



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS:  
ESTUDO DE CASO NA CENTRAL DE TRIAGEM, TRATAMENTO E  
DESTINO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS DO  
MUNICÍPIO DE ESTRELA/RS**

Michele Schmitz

Lajeado, junho de 2012

Michele Schmitz

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS:  
ESTUDO DE CASO NA CENTRAL DE TRIAGEM, TRATAMENTO E  
DESTINO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS DO  
MUNICÍPIO DE ESTRELA/RS**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II do Centro Universitário Univates, como parte da exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Odorico Konrad

Lajeado, junho de 2012

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial à minha família, pelo incentivo, amor e dedicação. Ao meu querido namorado, sempre me apoiando e me fazendo sorrir!

Ao meu orientador, que me proporcionou muitos ensinamentos desde o início da faculdade... Agradeço por todas as ideias, pela orientação, apoio e amizade.

A equipe da Secretaria Municipal do Meio Ambiente do município de Estrela, pela disponibilidade de informações prestadas.

Aos estagiários e bolsistas dos Laboratórios de Biorreatores e Laboratório de Gerenciamento de Resíduos da UNIVATES, pelo auxílio na execução desde trabalho, em especial ao Fábio Júnior Secchi.

A UNIVATES e ao coordenador do curso de Engenharia Ambiental, pela colaboração e incentivo no desenvolvimento do trabalho.

Aos colegas, pela amizade e ajuda mútua durante a graduação.

Muito Obrigada!

## RESUMO

Em uma perspectiva geral, o crescimento populacional e o intenso processo de urbanização, aliados ao consumo exagerado dos recursos naturais, são uma combinação de fatores que podem conduzir a um desequilíbrio ambiental, especialmente no que se refere à geração de resíduos sólidos domésticos. A gestão desses resíduos é o processo que envolve o manejo dos mesmos nas etapas de segregação, coleta, manipulação, acondicionamento, transporte, armazenamento, triagem, tratamento e destinação final, englobando dessa forma desde a geração até o seu destino final (LIMA, 2005). Nesse sentido, o objetivo geral deste estudo é analisar o gerenciamento dos resíduos sólidos domésticos na Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela/RS, destacando-se que informações acerca da quantidade e características dos resíduos gerenciados são de fundamental importância para o planejamento de todo o sistema de gerenciamento dos resíduos, principalmente no dimensionamento de instalações e equipamentos. A metodologia proposta para o atendimento aos objetivos consiste no monitoramento in loco da movimentação dos resíduos com tabulação de informações pelo período de seis meses e experimentos de compostagem em escala laboratorial. De forma geral, no período estudado, 2.530.950 kg de resíduos sólidos domésticos foram destinados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela/RS, configurando uma média mensal de 421.825 kg. Os valores diários mantiveram uma média de 13.830,33 kg de resíduos sólidos domésticos tendo como destino a central de triagem municipal, o que configura uma geração de 0,45 kg/habitante/dia. Do total de resíduos estudados, 74,87 % foi destinado ao aterro sanitário, 10,46 % do material teve como destino o pátio de compostagem e 14,66% foi considerado material com potencial de reciclagem. O adubo orgânico obtido através do processo de compostagem estudado em escala laboratorial apresentou características de presença de metais pesados em níveis acima dos permitidos pela legislação.

**Palavras-chaves:** Resíduos sólidos domésticos. Gerenciamento. Compostagem. Reciclagem. Aterro sanitário.

## ABSTRACT

Regarding a general perspective, the population growth and urbanization, coupled with the excessive consumption of natural resources are a combination of factors that can lead to an environmental imbalance, especially regarding the generation of solid waste. The management of such waste is the process that involves the segregation, collection, handling, packaging, transportation, storage, sorting, treatment and disposal, including from the generation to the waste disposal (LIMA, 2005). This way, the aim of this study is to analyze the management of the municipal solid waste in the *Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos* of Estrela/RS, since information about the quality and especially the amount of waste managed is important to planning the whole system of the waste management, especially for design facilities and equipments. The methods include monitoring the waste movement in situ and collect the information for six months; and experiments in laboratory scale about composting. Overall, during the study period, 2,530,950 kilograms of household waste were sent to *Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos* of Estrela/RS, setting a monthly average of 421,825 kg. The daily values maintained an average of 13,830.33 kilograms of household waste send to the Central, which result in a generation of 0.45 kg/per capita/day. Of the total waste studied, 74.87% went to landfill, 10.46% of the material was destined to the composting place and 14.66% was considered recycling material. The organic fertilizer obtained by the composting process studied in laboratory scale showed characteristics with the presence of heavy metals at levels above those allowed by law.

**Keywords:** Municipal solid waste. Management. Composting. Recycling. Landfill.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Unidades de destino de resíduos domésticos no Brasil - percentual relativo ao número de municípios.....	20
Figura 2 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos no Brasil (percentual relativo ao peso).....	24
Figura 3 – Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos domésticos no município de Estrela/RS no ano de 2008. ....	25
Figura 4 – Localização da Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela/RS.....	35
Figura 5 – Vista superior da área ocupada pela Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela/RS. ....	36
Figura 6 – Resíduos sendo depositados por caminhão coletor no setor de recebimento.....	37
Figura 7 – Esteira para triagem preferencialmente dos resíduos orgânicos. ....	38
Figura 8 – Resíduos com potencial de reciclagem selecionados na triagem, prensados armazenados.....	39
Figura 9 – Peneira rotativa oitavada que faz a separação dos resíduos orgânicos. .	40
Figura 10 – Material considerado rejeito a ser destinado ao aterro sanitário. ....	40
Figura 11 – O aterro sanitário municipal de Estrela/RS. ....	41

Figura 12 – Vista de material orgânico depositado no pátio de compostagem. ....	41
Figura 13 – Etapas de processamento dos resíduos sólidos domésticos na Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela/RS de Estrela.....	43
Figura 14 – Reatores empregados no processo de compostagem em escala laboratorial.....	44
Figura 15 – Mesa vibratória para peneiras utilizada em teste de granulometria. ....	46
Figura 16 – Perspectiva geral da massa total de resíduos sólidos domésticos destinados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela, quanto ao seu processamento. ....	48
Figura 17 – O percentual de resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos processados. ....	49
Figura 18 - Representação do percentual de resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos enviados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela no período estudado. ....	50
Figura 19 – Representação do percentual de resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos enviados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos no mês de novembro de 2011.....	51
Figura 20 – Representação do percentual de resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos enviados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos no mês de dezembro de 2011.....	52
Figura 21 – Representação do percentual de resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos enviados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos no mês de janeiro de 2012.....	53
Figura 22 – Representação do percentual de resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos enviados a	

Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos no mês de fevereiro de 2012.....	54
Figura 23 – Representação do percentual de resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos enviados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos no mês de março de 2012.....	55
Figura 24 – Representação do percentual de resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos enviados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos no mês de abril de 2012.....	55
Figura 25 – Perspectiva geral dos resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos enviados a Central de Triagem no período de estudo. ....	56
Figura 26 – Gráfico apresentando as variações de temperatura em cada reator estudado, durante o processo de compostagem em escala laboratorial.....	58
Figura 27 – Evidências de formação de fungos durante uma etapa do processo de compostagem em escala laboratorial.....	59
Figura 28 – Variações de umidade nos reatores estudados. ....	62
Figura 29 – Gráfico apresentando a variação granulométrica.....	63
Figura 30 – Material retido na peneira de 9,5 mm.....	64
Figura 31 – Material retido na peneira de 6,3 mm.....	65
Figura 32 – Material retido na peneira de 4,75 mm.....	65
Figura 33 – Material retido na peneira de 2,36 mm.....	66
Figura 34 – Material orgânico final estabilizado, após ser submetido a sucessivas peneiras com diferentes aberturas de malha. ....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados de análise laboratorial do composto orgânico obtido através do processo de compostagem em escala laboratorial. ....	68
Tabela 2 – Massa específica do composto orgânico estudado. ....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS

cm<sup>3</sup>: Centímetro cúbico

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono

EUA: Estados Unidos da América

ha: Hectare

IBAM: Instituto Brasileiro de Administração Municipal

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia

kcal: Quilocaloria

kg: Quilograma

km<sup>2</sup>: Quilômetros quadrados

m<sup>3</sup>: Metro cúbico

MS: matéria seca

NBR: Norma brasileira

PEAD: Polietileno de Alta Densidade

PET: Polietileno tereftalato

PNRS: Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNSB: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PVC: Policloreto de vinila

SISNAMA: Sistema Nacional de Meio Ambiente

SNVS: Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
2.1 Objetivo geral .....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>17</b>
3.1 Definição de resíduos sólidos.....	17
3.2 Classificação dos resíduos .....	18
3.3 Panorama nacional da geração de resíduos sólidos domésticos .....	20
3.4 Gerenciamento de resíduos sólidos domésticos .....	21
3.5 Características físico-químicas dos resíduos sólidos domésticos .....	22
3.5.1 Geração per capita .....	23
3.5.2 Peso específico .....	23
3.5.3 Composição gravimétrica .....	23
3.5.4 Compressividade.....	25
3.5.5 Poder Calorífico.....	25
3.5.6 Composição Química .....	26
3.5.7 Características biológicas.....	26
<b>3.6 Métodos de tratamento e destinação de resíduos sólidos domésticos.....</b>	<b>26</b>
3.6.1 Aterro sanitário .....	27
3.6.2 Compostagem .....	29
3.6.3 Incineração .....	31
3.6.4 Reciclagem.....	32
<b>3.7 Componentes de uma central de triagem e compostagem .....</b>	<b>32</b>
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	<b>34</b>
4.1 Descrição do local de realização da pesquisa.....	34
4.2 Operação da Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela/RS.....	36
4.3 Metodologia proposta.....	42
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>47</b>

<b>5.1 O processamento dos resíduos sólidos domésticos na Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela .....</b>	<b>47</b>
<b>5.2 Análise temporal do processamento dos resíduos sólidos na Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela .....</b>	<b>51</b>
<b>5.3 Compostagem em escala laboratorial.....</b>	<b>58</b>
<b>5.4 Análise da umidade.....</b>	<b>61</b>
<b>5.5 Análise de granulometria.....</b>	<b>63</b>
<b>5.6 Análise laboratorial do composto orgânico.....</b>	<b>67</b>
<b>5.7 Massa específica dos resíduos estudados .....</b>	<b>69</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>78</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o intenso processo de urbanização, aliados ao consumo dos recursos naturais são uma combinação de fatores que podem facilmente conduzir a um desequilíbrio ambiental. Nesse contexto, os resíduos produzidos pela atividade humana são uma ameaça para a nossa própria qualidade de vida, uma vez que seu tratamento e destinação final afetam a saúde ambiental (CUNNINGHAM; CUNNINGHAM E SAIGO, 2005).

Nesta perspectiva, a gestão dos resíduos sólidos domésticos é uma ferramenta aplicada que permite a interação entre os diversos atores que fazem parte da cadeia que interliga todos os processos envolvendo resíduos sólidos. Especificamente, é o processo que compreende as ações referentes à tomada de decisões políticas e estratégicas quanto aos aspectos institucionais, operacionais, financeiros, sociais e ambientais relacionados aos resíduos sólidos, ou seja, refere-se ao manejo dos resíduos nas etapas de segregação, coleta, manipulação, acondicionamento, transporte, armazenamento, transbordo, triagem, tratamento, reciclagem, comercialização e destinação final dos resíduos sólidos, englobando dessa forma desde a geração até o destino final dos resíduos (LIMA, 2005).

No que tange ao destino final dos resíduos sólidos domésticos, a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB (2008) diagnosticou que no Brasil, 50,8% dos municípios utilizam vazadouros a céu aberto, o que revela que ainda há lacunas no que se refere a gestão nacional dos resíduos. Nesse contexto, o município de

Estrela, localizado no Vale do Taquari/RS, registra uma situação privilegiada perante o panorama nacional, apresentando em sua cadeia de gerenciamento de resíduos desde a coleta, transporte, segregação dos materiais recicláveis, compostagem do material orgânico e destino final dos rejeitos em aterro sanitário. Essas etapas, excetuando-se a coleta e transporte, ocorrem na Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município, a qual opera desde o ano de 2000, tratando 100 % dos resíduos sólidos domésticos gerados no município de Estrela.

Nesse sentido, o objetivo geral deste estudo é analisar o gerenciamento dos resíduos sólidos domésticos na Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela/RS, já que informações acerca da qualidade e especialmente quantidade de resíduos gerenciados são de fundamental importância para o planejamento de todo o sistema de gerenciamento dos resíduos, principalmente no dimensionamento de instalações e equipamentos. Deste modo, a atualização de dados acerca dos parâmetros dos resíduos gerados no município é requisito para o monitoramento da eficácia do sistema, possibilitando ajustes ou mudanças no modelo de gerenciamento de resíduos, e auxiliando o processo de planejamento e tomada de decisão quanto a operacionalização do processo, o que justifica o presente estudo.

O estudo apresenta a seguinte estrutura: o capítulo 2 traz os detalhamentos dos objetivos propostos; o Capítulo 3 apresenta a revisão bibliográfica sobre os resíduos sólidos domésticos e técnicas de gerenciamento. O Capítulo 4 apresenta descrição da Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela e a metodologia adotada para o desenvolvimento do projeto, enquanto o Capítulo 5 expõe os resultados e discussões obtidos e finalmente o Capítulo 6 trás as considerações finais.

## **2 OBJETIVOS**

Com referência ao tema proposto, apresenta-se os objetivos que visam o detalhamento do gerenciamento dos resíduos no local. Assim, são destacados os seguintes itens relevantes:

### **2.1 Objetivo geral**

Analisar o gerenciamento dos resíduos na Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela/RS, através de avaliação quali quantitativa.

### **2.2 Objetivos específicos**

- I. Determinar a massa de resíduos destinada diariamente à Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela;
- II. Diagnosticar o percentual\* de resíduos que são encaminhados ao aterro sanitário;

- III. Definir o percentual\* de resíduos destinados ao pátio de compostagem;
- IV. Identificar o percentual\* de material triado nas esteiras com potencial de reciclagem;
- V. Estabelecer a massa específica dos resíduos estudados;
- VI. Avaliar a qualidade do composto orgânico obtido no processo de compostagem em escala laboratorial.

\* Percentuais relativos à massa total de resíduos encaminhados à Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela no período estudado.

## 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.1 Definição de resíduos sólidos

Além das diversas definições para resíduos sólidos, outra discussão está relacionada às diferentes abordagens dos termos lixo, resíduos sólidos e rejeito. Comumente, o primeiro é utilizado de forma corriqueira e está relacionado a questões de ordem social e econômica, e o segundo está ligado a questões técnicas de origem, composição e disposição (ORNELAS, 2011). Já a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), define o termo rejeito, como:

resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010, p.1).

Para Lima (2004), é qualquer resíduo que resulte das atividades diárias do homem na sociedade. Estes resíduos compõem-se basicamente de sobras de alimentos, papeis, papelões, plásticos, trapos, couro, madeira, latas, vidros, lamas, gases, vapores, poeiras, sabões, detergentes e outras substâncias descartadas pelo homem no meio ambiente. Na mesma linha, a ABNT – Associação Brasileira de

Normas Técnicas, através da ABNT 10.004:2004 – Resíduos Sólidos – Classificação, conceitua resíduos sólidos como

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades 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 da rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004, p. 1).

Enquanto isso, a PNRS resume o termo da seguinte forma:

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

Nesses termos, esses conceitos trazem consigo inúmeros aspectos relacionados, abordados nos subtítulos a seguir.

### **3.2 Classificação dos resíduos**

No que se refere a periculosidade, a norma ABNT 10.004:2004, classifica os resíduos em Classes I ou II, sendo os Resíduos Classe I – Perigosos, aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar risco ao homem e ao meio ambiente. Possuem pelo menos uma das propriedades de patogenicidade, toxicidade, reatividade, corrosividade ou inflamabilidade.

Já os resíduos Classe II – Não Perigosos, são aqueles que não se enquadram na Classe I, sendo divididos em (i) não inertes (Resíduo Classe II A), que são os resíduos que não se enquadram como perigosos e podem apresentar

propriedades de solubilidade em água, biodegradabilidade ou combustibilidade e (ii) inertes (Resíduo Classe II B), que são quaisquer resíduos que quando submetidos a contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor;

Quanto a origem, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), em seu Art. 13, apresenta classificação sintetizada a seguir:

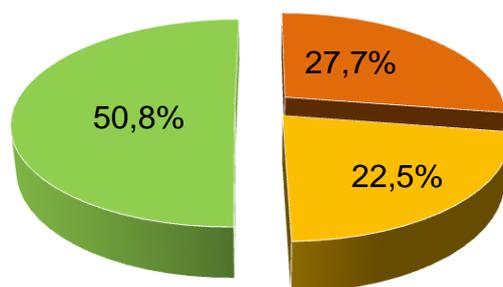
- ✓ **Resíduos Domiciliares:** os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- ✓ **Resíduo de Limpeza Urbana:** os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- ✓ **Resíduos Sólidos Urbanos:** os resíduos domiciliares e de limpeza urbana;
- ✓ **Resíduos de Estabelecimentos Comerciais e Prestadores de Serviços:** os gerados nessas atividades, excetuados os de limpeza urbana, serviços públicos de saneamento básico, serviços de saúde, construção civil, serviços de transporte;
- ✓ **Resíduos dos Serviços Públicos de Saneamento Básico:** os gerados nessas atividades excetuados os resíduos sólidos urbanos;
- ✓ **Resíduos Industriais:** os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- ✓ **Resíduos dos Serviços de Saúde:** os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA e SNVS;
- ✓ **Resíduos da Construção Civil:** os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluindo os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;

- ✓ **Resíduos Agrossilvopastoris:** os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluindo os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- ✓ **Resíduos de Serviços de Transporte;** os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- ✓ **Resíduos de Mineração:** os gerados na atividade de pesquisa, extração e beneficiamento de minério.

### 3.3 Panorama nacional da geração de resíduos sólidos domésticos

No ano de 2010, o total de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil foi de 60,9 milhões de toneladas, comparado com 57 milhões em 2009, conforme dados da ABRELPE (2010), o que mostra um incremento de 6,7% entre os referidos anos. Em adição, a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB, realizada no ano de 2008, indica que, quanto às unidades de destinação do lixo coletado no país, em número de municípios, 50,8 % utilizam vazadouros a céu aberto, 22,5% aterros controlados e 27,7% aterros sanitários (Figura 1). Nesse contexto, sabe-se que esses valores não são favoráveis no que se refere a destinação adequada dos resíduos sólidos domésticos, como será abordado no 3.6 a seguir.

Figura 1 – Unidades de destino de resíduos domésticos no Brasil - percentual relativo ao número de municípios.



■ Aterros sanitários    ■ Aterros controlados    ■ Vazadouros a céu aberto

Fonte: PNSB, 2008

Quanto à destinação dos resíduos sólidos domésticos por regiões brasileiras, as Regiões Nordeste e Norte registraram as maiores proporções de destinação desses resíduos aos lixões (vazadouro a céu aberto) – 89,3% e 85,5%, respectivamente – enquanto os localizados nas Regiões Sul e Sudeste apresentaram, no outro extremo, as menores proporções – 15,8% e 18,7%, respectivamente. No que tange à Região Sul, os municípios de seus três estados – Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná – registraram as menores proporções de destinação dos resíduos sólidos a vazadouros a céu aberto: 2,7%, 16,5% e 24,6%, respectivamente. O destaque coube aos municípios do Estado de Santa Catarina, com 87,2% desses resíduos destinados a aterros sanitários e controlados, enquanto os municípios dos Estados do Paraná e Rio Grande do Sul representaram 81,7% e 79,2%, respectivamente (PNSB, 2008).

### **3.4 Gerenciamento de resíduos sólidos domésticos**

A gestão de resíduos sólidos urbanos e sua execução por meio de planos de gerenciamento deve apoiar-se em diretrizes que visem a integração das atividades de limpeza urbana e dessas com as demais atividades de saneamento ambiental; a participação social e a adoção de estratégias técnicas e operacionais para a redução do consumo de recursos naturais e a prevenção da poluição (ZANTA et al, 2006).

Para os mesmos autores, um plano de gerenciamento de resíduos deve compreender atividades como a promoção da não geração de resíduos e o reaproveitamento na fonte, a coleta e transporte, valorização e tratamento até a disposição final. O processo de elaboração do plano envolve o setor público e os geradores de resíduos, sendo este um compromisso bilateral entre a sociedade geradora e o poder público, conforme a Lei N° 9921/1993. Entretanto, no Brasil, constitucionalmente, é de competência do poder público local o gerenciamento dos resíduos sólidos produzidos nos municípios, o que exerce um forte impacto no orçamento das administrações municipais, podendo atingir 20% dos gastos da municipalidade (PNSB, 2008).

O gerenciamento de resíduos exige o emprego de técnicas adequadas aliadas a aspectos políticos e geográficos, planejamento local e regional, sociologia e democracia, já que, conforme Lima (2005), gerenciar os resíduos de forma integrada é articular ações normativas operacionais, financeiras e de planejamento que uma administração municipal desenvolve, apoiada em critérios sanitários, ambientais e econômicos, que visem a coleta, tratamento e disposição final dos resíduos, ou seja, envolve um ciclo desde a geração à disposição final.

No Brasil, os modelos de gestão de resíduos sólidos são os convencionais e acontecem na maioria das cidades, englobando a prefeitura municipal e a secretaria municipal responsável pelo serviço de limpeza urbana (coleta, varrição e destino final dos resíduos). Ainda, há a possibilidade de gerenciamento em conjunto com o setor privado, no caso do serviço de limpeza urbana ser realizado por uma empresa terceirizada (LIMA, [20--]). Na Região Sul, 56,3% dos municípios terceiriza esses serviços, o que indica uma tendência nos municípios que a compõem, sendo o Estado do Rio Grande do Sul, com 60,2% dos municípios dispondo de serviços terceirizados, o que mais se destaca (PNSB, 2008).

### **3.5 Características físico-químicas dos resíduos sólidos domésticos**

No que diz respeito às características físicas, os resíduos sólidos podem ser classificados quanto à geração per capita, o peso específico, a composição gravimétrica e a compressibilidade. Por sua vez, informações sobre as características químicas dos resíduos sólidos são importantes principalmente para a seleção e avaliação de métodos de tratamento. No entanto, as características físico-químicas e microbiológicas dos resíduos sólidos domésticos apresentam grande diversidade de local para local, o que é diretamente influenciado pelas condições socio econômicas e culturais de cada região (BIDONE; POVINELLI, 1999).

### 3.5.1 Geração per capita

Dados apresentados pelo Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil em 2010 indicam uma geração de resíduos sólidos urbanos de 1,03 kg/habitante/dia, de acordo com a metodologia empregada em sua pesquisa. Este resultado aponta um aumento de 5,3% na geração per capita de resíduos no Brasil comparando-se com o ano de 2009, no qual o valor foi de 0,984 kg/habitante/dia (ABRELPE, 2010). No entanto, Bidone e Povinelli (1999), afirmam que no Brasil o valor médio verificado nas cidades mais populosas é da ordem de 180 kg/habitante/ano, o que resulta em uma média diária de 0,49 kg/habitante/dia.

Para fins de comparação, Reis, Fadigas e Carvalho (2005) apresentam valores de geração de resíduos per capita nos EUA, como sendo de 1,5 kg/habitante/dia; Canadá, 1,9 kg/habitante/dia, Suíça, 1,2 kg/habitante/dia e Índia, 0,4 kg/habitante/dia.

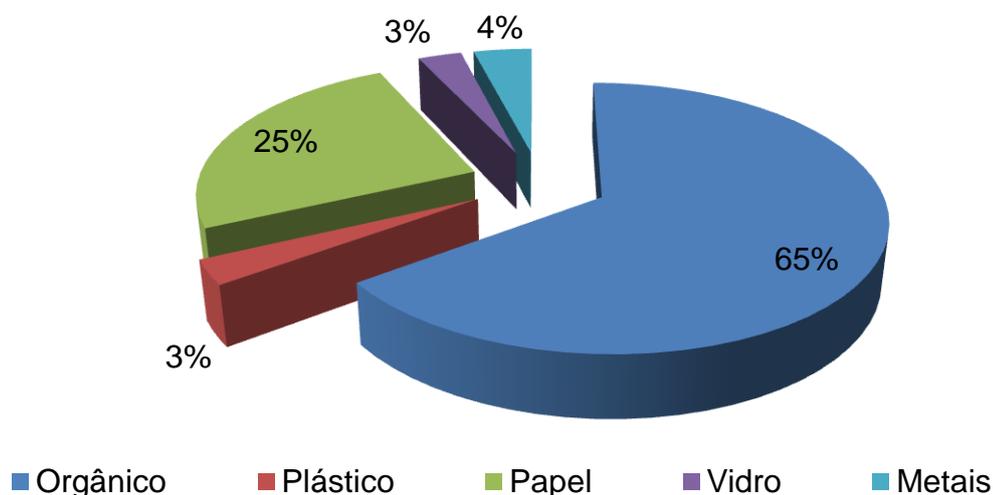
### 3.5.2 Peso específico

O peso específico aparente é definido como sendo o peso do resíduo não compactado dividido pelo seu volume. Dados relativos ao peso específico são necessários para determinar o total de massa e volume de resíduo a ser gerenciado, como por exemplo um correto dimensionamento dos equipamentos e instalações necessárias (FARIAS; JUCÁ, 2000). Para o peso específico do resíduo domiciliar, pode-se adotar o índice de referência de 230 kg/m<sup>3</sup> (IBAM, 2004).

### 3.5.3 Composição gravimétrica

De acordo com o Manual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos do IBAM (IBAM, 2004) a composição gravimétrica traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de resíduos. A composição gravimétrica média dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil, conforme pesquisa realizada em 1997 pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, é apresentada na Figura 2.

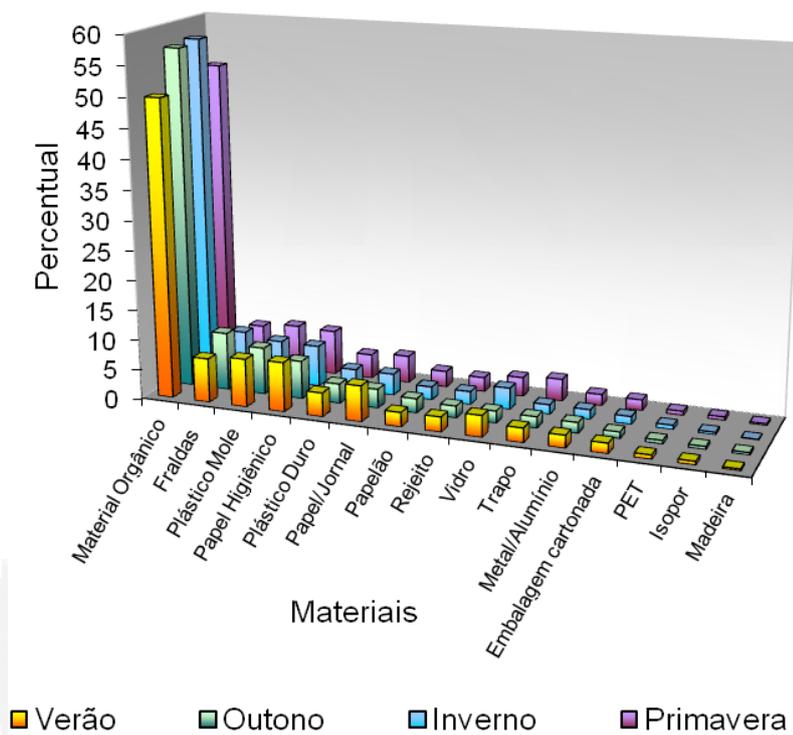
Figura 2 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos no Brasil (percentual relativo ao peso).



Fonte: IPT, 1997

Em estudo desenvolvido por Konrad, Casaril e Schmitz (2010), constatou-se que na cidade de Lajeado/RS, 46,1%, em relação ao peso de resíduos sólidos domésticos na coleta regular, caracterizou-se como material orgânico. Já no município de Estrela/RS, em estudo semelhante, Konrad et al (2010) verificaram que uma média de 54% em relação ao peso dos resíduos sólidos domésticos coletados caracteriza-se como material orgânico, conforme a Figura 3 a seguir, que apresenta a caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos domésticos no município de Estrela/RS no ano de 2008.

Figura 3 – Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos domésticos no município de Estrela/RS no ano de 2008.



Fonte: Konrad et al. (2010)

### 3.5.4 Compressibilidade

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

### 3.5.5 Poder Calorífico

O poder calorífico indica a capacidade potencial de um material desprender determinada quantidade de calor quando submetido à queima e está normalmente associada a métodos de tratamento térmicos como a incineração, pirólise ou

coprocessamento. O poder calorífico médio dos resíduos domiciliares situa-se na faixa de 5.000 kcal/kg (IBAM, 2004).

### **3.5.6 Composição Química**

A composição química consiste na determinação dos teores de cinza, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, potássio, fósforo, resíduo mineral, gorduras etc., o que é importante já que praticamente todas as formas de tratamento exigem algum conhecimento da composição química dos resíduos a serem tratados (LIMA, 2004).

### **3.5.7 Características biológicas**

As características biológicas estão relacionadas à população microbiana e a presença de agentes patogênicos nos resíduos sólidos. O conhecimento das características biológicas dos resíduos tem sido muito utilizado no desenvolvimento de inibidores de cheiro e de retardadores/aceleradores da decomposição da matéria orgânica, normalmente aplicados no interior de veículos de coleta para evitar ou minimizar problemas com a população ao longo do percurso dos veículos. Da mesma forma, estão em desenvolvimento processos de destinação final e de recuperação de áreas degradadas com base nas características biológicas dos resíduos (IBAM, 2004).

## **3.6 Métodos de tratamento e destinação de resíduos sólidos domésticos**

No que tange aos métodos de tratamento dos resíduos, enquadram-se a disposição final em aterro sanitário e o tratamento através do processo de compostagem e incineração, além da destinação para reciclagem. Além desses itens, há outros métodos como o tratamento mecânico biológico prévio e a pirólise, que não serão abordados nesse trabalho.

### 3.6.1 Aterro sanitário

A definição técnica para aterro sanitário é apresentada pela NBR 8.419 (ABNT, 1992):

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário (ABNT, 1992, p. 4).

A partir da disposição final de resíduos em aterros, as populações de microorganismos presentes multiplicam-se transformando o material biodegradável em massa parcial ou totalmente bioestabilizada, através do processo de decomposição anaeróbia que gera gases, principalmente o metano. O acúmulo desses gases aprisionados dentro das células pode causar a expansão e a ruptura da camada de cobertura, e, além disso, esses gases são inflamáveis e aumentam o risco de combustão, fato este que demanda drenos para a condução desses gases para a atmosfera (TENÓRIO; ESPINOSA, 2004).

Quanto às emissões de gases nos aterros, estes locais são responsáveis por grande parte das emissões de biogás, formado a partir da degradação da matéria orgânica. Ele é composto tipicamente por 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de outros gases como hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, amônia, dos quais o metano é considerado o mais poluente. Entretanto, esse gás também pode ser fonte energética, sendo que dependendo da eficiência do processo, o biogás chega a conter entre 40% e 80% de metano, o que lhe confere boa combustibilidade (PECORA, 2006).

Até serem compactados e cobertos, os resíduos permanecem por certo tempo descobertos no aterro, em contato com o ar atmosférico. Neste período verifica-se a presença do biogás, que continuará sendo emitido após a cobertura e encerramento da célula do aterro. A formação e taxa de geração dos principais constituintes do aterro é variável ao longo do tempo. Em condições normais, a taxa

de decomposição atinge um pico entre o primeiro e segundo ano e diminui continuamente por alguns anos. A presença de substâncias não combustíveis no biogás (água, dióxido de carbono e materiais inertes) prejudica o processo de queima, tornando-o menos eficiente. Estas substâncias entram com o combustível no processo de combustão e absorvem parte da energia gerada. O poder calorífico do biogás se torna menor à medida que se eleva a concentração das impurezas (ENSINAS, 2003).

Visto que é uma fonte primária de energia, o biogás pode ser utilizado para iluminação de residências, aquecimento de água, além de aquecimento de caldeiras e fornos em usos industriais. O biogás não é tóxico, porém atua sobre o organismo humano diluindo o oxigênio, o que pode provocar morte por asfixia. Não é solúvel em água e sua combustão não libera resíduos, contudo pode substituir os combustíveis fósseis usados atualmente (LIMA, 2004).

Conforme Tenório e Espinosa (2004), o chorume é o líquido oriundo da decomposição dos resíduos e provém da umidade natural presente nestes e do produto gerado pela ação dos microorganismos que atacam a matéria orgânica, aliado a infiltração das águas pluviais. Assim, a produção de chorume agrava-se sensivelmente nos períodos prolongados de chuva, especialmente se a célula do aterro for aberta. Em virtude disso, apesar das técnicas de impermeabilização adotadas na construção, recomenda-se que a separação entre o fundo do aterro e o nível do lençol freático não seja inferior a 15 metros.

Nesse contexto, visando à minimização de impactos ambientais através do emprego de critérios técnicos, os aterros sanitários são dotados de sistema de impermeabilização, drenagem de gases, lixiviados e águas pluviais e os efluentes líquidos gerados (chorume ou percolado) devem ser tratados em estação de tratamento de efluentes (BIDONE; POVINELLI, 1999).

O aterro sanitário é uma das práticas mais utilizadas em virtude de sua relativa simplicidade de execução e relativo baixo custo, tendo como fator limitante a disponibilidade de áreas próximas aos centros urbanos que não comprometam a segurança e o conforto da população, a desvalorização da região nas proximidades do aterro e a escassez de recursos humanos habilitados em gerenciamento de

aterros (LIMA, 2004). Além disso, a perda de matérias-primas e da energia contida nos resíduos, o transporte dos resíduos a longas distâncias, além dos riscos de contaminação do lençol freático e do solo devido a produção de chorume e percolados, que necessitam de tratamento, são passivos ambientais constantes. Ainda destaca-se a necessidade de manutenção e vigilância após o fechamento do aterro, monitoramento contínuo e permanente para fins de avaliação das águas superficiais, através da piezometria (TENÓRIO; ESPINOSA, 2004).

Deve-se levar em conta que o aterro sanitário precisa apresentar vida útil superior a dez anos. Após o fechamento do aterro, a área não poderá ser usada para fins de construção e ao redor do aterro deverá ser implantada uma cerca verde, de preferência com vegetação nativa. Além disso, deve ser efetuado um monitoramento ambiental da área na qual a célula está construída, tanto referente a análise de águas superficiais e subterrânea, quanto da análise do solo. O aterro sanitário é a única opção aceita atualmente para a destinação dos resíduos que não podem ser reciclados ou compostados, ou seja, para o que realmente constitui o lixo. Entretanto, os mesmos recebem inadequadamente resíduos reaproveitáveis e recicláveis. Esta realidade determina que os aterros tenham a sua vida útil reduzida, sendo necessária a construção de um novo aterro em menos tempo, o que é oneroso e ocupa grandes espaços (PECORA, 2006).

A abordagem europeia para a gestão dos resíduos diz que a eliminação em aterro é a opção menos desejável em função dos potenciais impactos adversos. A prevenção da geração, reutilização, reciclagem e outras formas para a recuperação de resíduos na produção de energia exemplo, são opções mais desejáveis (EUROPEAN COMMISSION, 2010).

### **3.6.2 Compostagem**

Devido a maior fração dos resíduos sólidos domésticos ser composta por frações orgânicas (de 50 a 60 %) conforme já citado, o processamento ideal para os mesmos é o processo de compostagem. A técnica da compostagem foi desenvolvida com a finalidade de acelerar, com qualidade, a estabilização da

matéria orgânica, transformando os resíduos orgânicos em adubo para o solo, já que os restos orgânicos sofrem decomposição microbiana transformando-se em um fertilizante orgânico (KIEHL, 2004). Os resíduos orgânicos constituem todo material de origem animal ou vegetal e cujo acúmulo no ambiente não é desejável. Por exemplo, dejetos de animais, bagaço de cana-de-açúcar, serragem, restos de capina, aparas de grama, restos de folhas do jardim, palhadas de milho e de frutíferas. Estão incluídos também os restos de alimentos de cozinha, crus ou cozidos, como cascas de frutas e vegetais.

O processo de produção de composto orgânico dos resíduos sólidos domésticos é constituído por etapas de tratamento físico e biológico. O tratamento físico consiste na prévia segregação da matéria orgânica degradável dos materiais não biodegradáveis, enquanto o tratamento biológico consiste na digestão dos resíduos pela ação dos microorganismos presentes, em geral através do processo aeróbio, por ser mais rápido e isento de mau-cheiro (LIMA, 2004; BIDONE e POVINELLI, 1999). Em conceito abordado por Kiehl (2004), a compostagem é um processo controlado de decomposição microbiana de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido. Sua finalidade é obter, mais rapidamente e em melhores condições, a estabilização da matéria orgânica. Conforme o autor, no processo da compostagem, os restos orgânicos são amontoados e revolvidos, decompondo-se assim em menor tempo, produzindo um composto orgânico de qualidade. A técnica é considerada um processo controlado pelo fato de se poder acompanhar e controlar a temperatura, a aeração e a umidade, fatores essenciais para o bom funcionamento do processo.

A matéria orgânica passiva de compostagem é a que apresenta carbono suscetível à degradação, como restos de frutas, legumes, alimentos, grama e materiais originários da limpeza de pátios e jardins (PEREIRA NETO, 1996). Esses materiais sofrem decomposição microbiana sendo transformados num fertilizante orgânico denominado composto, com características e propriedades diferentes do material que lhe deu origem. A matéria orgânica passa por três fases: a primeira é a fitotóxica, na qual ocorre o desprendimento de calor, vapor d'água e CO<sub>2</sub>, além da reação ácida dos materiais orgânicos crus que liberam toxinas danosas às plantas (fase de fermentação), logo o composto imaturo não pode ser usado como adubo. A

segunda fase é a semicura, na qual é alcançada a bioestabilização. A terceira fase é a maturação, fase que a matéria orgânica atinge a humificação. No início da compostagem ocorre a elevação da temperatura do substrato, que inicialmente pode ser menor que a ambiente, já que ocorre a evaporação da água da decomposição da massa (fase denominada criófila). Porém, nos dias subseqüentes, a decomposição do composto começa a gerar calor, e a temperatura sobe, havendo a fase mesófila, seguida de outra mais quente, denominada termófila, que se mantém constante por um período variável. Se não faltar umidade nem oxigênio, a temperatura voltará a baixar e o composto entrará na fase mesófila novamente. Esta passagem de fase termófila para mesófila indica que o composto está bioestabilizado ou semicurado. À medida que a leira perder calor e ficar com uma temperatura igual à ambiente o composto está curado ou humificado. É importante que não haja falta de água no processo, pois haveria perda de calor e, conseqüentemente, a temperatura se igualaria a ambiente, sem que ocorresse a humificação; além disso, parâmetros como temperatura e relação carbono/nitrogênio são também fatores determinantes, além da umidade, cujo teor ideal é de cerca de 60% (KIEHL, 2004).

### **3.6.3 Incineração**

Segundo Lima (2004) a incineração é definida como o processo de redução de peso, do volume e das características de perigosidade dos resíduos, com a conseqüente eliminação da matéria orgânica e características de patogenicidade, através da combustão controlada em termos de aeração, em alta temperatura (acima de 900 °C) e em tempo pré-determinado. Compostos orgânicos são reduzidos a seus constituintes minerais, principalmente dióxido de carbono e vapor d'água, além de sólidos inorgânicos (cinzas).

Nessas condições, a eficácia na redução de volume dos resíduos é de cerca de 95%, obtendo-se como produto sólido apenas cinzas, o que reduz drasticamente a necessidade de espaço em aterro sanitário. Em contrapartida, a técnica exige altos investimentos financeiros em razão da necessidade de implementos tecnológicos para minimizar a poluição do ar gerada pela emissão de gases tóxicos,

especialmente dioxinas e furanos, advindos da queima do resíduo, o que, aliado aos impactos gerados pela incineração fazem desta forma de tratamento uma alternativa praticamente inviável de ser adotada no Brasil (IBAM, 2004).

Todavia, através da incineração de resíduos é possível recuperar energia para a geração de vapor ou eletricidade, o que é amplamente empregado em países europeus e Japão, o que reflete em vantagens econômicas. Na Suíça, mais de 80% dos resíduos são queimados e no Japão, 74%. Uma forte campanha contrária às usinas de incineração de resíduos durante a década de 80 resultou na adoção de legislações ambientais com limites extremamente rigorosos para as emissões gasosas, nos EUA, nos países da União Européia e Japão (HSU, 2006).

#### **3.6.4 Reciclagem**

Reciclar significa transformar materiais usados em novos produtos para o consumo, utilizando-se de materiais descartados como matéria-prima. Assim, a reciclagem apresenta-se como alternativa de processamento e tratamento de resíduos. Segundo Reis, Fadigas, Carvalho (2005), para que os resíduos sejam encaminhados às usinas e/ou indústrias de reciclagem, estes devem ser separados e descartados de forma seletiva, sendo direcionados adequadamente para postos de entrega voluntária ou sob forma de coleta seletiva. Nesse contexto, a coleta seletiva de resíduos sólidos pressupõe a separação dos materiais recicláveis ainda na fonte produtora. Dados da PNSB (2008) informam que dos 5.565 municípios brasileiros, 994 contam com coleta seletiva de resíduos sólidos recicláveis, o que representa 17,8%. Dentre os benefícios de realização da reciclagem cita-se especialmente a diminuição da quantidade de resíduo a ser aterrada, a preservação de recursos naturais e a redução dos custos de produção.

#### **3.7 Componentes de uma central de triagem e compostagem**

Em um sistema de triagem seguido por compostagem a céu aberto da fração orgânica dos resíduos, são realizadas as seguintes operações:

- Recepção dos resíduos: local onde é realizada a descarga dos caminhões coletores, onde os resíduos permanecem temporariamente, até passarem à fase seguinte, que é a triagem;
- Triagem: geralmente realizada em uma esteira rolante, porém, em unidades pequenas, o sistema pode ser estático. Os primeiros trabalhadores da linha cortam os sacos plásticos para liberar os resíduos, e os demais realizam a triagem dos diferentes tipos de materiais inertes, separando-os dos outros resíduos. No final da operação deve restar apenas a fração orgânica;
- Trituração: quando existe, fica no final da esteira de triagem, triturando a fração orgânica. Alguns modelos também funcionam com separadores de materiais metálicos como pilhas, pregos, tampas de garrafas etc.;
- Transporte de inertes: geralmente feito com carrinhos de mão, os inertes são colocados em baias e após enfardados;
- Transporte da matéria orgânica: a matéria orgânica separada na esteira é levada para o local de compostagem onde tem início o processo;
- Transporte dos rejeitos: materiais que não se enquadram nos usos anteriores são descartados e dispostos no aterro sanitário

Em geral, as etapas de recepção, triagem e trituração são as que demandam maiores investimentos em equipamentos e construções civis; porém, o grau de mecanização depende da quantidade de resíduos a serem tratados. Para sistema de pequena capacidade, pode-se ter o mínimo de equipamentos mecânicos, o que contribui para um menor custo. Comumente, observa-se nesse tipo de central de triagem que maior atenção é dispensada à fase de triagem e, uma vez que a fração orgânica é disposta no pátio de compostagem, ela não recebe o monitoramento necessário, o que compromete todo o processo, visto que a compostagem é de natureza biológica e necessita de monitoramento nos parâmetros físico-químicos (PESSIN et al, 2006).

## **4 METODOLOGIA**

No que se refere aos aspectos metodológicos, inicialmente apresenta-se a descrição do local de estudo, a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela/RS e, posteriormente, aborda-se o método de trabalho proposto.

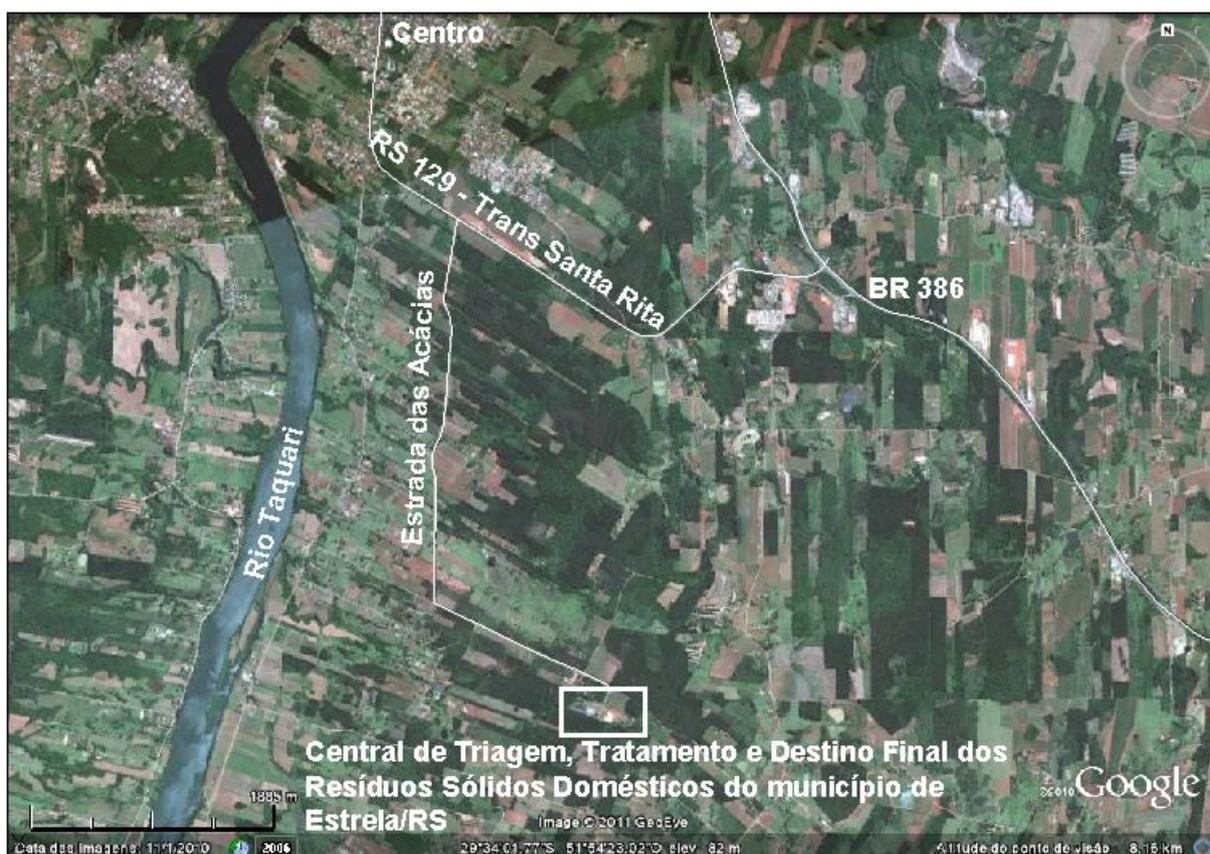
### **4.1 Descrição do local de realização da pesquisa**

Localizado à margem esquerda do Rio Taquari, na porção basal do que se denomina a Encosta Inferior do Planalto Meridional, o município de Estrela é um dos mais antigos da região do Vale do Taquari, sendo um dos maiores pólos industriais da região, especialmente devido ao entroncamento das rodovias Presidente Kennedy (BR-386) e Rota do Sol (RST-423), além do eixo Rodo-hidro-ferroviário (HESSEL, 1983). Dados do IBGE (2010) mostram que o município possui área de 184,2 km<sup>2</sup> e população de 30.619 habitantes, dos quais 84,6% (25.913 pessoas) vivem na área urbana. Sua base econômica está fundamenta na agricultura, pecuária e indústria.

A Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela/RS localiza-se na Linha Delfina, interior do

município, estando distante 4 km do centro da cidade, através da ERS 129 - Trans Santa Rita, a qual é interligada à BR 386, conforme se visualiza na Figura 4. As coordenadas de localização geográfica do local são 29°33'19"S e 51°57'00"O, datum WGS 84.

Figura 4 – Localização da Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela/RS.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2011).

A área total do empreendimento é 9,5 ha, área que compreende a célula de aterro sanitário, pátio de compostagem, galpão de triagem, lagoas de tratamento, área verde, guarita e refeitório/vestiários, de acordo com a Figura 5. Oficialmente, trabalham no local 28 pessoas diariamente, nos turnos da manhã e tarde.

Figura 5 – Vista superior da área ocupada pela Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela/RS.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2011).

#### 4.2 Operação da Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela/RS

Conforme informações cedidas pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Saneamento Básico de Estrela-RS, de segunda-feira a sábado, a Central recebe os resíduos sólidos domésticos coletados por caminhões compactadores de empresa terceirizada de 18 bairros e de demais localidades (incluindo a zona rural) do município de Estrela, atendendo dessa forma a 100% da população. Para cada bairro, são estabelecidos três dias por semana de recolhimento de resíduos orgânicos e um dia na semana para a coleta seletiva. Nas áreas rurais, pressupõe-se que o resíduo orgânico é empregado na alimentação animal ou para a compostagem, em função da disponibilidade de áreas, sendo a coleta de resíduos recicláveis realizada uma vez por semana.

Salienta-se que no município está implantada a coleta seletiva desde o ano de 2005, estabelecendo dias e horários determinados para a coleta dos resíduos “orgânicos e inorgânicos”, previamente separados. Desde a implantação do projeto, campanhas de divulgação da coleta seletiva são realizadas periodicamente.

Na entrada da área do empreendimento em questão há uma guarita equipada com balança rodoviária, da marca Filizola a qual possui certificado do Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia) de calibração, sendo responsável pela aferição da massa dos caminhões coletores que entram e saem diariamente no local. Após, os resíduos seguem até o setor de recebimento, onde são depositados temporariamente em ambiente coberto e com superfície concretada (Figura 6), sendo empurrados por máquina carregadeira e mão de obra manual para duas esteiras transportadoras.

Figura 6 – Resíduos sendo depositados por caminhão coletor no setor de recebimento.



Fonte: Os autores.

No local de triagem existem duas esteiras, sendo que uma delas recebe preferencialmente o material proveniente da coleta dos resíduos orgânicos e possui uma peneira rotativa oitavada acoplada, enquanto a outra se constitui exclusivamente da própria esteira (Figura 7). Periodicamente são realizadas

manutenções com serviços de limpeza geral, lubrificação, alinhamento e manutenção de esteiras transportadoras.

Primeiramente ocorre a abertura das sacolas plásticas que armazenam os resíduos, seguida da segregação e classificação pelos operários dos materiais que passam pelas esteiras, etapas estas realizadas manualmente. O número de colaboradores nas esteiras de triagem é importante para que o processo de triagem seja eficiente, não acumulando materiais na unidade de recebimento, já que a etapa de catação dos materiais com potencial de reciclagem é realizada manualmente.

Figura 7 – Esteira para triagem preferencialmente dos resíduos orgânicos.



Fonte: Os autores.

Os materiais com potencial de reciclagem segregados manualmente nas esteiras são depositados em *bags* (sacos para armazenagem de materiais) e posteriormente enfardados (Figura 8) ou colocados em baias concretadas, como é o caso do vidro, sendo leiloados semestralmente. De forma geral, os resíduos selecionados na Central são: papel (jornal e misto), papelão (colorido e pardo), embalagem cartonada (longa vida), plásticos (PET, PEAD – branco/colorido, PVC), plástico filme transparente e misto, vidro; fio de cobre e embalagem de alumínio.

Figura 8 – Resíduos com potencial de reciclagem selecionados na triagem, prensados armazenados.



Fonte: Autores

Sequencialmente, após uma das esteiras localiza-se a peneira giratória, na qual os resíduos que não foram selecionados para reciclagem, ou seja, que permaneceram na peneira são peneirados. Na Figura 9 visualiza-se a peneira oitavada, a qual possui as seguintes dimensões: 6 metros de comprimento, diâmetro equivalente a 2 (dois) metros e com malha 60 x 60 mm de espaçamento. Este dimensionamento da peneira permite a passagem dos materiais orgânicos que serão enviados ao pátio de compostagem.

A peneira rotativa oitavada é auxiliada por duas esteiras transportadoras, cuja função é de recolher e descarregar os resíduos peneirados, sendo transferidos pela retro-escavadeira até as leiras de resíduo orgânico no pátio da compostagem. Os rejeitos (sobras da peneira), ou seja, o que não foi classificado na triagem ou passou pela abertura de malha da peneira, são carregados em caminhão caçamba que conduz esses materiais ao aterro sanitário para disposição final.

Na Figura 10 pode-se observar os resíduos que passam pela malha da peneira caírem na esteira rolante e serem enviados para o chão, enquanto na Figura 11 evidencia-se os resíduos a serem destinados no aterro sanitário, oriundos da esteira que não conta com peneiramento. Ressalta-se que material com as mesmas características também é oriundo da peneira rotativa.

Figura 9 – Peneira rotativa oitavada que faz a separação dos resíduos orgânicos.



Fonte: Autores

Figura 10 – Material considerado rejeito a ser destinado ao aterro sanitário.



Fonte: Autores

Figura 11 – O aterro sanitário municipal de Estrela/RS.



Fonte: Os autores.

No pátio de compostagem (Figura 12), os resíduos orgânicos permanecem armazenados por cerca de 90 dias, sendo após este período, peneirados em peneira rotativa sextavada de 6 metros de comprimento e 1,5 m de diâmetro com telas de malha 10 x 10 mm de espaçamento na primeira seção e malha de 20 x 20 mm de espaçamento na segunda seção. Os rejeitos gerados nessa etapa de peneiramento também são enviados ao aterro sanitário, enquanto os resíduos orgânicos são empregados como adubo para o solo no viveiro de mudas municipal.

Figura 12 – Vista de material orgânico depositado no pátio de compostagem.



Fonte: Autores

### 4.3 Metodologia proposta

A partir de visitas técnicas à Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela, realizou-se o levantamento de dados necessários à caracterização da massa e do volume nas diferentes etapas de processamento dos resíduos, sendo os valores adquiridos manualmente através de planilhas com informações sobre data, hora e massa de resíduos. Esta caracterização foi feita a partir de uma análise temporal pelo período de 6 (seis) meses, (de novembro de 2011 a abril de 2012), in situ, o que confere confiabilidade aos dados registrados, sendo também realizado relatório fotográfico.

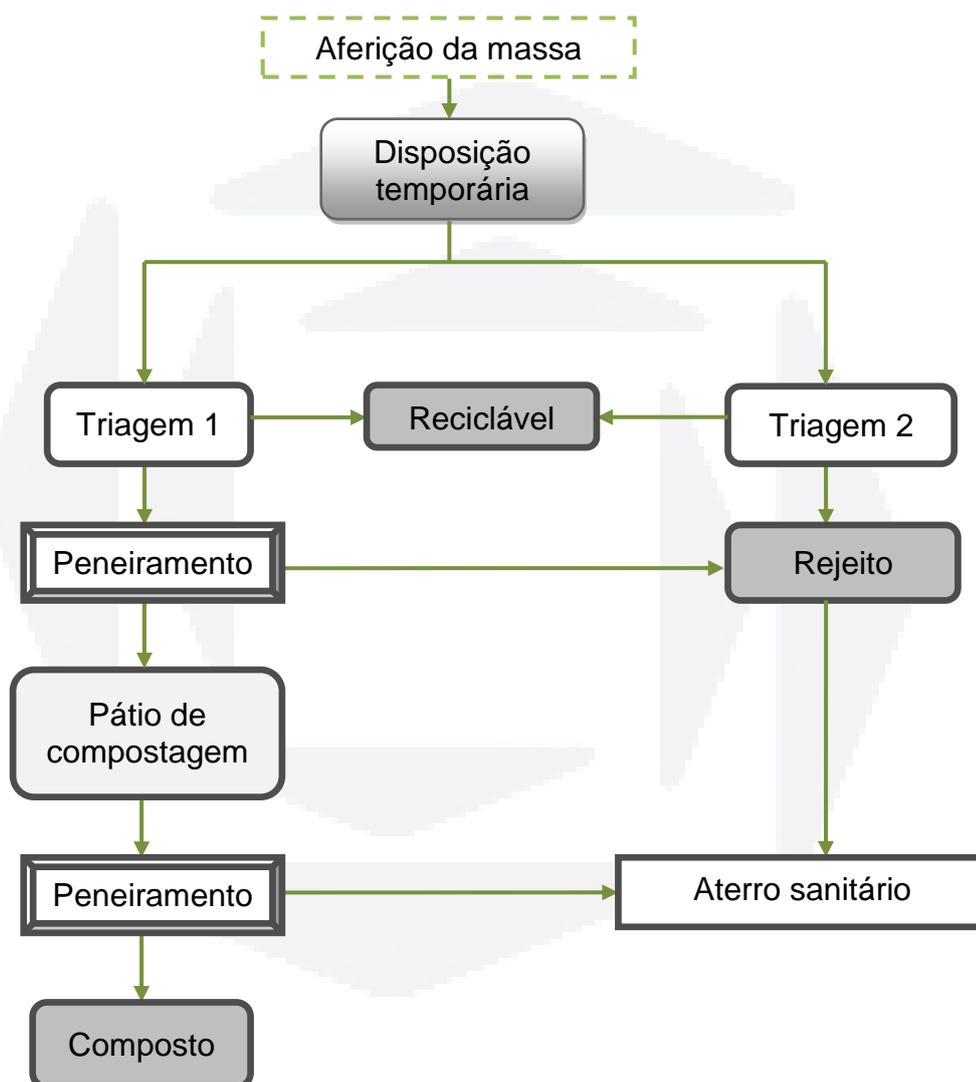
Visando o atendimento ao objetivo específico I deste trabalho que é a determinação da massa diária de resíduos destinada ao local de estudo, todos os caminhões coletores tiveram suas massas aferidas em balança rodoviária, o que forneceu o valor líquido de resíduos diários. No que se refere ao diagnóstico do percentual de resíduos encaminhados ao aterro sanitário, o qual consta no objetivo específico II, foi determinado através da averiguação da massa diária de resíduos cujo destino é o aterro sanitário.

Da mesma forma, determinou-se a massa diária de resíduos enviados ao pátio de compostagem, visando o atendimento ao objetivo específico III. A identificação do percentual de materiais com potencial para reciclagem (objetivo específico IV) foi realizada através do balanço de massa do sistema, no qual, através dos objetivos específicos I, II e III, constatou-se os valores referentes ao total de resíduos coletados que chegaram à Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos de Estrela no período estudado, bem como todos os valores de saída (materiais destinados ao pátio de compostagem e ao aterro sanitário), exceto dos materiais selecionados na esteira. Nesse sentido, através de diferença entre os valores de entrada e saída, foi possível estipular o proposto no objetivo específico IV.

Ao final do período de coleta de dados, O montante de informações referentes AOS seis meses de estudos em campo foi tabelado com formulação de gráficos e diagnósticos de gerenciamento, com relação ao processo adotado no local de

estudo. Na Figura 13, visualizam-se as etapas de processamento dos resíduos na Central.

Figura 13 – Etapas de processamento dos resíduos sólidos domésticos na Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela/RS de Estrela.



Fonte: os Autores.

Referente ao objetivo específico V, as dimensões ocupadas pelos recipientes que armazenam os resíduos, ou seja, o volume da caçamba do caminhão responsável pelo transporte dos materiais na Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos foi mensurado, para fins de

determinação da massa específica, através do quociente entre a massa (kg) dos resíduos e o volume (m<sup>3</sup>) por eles ocupado.

Em escala laboratorial, conduziu-se um teste visando atender o Objetivo específico VI, cuja finalidade é determinar a qualidade do composto orgânico obtido ao final do processo de compostagem. Nesses termos, estudou-se o processo de compostagem em escala laboratorial, verificando-se temperatura e umidade, sendo também realizados testes de granulometria do material orgânico. O referido experimento foi desenvolvido no Laboratório de Gerenciamento de Resíduos da UNIVATES, através da análise de seis parcelas de 0,05 m<sup>3</sup> de resíduos provenientes da etapa de peneiramento da Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela e armazenadas individualmente em seis reatores com capacidade de 60 L, conforme o visualizado na Figura 14, denominados os Reatores numerados de 1 (um) a 6 (seis).

Figura 14 – Reatores empregados no processo de compostagem em escala laboratorial.



Fonte: Autores

Os reatores são sustentados por uma estrutura de ferro com uma parte superior móvel, o que facilita o manuseio e revolvimento dos mesmos, apresentando na parte externa, um sistema de isolamento térmico composto de lã de vidro e um artifício de drenagem de chorume, que se formar eventualmente.

Em escala laboratorial, o material contido nos reatores foi submetido a um processo de compostagem com aeração artificial durante 30 minutos semanais, bem como com revolvimento manual, itens que são fundamentais na técnica, conforme abordado no capítulo anterior. Realizou-se o monitoramento contínuo da temperatura do composto de forma automatizada através de sensores de temperatura PT100 (termorresistência de platina) conectados a um *datalogger*, o qual armazena os valores de temperatura a cada hora, para cada reator. Assim, foi possível determinar o momento da estabilização do composto através da temperatura que ele apresentou, bem como o tempo necessário para a degradação do composto orgânico e a variação do volume e da massa do material. Para o composto orgânico final obtido (estabilizado), os parâmetros pH, carbono, nitrogênio, fósforo (P), potássio (K) e metais pesados foram analisados em laboratório.

Quanto ao ensaio de granulometria, este foi procedido no Laboratório de Tecnologia da Construção da Univates, que é equipado com Mesa Vibratória para Peneiras (Figura 15), constituída por peneiras encaixadas e dispostas da parte superior para a inferior, por ordem decrescente da dimensão das aberturas, com recipiente coletor de fundo e tampa. As aberturas de malha empregadas no estudo em questão são 9,5 mm, 6,3 mm, 4,75 mm e 2,36 mm, em função das características do material estudado. A amostra seca, que foi constituída por uma parcela de 10 litros ( $0,01 \text{ m}^3$ ) de composto orgânico oriundo de três reatores estudados, especificamente os reatores 4 (quatro), 5 (cinco) e 6 (seis), foi despejado na coluna de peneiras, que é agitada mecanicamente, permitindo que todo o material que passa através de cada peneira seja transferido para a peneira seguinte sem causar perdas de amostra, sendo em seguida retiradas as peneiras uma a uma, começando pela de maior abertura.

Figura 15 – Mesa vibratória para peneiras utilizada em teste de granulometria.



Fonte: Autores.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

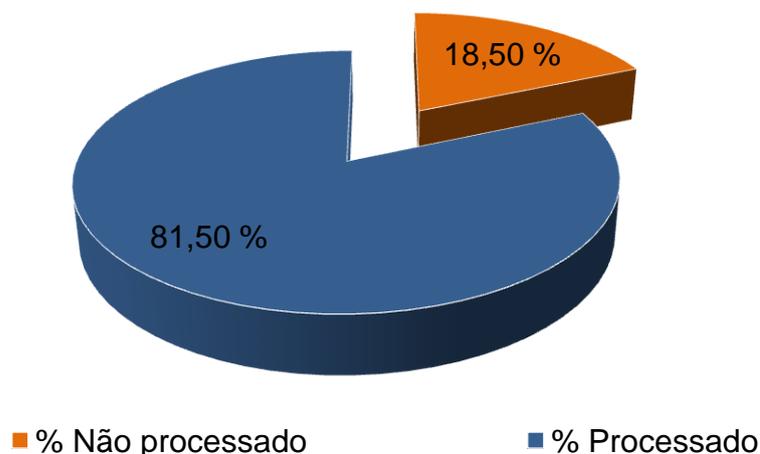
De forma geral, junto à portaria da Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela, ocorre a aferição da massa dos resíduos sólidos domésticos, os quais são imediatamente após despejados no setor de recebimento. No local de triagem os resíduos são manualmente selecionados, sendo o material reciclável prensado, ficando armazenado em área coberta ou aberta, enquanto o restante do material segue ao setor de peneiramento, onde os rejeitos formados na peneira são destinados ao aterro sanitário, após aferição da sua massa, e o material orgânico é enviado à compostagem, sendo também determinada a sua massa, onde ele fica depositado até estabilização.

### **5.1 O processamento dos resíduos sólidos domésticos na Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela**

Durante o período de seis meses de estudos, 2.530.950 kg de resíduos sólidos domésticos foram destinados da Central de Triagem, Tratamento e

Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela, configurando uma média mensal de 421.825 kg. Da Figura 16, depreende-se que do valor total destinado, 18,50 % não sofreu qualquer tipo de triagem ou tratamento, o que representa 468.320 kg de resíduos que não foram processados no período analisado. Assim, pode-se considerar que a unidade de triagem apenas se configurou como uma estação de transbordo para o referido montante, ou seja, mensalmente uma média de 78.053 kg representou um déficit na capacidade de triagem e tratamento atualmente instalada, não sofrendo qualquer modalidade de triagem e tratamento. Nesse contexto, 81,50 % (2.062.630 kg) foram devidamente processados conforme a realidade do local de estudo, sendo o valor correspondente à média mensal de 343.772 kg.

Figura 16 – Perspectiva geral da massa total de resíduos sólidos domésticos destinados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela, quanto ao seu processamento.



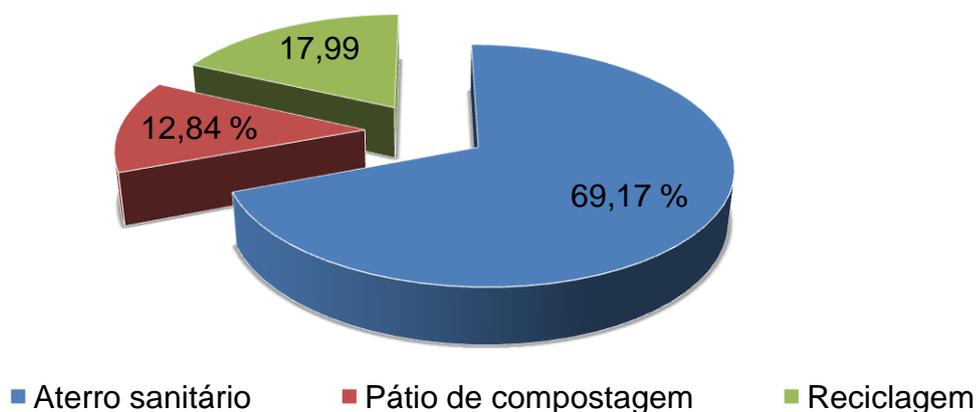
Fonte: Autores.

Com referência a valores diários, em média, 13.830,33 kg de resíduos sólidos domésticos no município de Estrela tiveram como destino Central de Triagem, Tratamento e Destino Final municipal, o que configura uma geração média de 0,45 kg/habitante/dia de resíduos sólidos domésticos, com base na população apontada pelo Censo no ano de 2010, ou seja, de 30.619 habitantes, valor este inferior a média nacional, de 0,49 kg/habitante/dia, conforme apresentado na revisão bibliográfica.

No entanto, nesse valor não se inclui a atuação de catadores informais de resíduos domésticos, que atuam recolhendo materiais na informalidade, o que representa um percentual de resíduos que é gerado pela municipalidade, porém que não foi computado nesse estudo, já que o mesmo não é destinado a central municipal. Importante salientar que os materiais por eles recolhidos apresentam característica de leveza, ou seja, seus pesos específicos são baixos se comparados aos materiais cujo destino é a central de triagem, sendo constituídos basicamente de papéis, latas de alumínio e plásticos, o que não representaria um incremento significativo no valor de 0,45 kg/habitante/dia de resíduos gerados, dado apontado por essa pesquisa.

Considerando uma análise específica, do total de resíduos processados no local de estudo, 69,17 % foi destinado ao aterro sanitário após o processo de triagem, o que representa um valor absoluto de 1.426.703 kg. Além disso, 17,99 %, ou seja, 371.097 kg foram separados durante a triagem, sendo considerados material com potencial de reciclagem. Enquanto isso, 12,84%, 264.830 kg, foram destinados ao pátio de compostagem com a finalidade de produção de composto orgânico. Os dados apresentados são verificados no gráfico apresentado na Figura 17.

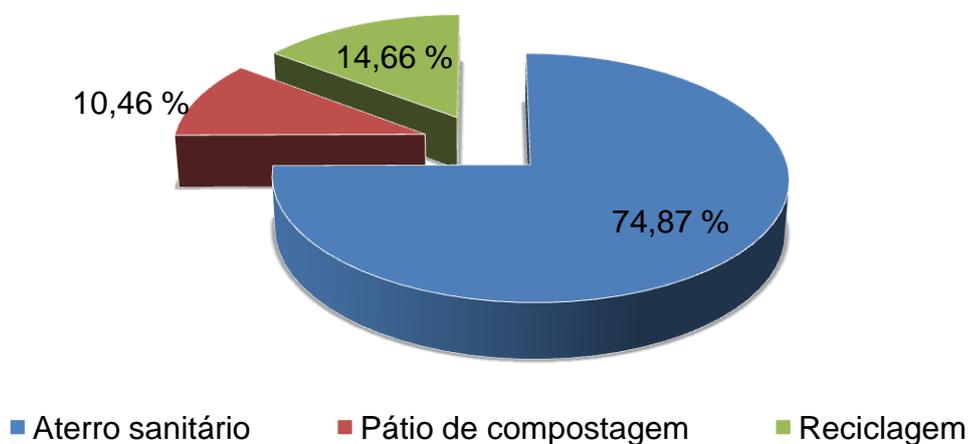
Figura 17 – O percentual de resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos processados.



Fonte: Autores.

Em termos técnicos, o percentual de resíduos não processados, o qual foi mencionado na Figura 16, foi destinado ao aterro sanitário municipal, junto a Central, ou ao aterro sanitário pertencente à Sil Soluções Ambientais, localizado no município de Minas do Leão, a 80 km de Porto Alegre, que possui uma área total de 500 hectares dos quais cerca de 40 estão sendo utilizados na operação, o que permite uma análise sob essa perspectiva. Sob esse contexto, uma análise mais ampla é apresentada na Figura 18 seguinte, contemplado o percentual de resíduos destinados diretamente ao aterro sanitário, sem prévio processamento, no percentual que é destinado ao aterro sanitário com processamento prévio.

Figura 18 - Representação do percentual de resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos enviados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela no período estudado.



Fonte: Autores

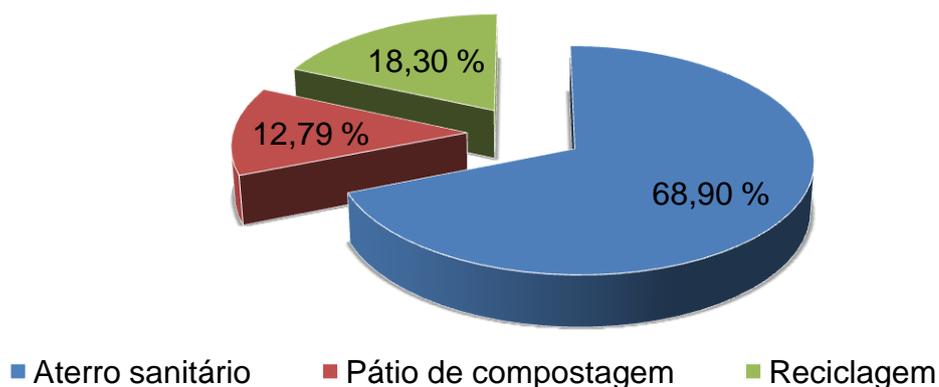
A partir da visualização do gráfico, infere-se que 74,87 % do total de resíduos coletados e destinados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos resíduos sólidos domésticos de Estrela, foi encaminhado ao aterro sanitário, o que corresponde a 1.895.023 kg. Enquanto isso, 10,46 % (264.830 kg) do material coletado teve como destino o pátio de compostagem, além de 14,66% (371.097 kg) foram considerados materiais recicláveis.

## 5.2 Análise temporal do processamento dos resíduos sólidos na Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela

Uma análise específica é apresentada no item seguinte, sendo baseada no detalhamento mensal quanto a distribuição dos resíduos na Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos resíduos sólidos domésticos de Estrela.

Com relação ao primeiro mês estudado, novembro de 2011, 410.400 kg de resíduos tiveram como destino a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos resíduos sólidos domésticos de Estrela, no qual verifica-se que foram destinados ao aterro sanitário 68,9 % do total de resíduos, sendo esse valor em números absolutos correspondentes a 282.780 kg. Inclui-se nesse percentual a massa total de resíduos que não sofreu nenhum processo de triagem ou tratamento, o que representou 3,73 % do total de resíduos do referido mês de estudo. Enquanto isso, 12,79 % foi encaminhado ao pátio de compostagem após o peneiramento, o que representa 52.510 kg. Ainda, 18,30 % foi separado na triagem, sendo considerado material com potencial de reciclagem, o que significa 75.110 kg. Esses valores podem ser visualizados na Figura 19.

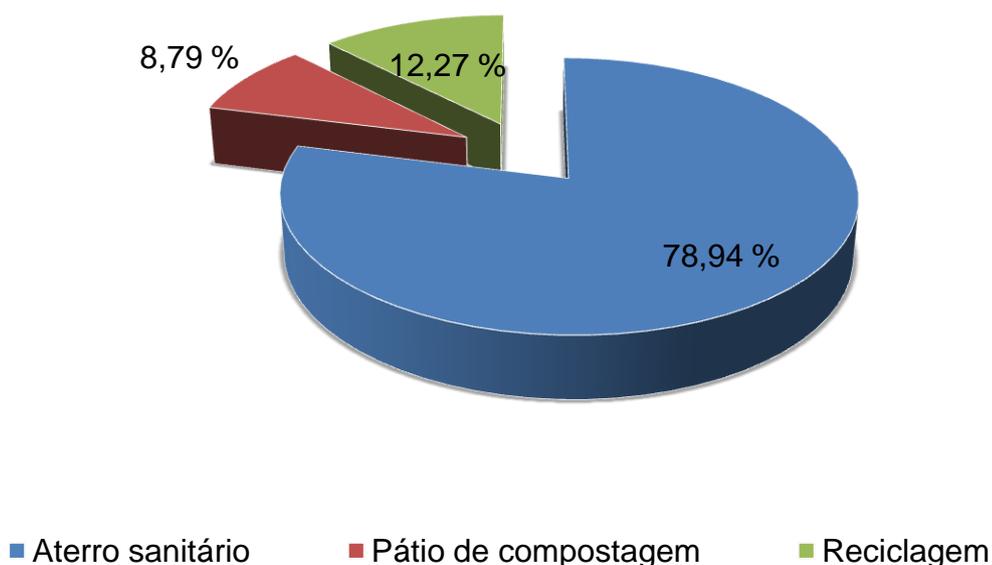
Figura 19 – Representação do percentual de resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos enviados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos no mês de novembro de 2011.



Fonte: Autores.

No mês de dezembro de 2011 (Figura 20), segundo mês de avaliação, constatou-se que 368.620 kg de resíduos sólidos domésticos tiveram como destino a Central de Triagem municipal, dos quais 8,79 % foram encaminhados ao pátio de compostagem, o que representa 41.040 kg. Já com relação à destinação ao aterro sanitário, esse percentual foi de 78,94 % (368.620 kg), dos quais 181.000 kg foram destinados ao aterro sanitário sem prévio tratamento ou seleção, um seja, sem o devido processamento, valor este correspondente a 38,76 % do total de resíduos do mês. Além disso, 57.280 kg, o equivalente a 12,27 % foi considerado material reciclável.

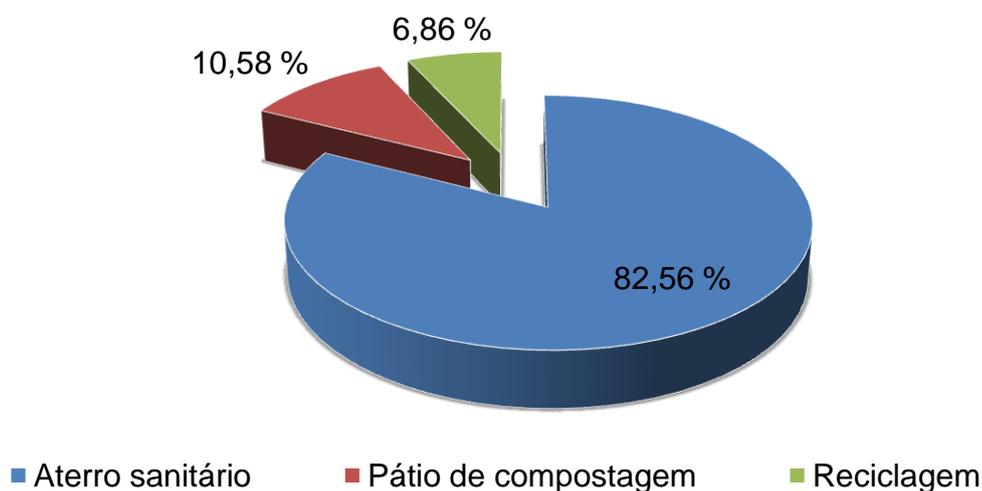
Figura 20 – Representação do percentual de resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos enviados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos no mês de dezembro de 2011.



Fonte: Autores

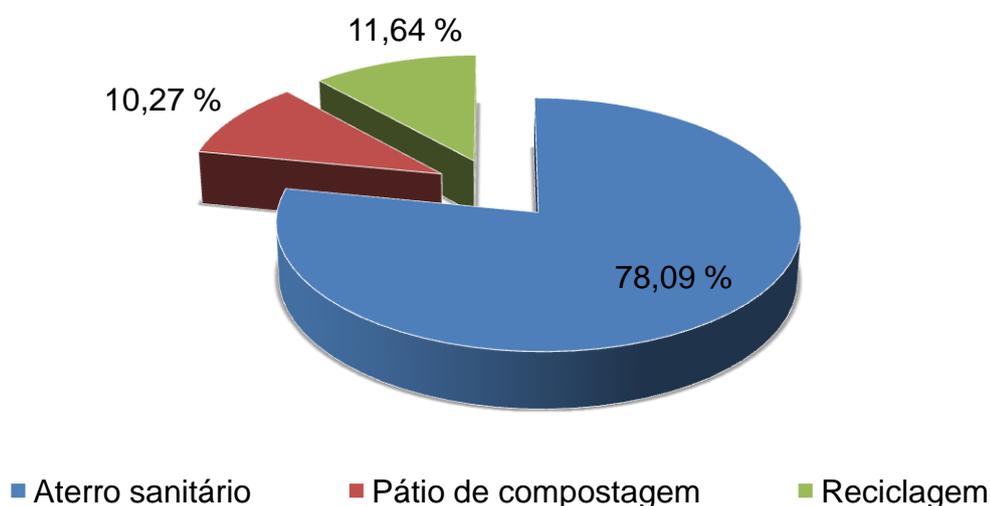
Especificamente levando-se em consideração o mês estudado de janeiro de 2012, nota-se a partir da Figura 21, que dos 398.590 kg de resíduos coletados no referido período, 329.088 kg (52,56 %) foram encaminhados ao aterro sanitário municipal dos quais 49.000 kg de resíduos não foram processados, enquanto que 42.170 kg (10,58 %) foram dispostos no pátio de compostagem e 27.332 kg (6,86 %) adensaram a massa de resíduos recicláveis estocados no local de estudo.

Figura 21 – Representação do percentual de resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos enviados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos no mês de janeiro de 2012.



Uma massa total de 324.295 kg foi objeto de estudo durante o mês de fevereiro do corrente ano, no qual se verificou através das informações constantes na Figura 22, que 78,09 % desse total foi remetido ao aterro sanitário, um valor absoluto de 42.650 kg, dos quais 22,18 % não sofreu nenhum processo de tratamento ou seleção. Ainda com relação ao valor total de resíduos coletados naquele mês, 42.650 kg foram despachados ao pátio de compostagem (10,27 %) enquanto que 48.355 kg foram considerados materiais com potencial de reciclagem (11,64 %).

Figura 22 – Representação do percentual de resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos enviados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos no mês de fevereiro de 2012.



Fonte: Autores

Com referência ao mês de março do ano de 2012, foram coletados 435.960 kg de resíduos, sendo 92.230 kg materiais recicláveis, o que se refere a 21,16 %; e 46.610 kg (10,69 %) os materiais considerados orgânicos, ou seja, que tiveram como destino o pátio de compostagem. No que tange aos resíduos cujo destino final foi o aterro sanitário, 68,15 % do total de resíduos coletados recebeu esse destino, ou seja, um montante de 297.120 kg. Nesse último valor, inclui-se 15,99 % de materiais que não sofreram algum processo de beneficiamento (Figura 23).

Finalmente, no mês de abril de 2012 (Figura 24), um montante de 403.760 kg de resíduos foi coletado, do qual 293.120 kg (72,60 %) foram destinados ao aterro sanitário, sendo 61.200 kg o valor que não foi submetido ao processo de beneficiamento. Ainda nesse contexto, 39.850 kg de resíduos, equivalentes a 9,87 %, foram encaminhados ao pátio de compostagem, sendo considerados material orgânico, enquanto que 70.790 kg (17,53 %) enquadram-se como materiais recicláveis.

Figura 23 – Representação do percentual de resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos enviados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos no mês de março de 2012.

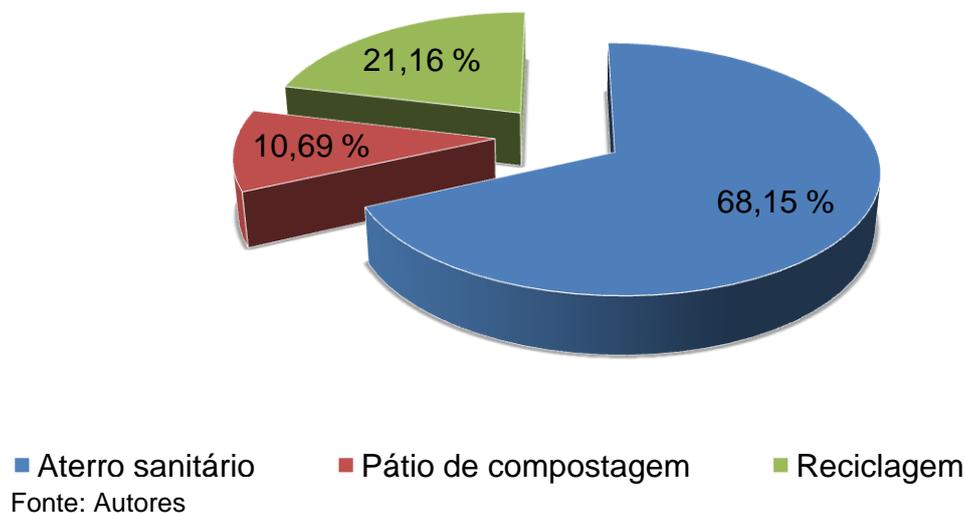
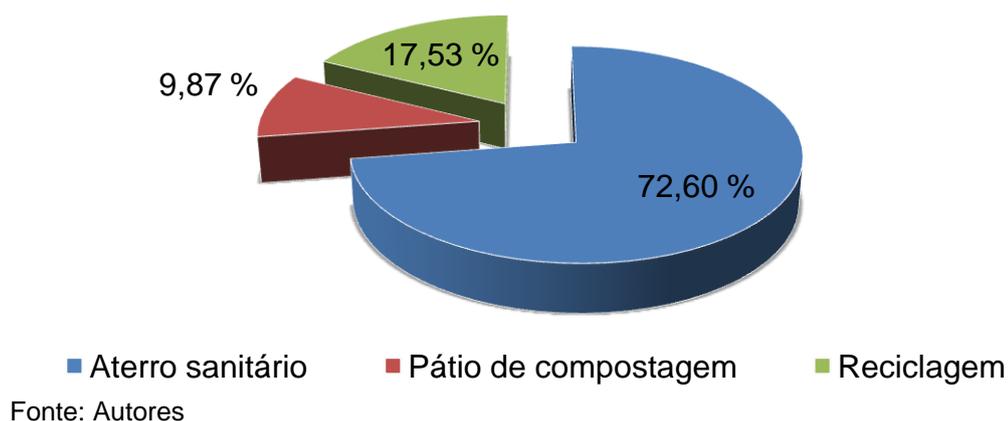
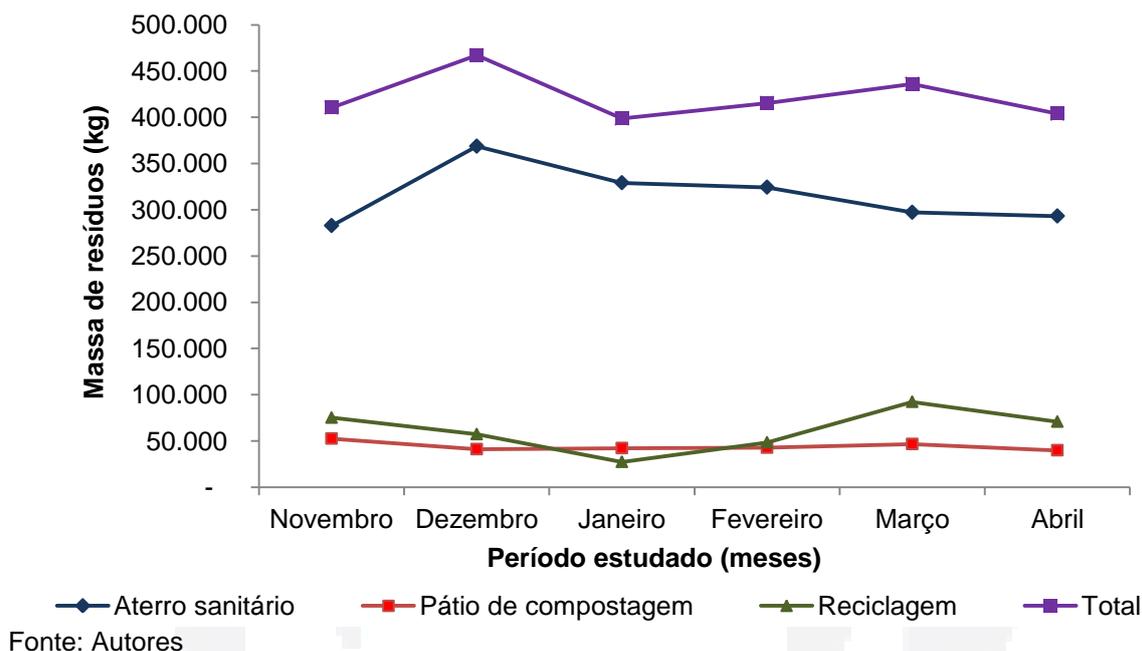


Figura 24 – Representação do percentual de resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos enviados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos no mês de abril de 2012.



Uma análise geral dos dados obtidos em campo ao longo do período de estudo permitiu a elaboração do gráfico apresentado na Figura 25, que apresenta valores para fins comparativos mensais.

Figura 25 – Perspectiva geral dos resíduos destinados ao aterro sanitário, pátio de compostagem e reciclagem, com relação ao total de resíduos enviados a Central de Triagem no período de estudo.



No mês de novembro de 2011, verificou-se um considerável percentual de material destinado ao pátio de compostagem, assim como material reciclável, em função de que nesse mês uma parcela significativa de resíduos - 96,27 % - sofreu o processo de triagem, o que permitiu uma classificação rigorosa da maior parte do material. Em função disso, esse foi o mês cuja menor quantidade de materiais considerados rejeitos foram destinados ao aterro sanitário.

No entanto, conforme anteriormente mencionado, o mês de dezembro correspondeu à maior quantidade de material destinado a Central de Triagem, Tratamento e Destino final do município de Estrela, e de forma comparativa, o mês cujo destino de resíduos ao aterro sanitário foi superior, assim como a parcela não processada (38,76 %), sendo destinada diretamente ao aterro sanitário. Além disso, o material orgânico destinado ao pátio de compostagem e o percentual de material com potencial de reciclagem foram inferiores ao mês anterior (quando houve mais

resíduos), fato este atribuído ao menor grau de seleção à que os resíduos foram submetidos. Na prática, devido a excessos de consumo por festividades, há a uma expressiva geração de embalagens descartáveis (vidros, papel e papelão, especialmente) e resíduos orgânicos, o que vem ao encontro do verificado no referido período de estudos.

Já o mês de janeiro se configurou como sendo o mês com menor quantidade de material destinado ao local de estudo de forma geral, ou seja, o mês cuja coleta dos resíduos arrecadou a menor quantidade de resíduos dentre os meses estudados, no município de Estrela. Logo, a quantidade de resíduos destinada ao aterro sanitário também foi menor, se comparado ao mês de dezembro. No entanto, o referido mês de estudo também correspondeu ao menor percentual de resíduos recicláveis verificados, sendo o único momento no qual o percentual de resíduos orgânicos foi superior ao percentual de resíduos recicláveis. Atribui-se esses aspectos ao número de colaboradores trabalhando efetivamente no setor de triagem, que foi defasado nesse período em função de férias ou mesmo outros motivos secundários. Quanto ao mês de fevereiro, o comportamento da distribuição dos resíduos foi similar ao verificado no mês de janeiro, no entanto com maior quantidade de material caracterizado como reciclável, o que pode ser um reflexo de um número de colaboradores atuando de acordo com o previsto.

No mês de março, confirma-se uma tendência iniciada em janeiro, de incremento na coleta de resíduos, e queda no percentual de rejeitos encaminhados ao aterro sanitário, verificando-se que no referido mês o percentual de resíduos considerados recicláveis foi o maior, e o percentual de material orgânico sofreu um incremento com relação ao mês anterior. De forma geral, em consideração ao mês de abril, percebe-se que o referido período apresentou a menor quantidade de material orgânico sendo destinado ao pátio de compostagem, mas em linhas gerais, seguiu as tendências que vinham se mostrando desde janeiro.

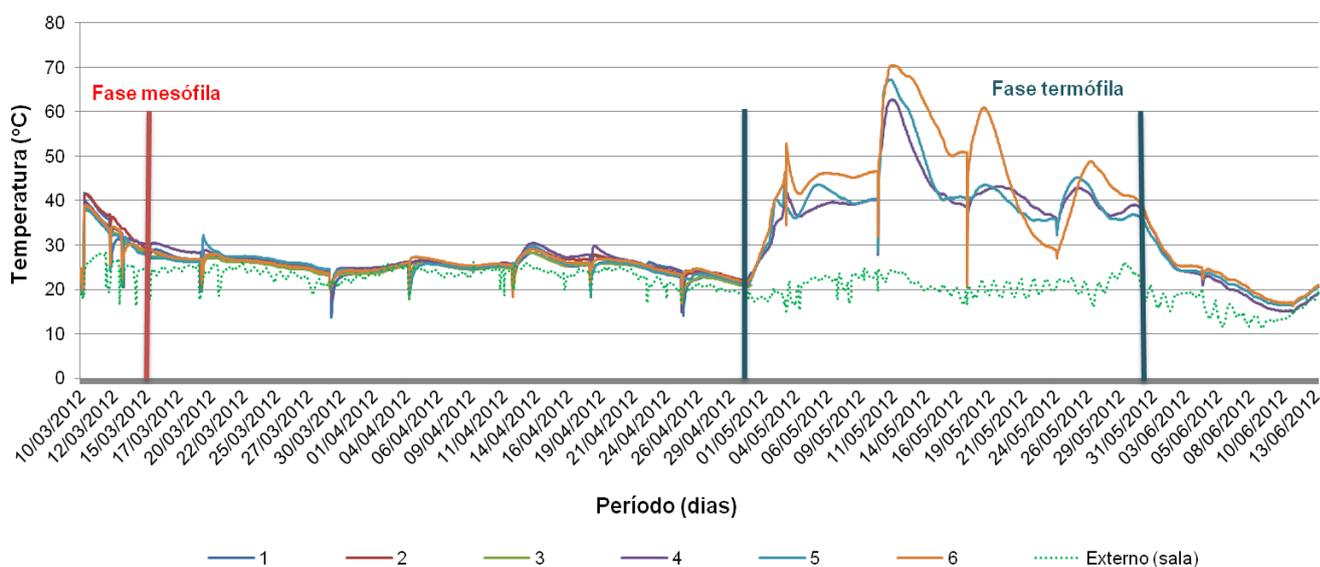
Em termos percentuais, 30,4 % foi o aumento verificado entre os meses de novembro e dezembro em termos de quantidade de resíduos destinados ao aterro sanitário, ou seja, entre o mês responsável pela maior disposição e o mês que menos destinou rejeitos ao aterro sanitário. Para o material orgânico, esse

percentual foi de 31,8 %, entre os meses de novembro e abril. Já para o material reciclável, o valor é de 237,5 %, entre janeiro e março.

### 5.3 Compostagem em escala laboratorial

O processo de compostagem realizado, que consistiu na reciclagem de resíduos sólidos orgânicos, foi desenvolvido através do uso da aeração forçada, em ambiente coberto, visando evitar a entrada das águas pluviais no sistema, com aeração manual. Com relação ao experimento conduzido, adquiriu-se os valores de temperatura, umidade, volume e massa de material, além da execução de testes de granulometria. Devido à necessidade de revolvimento manual e julgando a insuflação de ar artificial suficiente para o desenvolvimento pleno da atividade microbiana, os reatores foram mantidos cobertos com tampas, apresentando apenas uma cavidade na parte superior, a qual permitia a passagem do medidor de temperatura (termômetro), com folga para a liberação de dióxido de carbono gerado pelo processo. Na Figura 26, apresenta-se as variações de temperatura nos 6 (seis) reatores analisados, durante o período total de 96 dias, iniciando em 10 de março de 2012, com término em 13 de junho de 2012.

Figura 26 – Gráfico apresentando as variações de temperatura em cada reator estudado, durante o processo de compostagem em escala laboratorial.



Através do gráfico exposto, verifica-se que no período inicial de experimentação, de cerca de 5 (cinco) dias, as temperaturas no interior dos reatores eram superiores à temperatura externa a que estavam submetidos. Enquanto no interior do reator 1, a temperatura máxima registrada foi de 41,5 °C, no ambiente externo, a temperatura máxima registrada foi de 25,6 °C.

Após essa fase, verificou-se que as temperaturas mantiveram-se estáveis por um período de 45 dias, ou seja, entre 15 de março e 30 de abril, quando já havia sido diagnosticada uma ligeira queda. Nesse período, as faixas de temperatura variaram sempre entre 20 e 30 °C, ou seja, a estabilidade nas temperaturas foi predominante nesse período, com situações nas quais as temperaturas internas praticamente se equivaleram às externas. Verificou-se a temperatura máxima de 31,5 °C, no dia 19/03/2012. Essas condições permitiram o surgimento de fungos nos reatores, conforme aponta a Figura 27, além de odores desagradáveis, no entanto salienta-se que não ocorreu a formação de efluente líquido (chorume) nos período estudado

Figura 27 – Evidências de formação de fungos durante uma etapa do processo de compostagem em escala laboratorial.



Fonte: Autores

Nesse contexto, a partir das análises diárias da temperatura nos reatores estudados, foi possível concluir que o processo de compostagem encontrava-se

ineficiente em função da temperatura não ter atingido os patamares previstos em bibliografias, que relacionam as fases da compostagem com a temperatura do composto no tempo. Assim, em um processo de compostagem espera-se inicialmente uma fase na qual predominam temperaturas moderadas, até cerca de 40 °C, com duração média de dois a cinco dias, denominada mesófila; e, posteriormente, quando o material atinge sua temperatura máxima, ocorre a fase termofílica, que pode ter a duração de poucos dias a vários meses, de acordo com as características do material sendo compostado, predominando as temperaturas acima de 40 °C.

Em função dessa inoperância verificada no sistema de compostagem, a qual não atingiu as temperaturas máximas preconizadas, foi realizada uma intervenção no experimento, a qual consistiu na retirada da cobertura dos recipientes que armazenam o material em compostagem.

Dessa forma, o experimento sofreu alterações não previstas inicialmente, o que permitiu que o processo de compostagem se desenvolvesse de forma plena nos referidos reatores, já que o oxigênio antes escasso, agora podia facilmente estar disponível para o metabolismo microbiano, dependente desse elemento.

Antes, com a presença das tampas nos reatores, o oxigênio fornecido artificialmente não se mostrou suficiente para o andamento do processo, aliado a isso, o dióxido de carbono formado não conseguia fluir para a atmosfera com facilidade. Nesse sentido, o ambiente apresentava tendências de anaerobiose, mesmo que não completa.

A partir desse momento, observou-se as temperaturas pertinentes à fase termofílica, as quais sofreram aumentos bruscos, permanecendo numa período inicial por volta dos 45 °C, chegando até os patamares de 60 a 70 °C, Nessa fase, cuja duração foi de aproximadamente 30 dias, registrou-se a temperatura máxima de 70,3 °C, no reator 6, ficando evidenciada desta forma a fase termofílica atribuída a compostagem, visível na Figura 26 com destaque.

Após, gradativamente, ocorreram períodos de quedas na temperatura, que se perduraram até dia 10 de junho, quando verificou-se um aumento geral nas

temperaturas, tanto dos reatores estudados quando na temperatura ambiente, o que confirma que o processo de compostagem estava finalizado e o composto orgânico estabilizado, já que o mesmo sofreu variações de temperaturas conforme o ambiente a que estava submetido. A partir desse momento, evidenciou-se quedas gradativas nas temperaturas, o que corresponde a estabilização do processo.

Ainda, a partir do gráfico apresentado, visualiza-se momentos de quedas bruscas e acentuadas de temperaturas, em seguida aumentando novamente ao valor correspondente anterior à queda, o que se caracteriza pelos momentos de aeração artificial e revolvimento nos reatores. No entanto, a linha que representa a temperatura ambiente na qual os reatores estavam inseridos, correspondentes a linha denominada *externo (sala)*, apresenta situações de queda extremas, as quais são em função do funcionamento de aparelhos condicionadores de ar no respectivo local, em momentos de temperaturas elevadas durante o período do verão.

O estudo do processo de compostagem em escala laboratorial permitiu um aprimoramento na metodologia empregada, visto que embora não foi o primeiro momento de aplicação, este estudo correspondeu ao primeiro momento no qual se evidenciou o gradiente de temperaturas apresentado, em função da intervenção realizada no processo.

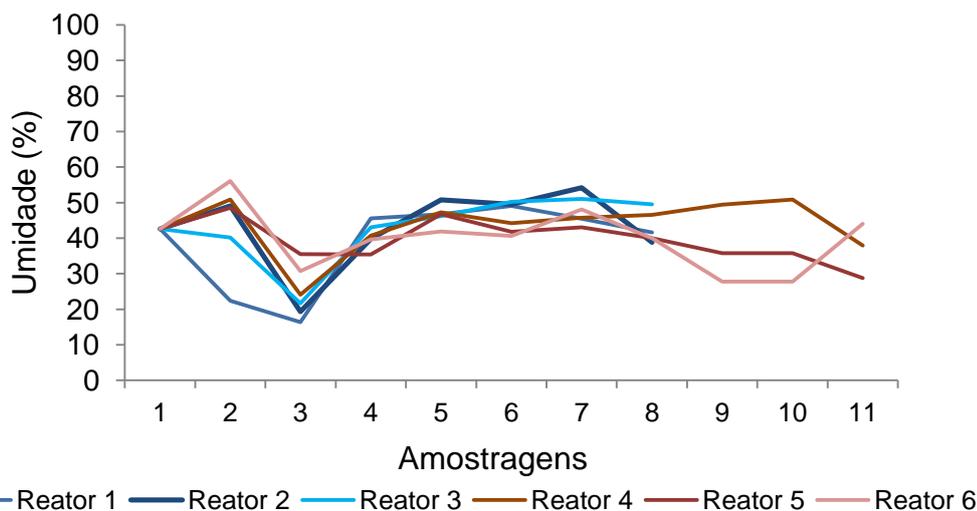
#### **5.4 Análise da umidade**

A umidade do material em compostagem é um fator que contribui para o andamento do processo, sendo que os níveis ideais são entre 50 e 60%. Níveis inferiores a 30% inibem a atividade microbiana, enquanto níveis acima de 65% conferem condições de anaerobiose e lixiviação de nutrientes, tornando lenta a decomposição aeróbia.

No estudo em questão, os testes de umidade foram realizados em dez momentos distintos, com periodicidade praticamente semanal, sendo obtidos os valores conforme o gráfico apresentado na Figura 28. Os testes de umidade foram realizados nos seis reatores estudados até o 7º experimento, data que correspondeu ao momento posterior à intervenção. Após esse período, os testes foram realizados

exclusivamente nos reatores 4, 5 e 6, os quais apresentavam-se inalterados em termos de volume original.

Figura 28 – Variações de umidade nos reatores estudados.



Fonte: Autores

Inicialmente, os valores observados para umidade foram 42,6 %, imediatamente após a coleta do substrato, sendo assim, esse valor foi considerado para todas as amostragens.

Observa-se que os valores para umidade, em percentual, apresentaram-se variados no momento da segunda análise, a qual procedeu-se cinco dias após o início geral do experimento. Os valores variaram de 22,4 % à 56,1 %. Após esse período inicial caracterizado por grande instabilidade nos valores, verificou-se uma acentuada queda para a umidade, sendo registrados os valores variando entre 16,4 % e 35,5 %. Considerando esse aspecto, nos dias 04 e 12 de abril de 2012, foi adicionado 1,5 L de água nos reatores 1, 2 e 3, visando a promoção de melhores condições de umidade. Com relação a esse fato, observa-se que após essa fase, de forma geral, foi verificado um momento de estabilidade nos valores de umidade, que se perdurou por cerca de um mês, no qual a umidade variou de 39,6 % a 54,2 %. A partir desse fato, sugere-se que a adição de água permitiu essa estabilidade, visto que os valores eram muito inferiores naqueles reatores.

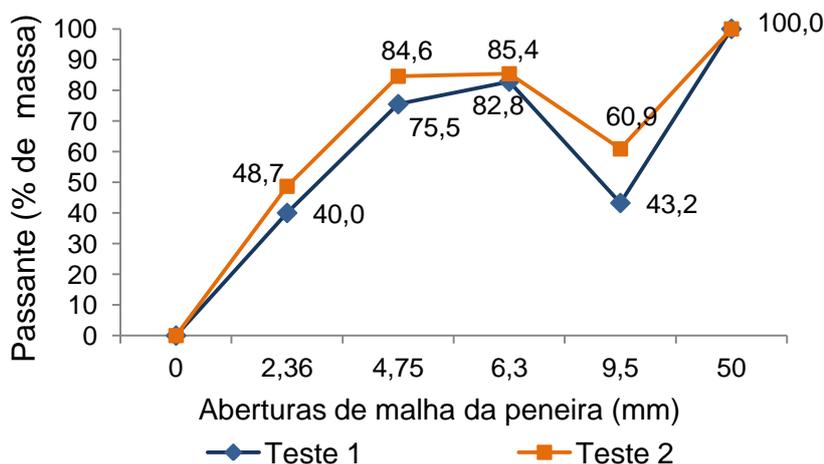
Nesse momento, realizou-se a intervenção já mencionada nos reatores 1, 2 e 3, sendo a partir de então realizadas as análises exclusivamente nos reatores 4, 5 e 6. Pode-se observar que para o reator 4, os valores ficaram em 49,4 % 35,8 % e 27,8 %, já para o reator 5, os valores subsequentes ficaram em 50,6 % 35,8 % e 27,8 % enquanto para o reator 6, observou-se valores para umidade de 37,9 % 28,8 % e 44 %. Assim, observa-se que os percentuais para umidade não foram ótimos para as condições de compostagem, apesar de não terem se mantido nos patamares mínimos. No entanto, esse aspecto não inibiu o processo quando do momento da retirada do sistema de fechamento, ocorrido após a 7<sup>a</sup> data de amostragem.

### 5.5 Análise de granulometria

Foram realizados ensaios granulométricos em dois momentos distintos, sendo caracterizados: (1) No momento da intervenção no experimento, ocorreu a retirada de material de três reatores (1, 2 e 3); e (2) Ao término do experimento, sendo nesse caso analisados os reatores 4, 5 e 6, já que esses permaneciam inalterados.

A Figura 29 apresenta um gráfico no qual visualiza-se o percentual de material passante nas aberturas de malha correspondetes, sendo: 2,36 mm, 4,75 mm, 6,3 mm, 9,5 mm e 50 mm, ou seja, o percentual de material que não ficou retido em cada peneira, analisando-se o percentual referente ao total que retido na malha imediatamente anterior.

Figura 29 – Gráfico apresentando a variação granulométrica



Fonte: Autores

Verifica-se que na abertura de malha mais ampla (50 mm), o percentual de massa passante foi de 100 %. Considerando-se a abertura de malha de 9,5 mm, 43,2 % do material passou dessa peneira para a com abertura de 6,3 mm, da qual 82,8 % passou para a peneira de 4,75 mm, da onde 75,5 % passou para a peneira de 2,36 mm. Finalmente, 40 % do material passou da peneira com abertura de 2,36 mm para o recipiente de coleta, onde ao final 1,6 kg de composto não passou por nenhuma peneira, o que representa 10,8 % da massa total amostrada, material basicamente orgânico. Salienta-se que esse material foi analisado em laboratório, conforme discutido no item seguinte, e razão da realização desse teste.

Com relação ao experimento de granulometria realizado após o processo de experimentação, foi verificado que 100 % do material esteve inicialmente disponível para a peneira de 9,5 mm, da qual 60,9 % do material passou para a peneira de 6,3 mm, ficando retido o material caracterizado por ser grosseiro, sendo identificados: preservativos sintéticos, canetas, canudos, pedras, pequenas lâmpadas, pazinhas de sorvete, pilhas, tecidos, palitos de picolé, cacos de vidro, pedaços de madeira, pedaços de mangueira, toco (filtro) de cigarro, cotonetes, isqueiros, escovas de dente, fios de alumínio e de cobre, embalagens de comprimidos, tampas de caneta, tampas de garrafa de bebidas, carretel de linhas, lâmina de barbear, aparelhos de barbear, cliques, embalagens de balas e chicletes, folhas, retalhos de madeira, pedaços de cerâmica, seringas, pregos, esponjas dentre outros, conforme pode ser observado na Figura 30.

Figura 30 – Material retido na peneira de 9,5 mm.



Fonte: Autores

Da peneira com abertura de 6,3 mm, 85,4 % do material foi passante para a peneira com abertura de 4,75 mm, ficando retido o material conforme Figura 31, caracterizando-se como palitos de pirulito, cotonetes, cacos de vidro, plásticos, papeis, pregos, restos de madeira, isopor, tampas de garrafas. Já na peneira com abertura de 4,75 mm, ficou retido o material caracterizado por orgânico com presença de partículas de vidros e plásticos (Figura 32), sendo passante 84,6 % do total amostrado para a peneira de 2,36 mm.

Figura 31 – Material retido na peneira de 6,3 mm.



Fonte: Autores

Figura 32 – Material retido na peneira de 4,75 mm.



Fonte: Autores

Da peneira de 2,36 mm, passou 48,7 % do material para o recipiente de coleta final, sendo retido material caracterizado por ser basicamente orgânico (Figura 33), e o passante totalizou 3,6 kg de adubo orgânico peneirado, sendo isso 21,4 % do material total amostrado (Figura 34).

Figura 33 – Material retido na peneira de 2,36 mm.



Fonte: Autores

Figura 34 – Material orgânico final estabilizado, após ser submetido a sucessivas peneiras com diferentes aberturas de malha.



Fonte: Autores

Considerando-se os dois testes de granulometria realizados, nota-se consideráveis diferenças com relação aos resultados obtidos, já que no segundo experimento a quantidade de adubo orgânico, ou seja, composto final estabilizado, foi superior à quantidade obtida no primeiro teste, no qual o processo de compostagem não se encontrava tecnicamente finalizado, em função das temperaturas não terem alcançado os patamares considerados aceitáveis em termos de composto final, conforme já especificado. Além disso, na ocasião do primeiro teste realizado, as condições de umidade do material em questão eram diferentes, sendo observados valores de 41,6 % no reator 1, 38,9 % no reator 2 e 49,5 % no reator 3, enquanto na situação seguinte, a qual foi realizada na ocasião do teste final realizado, foram observados os valores de 37,9 % no reator 4, 28,8 % no reator 5 e 44% no reator 6, sendo superiores naquele momento, o que não permitiu a passagem pela peneira de uma quantidade de material tão significativa naquela ocasião, se comparado ao teste final devido a compactação a que o material era submetido. No entanto, o comportamento geral das linhas de tendência é similar.

### **5.6 Análise laboratorial do composto orgânico**

O composto orgânico obtido através da primeira seção de peneiramento foi submetido a análises laboratoriais no Laboratório de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS -, sendo que os resultados estão disponíveis no Anexo I. Foi diagnosticado que a amostra apresentou pH de 9,0, sendo considerada de natureza básica; percentual de carbono de 18 % e percentual de nitrogênio de 1,8 %, o que lhe conferiu uma relação carbono/nitrogênio direta de 10 vezes. Além disso, quanto aos nutrientes de fósforo total -% (m/m), a amostra apresentou 0,47 % do referido elemento, e potássio total - % (m/m) 0,87.

Quanto a contaminação por metais pesados, apresenta-se na Tabela 1 os resultados comparativos com parâmetros nacionais e internacionais. Para padrões europeus, a classificação apresentada para o composto orgânico, baseada em normativas do parlamento europeu, apresenta as classificações: Classe 1, Classe 2 e Classe 3, conforme a tabela. Já com relação às classificações 01 e 02 para

parâmetros brasileiros, estas se referem à INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 27, 05 DE JUNHO DE 2006, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que dispõe sobre os Limites máximos de contaminantes admitidos em substrato para plantas e condicionadores de solo; e fertilizantes orgânicos, respectivamente. Já a Classificação 03 refere-se INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 46, de 6 de outubro de 2011, a qual dispõe sobre limites máximos de contaminantes admitidos em compostos orgânicos, resíduos de biodigestor, resíduos de lagoa de decantação e fermentação, e excrementos oriundos de sistema de criação com o uso intenso de alimentos e produtos obtidos de sistemas não orgânicos. São apresentadas essas três opções de classificação em função de que na legislação nacional não há um enquadramento específico para o composto orgânico oriundo da compostagem de resíduos sólidos domésticos. No entanto, a sua comercialização é condicionada ao prévio registro no Ministério da Agricultura.

Tabela 1 – Resultados de análise laboratorial do composto orgânico obtido através do processo de compostagem em escala laboratorial.

Parâmetro	Parâmetros europeus			Parâmetros brasileiros			Composto estudado
	Classe 1 <sup>1</sup>	Classe 2 <sup>1</sup>	Classe 3 <sup>1</sup>	Classificação01	Classificação02	Classificação03	
Cd (mg/kg MS)	0,7	1,5	3	8,00	3	0,7	1
Cr (mg/kg MS)	100	150	300	500	200	70	201
Cu (mg/kg MS)	100	150	300			70	365
Hg (mg/kg MS)	0,5	1	2	2,5	1	0,4	2,7
Pb (mg/kg MS)	100	150	250	300	150	45	107
Zn (mg/kg MS)	200	400	600			200	626

Os valores obtidos na amostra de adubo orgânico após o processo de compostagem não o classificam no padrão de Classe 1 europeu para nenhum elemento, já para a Classe 2 apenas o elemento cádmio (Cd) se enquadraria. Para a

<sup>1</sup> Europäisches Parlament, Europäischer Rat (Hrsg.): ENV. 3 – Abfallentsorgung, Anhang III, des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Biologische Behandlung von biologisch abbaubaren Abfälle, Brüssel, 2000.

Classe 3 europeia, o composto não está enquadrado devido aos limites dos elementos cobre (Cu), mercúrio (Hg) e zinco (Zn).

Para as classificações 01 e 02 brasileiras, o composto apenas não se enquadraria em função do percentual de mercúrio presente. Já para a classificação 03 brasileira, a mais rigorosa nos parâmetros nacionais, sendo inclusive mais rigorosa do que a Classe 1 europeia, o composto orgânico não se enquadra em nenhum elemento, ficando acima do permitido em 42 % para o cádmio, 187 % para cromo, 421 % para cobre, 575 % para mercúrio, 138 % para chumbo e 213 % para o zinco.

Os metais cobre, mercúrio e zinco não se enquadraram em nenhuma classificação apresentada, o que compromete a utilização do composto para a adubação orgânica. A utilização do composto é aconselhada primordialmente para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e para o cultivo de plantas ornamentais. Convém frisar que o composto de resíduos sólidos domiciliares não pode ser empregado de maneira generalizada, pois seu conteúdo relativamente elevado de sais e outros elementos pode ser prejudicial a uma série de plantas.

### **5.7 Massa específica dos resíduos estudados**

Para a determinação da massa específica dos resíduos sólidos domésticos constatou-se que os caminhões compactadores circulam com massas variadas de resíduos, o que configura diferentes valores obtidos. Salienta-se que na literatura a massa específica é denominada peso específico, entretanto neste estudo foi adotado o termo massa específica, por ser o valor correspondente aos dados obtidos. Os caminhões coletores analisados nesse estudo possuem capacidade volumétrica de 15 m<sup>3</sup>, no entanto a massa de resíduos que os mesmos recolhem e destinam varia de acordo com a área atendida pela coleta municipal. Dessa forma, valores máximos de 9.450 kg de resíduos foram verificados em uma carga do caminhão coletor com capacidade para 15 m<sup>3</sup>, o que configura uma massa específica de resíduos compactados dentro do caminhão coletor, de 630 kg/m<sup>3</sup>. No entanto, esse valor é o máximo observado no estudo para a coleta, o que não

configura o valor médio, que se situa na faixa de 4.000 kg, representando 266,67 kg/m<sup>3</sup> de resíduos compactados no momento da coleta dentro do caminhão coletor, o que não representa os resíduos soltos (não compactados), que, conforme referenciado no item 3.5.2, pode ser considerado 230 kg/m<sup>3</sup>. Esses dados são fundamentais para fins de dimensionamento de depósitos de resíduos.

Com referência aos resíduos sólidos depositados no aterro sanitário considerados rejeitos após a triagem, através de caminhão caçamba com capacidade de 6,3 m<sup>3</sup>, o mesmo condiciona-se em uma capacidade física para 2.000 kg de resíduos não compactados em média, correspondendo a uma massa específica de 317,5 kg/m<sup>3</sup>.

Considerando-se os reatores 4, 5 e 6 estudados, durante o processo de compostagem em escala laboratorial, analisou-se a variação da massa e do volume de material nos referidos reatores, em função do processo de compostagem ter apresentado êxito, o que os torna representativos em termos técnicos. Na Tabela 2, estão apresentados os valores de massa e volume para cada reator, nos momentos anterior e posterior ao teste de compostagem em escala laboratorial, ou seja, no que se denomina pré e pós compostagem.

Tabela 2 – Massa específica do composto orgânico estudado.

	Pré-compostagem	Pós-compostagem	Diferença absoluta	Diferença relativa
Massa (kg)	29,92	23,92	6	25,03 %
Volume (m <sup>3</sup> )	0,05	0,0425	0,0075	14,64 %
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	598,3	562,9	35,4	6,29 %

Denota-se com relação a massa do composto, que o mesmo sofreu uma redução de 25,03 % na sua massa, em um período de 30 dias no qual ocorreu a fase termófila, configurando uma diminuição de 6 kg em valores absolutos, no período total estudado. No que tange ao volume, observou-se que o mesmo sofreu um redução em função do processo de decomposição da matéria orgânica de 14,64 %. Em consideração à massa específica dos resíduos orgânicos estudados, a mesma sofreu uma variação de 6,29 % durante a compostagem, variando entre

598,3 kg/m<sup>3</sup> e 562,6 kg/m<sup>3</sup>. Ressalta-se que o dado de massa específica é um parâmetro técnico empregado no dimensionamento de pátios de compostagem.

Destaca-se que nos resultados apresentados nesse item, foi contabilizada a massa e seu respectivo volume de resíduos retirados dos reatores para a realização do ensaio de granulometria.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu a análise do gerenciamento dos resíduos na Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela/RS, através de levantamentos in loco e experimentos laboratoriais. Constatou-se que diariamente uma média de 13.830,33 kg de resíduos foram destinados à Central, representando uma geração de resíduos sólidos domésticos diária de 0,45 kg por habitante.

Dos 2.530.950 kg de resíduos sólidos domésticos destinados a Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela/RS no período de estudo, 18 % não recebeu quaisquer tipos de processamento, sendo confinados diretamente no aterro sanitário. Esse dado evidencia a necessidade da tomada de medidas de melhorias no processo de gerenciamento dos resíduos sólidos domésticos no local de estudo.

Com relação ao total de resíduos estudados, 10,46 %, ou seja, 264.830 kg, foi destinado ao pátio de compostagem, sendo considerado material orgânico após o peneiramento em peneira rotativa. Salienta-se que desse valor, não é efetivamente obtido 100 % de composto orgânico, em função dos resíduos destinados ao pátio de compostagem ainda apresentarem-se comprometidos devido a presença de partículas consideradas rejeito.

Pode-se constatar que este o valor obtido se apresenta muito inferior à composição média dos resíduos sólidos domésticos em termos de percentual de massa, conforme o estudo de Konrad et al (2010), o qual apontou uma média de 54 % de materiais orgânicos (com relação à massa) presente nos resíduos sólidos domésticos no município de Estrela, assim como dados nacionais que mencionam a presença de 65 % em termos de massa na composição gravimétrica dos resíduos sólidos domésticos.

De forma prática, considerando-se a presença de um potencial de resíduos orgânicos superior a 50 %, os dados coletados através da realização desse estudo, concomitantemente com os resultados obtidos com relação ao percentual não processado, infere-se que soluções operacionais podem incrementar a massa efetiva de resíduos orgânicos passíveis de compostagem.

Além disso, 74,87 % do total de resíduos foram destinados ao aterro sanitário, o que se mostra um percentual significativo no que se refere à vida útil de aterro sanitário, uma vez que tecnicamente apenas o material considerado rejeito (não reciclável ou compostável) deveria ser enviado a esse local. Esses valores representam, além de possíveis impactos ambientais decorrentes da destinação de resíduos em aterros, uma perda econômica devido ao confinamento de materiais com potencial de reciclagem ou compostagem.

No entanto, cabe salientar que 14,66 % dos materiais estudados, em termos de massa, foram devidamente segregados através do processo de triagem, o que configura um valor aceitável. No entanto, o referido percentual poderia ser superior, caso 100 % dos resíduos coletados fossem submetidos ao processo de triagem e peneiramento.

Para fins de dimensionamento de depósitos de resíduos e pátios de compostagem, a massa específica dos resíduos em questão apresenta-se como dado relevante. Com referência aos resíduos coletados, a massa específica dos mesmos representa  $630 \text{ kg/m}^3$  como valor máximo e  $266,67 \text{ kg/m}^3$  como valor médio, sendo referente aos resíduos compactados no momento da coleta dentro do caminhão coletor. Já com referência aos resíduos sólidos depositados no aterro sanitário, oriundos do processo de triagem e peneiramento, constatou-se um valor

médio de 317,5 kg/m<sup>3</sup>. Para os resíduos considerados orgânicos, cujo destino é pátio de compostagem, o valor obtido foi de 598,3 kg/m<sup>3</sup>.

Através do experimento em escala laboratorial, avaliou-se o processo de compostagem submetendo-se os resíduos oriundos do local de estudo ao teste, onde evidenciou-se um decréscimo de 14,64 % no volume de material final obtido (composto) e 25,03 % na massa do referido composto.

No que tange ao gerenciamento da Central de Triagem, Tratamento e Destino Final dos Resíduos Sólidos Domésticos do município de Estrela/RS, sugere-se a manutenção de uma rotina de quantificação dos resíduos em cada etapa, conforme vem ocorrendo desde a implantação dessa pesquisa, assim como a orientação dos colaboradores no sentido de realização das aferições de massa na balança rodoviária. Os dados obtidos permitirão a obtenção de dados imediatos quanto à eficiência do processo, o que por sua vez permite uma rápida tomada de decisão quanto ao gerenciamento do local. Através disso, índices de qualidade referentes a eficiência do processo poderão ser elaborados.

Visando-se estudos futuros, sugere-se a realização de diagnóstico in loco da massa específica dos resíduos considerados recicláveis bem como o monitoramento de glebas de solo, as quais foram adubadas com composto orgânico proveniente da central de compostagem do local de estudo. Ainda, de acordo com recursos financeiros disponíveis, sugere-se uma adaptação no processo de triagem e peneiramento, com a implantação de uma peneira rotativa previamente à etapa de triagem, para fins de verificação da eficácia do processo de triagem.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**: 2009. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2010.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos: coletânea de normas**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

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

BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1ª ed., 120 p., 1999.

BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. 2 de ago. 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 20 set. 2011

CUNNINGHAM, William . P.; CUNNINGHAM, Mary. A.; SAIGO Barbara, **Environmental Science: A Global Concern**. 8th ed. New York: McGraw-Hill, 2005.

EUROPEAN COMMISSION, 2010. **Being wise with waste: the EU's approach to waste management**. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/WASTE%20BROCHURE.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2011.

Europäisches Parlament, Europäischer Rat (Hrsg.): **ENV. 3 – Abfallentsorgung, Anhang III**, des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Biologische Behandlung von biologisch abbaubaren Abfälle, Brüssel, 2000

FARIAS, A. B.; JUCA, J. F. T. **Propriedades físicas dos resíduos sólidos da Muribeca.** In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, Porto Alegre, 2000. **Anais.** Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/iii-038.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2011.

HSU, S., 2006. **NIMBY opposition and solid waste incinerator siting in democratizing Taiwan.** *The Social Science Journal*, 43, pp.453–459

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão Diretoria de Pesquisas Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. 2008.** Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf)>. Acesso em: 24 set. 2010.

\_\_\_\_\_. **IBGE Cidades.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 10 ago. 2011.

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

INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA Nº 27, 05 DE JUNHO DE 2006. Publicada no D.O.U do dia 09/06/2006, nº 110, seção 1, páginas 15 e 16.

INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 46, DE 6 DE OUTUBRO DE 2011. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO

KIEHL, Edmar J. **Manual da compostagem:** Maturação e qualidade do composto. Piracicaba: Degaspari, 2004.

KONRAD, Odorico.; CASARIL, Camila. E.; SCHMITZ, Michele. Estudo dos resíduos sólidos domésticos de Lajeado/RS através de caracterização gravimétrica. In: REVISTA DESTAQUES ACADÊMICOS, Lajeado, Ano 2, N. 4, p 57 - 62. 2010.

KONRAD, Odorico et al. Caracterizações dos Resíduos Sólidos Domésticos no Município de Estrela em Diferentes Estações do Ano de 2008. 111 – 119. In: MAZZARINO, Jane M. (Org.). **Práticas Ambientais e Redes Sociais em Resíduos Sólidos Domésticos: Um Estudo Interdisciplinar.** Lajeado: Ed. Univates, 2010. 223 p.

LIMA, José D. **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil.** João Pessoa. [20--]

\_\_\_\_\_, José D. **Sistemas Integrados de Destinação Final de Resíduos Sólidos Urbanos.** Rio de Janeiro: JB, 2005.

LIMA, Luis M. Q. **Lixo: Tratamento e Biorremediação.** São Paulo: Hemus, 2004. 3ª edição.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 27, DE 5 DE JUNHO DE 2006**. Disponível em:

<<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 15 Jun. 2012

\_\_\_\_\_. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 46, DE 15 DE DEZEMBRO DE 2011**.

Disponível em:

<<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 15 Jun. 2012

ORNELAS, Adílio R. **Aplicação de métodos de análise espacial na gestão dos resíduos sólidos urbanos**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

PECORA, Vanessa. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia Elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de Caso** (Dissertação de Mestrado) – Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia da Universidade de São Paulo São Paulo, 2006.

PEREIRA NETO, João T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996.

PESSIN, Neide et al. Resíduos Sólidos, Saúde e Meio Ambiente: Impactos Associados aos Lixiviados de Aterro Sanitário. In: CASTILHOS JUNIOR, Armando B. de (Org.). **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com Ênfase na Proteção de Corpos d'Água: Prevenção, Geração e Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 17-63

REIS, Lineu B.; FADIGAS, Eliane A. A.; CARVALHO, Cláudio E. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**. Barueri: Manole, 2005

RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 9.921, de 27 de julho de 1993. Dispõe sobre a gestão dos resíduos sólidos, nos termos do artigo 247, parágrafo 3º da Constituição do Estado e dá outras providências. Porto Alegre. 1993. Disponível em:

<<http://www.fepam.rs.gov.br/legislacao/arq/leg0000000028>>. Acesso em: 02 nov. 2011.

TENÓRIO, J. A. S.; ESPINOSA, D. C. R. Controle Ambiental de resíduos. In: PHILIPPI, J. A.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C. **Curso de Gestão Ambiental**. São Paulo: Manole, 2004. p.155-211.

ZANTA, Viviana M. et al. Resíduos Sólidos, Saúde e Meio Ambiente: Impactos Associados aos Lixiviados de Aterro Sanitário. In: CASTILHOS JUNIOR, Armando B. de (Org.). **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos com Ênfase na Proteção de Corpos d'Água: Prevenção, Geração e Tratamento de Lixiviados de Aterros Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 01-15.

**ANEXO I - LAUDO DE ANÁLISES LABORATORIAS DO COMPOSTO  
ORGÂNICO**