturas para a minimização de impactos, tais como sistemas de drenagem adequados. A declividade é um fator que influi diretamente sobre as questões operacionais de um local de disposição de RSU. De um modo geral, um lixão instalado em uma área com baixa declividade representa uma situação mais favorável ao manejo de resíduos. Já a instalação de lixões em áreas com declividades acentuadas favorece o escoamento superficial do chorume, dificulta a conformação da massa de lixo e o acesso a área em períodos chuvosos.

A um aumento de declividade corresponde uma menor infiltração dos escoamentos superficiais, o que aumenta o poder erosivo da água, sobretudo em locais onde ocorre a retirada da cobertura vegetal ou a disposição de resíduos. Nestes locais a chuva, em função de sua intensidade, escoar através da superfície, carreando frações de material de cobertura em quantidades variáveis; Entretanto, a experiência comprova que a capacidade de transporte da água que escoar superficialmente depende do volume de água e da declividade do terreno, como em Lattanzi et. al. (1974). Amorim et al (2001) dividem o escoamento em dois tipos, difuso e concentrado. No escoamento difuso, que começa a aparecer quando a quantidade de água precipitada é maior que a velocidade de infiltração, pode ocorrer o transporte de partículas de solo, provocando o início de sulcos poucos profundos. Nestes sulcos formam-se caminhos preferenciais, que concentram os fluxos precipitados e podem contribuir para a formação de ravinas e voçorocas. Silveira et al (2000) destaca que nos regimes de chuvas amenas e solos menos declivosos, a erosão é limitada pela capacidade de transporte, enquanto que sob chuvas intensas e solos declivosos a erosão é limitada pela capacidade de desagregação do solo. Esta capacidade, por sua vez, é dependente da natureza físico-química

dos solos. De um modo geral, solos mais argilosos, devido às características das ligações de suas partículas, apresentam uma maior coesão do que os solos arenosos.

No que tange às áreas de disposição de RSU verifica-se que, especialmente em comunidades de pequeno porte, os resíduos são destinados a locais de elevada declividade, à margem de cursos d'água e em grotas de difícil acesso. De uma forma geral, existem conexões entre estes locais e os sistemas hidrogeológicos presentes, com o aumento dos riscos de contaminação de recursos hídricos na presença de ravinamentos, nascentes e áreas de contato entre os aquíferos superficiais e subterrâneos, estruturas presentes nas áreas de maior declividade. Além disso, a DN 52/01 já indicava a declividade como um fator de exclusão de áreas para disposição de RSU, estabelecendo um limite de 30 % como a declividade média máxima aceitável na seleção destas áreas. Este fator foi reforçado pela DN 118/08, com a mesma limitação.

#### **4.5.2 Distância de Cursos D'água**

A distância dos lixões em relação à hidrografia é de importância evidente, pelos riscos, associados a esse parâmetro, de contaminação das águas superficiais e de inundação destas áreas. O estudo Estado Real das Águas no Brasil - 2003/2004, elaborado pela Defensoria das Águas, fornece outros dados preocupantes. Um deles é que existem 20 mil áreas contaminadas no Brasil com populações expostas a riscos de saúde, das quais 15.237 já são reconhecidas pelo Ministério da Saúde. Outro dado é que 89% das pessoas em leitos hospitalares estão doentes por utilizarem água de má qualidade. O mesmo estudo concluiu que a principal fonte de contaminação é o despejo de material tóxico proveniente das atividades agroindustriais e industriais. Em segundo lugar vem o despejo de esgotos urbanos e rurais e em terceiro, a existência de lixões nas margens de cursos de água.

A conexão entre a distância e a contaminação de cursos d'água e os locais de disposição de RSU se dá principalmente por facilidades de acesso existentes e pela proximidade e facilidade de disposição, em vertente, o que permite a facilidade de descarga de caminhões com investimentos mínimos ou inexistentes. O resultado é que em muitos municípios a atividade de descarga de resíduos à margem de cursos d'água é praticada livremente por particulares e em alguns casos até pelo poder público, com conseqüências as mais danosas. Recorde-se aqui que a DN COPAM 118/2008 estipula que a disposição de RSU deve se dar em áreas que não estejam sujeitas a eventos de inundação e que estes locais devem se situar a uma distância mínima de 300 metros de cursos d'água ou qualquer coleção hídrica. Entretanto, permite que os locais de disposição estejam a uma distância de até 200 metros, desde que comprovada a inexistência de alternativa locacional.

#### 4.5.3 Permeabilidade de solos e tipologia de aquíferos

Conforme Hirata (2000):

*“a vulnerabilidade de um aquífero é definida como a sensibilidade que um específico estrato geológico tem em ser adversamente afetado por uma carga contaminante imposta. Carga contaminante é aqui entendida como qualquer atividade humana que possa causar algum tipo de alteração na qualidade das águas subterrâneas, tomando-se impróprias para consumo humano. A carga contaminante pode variar no tempo. Entretanto, a vulnerabilidade natural é praticamente fixa”.*

A análise de vulnerabilidade visa quantificar, de forma prática, a possibilidade de que os aquíferos possam ser atingidos por contaminantes superficiais, bem como a extensão de possíveis danos a estes. Já o risco de contaminação de águas subterrâneas, segundo Forster & Hirata (1991) é “... a interação entre a carga contaminante e a vulnerabilidade do aquífero”, ou seja, a interação entre uma condição resultante de uma ação antrópica ou não (poluição) e uma condição ditada pela natureza (características estruturais do aquífero). Sendo assim, os três parâmetros fundamentais para definir a vulnerabilidade de um aquífero são:

- profundidade que se encontra o lençol freático, ou o nível superior do aquífero confinado;
- tipo de ocorrência (aquífero) da água subterrânea;
- características litológicas da zona vadosa.

Para a análise das classes de vulnerabilidade utiliza-se o método “GOD” proposto por Foster e Hirata (1988). Esse método considera a avaliação de três parâmetros referentes à capacidade de atenuação e inacessibilidade hidráulica dos poluentes:

1. Tipo de ocorrência da água subterrânea (G), onde os valores são obtidos dentro de um intervalo de 0 a 1.
2. Classificação dos estratos acima da zona saturada do aquífero em termos do grau de consolidação e caráter litológico (O), esta propriedade conduzirá a um segundo ponto na escala de 0,3 a 1,0.
3. Determinação da profundidade do nível freático (D), que definirá o terceiro ponto, na escala de 0,4 a 1,0.

A figura 7 representa o diagrama explicativo da metodologia “GOD”:

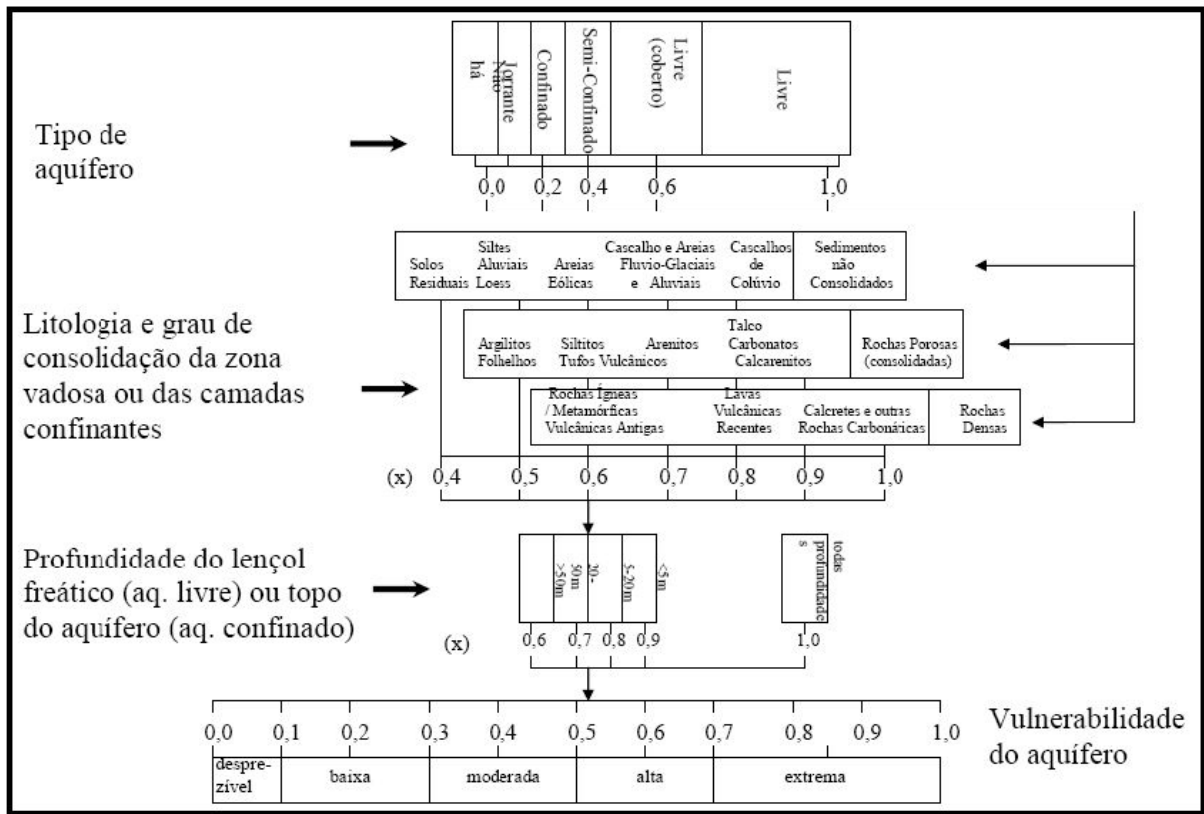


Figura 7. Diagrama explicativo da metodologia “GOD”. Fonte: Foster (1993)

Após a pontuação das três etapas acima é feito o produto dos valores obtendo-se a(s) classe(s) de vulnerabilidade dos aquíferos, que devem ser classificados de acordo com os seguintes intervalos de significância representados na Tabela 12.

Tabela 12. Classes de vulnerabilidade de aquíferos

INTERVALO	CLASSE	CARACTERÍSTICAS
0 – 0,1	INSIGNIFICANTE	Desconsidera a camadas confinantes com fluxos verticais descendentes não significativos.
0,1 – 0,3	BAIXO	Vulnerável a contaminantes conservativos em longo prazo, quando continuamente e amplamente lançado.
0,3 – 0,5	MÉDIO	Vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançado.
0,5 – 0,7	ALTO	Vulnerável a muitos poluentes, exceto aqueles muito pouco móveis e pouco persistentes.
0,7 – 1,0	EXTREMO	Vulnerável a muitos poluentes, com rápido impacto em muitos cenários de contaminação.

Fonte: Modificada de Hirata (2001)



O presente trabalho adota uma simplificação da metodologia proposta, para que possa ser aplicada à escala do município. Na ausência de dados exatos sobre a profundidade de aquíferos em cada um dos municípios e dada a sua grande variabilidade no estado de Minas Gerais, adota-se uma profundidade uniforme, com a categorização, em função de critérios como permeabilidade e capacidade de recarga, das características de solos e diversas tipologias de aquíferos presentes.

#### 4.5.4 Vazões críticas devido às precipitações nos locais

As precipitações ocorridas em áreas de destinação de RSU são responsáveis pelo carreamento de materiais aos cursos d'água e pelo aumento da percolação de chorume; Assim, uma das variáveis previstas na análise da disposição de RSU são as precipitações ocorridas nos locais dos lixões, com ênfase para as chuvas intensas. Conforme CARNEIRO et al, as chuvas intensas são definidas como aquelas de maiores intensidades observadas para uma determinada duração, sendo a duração crítica aquela que coincide com o tempo de concentração da bacia.

Para a utilização prática de dados de precipitação em projetos e estudos visando dimensionamentos e levantamentos de quantitativos de drenagem, é necessário conhecer a intensidade, duração e frequência desta precipitação. Os parâmetros da relação intensidade - duração - frequência (IDF) de chuvas intensas são obtidos por meio de regressão linear com base nas informações extraídas de pluviogramas. Segundo MARTINEZ JÚNIOR e COSTA & BRITO, a determinação da relação IDF apresenta grandes dificuldades, em função da escassez e dos obstáculos para a obtenção de registros pluviográficos, da baixa densidade da rede de pluviógrafos e o pequeno período de observações disponível. Além disso, a metodologia para sua obtenção exige um exaustivo trabalho de tabulação, análise e interpretação de um grande número de pluviogramas.

A principal forma de caracterização de chuvas intensas é por meio da equação de intensidade, duração e frequência da precipitação, representada por:

$$i_m = \frac{K T^a}{(t + b)^c}$$

Na qual

$i_m$  - intensidade máxima média de precipitação,  $\text{mm h}^{-1}$

T - período de retorno, em anos;

t - duração da precipitação, em minutos;

K, a, b, c - parâmetros relativos à localidade.

O período de retorno (ou tempo de recorrência) de um evento é o tempo médio (em anos) em que esse evento é superado ou igualado pelo menos uma vez. É definido por:

$$T_r = \frac{1}{P}$$

A frequência da ocorrência da chuva de projeto é traduzida pelo período de retorno ( $T_r$ ) adotado.

O trabalho clássico de estudos de chuvas intensas no Brasil foi publicado por PFAFSTETTER em 1957 e reeditado em 1982, analisando registros pluviográficos de 98 postos espalhados pelo território brasileiro, em épocas variadas. Posteriormente, FREITAS et al. (2001) publicaram uma análise de séries históricas de 171 estações pluviográficas do Estado de Minas Gerais, pra se chegar aos parâmetros das equações de chuvas intensas em diversas localidades do estado; O mesmo ocorreu nos Estados de Goiás e Tocantins, através dos estudos de COSTA & BRITO (1999), no Rio de Janeiro e Espírito Santo (PINTO, 1999) e ainda, através das contribuições de SILVA et al em São Paulo (1999), Bahia (2002) e Tocantins(2003).

Em 2006, o Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa apresentou o resultado da compilação destes estudos com o lançamento do Plúvio 2.1, uma interface amigável que permite a obtenção da equação i-d-f da precipitação em localidades em que esta não é conhecida. O GPRH desenvolveu um interpolador que permite obter cada um dos parâmetros da equação i-d-f da precipitação. A interpolação é realizada independentemente para cada um dos parâmetros da equação, sendo utilizadas na interpolação todas as informações das localidades dos Estados em que as equações são conhecidas (Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, São Paulo e Tocantins). O fator de ponderação utilizado na consideração de cada localidade corresponde ao inverso da quinta potência da distância entre a localidade para o qual a equação é pretendida e as localidades em que o parâmetro é conhecido. Desta forma, é possível quantificar os parâmetros da equação de intensidade, duração e frequência da precipitação para qualquer localidade desses Estados e, conseqüentemente, obter a própria equação de chuvas intensas para essa localidade. Os autores ressaltam que na interpolação consideram-se apenas “(...) as informações inerentes às equações de chuvas intensas disponíveis, não sendo feita a análise do efeito da altitude do

local e da presença de qualquer outro fator que possa ser condicionador da precipitação (presença de serras, represas, oceano, etc.) nos valores dos parâmetros de ajuste da equação i-d-f da precipitação (...). Entretanto, os resultados da interpolação são amplamente aceitos para ajustar modelos teóricos de distribuição de probabilidade aos dados de chuvas intensas, no dimensionamento de estruturas de drenagem e assim por diante.

#### **4.6 Definição de Fatores antrópicos**

Definem-se como fatores antrópicos influentes na análise de locais de disposição de RSU aqueles ligados à atividade antrópica, tais como a geração de resíduos diária, o estabelecimento de populações no entorno das áreas e o consumo, por estas populações, de recursos hídricos subterrâneos, bem como aqueles definidos em lei visando a proteção de recursos naturais, como o estabelecimento de unidades de conservação.

##### **4.6.1 Dependência de águas subterrâneas**

É notável o crescimento do uso da água subterrânea para o abastecimento público e privado em centros urbanos no Brasil. Diversos fatores contribuem para este quadro. O crescimento do agronegócio e os menores custos de tratamento de aquíferos subterrâneos, contribuem para que os recursos hídricos subterrâneos tenham uma importância crescente. Além disso, os custos da exploração de aquíferos são comparativamente menores que o recurso superficial. Outro fator está associado à perenidade e segurança que as águas subterrâneas oferecem, pois são pouco afetadas por períodos de estiagem e pela variabilidade dos regimes de chuvas e de escoamentos superficiais.

Entretanto, as atividades antrópicas causam a contaminação destes aquíferos, através de vazamentos em sistemas de esgotamento sanitário, de fossas negras abandonadas ou em funcionamento ou de fossas sépticas mal dimensionadas ou com programas de manutenção inadequados. BARBOZA et al. (2007) lembram que “(...) como muitas áreas urbanas estão localizadas sobre aquíferos freáticos (...) é necessário que o planejamento urbano seja realizado considerando medidas para a minimização dos danos aos recursos subterrâneos”. É de grande destaque a contaminação causada pelos lixões, como já exposto. Assim, a importância dos recursos subterrâneos e sua utilização se inserem nesta análise como uma variável de destaque.

Embora as águas subterrâneas sejam naturalmente mais protegidas dos agentes contaminantes do que as superficiais, a grande expansão das atividades antrópicas, nas áreas urbanas e rurais, tem provocado a poluição dos sistemas aquíferos, sobretudo através dos lixões, aterros industriais, armazenamento, manuseio e descarte inadequados de produtos químicos, efluentes

e resíduos, incluindo o uso indiscriminado de agrotóxicos e fertilizantes. Sua qualidade poderá ficar comprometida, particularmente devido à contaminação por agentes biológicos, caso não sejam tomadas medidas para sua proteção, associadas ao saneamento ambiental como um todo. A preservação dos mananciais subterrâneos depende, em essência, das práticas/atividades que são adotadas em superfície, uma vez que existem inúmeros sistemas de comunicação entre as águas superficiais e as águas subterrâneas. Merecem destaque especial as áreas de recarga de aquíferos, locais que favorecem a movimentação mais rápida de produtos poluentes até a zona saturada.

Além disso, o consumo de água superficial ocorre de forma pouco racional, com desperdícios que vão desde o sistema de captação, tratamento e distribuição até aquele praticado pelo próprio consumidor/usuário, o que traz ao administrador novos desafios na temática do abastecimento.

Buscando a uniformização da análise relativa aos municípios, a dependência das águas subterrâneas é definida, para a finalidade deste estudo, como a razão entre a utilização de recursos hídricos subterrâneos em um determinado município e a população neste município.

Para sua análise, dispõe-se de banco de dados público do IGAM – Instituto Mineiro de Gestão de Águas, acessado em 16/10/2008, com registros de processos de outorgas de usos de águas subterrâneas concedidas e sua localização geográfica.

A Constituição Federal de 1988 instituiu à União o domínio dos

*(...)lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais(...)*

Atribuiu ainda aos Estados o domínio de “(...)águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito(...). Os Estados utilizam o instrumento da outorga para a gestão dos recursos hídricos através de limitações de captação e procedimentos uniformemente adotados para a intervenção em cursos d’água. O avanço das ações de fiscalização e gestão de recursos hídricos é desigual nos vários estados do Brasil. Minas Gerais, São Paulo e Espírito Santo têm posições de destaque; Entretanto, Minas Gerais prima pela transparência ao publicar a relação de outorgados, sua localização e finalidade de uso concedida. Ressalte-se que a outorga não concede ao usuário a propriedade de água ou quaisquer direitos decorrentes de sua alienação, mas o simples direito de seu uso. Pode assim ser suspensa, parcial ou totalmente, “em casos extremos de escassez ou de não cumprimento pelo outorgado dos termos de outorga previstos

nas regulamentações, ou por necessidade premente de se atenderem os usos prioritários e de interesse coletivo”(IGAM, 2008).

#### **4.6.2 Geração diária de resíduos**

Conforme já se viu, são muitos variados os dados para a geração diária de resíduos sólidos em cada município. Ao mesmo tempo, é inegável o impacto que o tamanho das populações tem sobre os sítios de disposição de RSU, com o conseqüente aumento das necessidades operacionais e a redução da vida útil dos locais em função das quantidades depositadas diariamente. A ausência de processos de coleta seletiva e reciclagem também contribuem para a redução desta vida útil, obrigando os administradores a buscar novos locais; Para a finalidade deste estudo, adota-se a quantidade de 0,74 Kg/Hab./dia como a estimada para a geração de resíduos.

#### **4.6.3 Distância de Núcleos Populacionais**

Dada à insalubridade dos depósitos de RSU, a proximidade destes a núcleos urbanos pode resultar em graves riscos a saúde da população e em perda de qualidade ambiental. Essa proximidade afeta diretamente a qualidade de vida, uma vez que favorece a propagação de vetores de doenças. Considere-se também o risco de explosões a que os locais estão sujeitos, com o aumento de periculosidade destas áreas. Deve-se também lembrar que a proximidade de depósito de resíduos a núcleos urbanos favorece a atividade de catadores, com a fixação de núcleos familiares num clima constante de animosidade e disputas. Os instrumentos legais visam à eliminação de catadores sem o agravamento de conflitos e com a utilização de alternativas como as usinas de reciclagem, triagem e compostagem, instrumento que possibilita a organização dos catadores em cooperativas para essas atividades e que já apresenta resultados positivos em diversos municípios como Belo Horizonte, Nova Lima, Contagem, São João Del Rei e outros.

Adotou-se no presente trabalho a determinação constante na DN COPAM 118/2008, de que a localização de depósitos de RSU deva acontecer em a uma distância mínima de 500 metros dos núcleos populacionais, visando o estabelecimento de uma área de isolamento que o tráfego de vetores como moscas e pequenos roedores. Buscam-se também prevenir os riscos de deslizamento e escorregamento de resíduos sobre residências e áreas agriculturáveis.

#### **4.6.4 Unidades de Conservação**

As Unidades de Conservação se caracterizam por serem espaços territoriais delimitados e seus componentes, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes,

legalmente instituídos pelo Poder Público para a proteção da natureza, com objetivos e limites definidos, sob regime específico de administração, ao qual se aplicam adequadas garantias de proteção (IBAMA, 2008). De acordo com o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 4771/65) e com as Resoluções do CONAMA nº 302 e 303/02 é proibida a ocupação em Unidades de Conservação. Portanto, a instalação de lixões em unidades de conservação é considerada, no universo deste trabalho, como extremamente irregular. Visto que a instalação de depósitos de RSU resulta em impactos negativos ao meio ambiente, seria algo no mínimo controverso instalar depósitos de RSU em áreas que se pretende legalmente conservar ou preservar. Os riscos de se introduzirem estes depósitos em unidades de conservação estão afeitos principalmente ao meio ambiente, seja pela fauna característica atraída e a competição com espécies nativas ou pela introdução de endemias e vetores.

### **5 Resultados preliminares**

Após a definição dos planos de informação, denominados de Declividade, Distância de Cursos D'água e de Núcleos Populacionais, Interferência das áreas com Unidades de Conservação, Geração de resíduos diária no município, Permeabilidade de solos, Vulnerabilidade de aquíferos, Dependência das águas subterrâneas (dividida em usos urbanos e não urbanos, como se verá) e precipitações nos locais de disposição de RSU, passou-se à etapa de construção e homogeneização de dados em cada plano de informação, obtendo-se os resultados ainda preliminares apresentados nos itens 5.1 a 5.8.

#### **5.1 Declividade nos lixões**

Para a aferição da declividade das áreas em que se encontram os lixões, foram utilizados dados adquiridos através do sensor orbital SRTM, com resolução espacial de 90 m. O mapa de declividade foi gerado a partir dos dados altimétricos. As classes de declividades foram estabelecidas nos seguintes intervalos: Menor ou igual a 30 % ; e Superior a 30 %. Tais intervalos foram escolhidos com base no que é definido pela normatização para o local de disposição de RSU. Para a declividade foi utilizado o interpolador TIN dos valores altimétricos das curvas de nível. Esse interpolador gera uma superfície formada por triângulos irregulares com base no critério de Delaunay. A declividade, em porcentagem, é calculada com base na inclinação da face de cada um dos triângulos da rede TIN. Com o objetivo de se obter um quadro mais preciso da situação da área, foram analisados o pixel do local do lixão e seus nove vizinhos imediatos, que revelem também a tendência da declividade.

O dado referente à declividade de cada local de disposição de RSU foi atribuído ao município, nos intervalos indicados anteriormente. Assim obteve-se Tabela que indica quais municípios que têm seus lixões em áreas de declividade inferior a 30 %, consideradas, adequadas, e os demais, considerados inadequados. O mapa na Figura 8 revela os resultados de declividade dos municípios com lixões em estudo.

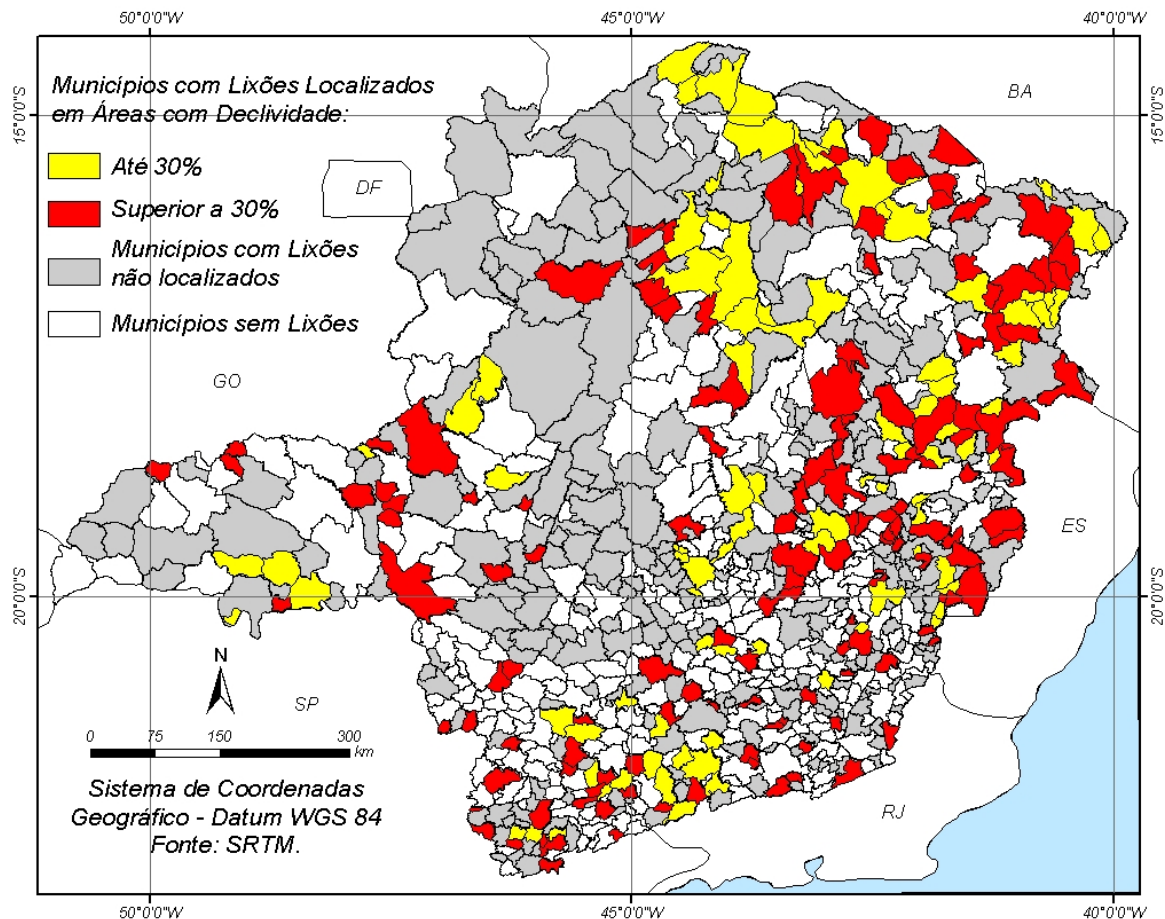


Figura 8. Declividade nos locais de disposição de resíduos, por município

Verifica-se que dos lixões em estudo 58 % se encontram localizados em áreas inadequadas em relação à declividade do terreno. Vale dizer que no estado de Minas Gerais muitas áreas estão sujeitas a acentuados processos erosivos e escoamento superficial de chorume, ocasionados pela implantação de lixões.

## 5.2 Distância de Cursos D'água

Para identificar a distância mínima dos os lixões aos cursos d'água foram utilizadas as bases de hidrografia fornecidas pelo IBGE, que apresentam a coleção hídrica de todo o estado de Minas Gerais, dividida pelas séries cartográficas estabelecidas pelo IBGE. Inicialmente, identificaram-se quais cartas do IBGE continham os lixões de estudo. Para essas cartas, foi

gerada uma envoltória de 300 metros, através da ferramenta “Buffer”. Em seguida todos os arquivos de buffers gerados foram unidos a um único arquivo. A seguir, foram selecionados todos os lixões que se sobrepunham à área contida na envoltória de 300 metros da coleção hídrica. Em seguida, foi adicionada mais uma coluna na Tabela de atributos para a inserção de dados referentes à distância de coleções hídricas. Para todos os lixões selecionados na etapa anterior, foi inserida a informação de “distância até 300 metros de coleção hídrica”, e para os demais lixões foi inserida a informação de “distância superior a 300 metros de coleção hídrica”. A Figura 9 sintetiza o resultado dos procedimentos.

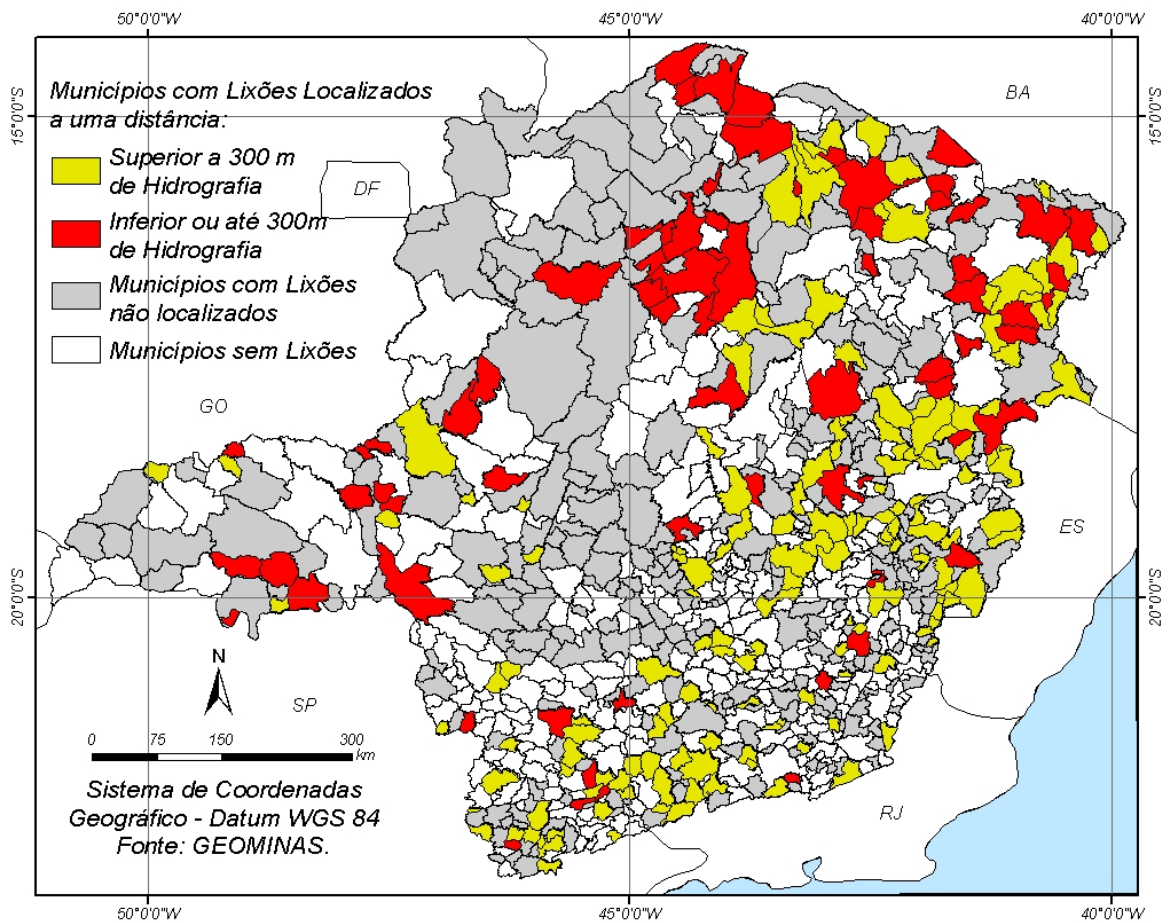


Figura 9. Distância de lixões a cursos d'água, por município

Verifica-se que a 156 dos 230 municípios mineiros pesquisados possui seus lixões em áreas localizadas a menos de 300 metros dos cursos d'água. Isso significa dizer que diversos cursos d'água do estado apresentam-se em uma situação vulnerável a contaminação, com o conseqüente o risco à saúde e ao meio ambiente nessas áreas.



### 5.3 Permeabilidade e Tipologia de Aquíferos

O Estado de Minas Gerais mantém consideráveis informações pertinentes à gestão de recursos hídricos subterrâneos, bem como das tipologias de solo distribuídas pelo território, além de informações sobre as tipologias de aquíferos desde a implantação do sistema de concessão de outorga para uso de água, a partir dos anos 90. Existem regiões no estado de alto potencial hídrico subterrâneo, em cenários muitas vezes combinados com déficit hídrico superficial. Para a análise de dados referentes à permeabilidade, utilizaram-se as bases de dados disponíveis no SIG GEOMINAS, que descrevem, a nível exploratório, a distribuição das manchas de solo pelo Estado de Minas Gerais, sob a responsabilidade técnica da Emater – MG, dividindo o estado nas seguintes tipologias de solos:

1. Afloramento De Rocha
2. Afloramento Rochoso
3. Areia Quartzosa
4. Brunizem Avermelhado
5. Cambissolo
6. Glei Humico
7. Latossolo Amarelo
8. Latossolo Ferrífero
9. Latossolo Roxo
10. Latossolo Roxov
11. Latossolo Una
12. Latossolo Vermelho-Amarelo
13. Latossolo Vermelho-Escuro
14. Litossolo
15. Planossolo
16. Podzolico
17. Podzolico Amarelo
18. Podzolico Vermelho-Amarelo
19. Podzolico Vermelho-Escuro
20. Represa
21. Solos Aluviais
22. Terra Roxa

Estas tipologias foram agrupadas e reclassificadas conforme os teores de areia e argila presentes em cada uma, porém levando-se em conta outras características, mas sempre

visando à análise da permeabilidade em cada uma e seu enquadramento na metodologia proposta, conforme indicado na Tabela 13.

Tabela 13. Tipologia de solos e permeabilidade

Tipologia de Solo	Classificação de permeabilidade
Quartzo Arenítico, Neossolo Flúvico	Permeabilidade Alta
Latossolo, Neossolo Litólico	Permeabilidade Média a Alta
Afloramento Rochoso, Cambissolo	Permeabilidade Média
Podzólico	Permeabilidade Média a Baixa
Brunizem Avermelhado, Planossolo, Glei Húmico	Permeabilidade Baixa

Fonte: Compilação do autor (2008).

A Figura 10 indica o resultado para os municípios analisados.

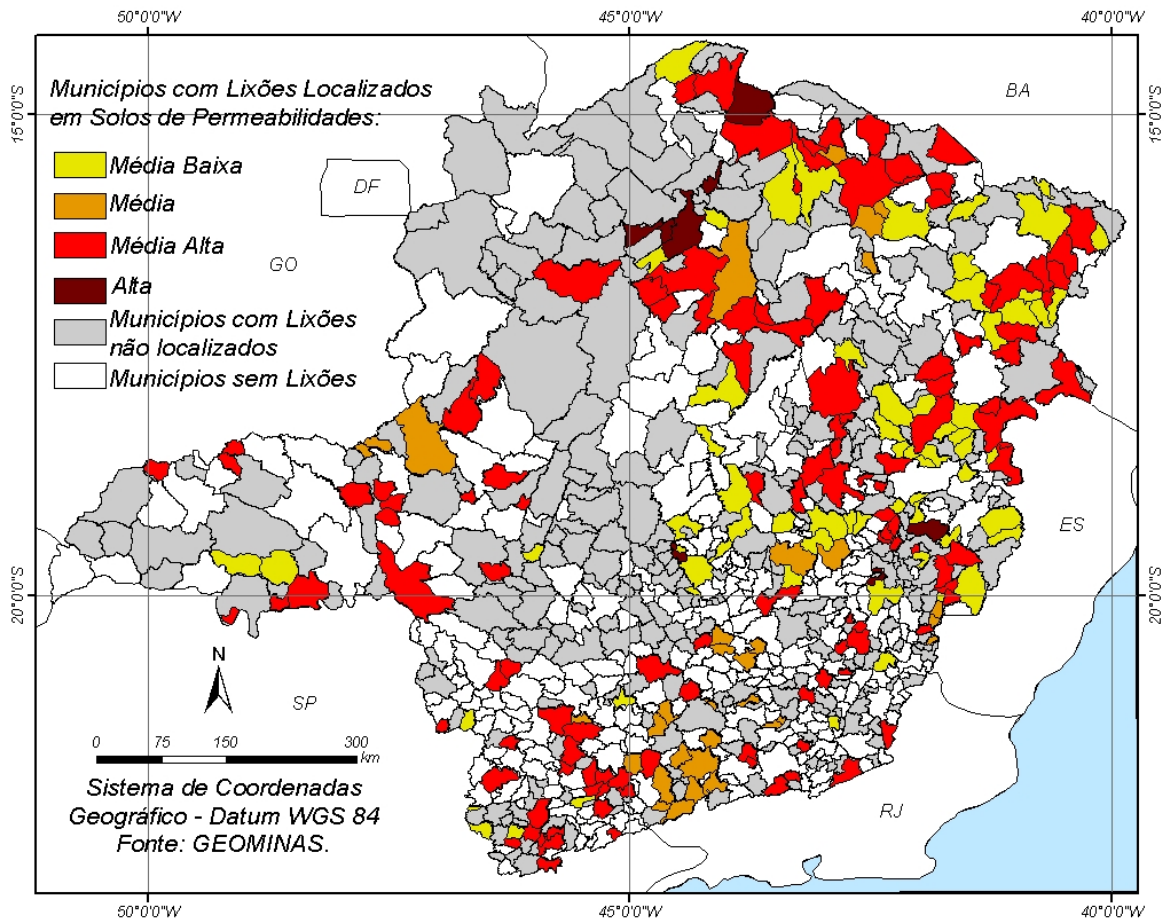


Figura 10. Permeabilidade de solos em Minas Gerais

Verifica-se que dos 230 municípios analisados, 124 caracterizam-se como de alta permeabilidade.

Para os aquíferos foram utilizadas bases de dados conforme a Publicação Disponibilidades Hídricas Subterrâneas no Estado de Minas Gerais (COPASA/Hidrossistemas, 1995), que classifica os aquíferos numa divisão territorial de dez sistemas:

- a. Sistema Aluvial
- b. Sistema de Cobertura Detrítica
- c. Sistema Arenítico
- d. Sistema Carbonático
- e. Sistema Pelítico-Carbonático
- f. Sistema Basáltico
- g. Sistema Pelítico
- h. Sistema Quartzítico
- i. Sistema Xistoso
- j. Sistema Gnássico-Granítico

O mapa disponível na publicação foi digitalizado conforme indicado na figura 11.

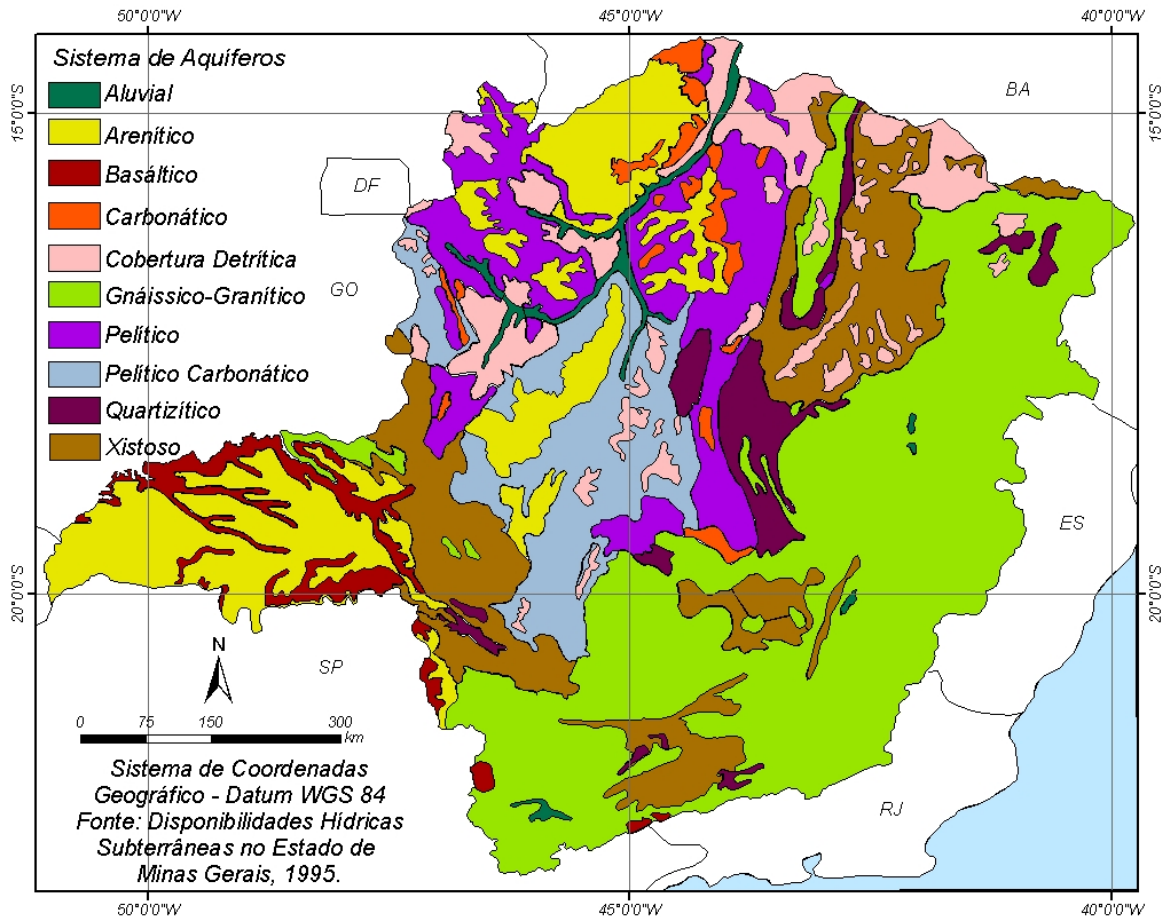


Figura 11. Sistemas aquíferos de Minas Gerais

A discussão de cada um destes sistemas e suas características individuais foge ao escopo deste trabalho. Ainda assim, sabe-se que as trocas entre águas superficiais e subterrâneas ocorrem de forma bastante distinta dentro de um mesmo aquífero, dependendo (op.cit.) *do tipo de conexão hidráulica prevalente em cada local, do alcance espacial e das condições de*

*profundidade dos fluxos inferiores, da capacidade de transmissão e armazenamento das rochas e, principalmente, da disposição da rede de drenagem.* O autor chama ainda atenção para a pequena correspondência, em algumas regiões, das disponibilidades subterrâneas e seus correspondentes deflúvios superficiais. Entretanto, como hipótese simplificadora, e visando a homogeneização do processo de obtenção de dados, buscou-se analisar para a caracterização das áreas dos lixões a possibilidade de contaminação de aquíferos, estabelecida uma condição ou taxa de percolação definida pela natureza predominante em relação a fatores de recarga, redividindo-se estas tipologias, pelas suas características gerais, em aquíferos confinados, semi-confinados ou livres, conforme indicado na Tabela 14.

Tabela 14. Aquíferos e características gerais

Tipologia de Aquífero	Característica Geral
Arenítico, Carbonático	Aquífero Confinado
Gnássico – Granítico	Aquíferos Semiconfinados / cobertos
Aluvial, Basáltico, Cobertura Detrítica, Pelítico, Pelítico Carbonático, Cobertura Detrítica, Xistoso	Aquíferos Livres

Fonte: Compilação do autor (2008).

Verifica-se que dos 230 municípios analisados, 24 classificam-se como áreas de alta probabilidade de contaminação, prejudicial à existência de lixões.

#### 5.4 Vazões críticas devido às precipitações nos locais

Os dados provenientes do sistema Plúvio 2.1 foram extraídos para os 230 municípios do universo de análise do presente trabalho e tabulados em formato \*.xls, para a sua avaliação por município da área de estudo. A Tabela foi georreferenciada a partir da base existente de lixões. Para análise de um índice de precipitação para cada município, foi adotado o valor de cinco minutos para o tempo de duração de chuva. Justifica-se esse valor como aquele mínimo necessário para gerar escoamento superficial, com o conseqüente deslocamento de partículas de resíduos aos cursos d'água, caracterizando a ocorrência de contaminação. Foi adotado o período de 25 anos para o tempo de recorrência adotado para a análise, valor consagrado no dimensionamento de obras civis de drenagem de responsabilidade equivalente às exigidas para a instalação de eventuais sistemas de drenagem nos locais de disposição de RSU. As faixas encontradas foram reclassificadas para baixa, baixa a média, média, média a alta e alta precipitação, através do agrupamento em classes dos valores encontrados, que variam de 130 a 363 mm de precipitação; Os resultados encontram-se mapeados na Figura 12.

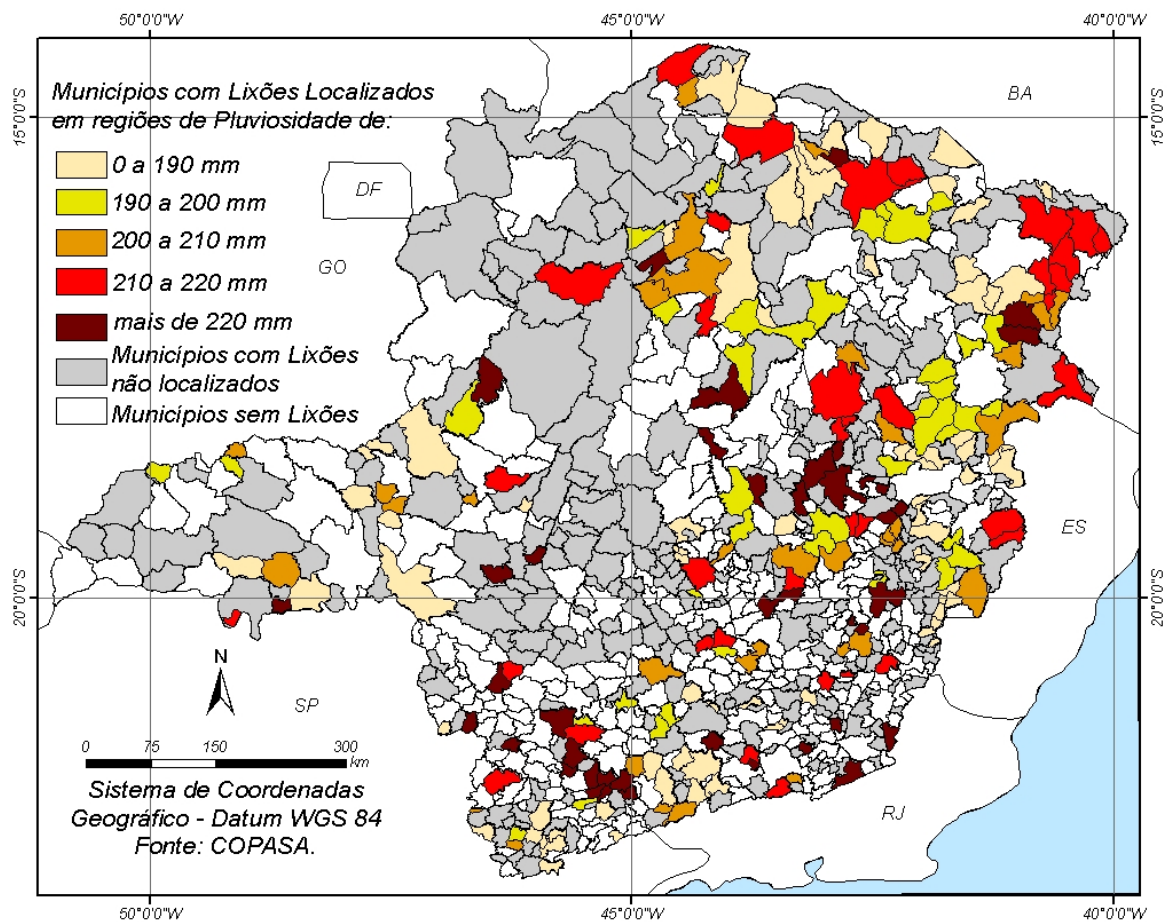


Figura 12. Precipitações máximas em municípios com lixões em MG

Por se tratar de evento natural de distribuição altamente aleatória, optou-se por dividir os municípios em faixas segundo o método “Equal Count”, que divide o conjunto com o mesmo (ou mais próximo) número de integrantes em cada faixa.

### 5.5 Distância de Núcleos Populacionais

Para a aferição dos dados disponíveis de distância de núcleos populacionais, foram utilizados dados de sensor MODIS, com unidade de informação (pixel) de 250 metros. Os dados foram originalmente levantados para o projeto Geo-Schisto, parceria entre o IGC-UFMG, o INPE, a FioCruz, a Secretaria de Estado de Saúde e o Ministério da Saúde (2007). O projeto utilizou os dados de sensor para mapear as zonas urbanas; Além disso, foi efetuada a compatibilização com a base de distritos municipais, com o acréscimo daqueles com área inferior a 250 m<sup>2</sup>, sob a forma de um pixel de 250 m de lado. Para estas informações, foi criado buffer de 500 m, mínimo previsto em norma para a localização dos lixões, e analisada a interferência dos lixões localizados, conforme mostrado na Figura 13.

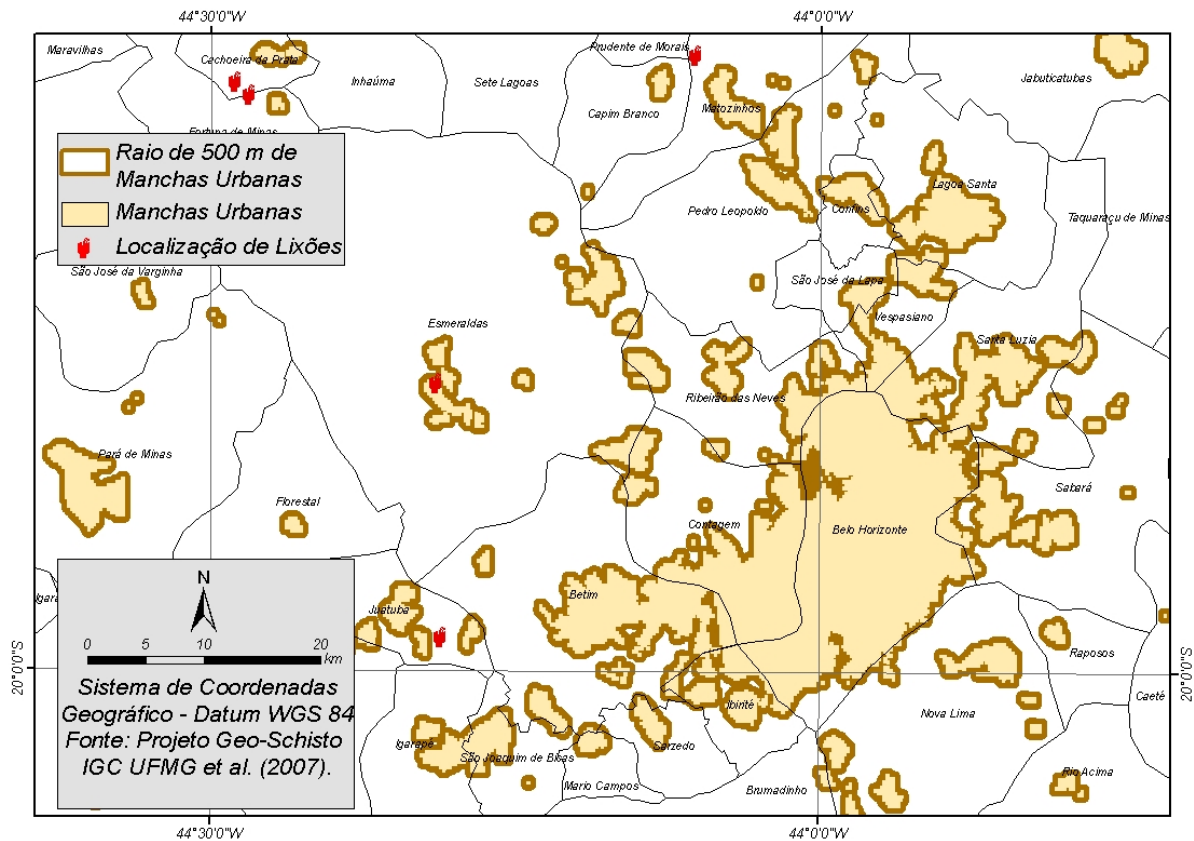


Figura 13. Criação de Buffer para aferição de distância de núcleos urbanos a áreas de disposição de RSU

Para obtenção de um resultado mais detalhado optou-se por definir alguns intervalos de distâncias e identificar os lixões localizados em cada intervalo. Os intervalos definidos foram:

- Lixões localizados nos núcleos urbanos,
- Lixões localizados até 100 metros de distância dos núcleos urbanos,
- Lixões localizados de 100 metros a 300 metros de distância dos núcleos urbanos,
- Lixões localizados de 300 metros a 500 metros de distância dos núcleos urbanos,
- Lixões localizados com distância superior a 500 metros dos núcleos urbanos.

Para identificar os lixões que se localizam em cada intervalo definido, foram gerados raios de distâncias dos núcleos urbanos, através da ferramenta “buffer”, os raios foram de 100, 300 e 500 metros. Em seguida todos os arquivos de buffers gerados foram sobrepostos um aos outros em ordem crescente para obtenção do resultado de distância de núcleos urbanos. A seguir, foram selecionados todos os lixões que sobrepõem a cada intervalo de distância de núcleos urbanos definido. A informação de distância do núcleo urbano de cada lixão foi transferida ao respectivo município. O mapa na Figura 14 mostra os resultados obtidos.

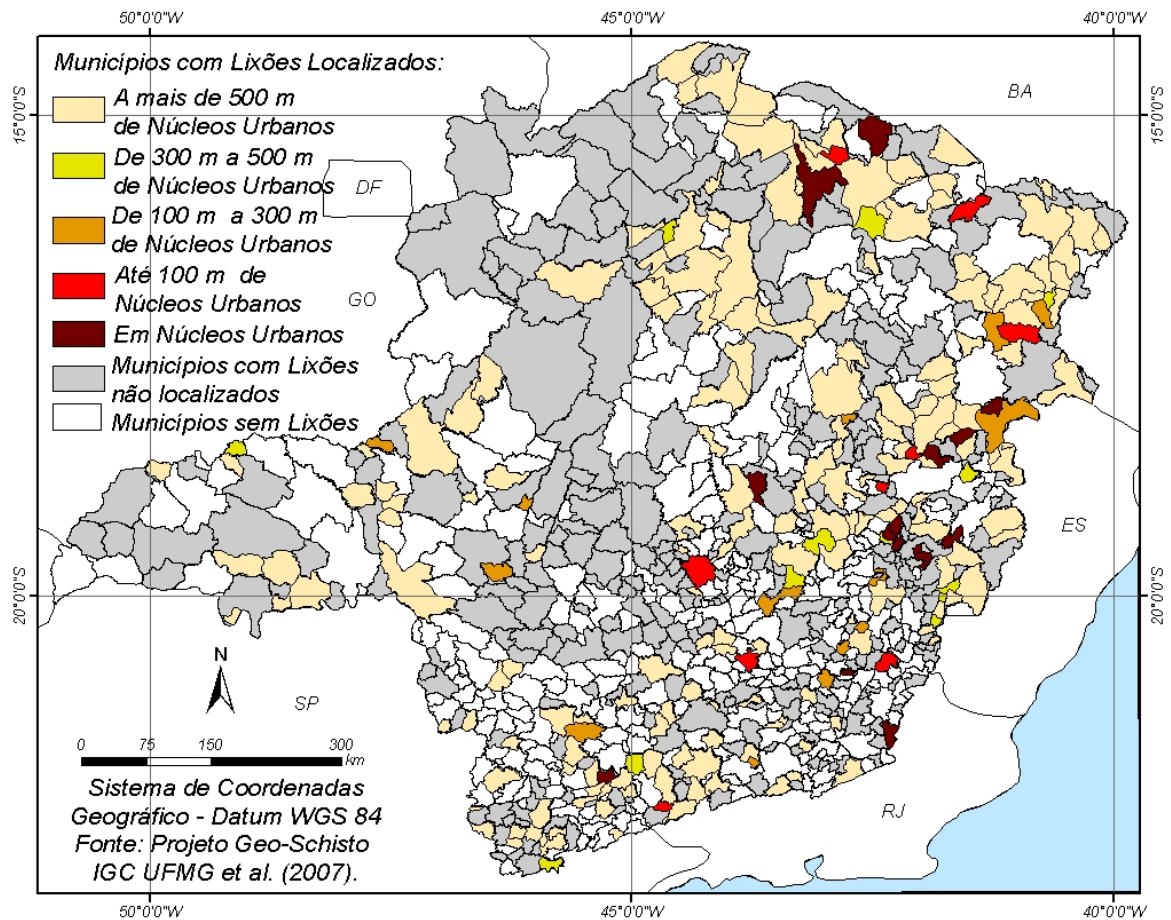


Figura 14. Distância de núcleos urbanos a áreas de disposição em RSU

A análise dos dados revelou que 38 dos 230 municípios dispõem seus resíduos a uma distância inferior a 500 m de distância de núcleos populacionais; Destes, dez dispõem seus resíduos em mancha urbana, situação de extrema gravidade do ponto de vista sanitário e ambiental. Ainda assim, a maioria dos lixões pesquisados apresenta localizações favoráveis ao isolamento em relação a áreas urbanas, apresentando-se a uma distância superior a 500 metros destas.

### 5.6 Unidades de Conservação

Adotou-se para a verificação de interferências a Base de dados do Instituto Estadual de Florestas IEF 2000, com a indicação de 224 unidades de conservação (Parques Estaduais, municipais e federais, Estações Ecológicas, Reservas Particulares de Patrimônio Natural e Reservas Indígenas) no estado de Minas Gerais. Foi efetuado então o cruzamento com a base de localização dos lixões e identificadas as interferências, conforme indicado na figura 15.

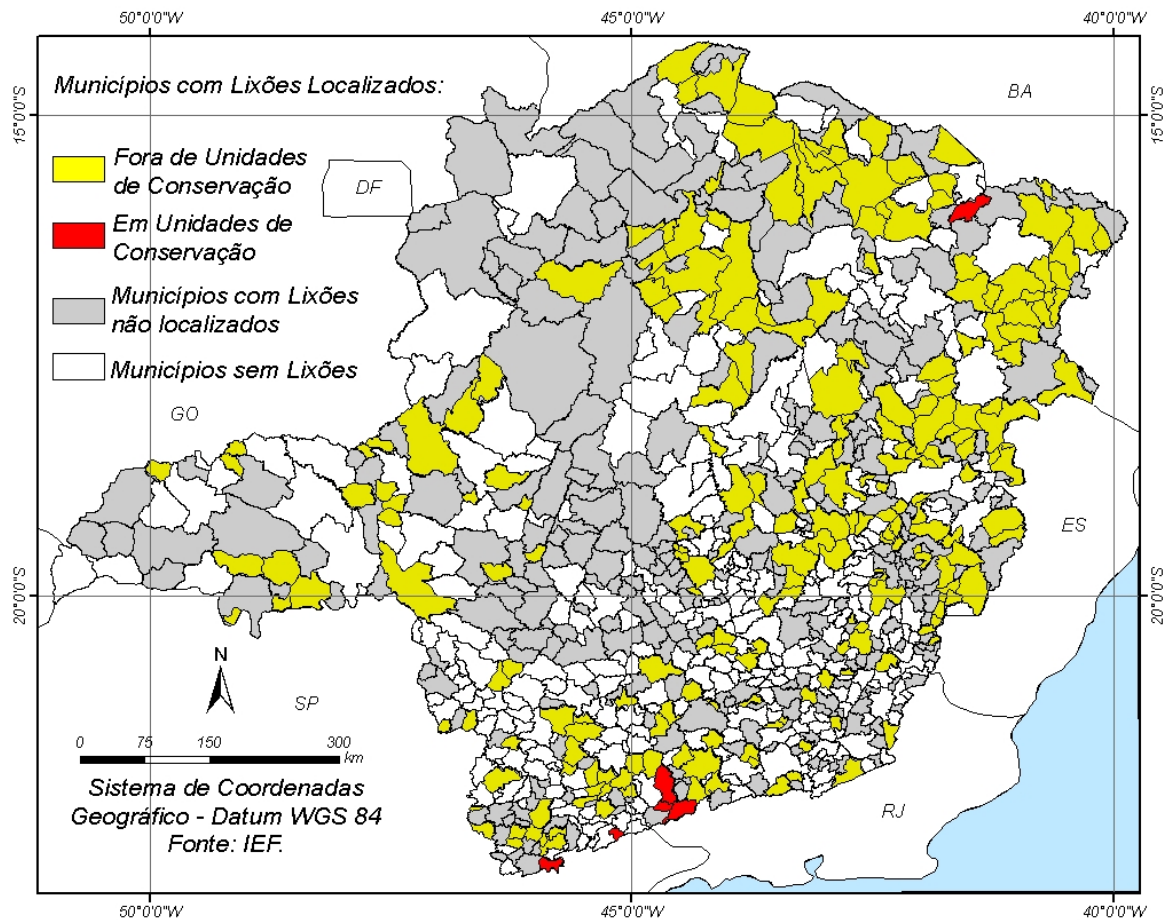


Figura 15. Municípios cujos lixões interferem com unidades de conservação

O dados indicam que seis dos 230 municípios dispõem seus resíduos em áreas que interferem com unidades de conservação, situação das mais inadequadas do ponto de vista de gestão de resíduos e ambiental.

### 5.7 Geração diária de resíduos

Dados populacionais (IBGE, 2000) foram utilizados para se estabelecer a geração de resíduos em cada município. Considerou-se apenas a população urbana, uma vez que a população rural na maioria das vezes dispõe seus resíduos de forma disseminada e descontrolada. Os dados obtidos permitiram a divisão dos municípios integrantes da análise em faixas conforme os portes adotados pela legislação para o licenciamento, com os resultados apresentados na Figura 16.



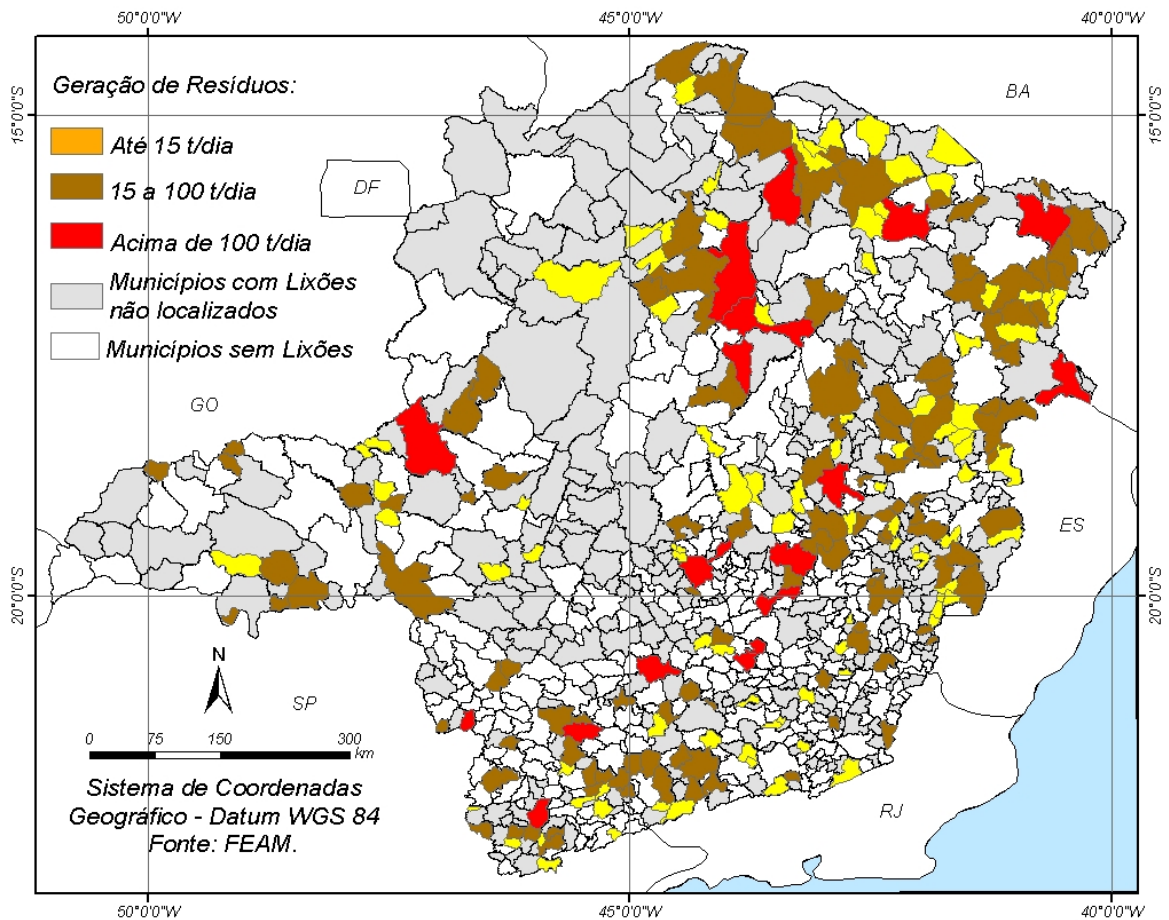


Figura 16. Classificação de porte de Municípios conforme a geração diária de RSU

Verifica-se de 18 dos 230 municípios analisados classificam-se como de grande porte, com maior probabilidade de dano ambiental.

### 5.8 Usos de recursos hídricos subterrâneos

A base de dados do IGAM, referentes a 7.839 processos de outorga de usos subterrâneos regulares e aprovados, encontra-se em metros cúbicos por hora por ponto de captação, e originalmente está dividida nas seguintes categorias: Abastecimento público, aquicultura, consumo agroindustrial, desassoreamento ou limpeza/dessedentação de animais, extração mineral, irrigação e lavagem de veículos. Os dados foram georreferenciados, com a criação de SIG específico, conforme indicado na figura 17.

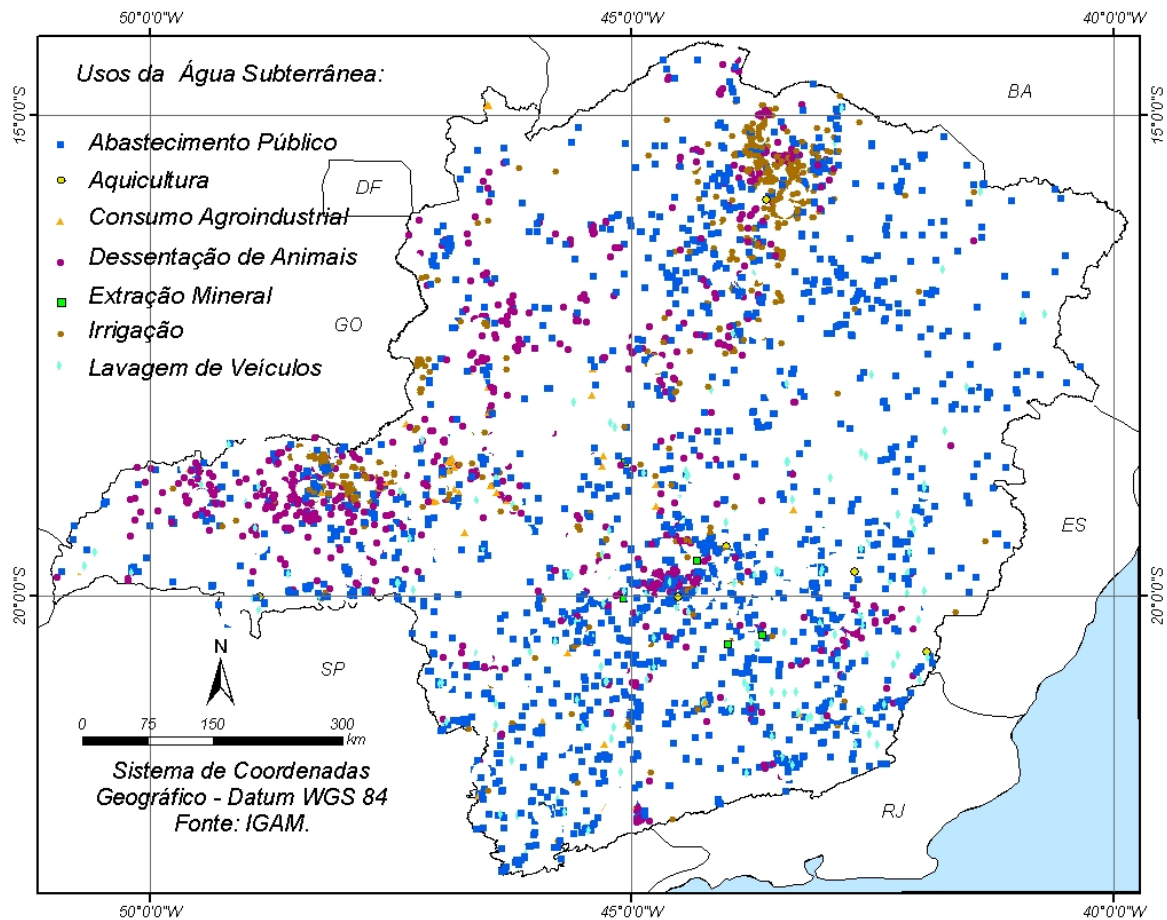


Figura 17. Outorgas subterrâneas no estado de Minas Gerais (IGAM, 2008)

Os dados foram sintetizados por município para a sua comparação com os dados populacionais. Além disso, os dados fornecidos foram agrupados em usos urbanos, aí incluídos o abastecimento público, consumo humano, consumo industrial e lavagem de veículos e não urbanos, compreendendo a aquicultura, o consumo agroindustrial e os usos para irrigação. Os agrupamentos levaram em consideração que embora a contaminação de águas subterrâneas de usos urbanos seja mais danosa, pelos riscos impostos à capacidade de abastecimento, os usos não urbanos estão sujeitos também a impactos, estes de ordem econômica. Já para a avaliação do consumo diário per capita, adotaram-se os seguintes critérios:

Tempo de bombeamento – As outorgas são concedidas buscando preservar a integridade e a capacidade de recarga de aquíferos, admitindo-se o bombeamento ininterrupto apenas em determinadas situações, como nos rebaixamentos de lençol necessários à mineração. De um modo geral as outorgas são concedidas para um período diário máximo de bombeamento. Adota-se neste estudo o tempo padrão adotado pelo IGAM, que é de no máximo seis horas por dia.

Consumo per capita para usos urbanos – Foi obtido pela divisão do total outorgado, nas modalidades citadas, pela população urbana do município, diretamente sujeita ao risco de contaminação de seus aquíferos, e expresso em litros/habitante x dia;

Consumo per capita para usos não urbanos – Foi obtido pela divisão do total outorgado, nas modalidades citadas, pela população total do município, indiretamente sujeita ao impacto econômico do risco de contaminação de seus aquíferos, e expresso em litros/habitante x dia.

A OMS assume que 75 litros por dia é o consumo mínimo necessário para a proteção contra doenças. e 50 litros por dia o consumo mínimo para o saneamento básico familiar. Entretanto regiões da África se mantêm com 4 litros por dia por pessoa, enquanto um residente típico da Califórnia gasta cerca de 500 litros por dia. A média atualmente aceita para as populações urbanas é de cerca de 250 litros por dia por pessoa. Assim, os dados foram classificados como se segue:

- Consumo de 0 a 4 litros/hab. x dia – indica uma utilização de água subterrânea que nos níveis atuais por si só seria insuficiente para a garantia mínima necessária à subsistência de populações. Os riscos às populações de eventual contaminação são baixos;
- Consumo de 4 a 50 litros/hab. x dia – indica uma utilização suficiente para o saneamento básico. Os riscos de contaminação são médios a baixos;
- Consumo de 50 a 75 litros/hab. x dia - indica uma utilização de recursos suficientes para a proteção contra doenças. Os riscos de contaminação são médios;
- Consumo de 75 a 250 litros/hab. x dia – indica uma utilização de recursos até a média de consumo urbano. Os riscos de contaminação são de médios a altos; e finalmente
- Consumo acima de 250 litros/hab. x dia – indica uma utilização acima da média urbana. OS riscos de contaminação são altos.

A classificação foi aplicada à base de 230 municípios estudados, com os resultados para os consumos urbanos e não urbanos expressos nas figuras 18 e 19 a seguir.

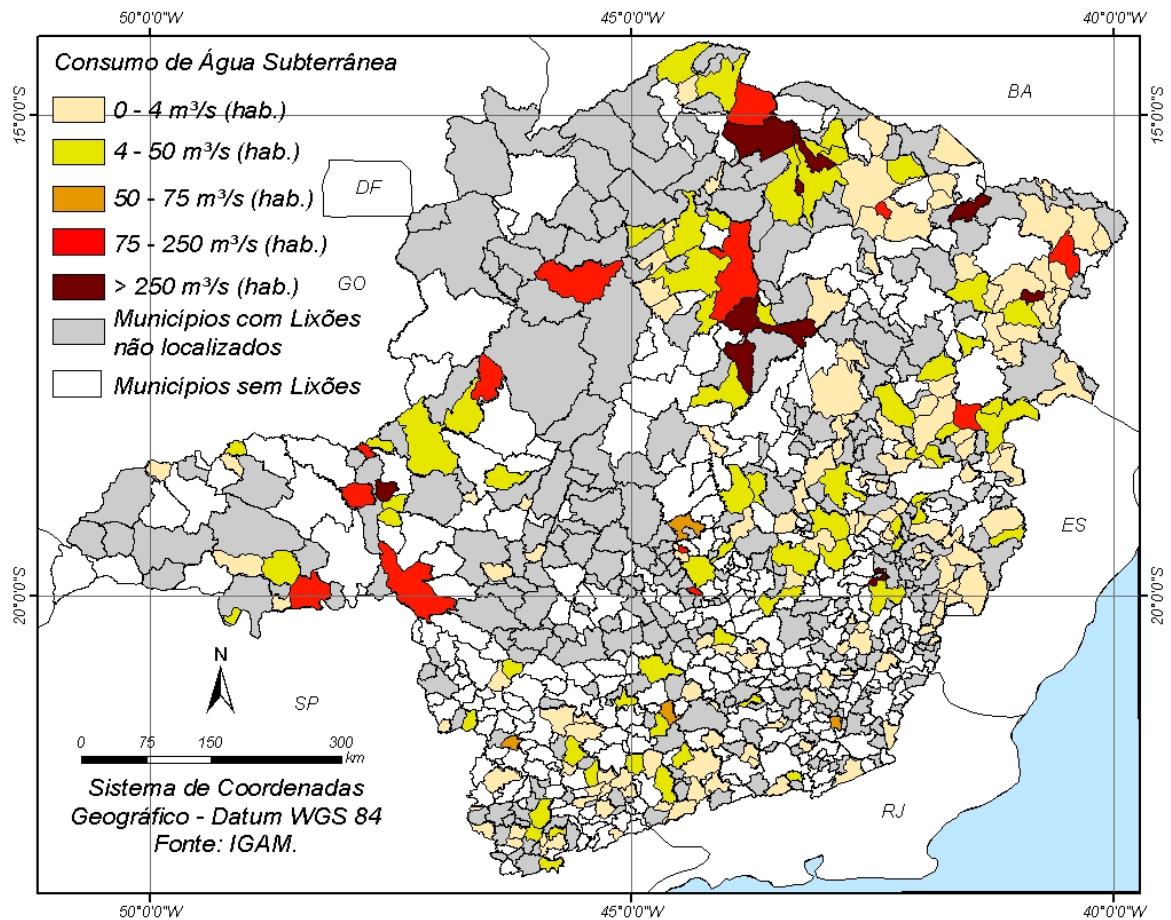


Figura 18. Classificação de municípios conforme consumo de água subterrânea – usos urbanos

Verifica-se que 24 dos 230 municípios analisados apresentam alto índice de consumo de água subterrânea para usos urbanos.

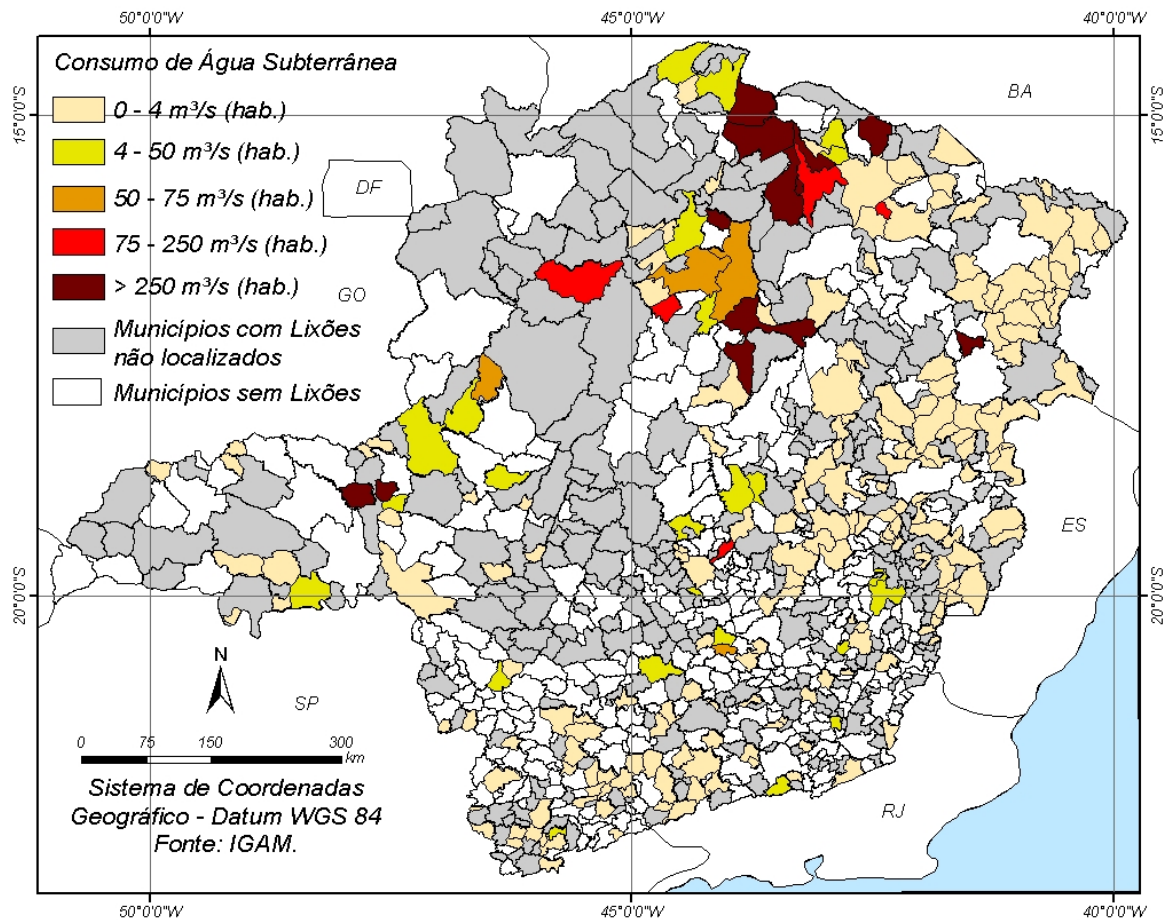


Figura 19. Classificação de municípios conforme consumo de água subterrânea – usos não urbanos

Verifica-se que 33 dos 230 municípios analisados apresentam alto índice de consumo de água subterrânea para usos não-urbanos.

### 5.9 Integração dos Planos de Informação

Os planos de informação gerados anteriormente foram unificados em tabela de aspectos, contendo a divisão em classes destes aspectos e efetuado o enquadramento das variáveis de escala nominal presentes em ordem crescente ou decrescente de possibilidades de associação com o risco apresentado pelos locais de disposição de RSU. A Tabela 15 apresenta as classes obtidas, bem como os pesos e notas atribuídos a cada plano de informação considerado.

Tabela 15. Classificação e atribuição de pesos e notas aos planos de informação

Classificação	Peso	Classificação	Peso	Informação	Fonte	Peso	Classes	Notas
<b>Fatores Naturais</b>	40%	<b>Fatores Topográficos e Geológicos</b>	60%	Distância de Coleções Hídricas	GEOMINAS	50%	até 300 m de distância	0
				Declividade	SRTM	25%	acima de 300 m de distância	10
				Tipos de Aquíferos	COPASA	25%	Acima de 30 % de declividade	0
							Até 30 % de declividade	10
							Aquíferos Confinados	1
							Aquíferos Semiconfinados / cobertos	5
		<b>Fatores hidroclimáticos</b>	40%	Pluviosidade - chuvas intensas	COPASA / UFV	40%	Aquíferos Livres	10
							220-1160 mm	0
							210-220 mm	2
							200-210 mm	4
							190-200 mm	6
							130-190 mm	10
				Permeabilidade dos solos	GEOMINAS	60%	Permeabilidade Alta	0
							Permeabilidade Média a Alta	2
							Permeabilidade Média	5
Permeabilidade Média a Baixa	8							
Permeabilidade Baixa	10							
<b>Fatores Antrópicos</b>	60%	<b>Fatores Locacionais</b>	30%	Distância de núcleos populacionais	UFMG / MODIS	70%	Lixão localizado em núcleos urbanos	0
							Lixão localizado até 100 m de distância de núcleos urbanos	0
							Lixão localizado de 100 a 300 m de distância de núcleos urbanos	0
							Lixão localizado de 300 a 500 m de distância de núcleos urbanos	3
							Lixão localizado acima de 500 m de distância de núcleos urbanos	10
				Unidades de conservação	IEF	30%	Lixão localizado em UC	0
		<b>Fatores dinâmicos</b>	70%	Dependência de água subterrânea - usos urbanos	IGAM	30%	Lixão localizado fora de UC	10
							> 250 litros/hab x dia	0
							75 a 250 litros/hab x dia	2
							50 a 75 litros/hab x dia	4
							4a 50 litros/hab x dia	6
							0 a 4 litros/hab x dia	8
				Dependência de água subterrânea - usos não - urbanos	IGAM	10%	> 250 litros/hab x dia	0
							75 a 250 litros/hab x dia	2
							50 a 75 litros/hab x dia	4
							4a 50 litros/hab x dia	6
							0 a 4 litros/hab x dia	8
							Geração diária de resíduos	IBGE
Médio 15 a 100 t/dia	5							
Pequeno < 15 t/dia	9							

Fonte: Compilação do autor (2008).

### 5.9.1 Pré-Processamento

A partir das informações mapeadas, foram gerados planos de informação em estrutura matricial, no formato de um mapa *raster*. Estes mapas *raster* foram utilizados como dados de entrada no sistema Vista SAGA em seu módulo Análise Ambiental, que por sua vez agrega três funções básicas: Assinatura (usada para definir as características e a planimetria de área(s) delimitada(s) pelo usuário), Monitoria (permite definir e calcular as áreas alteradas e o destino dado a elas, pois esta função permite que se trabalhe com registros sucessivos de fenômenos ambientais através de mapeamentos em épocas distintas) e Avaliação Ambiental (que faz uso da superposição de mapas, aos quais são dados pesos e também notas, para cada tipo de legenda, de acordo com sua menor ou maior importância na avaliação de riscos e potenciais ambientais). O valor de pixel utilizado na geração de todas estas imagens foi de 800 metros, considerado suficiente uma vez que se transfere para o mapeamento características gerais dos municípios para que se faça a avaliação integrada dos dados, ao mesmo tempo em que preserva o rigor das informações obtidas, todas elas com valores de pixel inferiores a 800 m.

### 5.9.2 Árvore de Decisão

Para a formulação da análise, foi elaborada uma árvore de decisão, com a aplicação do Método Delphi para a obtenção dos pesos e notas de cada variável. Este método baseia-se na escolha de um grupo multidisciplinar de especialistas, que conheçam bem o fenômeno e melhor ainda se conhecerem bem a realidade espacial onde ele se localiza. A esses especialistas é solicitado que hierarquizem ou coloquem as variáveis (ou planos de informação) em ordem de importância para a manifestação ou ocorrência de fenômeno estudado. Assim, a árvore de decisão foi utilizada como um instrumento de análise da importância relativa de parâmetros usados na sua construção e visando o objetivo de categorizar os lixões numa ordem hierárquica de seu dano ambiental. Optou-se pelo agrupamento de planos de informação conforme as suas afinidades funcionais.

A figura 20 sintetiza a Árvore de decisões obtida.

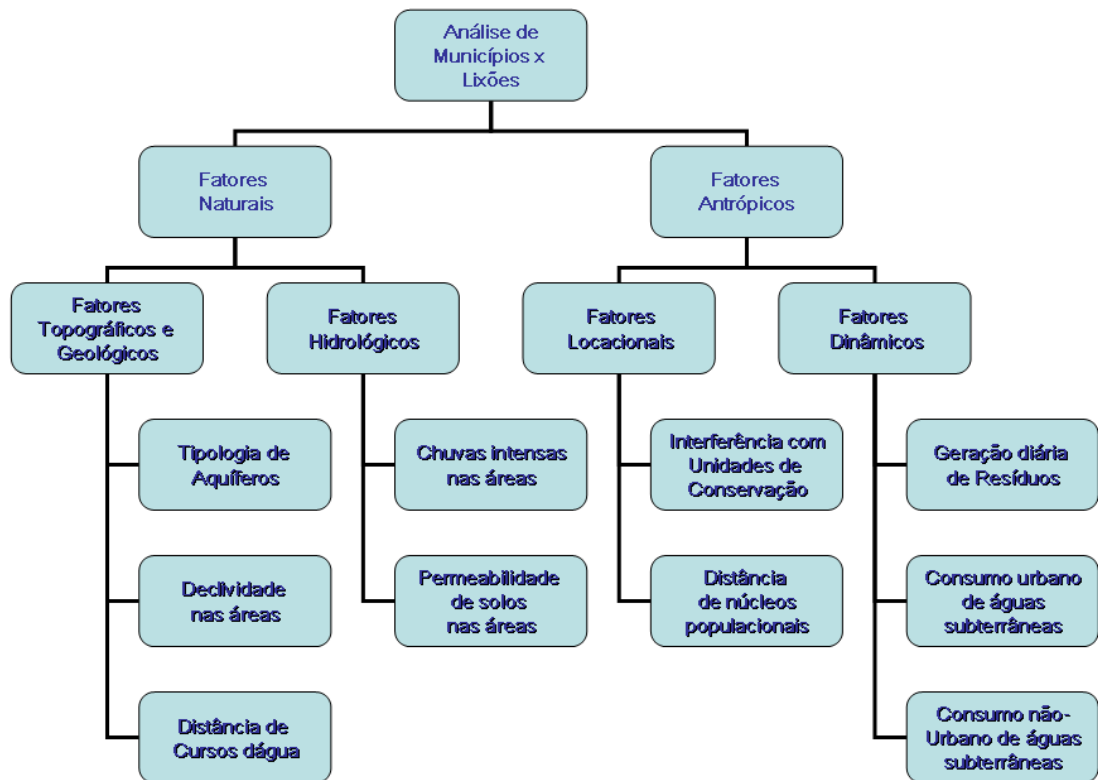


Figura 20. Árvore de decisões adotada

Os fatores naturais foram agrupados como se segue:

Fatores Topográficos e geológicos – reúnem os dados referentes à tipologia de aquíferos, declividade e distância de cursos d’água, relacionados com a geomorfologia dos sítios. Para estes fatores, adotou-se o cruzamento atribuindo-se pesos de 50 % para a distância de cursos d’água, considerada preponderante sobre as demais, às quais foram atribuídos pesos de 25 %. O mapa resultante se encontra na Figura 21.



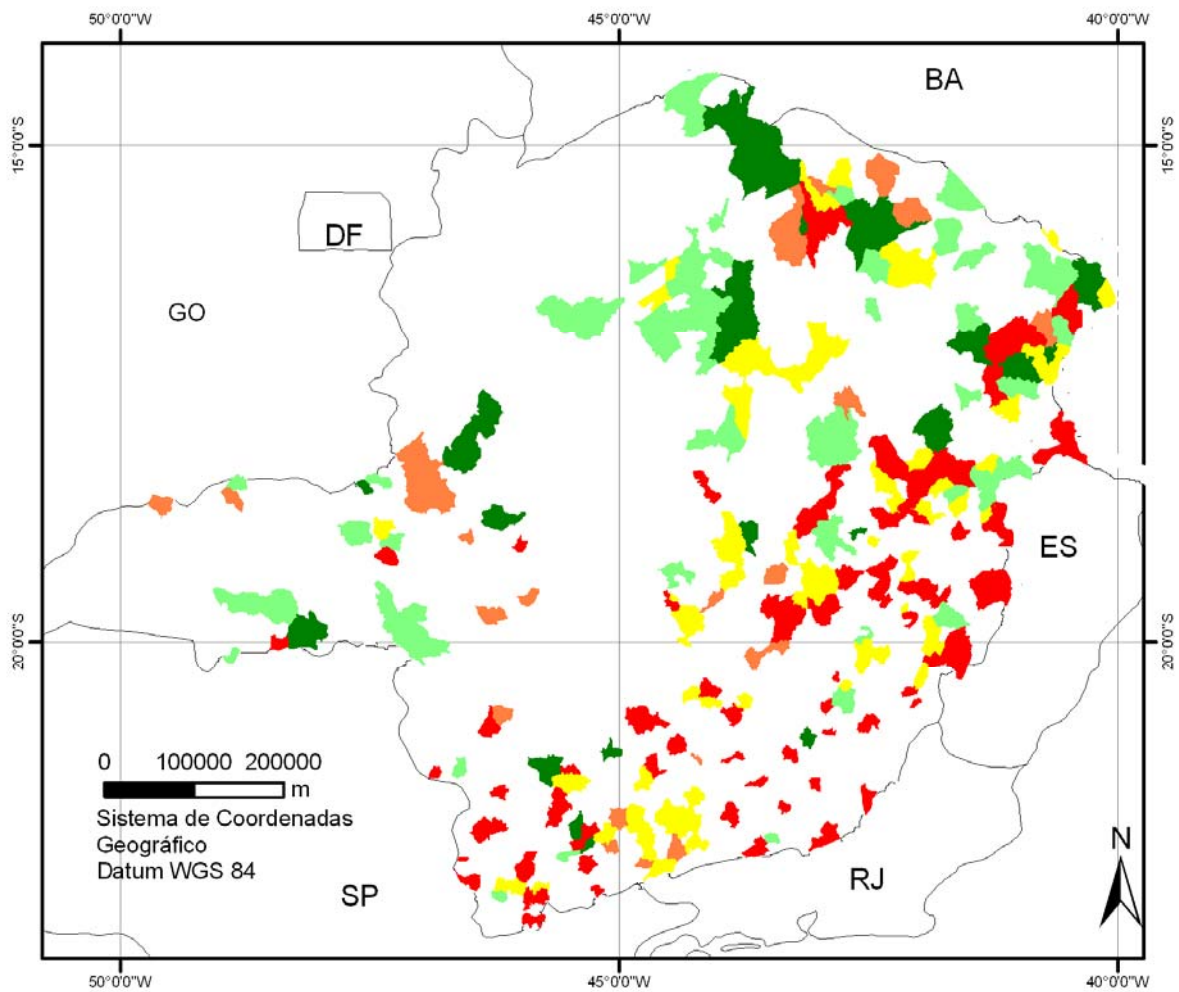


Figura 21. Fatores Topográficos e geológicos

Fatores Hidrológicos – incluem as chuvas intensas nas áreas e a permeabilidade dos solos, que se relacionam com as quantidades de água circulando através de maciços de resíduos e gerando chorume no processo. Atribuíram-se pesos de 60 % para a permeabilidade de solos e 40 % para as chuvas intensas. Os resultados encontrados são mostrados na Figura 22.

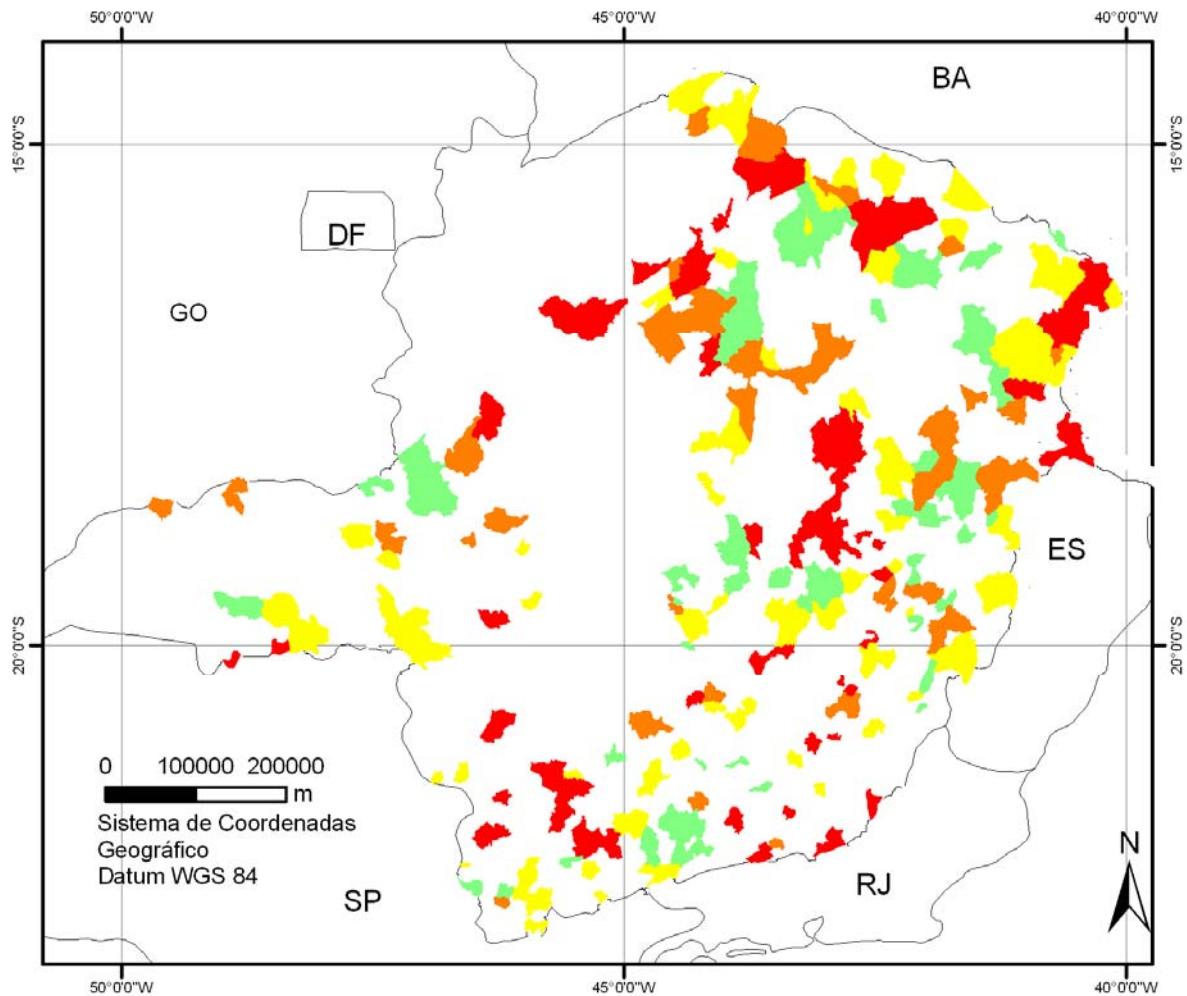


Figura 22. Fatores Hidrológicos

Já para os fatores antrópicos foram adotados os seguintes agrupamentos:

Fatores locacionais - Aqueles relacionados à localização dos lixões em cada município, a interferência destes com Unidades de Conservação e à distância de núcleos populacionais. Atribuíram-se pesos de 70 % à distância de núcleos populacionais e 30 % à interferência com Unidades de Conservação. Ressalte-se que uma análise alternativa poderia ser feita neste ponto, com a interferência com unidades de conservação tratada como impeditiva para a instalação de lixões. Por esta análise geotológica a importância destas interferências, extremamente negativas do ponto de vista ambiental, seria ressaltada. Entretanto, os resultados ponderados se encontram na Figura 23.

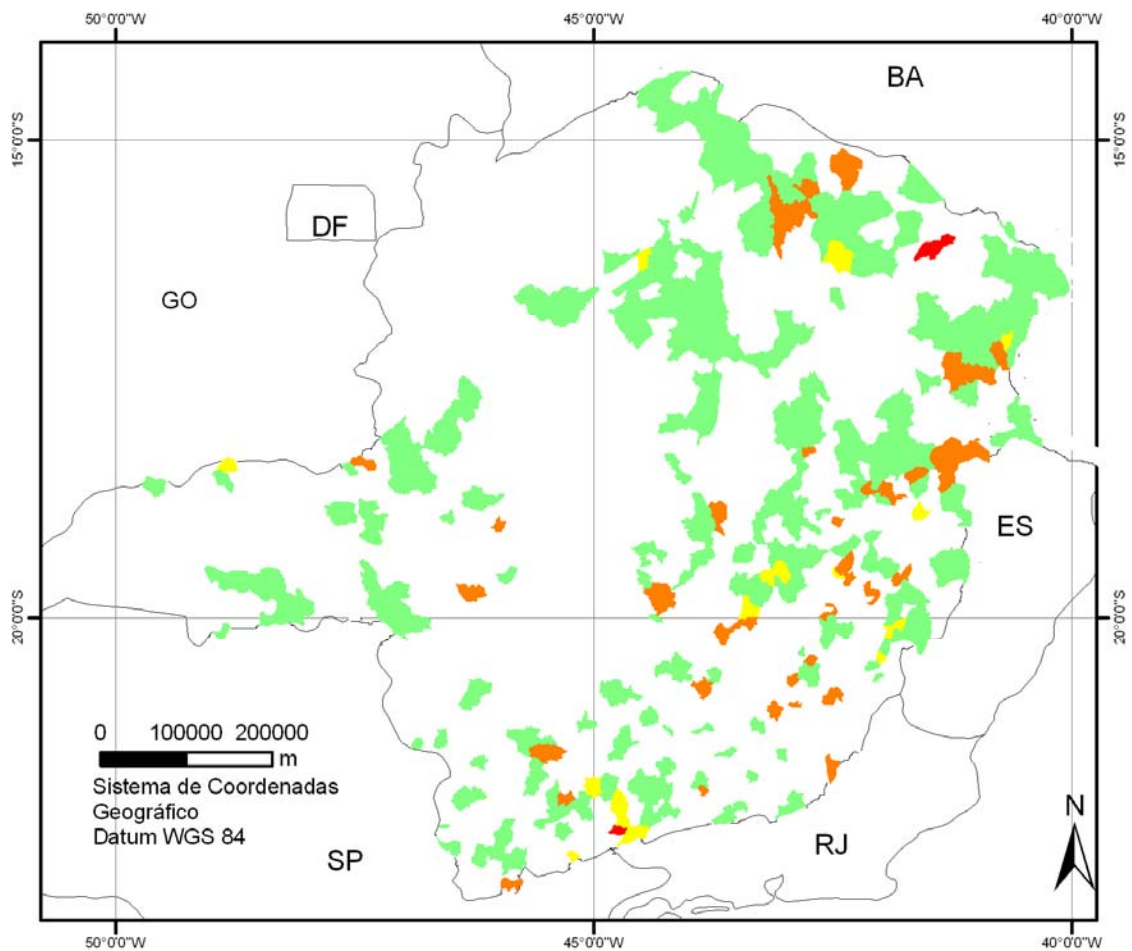


Figura 23. Fatores Locacionais

Fatores dinâmicos ou de carga – Incluem a geração diária de resíduos, os usos urbanos e não-urbanos de águas subterrâneas, agrupados por estarem ligados diretamente a dados populacionais e relacionados também à atividade das populações. Atribuíram-se pesos de 60 % à geração diária de resíduos, 30 % aos usos urbanos de águas subterrâneas e 10 % aos usos não urbanos. Os resultados se encontram na Figura 24.

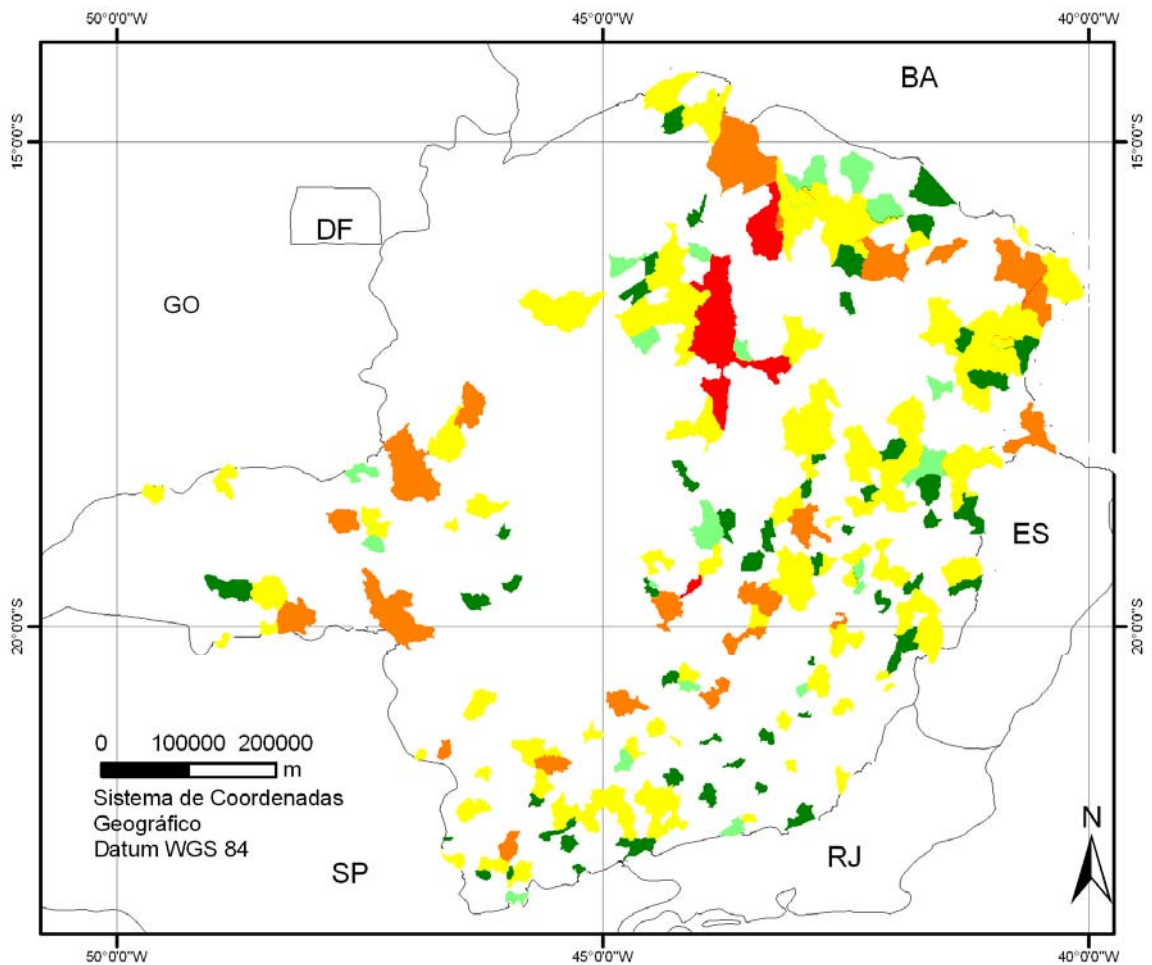


Figura 24. Fatores Dinâmicos

Computados os fatores acima descritos, eles foram reagrupados em Fatores naturais, abrangendo os Fatores Topográficos/ Geológicos e hidrológicos, e Fatores antrópicos, compreendendo os fatores locais e os fatores dinâmicos/ de carga. Para os fatores naturais, adotaram-se pesos de 60 % aos fatores Topográficos / Geológicos e 40 % aos fatores hidrológicos. Seus resultados podem ser visualizados na Figura 25.

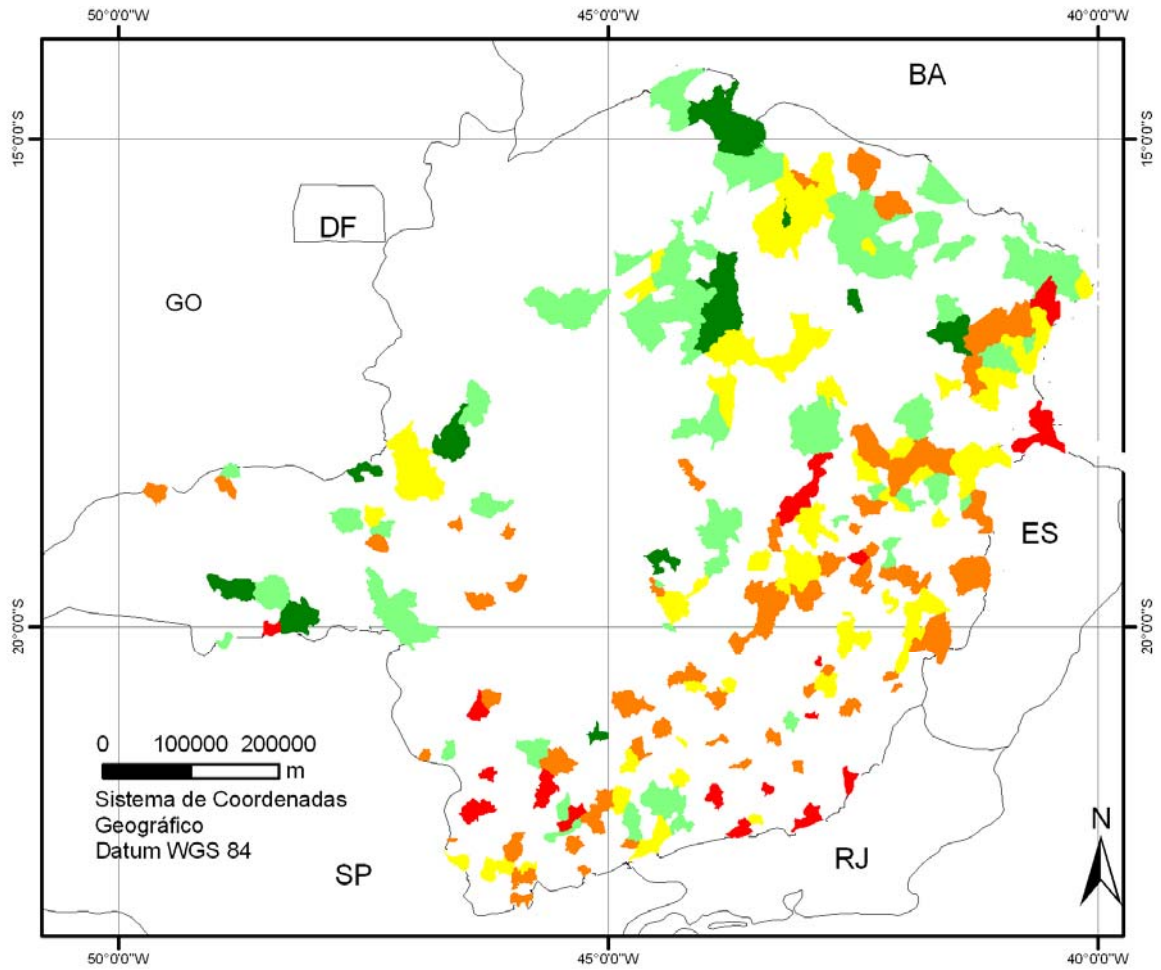


Figura 25. Fatores Naturais

Já para os fatores antrópicos, atribuíram-se pesos de 30 % aos fatores locais e 70 % aos fatores dinâmicos. Os resultados obtidos se encontram na figura 26.

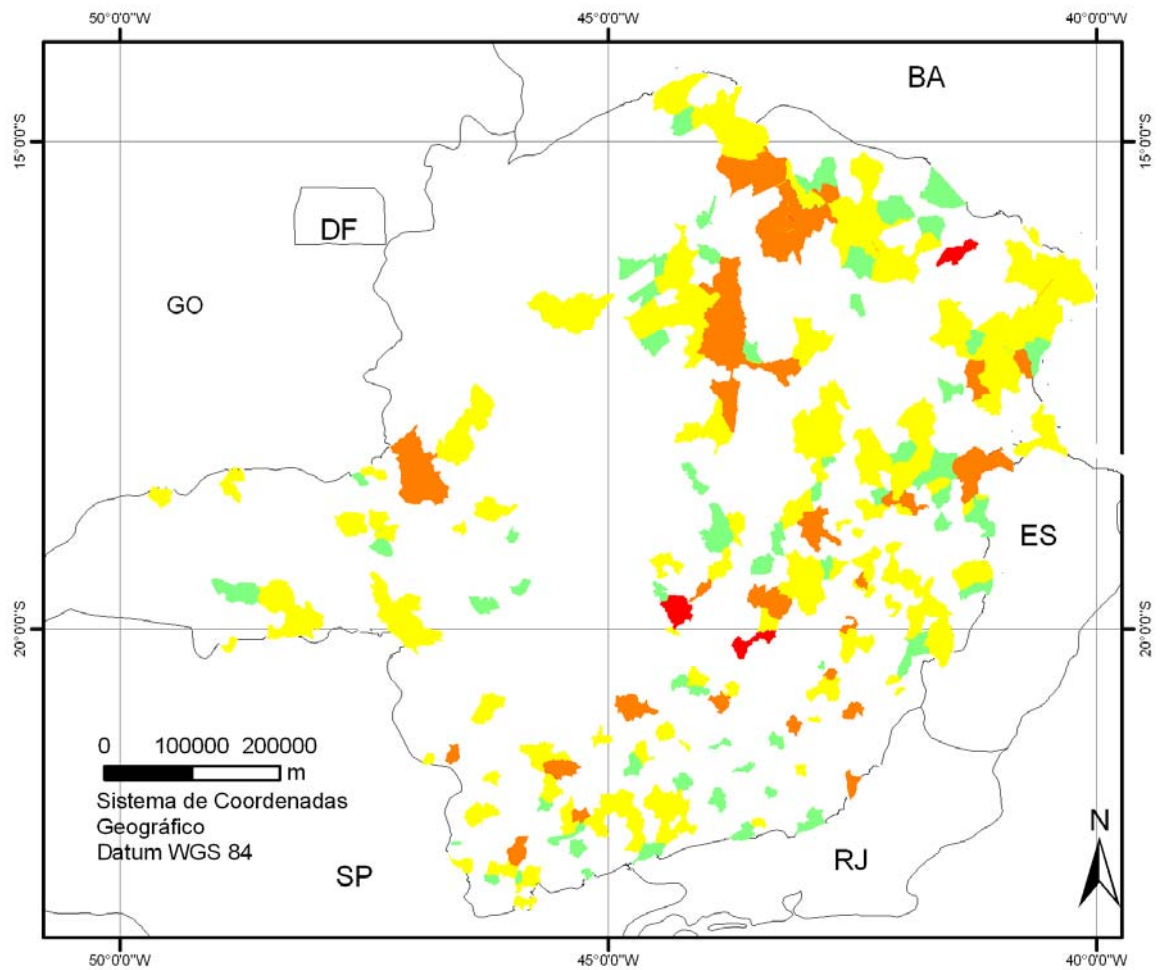


Figura 26. Fatores antrópicos

## 6 Resultados Finais da pesquisa

A síntese dos planos de informação foi obtida através da junção de resultados obtidos para os Fatores Naturais e Antrópicos, com a atribuição de 40 % de peso aos fatores naturais e 60 % aos fatores antrópicos. Na Figura 27 podem ser visualizados os resultados obtidos.

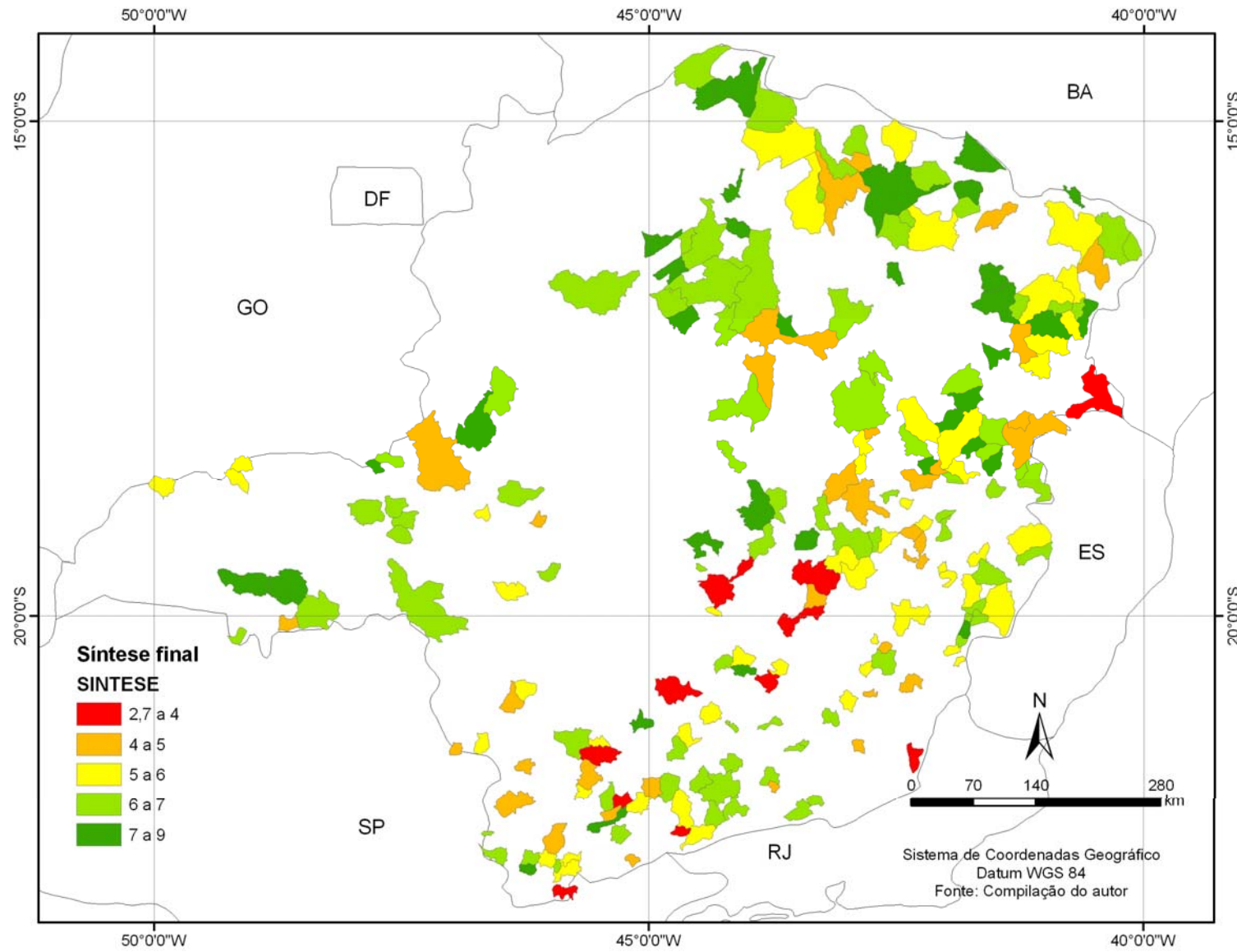


Figura 27. Resultados finais

## 7 Discussão de resultados obtidos

### 7.1 Aplicação dos resultados

O mapa de resultados foi analisado através da divisão hierárquica de SUPRAM's estaduais, considerada a instância executiva adequada para a mobilização, tomada de decisões e acompanhamento das ações de mitigação a serem propostas. Entretanto, a análise fica prejudicada pela ausência total de dados referentes aos municípios pertencentes à SUPRAM Alto São Francisco. A maior incidência de baixas notas na análise encontrou-se na SUPRAM Central, com 4 de 14 municípios analisados, seguidos pela SUPRAM Sul, com 5 de 47 municípios analisados. A tabela 16 indica os resultados encontrados.

Tabela 16. Municípios com pior classificação e suas populações

MUNICÍPIO	SUPRAM	POPULAÇÃO TOTAL
Conselheiro Lafaiete	Central	102836
Esmeraldas	Central	47090
Matozinhos	Central	30164
Santa Bárbara	Central	24180
Itabira	Leste Mineiro	98322
Nanuque	Leste Mineiro	41619
Bocaiúva	Norte de Minas	42806
Cachoeira de Pajeú	Norte de Minas	8523
Alagoa	Sul de Minas	2800
Cambuquira	Sul de Minas	12538
Oliveira	Sul de Minas	37250
Sapucai – Mirim	Sul de Minas	5455
Três Pontas	Sul de Minas	51024
Palma	Zona da Mata	6561

Fonte: Compilação do autor (2008).

Como se vê na Tabela 16, os 14 piores municípios envolvem uma população de aproximadamente quinhentas mil pessoas.

### 7.2 Validação

A validação da análise se dá através da avaliação da probabilidade de os pesos e notas terem sido atribuídos aleatoriamente. A adoção de pesos e notas cria um eixo classificatório com um variado detalhamento na classificação das estimativas. As notas atribuídas são inversamente



proporcionais à escala de classificação obtida. No presente trabalho ,a adoção de um mínimo de dois eixos classificatórios em cada cruzamento torna as probabilidades de as notas terem sido atribuídas aleatoriamente muito baixas. Conforme XAVIER DA SILVA (2003),

*“Estas probabilidades dissociadas de relações causais são baixas, em particular para as estimativas com valor alto ou baixo. (...) Pode-se inferir que as probabilidades  $1 - p$  são indicadoras (embora não possam ser consideradas definidoras) da existência de uma racionalidade na atribuição de pesos e notas como procedimento para obtenção de estimativas de possibilidades de ocorrência de eventos ou entidades ambientais.”*

O autor prossegue com a extensão deste raciocínio para mais de duas dimensões, concluindo que são muito baixas as probabilidades de obtenção de estimativas por acaso, se forem considerados mais de dois eixos classificatórios, através da formulação que se segue.

$$R = \prod_{i=1}^n \left[ \left( \frac{P_i}{10} \right) + 1 \right]$$

onde:

R = número de células da Tabela de possíveis valores de avaliação;

Pi = pesos estimados, em percentagem de importância, para cada plano de informação.

n = número de pesos estimados.

A Tabela 17 apresenta, para cada cruzamento efetuado no presente trabalho, o número de eixos classificatórios, os pesos adotados em cada cruzamento, a probabilidades de ocorrência de notas em cada eixo e a probabilidade de obtenção de cada nota, de 0 a 10. Verificam-se assim as probabilidades das notas serem atribuídas ao acaso. Se a chance da atribuição ao acaso é baixa, em consequência é alta a probabilidade de existência de uma relação de causa e efeito, ou seja, método na atribuição.

Tabela 17. Eixos classificatórios, pesos e probabilidades de obtenção aleatória de notas

Denominação	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Peso Eixo 1	Peso Eixo 2	Peso Eixo 3	Prob. Eixo 1	Prob. Eixo 2	Prob. Eixo 3	R	P(0) = P(10)	P(1)=P(9)	P(2)=P(8)	P(3)=P(7)	P(4)=P(6)	P(5)
Fatores Dinâmicos	Geração	Consumo Urbano	Consumo Não – Urbano	60	30	10	7	4	2	56	1 / 56	2 / 56	3 / 56	4 / 56	5 / 56	6 / 56
Fatores Locacionais	Interferência UC	Distância Núcleos Urbanos		30	70		4	8		32	1 / 32	2 / 32	3 / 32	4 / 32	5 / 32	6 / 32
Fatores Hidrológicos	Pluviosidade	Permeabilidade de solos		40	60		5	7		35	1 / 35	2 / 35	3 / 35	4 / 35	5 / 35	6 / 35
Fatores Topográficos e Geológicos	Tipologia de Aquíferos	Declividade nas áreas	Distância de Hidrografia	25	25	50	4	3	6	72	1 / 72	2 / 72	3 / 72	4 / 72	5 / 72	6 / 72
Fatores Antrópicos	Fatores Dinâmicos	Fatores Locacionais		70	30		8	4		32	1 / 32	2 / 32	3 / 32	4 / 32	5 / 32	6 / 32
Fatores Naturais	Fatores Hidrológicos	Fatores Topográficos e geológicos		40	60		5	7		35	1 / 35	2 / 35	3 / 35	4 / 35	5 / 35	6 / 35
Síntese	Fatores Naturais	Fatores Antrópicos		40	60		5	7		35	1 / 35	2 / 35	3 / 35	4 / 35	5 / 35	6 / 35

Fonte: Compilação do autor, 2008

Verifica-se não só que as probabilidades de notas extremas são muito baixas, assim como que as maiores probabilidades de ocorrência se dão nas notas intermediárias, aproximando os resultados da avaliação daqueles que seriam obtidos através do senso comum.

### 7.3 Categorização dos municípios conforme a situação de seus lixões

Os locais para disposição de resíduos sólidos urbanos nas cidade de Santa Bárbara, Conselheiro Lafaiete, Cambuquira, Três Pontas, Palma, Esmeraldas, Nanuque, Sapucaí-Mirim, Itabira e Oliveira receberam as dez piores notas na categorização. Isto se deve ao fato de a elas terem sido atribuídas as notas na avaliação conforme apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18. Piores notas na classificação obtida

NOMMUNI	FATOR_TO	FAT_HIDRO	FAT_LOCA	FAT_DINAN	FAT_NATU	FAT_ANTR	SINTESE
Santa Bárbara	2,50	1,20	3,70	3,00	1,98	3,21	2,72
Conselheiro Lafaiete	1,25	4,60	3,00	3,80	2,59	3,56	3,17
Cambuquira	1,25	1,20	3,00	5,40	1,23	4,68	3,30
Três Pontas	3,75	2,00	3,70	3,80	3,05	3,77	3,48
Palma	1,25	1,20	3,00	6,20	1,23	5,24	3,64
Esmeraldas	3,75	5,60	3,00	3,20	4,49	3,14	3,68
Nanuque	1,25	2,00	10,00	3,20	1,55	5,24	3,76
Sapucaí-Mirim	-	5,20	2,10	6,20	2,08	4,97	3,81
Itabira	1,25	4,60	10,00	2,40	2,59	4,68	3,84
Oliveira	1,25	2,80	10,00	3,20	1,87	5,24	3,89

Fonte: Compilação do autor (2008).

O local para disposição de resíduos do município de Santa Bárbara recebeu a pior nota geral. A junção, em determinados municípios, de diversas características negativas, deixa evidente a necessidade de priorização de ações de correta gestão de resíduos e remediação destes locais. Suas características conjunturais indicam a sua precedência em detrimento de outros, aos quais podem ser aplicadas alternativas mais baratas de remediação.

## 8 Conclusão

Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram verificar a adequação da análise multicritérios à temática dos lixões e podem servir de indicador às ações na busca por alternativas para recuperação dos locais de disposição inadequada de resíduos.

Entretanto, novos desenvolvimentos podem ser alcançados através da ampliação da base de dados existente para o restante dos lixões no Estado de Minas Gerais. Além disso, pode-se implantar um programa de monitoramento, através de separação de variáveis físicas, inalteráveis ao longo do tempo e indicadoras de necessidade de priorização locacional de ações e com o mapeamento de variáveis de operação (recobrimento com terra, condições de acesso, gestão de resíduos especiais, existência de cercamento e outras de interesse). Estas últimas teriam sua inclusão na análise através da reclassificação periódica de fatores dinâmicos. Outras medidas de controle e mitigação podem ser inseridas, entre elas o monitoramento da qualidade de água nas proximidades, a análise da eventual necessidade de relocação de maciços de resíduos existentes, a implantação de sistemas de impermeabilização e drenagem superficiais e o isolamento total de áreas.

Ao mesmo tempo em que a análise aponta os locais mais críticos do ponto de vista ambiental, mostra também outras localidades, no extremo oposto da análise, onde os danos ao meio ambiente são mínimos e podem ser revertidos e/ou atenuados através de um conjunto de ações simplificadas, com um custo reduzido para a sociedade. Informações relativas ao custo puntual de recuperação das áreas podem ser inseridas, com ganhos de eficiência e transparência na remediação e a valoração objetiva destes custos e dos benefícios a serem auferidos com a recuperação das áreas.

Além do uso da metodologia descrita neste trabalho, acreditamos que a solução para os problemas ambientais causados pelos lixões deve também passar pelos estudos econômicos de toda a cadeia de geração de resíduos, uma vez que a implantação e operação dos serviços de limpeza urbana são custeadas preferencialmente por tarifas e taxas municipais. O Estado deve desenvolver mecanismos econômicos que incentivem os Municípios a adotar soluções integradas de gestão, tais como os consórcios intermunicipais e programas de coleta seletiva, preferencialmente realizados em parceria com organizações de catadores. As ações de fiscalização devem ser intensificadas, para que se proíba o tanto o lançamento de resíduos sólidos “in natura” a céu aberto, sem tratamento prévio, em áreas urbanas e rurais, quanto a

sua queima a céu aberto ou em recipientes, instalações ou equipamentos não licenciados para essa finalidade.

Ademais, outros estudos que objetivem análises comparativas das ações implementadas podem ser levados a termo com o uso da metodologia aqui apresentada, bem como podem ser propostas ações corretivas. O método ainda permite o estabelecimento de hierarquias através de um processo avaliativo, em analogia ao executado através da lógica convencional, e isento de outras considerações que não contempladas no presente trabalho.

## 9 Referências Bibliográficas

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - *NBR 12808*: Resíduos de serviços de saúde: Classificação. São Paulo. 2 p., 1993
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004*: Resíduos sólidos: Classificação. São Paulo. 71 p.2004
- AMORIM, R.S.S., SILVA, D. D., PRUSKI, F. F., MATOS, A. T.. Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.1, p.124-130, 2001
- ARAÚJO, E. H. G.; KUX, H. J. H. Identificação de áreas com propensão à edificação no bairro Belvedere em Belo Horizonte utilizando sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. 2005, Goiânia. Anais... São Paulo: Instituto de Pesquisas Espaciais, 2005. p. 3461-3468.
- BARBOZA, A. E. C., ROCHA, S. F., GUIMARÃES, W. D.. Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero livre localizado na região de Ponta da Fruta, Vila Velha – ES. In Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3279-3286.
- CARNEIRO, P. H.; MARTINZ, D. D. G.; STUDART, T. M. C.; CAMPOS, J. N. B.. Emprego de Ferramentas Computacionais na Determinação de Chuvas Intensas: um Instrumento Adicional para o Ensino de Hidrologia. In: 6º Simpósio de Recursos Hídricos do CARVALHO, A. R.. Propriedades Geotécnicas dos Resíduos do Aterro Sanitário de Santo André, São Paulo – Brasil. SAMASA – Santo André – SP. Disponível em [http://www.semasa.sp.gov.br/Documentos/ASSEMAE/Trab\\_70.pdf](http://www.semasa.sp.gov.br/Documentos/ASSEMAE/Trab_70.pdf), acessado em 18/02/2009.
- CENTRE FOR ADVANCED SPATIAL ANALYSIS. GIS Timeline.. University College London, London. UK Disponível em [www.casa.ucl.ac.uk/gistimeline/original/1960.html](http://www.casa.ucl.ac.uk/gistimeline/original/1960.html), acessado em 25/08/2008.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Modelagem de Sistemas ambientais*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 236 p.
- CINTRA, I.S.. Estudo da Influência da Recirculação de Chorume Cru e Chorume Inoculado a Aceleração do Processo de Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos – UFMG, Belo Horizonte, 2003. 352 p.:il.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. Resolução CONAMA Nº 358, de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 4 mai.2006  
Publicada no DOU - 04.05.2005

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. RESOLUÇÃO CONAMA 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. Publicada no DOU – 30.03.3006

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. Resolução CONAMA nº. 307, de 05 de Julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Publicada no DOU – 30.07.02

COSTA, A. R. & V. F. Brito. 1999. Equações de chuva intensa para Goiás e sul de Tocantins. In Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, Belo Horizonte, Associação Brasileira de Recursos Hídricos. [CD-ROM]. Anais.

DERNADIN, J., FREITAS, P. L. Características fundamentais da chuva no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.17, p: 1409-1416. 1982.

DORNELLES, L. M. A. *Fundamentos de Geoprocessamento e suas Aplicações*. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais... Joinville: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003. Vol. I p. 1-6

EMBRAPA Meio Ambiente. Formas de Controle da Erosão Linear– Disponível em <http://www.cnpma.embrapa.br/unidade/index.php3?id=243&func=unid> – acessado em 05/09/2008

FENDRICH, R. *Chuvas intensas para obras de drenagem (no Estado do Paraná)*. Curitiba: Champagnat, 1998. 99 p.

FERREIRA, S.; *Estudo da Vulnerabilidade à Contaminação das Águas Subterrâneas na Região de Ribeirão Preto - SP*. São Paulo: 1992 (Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista. 124 f.

FLORENZANO, T. G.. Geotecnologias Na Geografia Aplicada:Difusão e Acesso. Revista do Departamento de Geografia, 17 (2005) 24-29. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP – São Paulo, SP

- FORGIE, D., Selection of the Most Appropriate Leachate Treatment Methods. Part 1: A Review of Potencial Biological Leachate Treatment Methods. *Water Pollution Research in Canada*. vol. 23, pp 308-328, 1988.
- FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. *Landscape Ecology*. New York: John Wiley & Sons, 1986. 619p.
- FÓRUM NACIONAL LIXO E CIDADANIA. Disponível em <[www.unicef.org/brasil/lixocidadania/](http://www.unicef.org/brasil/lixocidadania/)>. Acesso em 25.01.2007.
- FOSTER, S. S. D. e HIRATA, R. C. A. *Determinacion del Riesgo de Contaminacion de Aguas Subterraneas – una metodologia basada en datos existentes*. 2ª Ed. Lima: Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente / Organizacion Mundial de La Salud, 1991. 81p.
- FREITAS, A. J. et al *Equações de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais; Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 65p.
- GEORGE, P. (1970) *Les méthodes de la Géographie*. Paris: PUF, Coll. Que sais-je?
- GONÇALVES, M. G. *Ecologia da Paisagem e Geoprocessamento: O Exemplo da Bacia Hidrográfica do Rio Guandu – RJ*. Seropédica: 2007 (Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal). Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 87 f.
- GOODCHILD, M. F. The technological setting of GIS.in: *Geographical Information Systems: principles and applications*. Ed. David J. Maguire, Michael F. Goodchild and David W. Rhind. Essex: Longman Scientific & Technical, 1991.p. 45-54.
- GOODCHILD, M.F., e KEMP, .K. K.(eds.) *NCGIA Core Curriculum in GIS*. Santa Barbara: National Center for Geographic Information and Analysis, University of California,1990. 64 p.
- HAMADA, J. (1997), Estimativas de Geração e Caracterização do Chorume em Aterros Sanitários. In: anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharias Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu – PR.
- HAMADA, J. E MATSUNAGA, I.. Concepção do Sistema de Tratamento de Chorume para o Aterro Sanitário de Ilhéus – BA. IX SILUBESA. Simpósio Luso- Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000
- HENNEBERGER, L., HÜBNER, J. - *Geographic Information Systems (GIS) handbook - Version 1.0* . Teltow: Via Baltica Nordica Development Zone - International Workgroup GIS - Department Havelland-Fläming, 2003, 171 p.



- HIRATA, R. C. A. *Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas: estudo de casos no Estado de São Paulo*. São Paulo: 1994 (Tese de doutorado em hidrogeologia). Instituto de Geociências/Universidade de São Paulo. 195 f..
- IBAM. Instituto Brasileiro de Administração Municipal – Rio de Janeiro. Compostagem. Disponível em <http://www.ibam.org.br/publique/media/Boletim5rs.pdf>, acessado em 03/09/2008.
- IGAM – Instituto Mineiro de Gestão de Águas – Relação de outorgados. Disponível em <http://aguas.igam.mg.gov.br/outorga.php>. acesso em 19/04/2008
- INVENTÁRIO ESTADUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, São Paulo, 2005.
- JUCÁ, J.F.T *Destinação Final dos Resíduos Sólidos no Brasil: Situação Atual e Perspectivas*. In: 10 ° SILUBESA - SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais... Braga: 2002
- LATTANZI, A.R.; MEYER, L.D.; BAUMGARDNER, M.F. Influences of mulch rate and slope steepness on interrill erosion. Soil Science Society of America. Journal, Madison, v. 38, n. 6, p. 946-950, 1974.
- LI, X., YAN, J.C. Y., NI, M., CEN, K.- Development of Municipal Solid Waste Incineration Technologies. Better Air Quality in Asian and Pacific Rim Cities (BAQ 2002) 16 Dec 2002 – 18 Dec 2002, Hong Kong SAR PS-18- 1
- MARTINEZ JÚNIOR, F. 1999. Análise das precipitações intensas no Estado de São Paulo. In Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, Belo Horizonte, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, [CD-ROM]. Anais.
- MCBEAN, E.A., ROVERS, F.A., FARQUHAR, G.J. *Solid Waste Landfill Engineering and Design*. New York: Prentice Hall, 1990. 521 p.
- MCDONELL, R.; BURROUGH, P.A. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford: Oxford University Press, 1998. 194 p.
- MEIRELLES, M. S. P., CÂMARA, G., ALMEIDA, C. M. (eds.) *Geomática: modelos e aplicações ambientais*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 593 p.
- MILLER, Charles L., *The COGO Story – An Odyssey*, CLM/Systems Publication, 1989 citado por WEISBERG, D.E. In *CAD History..* Texto eletrônico disponível em <http://www.cadhistory.net/>, acessado em 23/02/2008

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM n° 75, de 20 de outubro de 2004. Convoca os municípios com população entre trinta e cinquenta mil habitantes ao licenciamento ambiental de sistema adequado de destinação final de resíduos sólidos urbanos e altera prazos estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM n° 52, de 14 de dezembro de 2001. Minas Gerais, Belo Horizonte, 27/10/2004

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM n° 81, 11 de maio de 2005. Altera prazos estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM n.º 52, de 14 de dezembro de 2001. Minas Gerais, Belo Horizonte, 13/05/2005

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM n° 07, de 29 de setembro de 1981. Fixa normas para disposição de resíduos sólidos. Minas Gerais, Belo Horizonte, 14/10/1981

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM n° 105, 18 de Novembro de 2006. Altera prazos estabelecidos pelas Deliberações Normativas COPAM n.º 75, de 20 de outubro de 2004 e n.º 92, de 5 e janeiro de 2006, e dá outras providências. Minas Gerais, Belo Horizonte, 18/11/2006 (Republicação. Diário do Executivo. "Minas Gerais" – 22/11/2006)

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM n° 36, de 07 de julho de 1999 Minas Gerais, Belo Horizonte, 08/07/1999

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM n° 52, de 14 de dezembro de 2001. Convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistema adequado de disposição final de lixo e dá outras providências. Publicação. Diário do Executivo. "Minas Gerais". 15/12/2001

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM n° 67, de 18 de novembro de 2003. Prorroga prazos estabelecidos pelos artigos 1º e 2º da Deliberação Normativa 52, de 14 de dezembro de 2001 e altera a redação do inciso V do artigo 2º. Minas Gerais, Belo Horizonte, 19/11/2003

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM n° 92, de 05 de Janeiro de 2006. Estabelece novos prazos para atendimento das determinações da Deliberação Normativa COPAM n.º 52, de 14 de dezembro de 2001, Deliberação Normativa COPAM n.º 75, de 25 de outubro de 2001 e Deliberação Normativa COPAM n.º 81, de 11 de maio de 2005 e dá outras providências. Minas Gerais, Belo Horizonte, 10/01/2006

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM n°118, 27 de Junho de 2008 Altera os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa 52/2001, estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado, e dá outras providências. Minas Gerais, Belo Horizonte, 01/07/2008

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa nº 74, de 09 de setembro de 2004. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. Minas Gerais, Belo Horizonte, 02/10/2004

MINAS GERAIS. Lei nº 13.771, de 11 de dezembro de 2000. Dispõe sobre a administração, a proteção e a conservação das águas subterrâneas de domínio do Estado e dá outras providências. Minas Gerais, Belo Horizonte, 11/12/2000

MONTEIRO, J. H. P. et al., ZVEIBIL, V.Z. (coord.tec.) - Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.; 21,0 x 29,7cm

MOURA, A. C. M. - Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. Belo Horizonte, Ed da Autora, 2003, 294 p.

MOURA, A. C. M.. Reflexões Metodológicas como Subsídio para Estudos Ambientais Baseados em Análise de Multicritérios . in Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2899-2906.

Nordeste, 2002, Maceió. Anais. Porto Alegre : Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2002.

OLIVEIRA, N. A.. a produção e gerenciamento dos resíduos sólidos em Curitiba (PR) e as alternativas de contribuição com o meio ambiente – in Revista Eletrônica Geografar [www.ser.ufpr.br/geografar](http://www.ser.ufpr.br/geografar). Curitiba, v.2, n.2, p.124-138, jul./dez. 2007

OPAS. Organização Pan-americana da Saúde (1999). Atenção primária ambiental, Washington.

PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2000.

PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2000.

PFAFSTETTER, O. *Chuvas Intensas no Brasil: Relação entre Precipitação, Duração e Frequência de Chuvas Registradas com Pluviógrafos em 98 Postos Meteorológicos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1982. 426 p.

PIDWIRNY, M.. Fundamentals of Physical Geography versão online, disponível em <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/contents.html> - acessado em 21/09/2008

- PINTO, F. R. L. *Equações de intensidade - duração - frequência da precipitação para os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo: estimativa e espacialização*. Viçosa: 1999 (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. 70 f.
- Plúvio 2.1 – disponível em <http://www.ufv.br/dea/gprh/software.htm>, acessado em 22/10/2008
- ROCCA, A.C.C., et al. *Resíduos Sólidos Industriais*. 2ª ed. São Paulo:CETESB – SP, 1993.253 p.
- ROCHA, S.F, *Análise de Vulnerabilidade de Contaminação dos Aquíferos Livres na Baixada Campista de Campos dos Goytacazes – RJ*. Rio de Janeiro: 2004 (Dissertação de Mestrado em Geologia). Universidade Estadual do Norte Fluminense. 96 f.
- SAMIZAVA, T. M., KAIDA, R. H., IMAI, N. H., NUNES, J. O. R.. Sig aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de Aterros Sanitários no município de Presidente Prudente – SP. *Revista Brasileira de Cartografia* No 60/01, Abril 2008. (ISSN 1808-0936)
- SEIXAS, J. e FERREIRA, F. *Estatística Ambiental e Tecnologias da Informação Geográfica*. Notas de Aula – Faculdade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal. Disponível em [http://air.dcea.fct.unl.pt/aulas/eatig/apoio/Aula\\_T8/algebramapas.htm](http://air.dcea.fct.unl.pt/aulas/eatig/apoio/Aula_T8/algebramapas.htm). acessado em 21/09/2008
- SILVA, D. D., GOMES FILHO, R. R., PRUSKI, F. F., PEREIRA, S. B., NOVAES, L. F.. Chuvas intensas no Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.6, n.2, p.362-367, 2002.
- SILVA, D. D., GOMES FILHO, R. R., PRUSKI, F. F., PEREIRA, S. B., NOVAES, L. F.. Chuvas intensas no Estado do Tocantins. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 2003.
- SILVA, D. D., VALVERDE, A. E. L., PRUSKI, F. F., GONÇALVES, R. A. B. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade. duração. frequência da precipitação para o Estado de São Paulo. *Revista Engenharia na Agricultura*, v.7, n.2, p:70-87. 1999.
- SILVEIRA, M. J., WOHLBERG, E. V., GONÇALVES, C., REICHERT, J. M., REINERT, D. J. – Influência da intensidade da chuva, horizonte e declividade do solo nas perdas de água. XIII Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, Ilhéus, BA, 2000 – Disponível em [http://w3.ufsm.br/ppgcs/congressos/XIIIReuniao\\_Brasileira\\_Ilheus/731.pdf](http://w3.ufsm.br/ppgcs/congressos/XIIIReuniao_Brasileira_Ilheus/731.pdf) , acessado em 04/09/2008.

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S.A. *Integrated Solid Waste Management - Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill: International Editions, 1993. 978p.

TOMLIN, D. *Geographic information systems and Cartographic Modeling*. New York: Prentice Hall, 1990. 249 p.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION IMPLEMENTING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS TASK FORCE. *MOP 26: GIS Implementation for Water and Wastewater Treatment Facilities: Manual of Treatment Facilities - Water Environment Federation*. New York: McGraw Hill, 2004. 300 p.

WEBER, Eliseu; HASENACK, Heinrich. Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados. Porto Alegre: UFRS, 2000. Disponível em: <[http://www.gisbrasil.com.br/indices\\_anais.asp?edicao=2000](http://www.gisbrasil.com.br/indices_anais.asp?edicao=2000)>. Acesso em: dez. 2003.

XAVIER-DA-SILVA, J. e ZAIDAN, R. T., Eds. *Geoprocessamento e Análise Ambiental: aplicações*. Juiz de Fora: Bertrand Brasil, 2004. 363 p.

YUEN, S.T.S.; WANG, Q.J.; STYLES, J.R.; MCMAHON T.A. Water balance comparison between a dry and a wet landfill – a full-scale experiment. *Journal of Hydrology*, v. 251, p. 29-48, 2001. Ed. Elsevier