



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

LEONARDO SANCHOTENE QUINTELA

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE VERMICOMPOSTAGEM
DOMÉSTICA PARA TRATAMENTO DA PARCELA
ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES**

Porto Alegre

Dezembro 2014

LEONARDO SANCHOTENE QUINTELA

**AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE VERMICOMPOSTAGEM DOMÉSTICA
PARA TRATAMENTO DA PARCELA ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
DOMICILIARES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO
APRESENTADO AO CURSO DE
ENGENHARIA AMBIENTAL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO
GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Orientador: Álvaro Meneguzzi

Porto Alegre
Dezembro 2014

LEONARDO SANCHOTENE QUINTELA

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE VERMICOMPOSTAGEM DOMÉSTICA PARA
TRATAMENTO DA PARCELA ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
DOMICILIARES

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em 12/12/2014 pela comissão
avaliadora constituída pelos professores:

Banca Examinadora:

.....
Prof. Dr. Álvaro Meneguzzi - Orientador
LACOR/DEMAT - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Prof. Dr. Dieter Wartchow
DOH/IPH - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Prof. Dr. Gino Roberto Gehling
DOH/IPH - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Paulo Sergio e Ana Beatriz, ao meu irmão Rodrigo e a minha namorada Larissa, que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado durante o período do meu curso de graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela qualidade do ensino proporcionado aos alunos e em especial ao Professor Álvaro Meneguzzi pela orientação deste trabalho e pela doação das matrizes de minhocas utilizadas no experimento realizado.

Agradeço ao amigo Bruno Mousquer por ceder o espaço físico em seu apartamento para abrigar os experimentos.

Agradeço aos meus pais pelo investimento irrestrito na minha educação e pelas inúmeras vezes que os deixei a pé para utilizar seus carros, viabilizando a realização do experimento apresentado neste trabalho.

Agradeço aos funcionários do restaurante e da creche do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, pois realizaram a segregação dos resíduos compostáveis que foram utilizados neste trabalho.

Agradeço à equipe da Engebio Engenharia e Meio ambiente, a quem devo muitos dos conhecimentos apresentados neste trabalho.

Agradeço aos colegas de curso, que tornaram esta caminhada menos difícil e mais prazerosa.

“Todos querem o perfume das flores, mas poucos
sujam as suas mãos para cultivá-las.”

Augusto Cury

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação do processo de vermicompostagem doméstica para tratamento *in locu* da parcela orgânica dos resíduos sólidos domiciliares (RSD). A vermicompostagem doméstica é um tipo de compostagem, na qual são utilizadas minhocas para degradar a matéria orgânica e melhorar a aeração da massa de resíduos. O estudo foi realizado com base em um experimento com oito vermicomposteiras domésticas, para cada qual se empregou um método de operação distinto, variando os seguintes parâmetros operacionais: tipo de resíduo adicionado (sem cítricos ou com 15% de cítricos em peso úmido), tipo de alimentação do sistema (difusa ou pontual) e granulometria dos resíduos (triturados ou não triturados). O experimento foi realizado em um apartamento residencial e os resultados foram obtidos por meio do monitoramento dos seguintes parâmetros físico-químicos e biológicos: temperatura, umidade, pH, taxa de reprodução das minhocas e volume de biofertilizante gerado. Além destes parâmetros, foram avaliados os seguintes indicadores de operação do sistema: percepção de odores ruins, identificação de dificuldades logísticas e presença de insetos. Os resultados do monitoramento indicaram que os parâmetros físico-químicos mantiveram-se dentro das faixas adequadas à eficiência do processo em todas as vermicomposteiras. A taxa de reprodução das minhocas foi maior no sistema operado sem resíduos cítricos, com alimentação difusa e resíduos triturados. A adição de resíduos cítricos aos sistemas, principalmente na sua forma bruta (sem trituração), e a alimentação pontual (quantidade muito grande de resíduos adicionada de uma só vez), geram odores ruins ao processo e podem inviabilizar a operação dos sistemas, principalmente em apartamentos. Sobre a presença de insetos, verificou-se que, mantendo os sistemas sempre tampados, não há presença destes. Os resultados obtidos abrem perspectiva de emprego da vermicompostagem doméstica para tratamento da parcela orgânica dos RSD.

Palavras-chave: Resíduos sólidos domiciliares. Tratamento de resíduos orgânicos. Vermicompostagem doméstica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Triturador de resíduos	29
Figura 2 – Aspecto dos resíduos antes e depois da trituração	29
Figura 3 - Equipamento para revolvimento e humificação dos resíduos	30
Figura 4 – Horta na qual é aplicado o composto produzido.....	30
Figura 5 – Região do clitelo das minhocas.....	32
Figura 6 – Casulos de minhoca	32
Figura 7 - Furos existentes na base das caixas	34
Figura 8 - Composteira doméstica.....	34
Figura 9 – Sistema de vermicompostagem doméstica para tratamento de resíduos orgânicos de grandes geradores	37
Figura 10 - Sistema de vermicompostagem implantado na Universidade Mackenzie...	39
Figura 11- Sistema de vermicompostagem implantado em uma empresa de 400 funcionários.	39
Figura 12 - Experimento realizado com oito vermicomposteiras domésticas.....	41
Figura 13 - Composteira montada com três caixas poliméricas.....	43
Figura 14 - Furos realizados nas caixas.....	44
Figura 15 - Composto utilizado para iniciar o processo.....	44
Figura 16 - Pesagem das minhocas.....	46
Figura 17 – Resíduos cítricos	47
Figura 18 – Resíduos não cítricos.....	47
Figura 19 - Alimentação pontual.....	48
Figura 20 – Alimentação difusa.....	48
Figura 21 –Triturador de resíduos	49
Figura 22 - Resíduos brutos.....	49
Figura 23 – Resíduos triturados.....	49
Figura 24 - Pesagem dos resíduos triturados	51
Figura 25 – Pesagem dos resíduos brutos.....	51
Figura 26 - Pesagem dos resíduos cítricos	51
Figura 27 – Aspecto da composteira antes da cobertura com folhas secas	52
Figura 28 - Aspecto da composteira após a cobertura com folhas secas.....	53
Figura 29 – Medição de temperatura, pH e umidade	55
Figura 30 – Aparelho utilizado para medição de umidade e pH nas vermicomposteiras	55

Figura 31 - Medição do volume de biofertilizante gerado	56
Figura 32- Caracterização dos resíduos orgânicos	58
Figura 33 – Pesagem dos resíduos compostáveis.....	59
Figura 34 – Pesagem resíduos cítricos/ácidos	59
Figura 35 – Pesagem dos rejeitos	59
Figura 36 – Segunda caracterização realizada.....	60
Figura 37 – Abertura das composteiras para avaliação dos compostos contagem das minhocas	66
Figura 38 – Aspecto do composto produzido na composteira nº 5 (DAcRt)	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição gravimétrica média dos Resíduos Sólidos Urbanos do Rio Grande do Sul	20
Tabela 2 - Composição gravimétrica dos resíduos da coleta domiciliar em Porto Alegre - RS	21
Tabela 3 - Meta de redução de resíduos úmidos enviados para aterros sanitários	24
Tabela 4 – Custos associados às etapas de gerenciamento dos RSD em Porto Alegre - RS.....	26
Tabela 5 - Motivos que geraram incômodos associados às composteiras caseiras	38
Tabela 6 – Indicadores qualitativos de operação avaliados frequência de avaliação	53
Tabela 7 - Parâmetros físico-químicos monitorados e frequência de monitoramento ...	54
Tabela 8 - Resultado da primeira caracterização dos resíduos	58
Tabela 9 - Resultados da segunda caracterização dos resíduos	60
Tabela 10 - Volume de biofertilizante gerado	64
Tabela 11 – Resultado da contagem final das minhocas	67
Tabela 12 - Custos associados a cada etapa de manejo dos RSD no município de Porto Alegre - RS	68
Tabela 13 – Custo de aquisição dos kits de vermicompostagem de acordo com o número de residências contempladas.....	68
Tabela 14 – Estimativa das vantagens econômicas para os municípios que realizem a distribuição de kits de vermicompostagem doméstica para a população	69

LISTA DE SIGLAS

DACRb – Alimentação difusa, ausência de cítricos e resíduos brutos

DACRt – Alimentação difusa, ausência de cítricos e resíduos triturados

DPcRb – Alimentação difusa, presença de cítricos e resíduos brutos

DPcRt – Alimentação difusa, presença de cítricos e resíduos triturados

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PACRb – Alimentação pontual, ausência de cítricos e resíduos brutos

PACRt – Alimentação pontual, ausência de cítricos e resíduos triturados

PMGIRS – Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PPcRb – Alimentação pontual, presença de cítricos e resíduos brutos

PPcRt – Alimentação pontual, presença de cítricos e resíduos triturados

RSD – Resíduos sólidos domiciliares

RSU – Resíduos sólidos urbanos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1. OBJETIVOS.....	16
1.1. OBJETIVO GERAL	16
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS RSU	18
2.1.1. Geração de RSU	19
2.1.2. Composição dos RSU	20
2.2. ETAPAS DE GERENCIAMENTO DOS RSD	21
2.2.1. Segregação e coleta dos RSD	22
2.2.2. Tratamento e disposição final da parcela orgânica dos RSD.....	22
2.2.3. Custos associados às etapas de gerenciamento da parcela orgânica dos RSD no município de Porto Alegre – RS.....	25
2.3. O PROCESSO DE COMPOSTAGEM	26
2.3.1. Principais variáveis de controle do processo de compostagem.....	27
2.3.2. Utilização da compostagem para tratamento da parcela orgânica dos RSD nos estabelecimentos geradores.....	28
2.4. VERMICOMPOSTAGEM	30
2.4.1. Principais variáveis de controle do processo de vermicompostagem	33
2.4.2. Vermicompostagem doméstica.....	33
2.5. EDUCAÇÃO AMBIENTAL	39
3. METODOLOGIA.....	41
3.1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	42
3.2. CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS.....	42
3.3. MONTAGEM DAS VERMICOMPOSTEIRAS DOMÉSTICAS.....	43
3.4. OPERAÇÃO E MONITORAMENTO DAS VERMICOMPOSTEIRAS DOMÉSTICAS	44
3.5. VANTAGENS ECONÔMICAS DA VERMICOMPOSTAGEM DOMÉSTICA	56
4. RESULTADOS	57
4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS.....	57
4.2. OPERAÇÃO E MONITORAMENTO DAS VERMICOMPOSTEIRAS.....	61
4.3. VANTAGENS ECONÔMICAS DA VERMICOMPOSTAGEM DOMÉSTICA	67
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	71

6. REFERÊNCIAS.....	74
----------------------------	-----------

1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas enfrentados pelos gestores públicos municipais atualmente é o manejo dos resíduos sólidos urbanos (RSU). A geração total de RSU e as taxas de geração per capita vêm aumentando gradativamente nos últimos anos devido ao crescimento populacional e ao aumento do poder aquisitivo e dos padrões de consumo da população, dentre outros fatores.

Poucas décadas atrás, a destinação final dos RSU não era uma questão discutida pela sociedade, de modo que os resíduos sempre foram depositados em lixões a céu aberto, sem qualquer preocupação por parte do poder público. A partir do crescimento da população urbana e do aumento da geração de RSU, os lixões passaram a ser uma fonte de renda insalubre e desumana para muitas famílias brasileiras, obrigando o Estado a tomar medidas para mudar esse panorama. Além das questões sociais, a preocupação ambiental também contribuiu para a busca de outras técnicas de destinação final de RSU, pois uma das consequências negativas dos lixões é a contaminação dos recursos naturais. Apesar disso, ainda existem muitos lixões operando no país.

Entre as alternativas existentes para tratamento e destinação de RSU estão: os aterros sanitários, a incineração, a compostagem e a biodigestão anaeróbia. A tecnologia mais empregada atualmente é o aterro sanitário, devido aos baixos custos comparados às demais tecnologias. Todavia, a escassez de áreas localizadas perto dos grandes centros urbanos para implantação de aterros sanitários obriga que os resíduos sejam transportados a grandes distâncias. O transporte por longos trajetos acarreta despesas para o município, emissão de gases poluentes pelos caminhões e degradação da infraestrutura rodoviária, tornando essa tecnologia insustentável econômica e ambientalmente.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos - instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) -, publicado em 2012, define metas para o correto gerenciamento dos resíduos sólidos com prazos que deveriam ser cumpridos pelos municípios. Em relação à parcela orgânica dos RSU, o Plano estabelece percentuais de redução de envio de resíduos úmidos para disposição final adequada. O primeiro prazo vencerá no ano de 2015, entretanto observam-se poucas ações sendo realizadas pelos representantes municipais com vistas ao seu cumprimento.

A compostagem é uma alternativa para o tratamento dos resíduos orgânicos que reduz a quantidade de resíduos dispostos em aterros sanitários e gera matéria-prima para fertilização do solo. É um processo de decomposição de materiais biodegradáveis que resulta em um composto rico em substâncias húmicas e nutrientes minerais, no qual a matéria orgânica encontra-se estabilizada.

A vermicompostagem doméstica, que é um tipo de compostagem com utilização de minhocas, além de reduzir a quantidade de resíduos úmidos dispostos em aterros sanitários, pode reduzir despesas e impactos negativos associados à coleta e ao transporte dos resíduos, pois é uma tecnologia de tratamento aplicada nos próprios locais geradores. Nesse contexto de cumprimento da legislação, redução de impactos ambientais e redução de despesas vinculadas ao manejo de RSU, a utilização da vermicompostagem doméstica para tratamento *in locu* da parcela orgânica dos resíduos domiciliares é o enfoque deste trabalho.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho foi avaliar o processo de vermicompostagem para tratamento *in locu* da parcela orgânica dos resíduos sólidos gerados em residências e pequenos estabelecimentos como restaurantes e creches. Buscou-se analisar a viabilidade de implantação e operação deste processo nos próprios locais geradores, apresentando uma alternativa à rota de manejo empregada atualmente, na qual a fração orgânica dos resíduos domiciliares é enviada aos aterros sanitários sem tratamento prévio.

1.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho foram:

- Avaliar a viabilidade de instalação e operação das vermicomposteiras em apartamentos, por meio de indicadores como presença de odores ruins, dificuldades logísticas, presença de insetos e espaço físico necessário à operação;
- Comparar diferentes métodos de operação das vermicomposteiras por meio do monitoramento dos seguintes parâmetros físico-químicos e biológicos: umidade, temperatura, pH, taxa de reprodução das minhocas e volume de chorume gerado. As seguintes variáveis de operação foram testadas:
 - a) Tipos de resíduos adicionados (ausência de cítricos ou com 15% de cítricos em peso úmido);
 - b) Tipo de alimentação do sistema (difusa ou pontual);
 - c) Granulometria dos resíduos (triturados ou não triturados).
- Realizar uma estimativa simplificada das vantagens financeiras para o município de Porto Alegre – RS, caso a prefeitura distribísse para a população kits de vermicompostagem doméstica para tratamento da parcela orgânica dos RSD;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A população brasileira aumentou durante a última década, embora as taxas anuais de crescimento populacional tenham sido cada vez menores. Entre 2010 e 2014, estima-se um crescimento de 6,3% no número de habitantes, segundo estimativas do IBGE (2013). Além disso, o padrão de consumo da população também aumentou na última década, devido ao crescimento da renda média familiar brasileira e à facilidade de obtenção de crédito (ARANCIBIA, 2012).

Segundo DIAS D. M. et al. (2012), o desenvolvimento econômico, a urbanização, o aumento dos padrões de consumo e a integração de pequenas comunidades aos mercados refletem no aumento da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) em todo o mundo. No caso do Brasil, além desses fatores supracitados, o autor inclui como preponderante para o aumento da geração de resíduos, o fato de que a população sofreu mudanças socioeconômicas importantes desde o ano 2000, devido aos programas de distribuição de renda que resultaram no aumento dos rendimentos per capita dos consumidores.

Segundo CAMPOS (2012), verifica-se uma tendência de aumento da geração de resíduos sólidos no Brasil, principalmente em função da melhoria de renda da população pobre. Partindo do pressuposto que ainda há um longo caminho para garantir à totalidade da população o consumo mínimo necessário, a autora afirma que nos próximos anos há tendência de aumento da geração de resíduos sólidos.

Segundo ABRELPE (2014), no ano de 2013, 58,3% da massa de RSU coletados no Brasil foram enviados para aterros sanitários e 41,7% (79 mil toneladas diárias) foram encaminhados para locais inadequados como lixões e aterros controlados. Além disso, grande parcela dos materiais dispostos nos aterros sanitários poderia ser reaproveitada ou reciclada e reintegrada ao ciclo produtivo, evitando gastos, contaminação do meio ambiente e gerando insumos para o cultivo agrícola. Conforme definido na Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010), os aterros sanitários devem receber apenas os rejeitos, ou seja, aqueles resíduos que não são passíveis de reaproveitamento ou reciclagem.

Diante dessa realidade e da projeção para os próximos anos, constata-se a necessidade de rever as práticas de manejo dos resíduos sólidos, principalmente no que tange ao tratamento e à destinação final destes. Tanto o poder público, quanto o setor privado, com o

apoio da comunidade científica e da sociedade civil, devem buscar alternativas mais sustentáveis.

2.1. Caracterização dos RSU

Os RSU são formados pelos resíduos sólidos domiciliares (RSD), gerados nas casas, nos apartamentos, pequenos estabelecimentos, condomínios e demais edificações residenciais, e pelos resíduos de limpeza urbana (varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana) (Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 2012). Os RSD, por sua vez, são constituídos por resíduos recicláveis, resíduos orgânicos e rejeitos. De maneira geral, quando existe coleta seletiva no município, esta tem por objetivo segregar os materiais secos recicláveis, de modo que os resíduos orgânicos e os rejeitos são coletados misturados na coleta regular municipal.

A Lei Complementar Nº 728/2014, que institui o Código Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre - RS define que deverão ser recolhidos pela coleta regular municipal os seguintes materiais:

“[...] resíduos não recicláveis, produzidos em imóveis, residenciais ou não, que possam ser acondicionados em sacos plásticos com volume igual ou inferior a 100 (cem) litros, compostos por resíduos orgânicos, de origem animal ou vegetal, e rejeito, que são resíduos para os quais ainda não há reaproveitamento ou reciclagem, e que possam ser destinados aos sistemas de tratamento disponibilizados pelo Município de Porto Alegre.”

As características dos resíduos sólidos dependem de fatores sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos, entre outros (NUCASE, 2007), portanto nunca serão iguais entre diferentes bairros, municípios, ou regiões, visto que cada local apresenta suas peculiaridades. Segundo CAMPOS (2012), diversos fatores contribuem para mudanças na quantidade de resíduos gerada, entre os quais estão: o aumento do emprego e elevação da massa salarial, a não cobrança pelos serviços de coleta e manejo dos resíduos sólidos aos municípios e a maior facilidade na obtenção de crédito para o consumo, entre outros.

Segundo SOARES (2011), as características dos RSU podem ser reunidas em três grupos: biológicas, químicas e físicas. O conhecimento das características químicas é importante para a seleção de processos de tratamento e técnicas de disposição final, enquanto as características físicas interferem no dimensionamento dos sistemas de coleta e disposição final de resíduos.

O planejamento das etapas de gerenciamento e a definição das tecnologias empregadas no manejo dos RSU dependem do conhecimento das características quali-quantitativas desses resíduos. Dessa forma, a realização do estudo de caracterização dos resíduos (análise gravimétrica) é essencial para avaliar o potencial de reutilização, reciclagem e reaproveitamento e para dimensionar as estruturas que envolvem as etapas de manejo dos RSU.

2.1.1. Geração de RSU

Não existem muitos dados de geração RSU, pois a maioria dos gestores municipais brasileiros não tem o controle sobre a quantidade total de resíduos gerada no município. Existem apenas informações de quantidade de RSU coletada, pois as empresas que prestam serviços de coleta são remuneradas de acordo com a massa total coletada. Entretanto, segundo IPEA (2012), nem todos os resíduos gerados são coletados, devido a diversos motivos como a disposição irregular, coleta informal ou insuficiência do sistema de coleta pública. Dessa forma, os quantitativos de coleta são inferiores ao total gerado, de modo que os municípios adotam taxas de geração per capita retiradas da bibliografia para estimar a geração de RSU.

Segundo ABRELPE (2014) foram gerados em média 209.280 toneladas/dia de RSU no ano de 2013 no Brasil, representando um aumento de 4,1% em relação ao ano anterior. O estudo também indica que, na região sul, a geração média em 2013 foi de 21.922 toneladas/dia e o acréscimo foi de 2,7% em relação a 2012.

Em âmbito estadual, segundo a estimativa apresentada no “Panorama de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul”, que integra o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado (PERS-RS, 2014), a geração total de RSU será de 3.150.291 toneladas em 2014. São considerados como RSU os resíduos domiciliares e similares gerados pelo comércio e

indústria, os resíduos provenientes da limpeza pública, incluindo a limpeza de bueiros e bocas de lobo.

No município de Porto Alegre, a geração total de RSU em 2011 foi de cerca de 560.000 toneladas, com predomínio dos RSD, cuja geração foi de cerca de 342.000 toneladas. Dentre os RSD, são gerados: resíduos secos recicláveis, resíduos orgânicos e rejeitos, sendo que os dois últimos são coletados misturados pela coleta regular do município. Em 2011 a quantidade total de resíduos coletados na coleta regular (orgânicos e rejeitos) foi de cerca de 282.000 toneladas. (Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Porto Alegre – PMGIRS de Porto Alegre 2013).

2.1.2. Composição dos RSU

Segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, a composição gravimétrica média dos RSU no Brasil, considerando como base a quantidade coletada no ano de 2008 é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição gravimétrica média dos RSU do Rio Grande do Sul

Resíduos	Parcela da composição (%)
Material reciclável	31,9
Metals	2,9
Aço	2,3
Alumínio	0,6
Papel, papelão e tetrapak	13,1
Plástico total	13,5
Plástico filme	8,9
Plástico rígido	4,6
Vidro	2,4
Matéria orgânica	51,4
Outros	16,7
Total	100

Fonte: Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 2012.

Dentre os RSU gerados em um município, há predominância dos RSD (ONOFRE, 2011), que são gerados nas casas, apartamentos, creches, pequenos comércios e restaurantes,

condomínios e demais edificações residenciais. No município de Porto Alegre, segundo dados do PMGIRS de Porto Alegre (2013), aproximadamente 61% dos RSU corresponde aos RSD.

O conhecimento da composição gravimétrica dos RSD é importante porque indica a possibilidade de aproveitamento das frações recicláveis para comercialização e da matéria orgânica para a produção de composto orgânico. No PMGIRS de Porto Alegre (2013), é apresentado um estudo de caracterização gravimétrica dos RSD, cujos resultados indicam que 57,27% dos resíduos coletados na coleta regular domiciliar da capital gaúcha é matéria orgânica biodegradável (Tabela 2).

Tabela 2 - Composição gravimétrica dos resíduos da coleta domiciliar em Porto Alegre - RS

Tipo de material	Composição gravimétrica (%)
Matéria orgânica biodegradável	57,27
Papel e papelão	11,62
Metais	1,46
Plásticos	11,23
Vidros	2,56
Rejeitos e outros	15,86

Fonte: PMGIRS de Porto Alegre, 2013.

2.2. Etapas de gerenciamento dos RSD

A PNRS define que o gerenciamento dos resíduos sólidos é constituído pelas seguintes etapas: coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada. Os municípios são responsáveis pelo gerenciamento dos RSU originados da limpeza pública urbana, das residências ou de qualquer outra atividade que gere resíduos com características domiciliares (RSD) – desde que em pequenas quantidades, definidas por leis municipais. As etapas do gerenciamento serão detalhadas nos tópicos que a seguir.

2.2.1. Segregação e coleta dos RSD

O gerenciamento dos RSD inicia pela segregação dos resíduos, que deve ser realizada na fonte, pelos geradores. Embora a execução desta etapa não seja responsabilidade municipal, é importante que o poder público instrua a população sobre como realizá-la corretamente, viabilizando a adoção de tecnologias de tratamento alternativas aos aterros sanitários.

A etapa seguinte do gerenciamento é a coleta dos RSD, cuja execução é responsabilidade dos municípios (BRINGHENTI, 2004). Segundo a lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, todos os municípios do país devem realizar a separação do lixo corretamente, através da coleta seletiva. Define-se como coleta seletiva o recolhimento diferenciado de resíduos sólidos previamente selecionados nas fontes geradoras, com o intuito de encaminhá-los para reutilização, reaproveitamento, reciclagem, compostagem, tratamento ou destinação final adequada (FEAM, 2011). Segundo ABRELPE (2014), 62% dos municípios brasileiros têm iniciativas de coleta seletiva. Não há registros da realização de coleta seletiva diferenciada em três tipos tipologias: recicláveis secos, orgânicos e rejeitos. Portanto, quando se fala em coleta seletiva no Brasil, refere-se à segregação dos materiais secos recicláveis dos demais resíduos (resíduos orgânicos e rejeitos).

No município de Porto Alegre - RS, assim como em todos os municípios brasileiros que realizam a coleta seletiva, esta é realizada apenas para os resíduos secos recicláveis. Os resíduos orgânicos e os rejeitos são coletados misturados na coleta regular domiciliar, dificultando, a realização do tratamento da parcela orgânica dos RSD.

2.2.2. Tratamento e disposição final da parcela orgânica dos RSD

Segundo FADE/UFPE (2014), no Brasil, a prática amplamente aceita para tratamento dos RSU é a disposição em aterros sanitários, embora ainda exista uma enorme quantidade de aterros controlados e lixões no país.

Existem divergências sobre o enquadramento do aterro sanitário como uma tecnologia de tratamento de resíduos. O documento “Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e

Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão” (FADE/UFPE, 2014), cita que o aterro sanitário pode ser considerado, além de um local de disposição final dos resíduos, uma tecnologia de tratamento, pois ocorrem processos físicos, químicos e microbiológicos, semelhante a um reator anaeróbio, cujo resultado é uma massa de resíduos, química e biologicamente, mais estável.

Entretanto, o aterro sanitário já é considerado uma tecnologia ultrapassada, pois não têm por objetivo principal o tratamento ou a reciclagem dos materiais presentes no RSU. Além disso, a instalação de aterros sanitários depende da disponibilidade de grandes áreas com características específicas de solo, infraestrutura rodoviária, distância de corpos d’água, proximidade dos centros geradores, entre outras, e estes espaços estão cada vez mais escassos (DMITRIJEVAS, 2010).

A PNRS (2010) estabelece que, no Plano Nacional de Resíduos Sólidos sejam definidas diretrizes, estratégias e metas para reduzir a quantidade de resíduos úmidos encaminhados para a disposição final ambientalmente adequada. Dessa forma, no Plano Nacional de Resíduos Sólidos são apresentadas, as seguintes estratégias relacionadas ao gerenciamento da parcela orgânica dos RSU:

“[...] Estratégia 1: Implementar melhorias na segregação da parcela úmida dos RSU (domiciliares e comerciais, feiras, CEASAS, grandes geradores e outros), de forma a propiciar a obtenção de uma fração orgânica de melhor qualidade, otimizando o seu aproveitamento quer seja para utilização de composto para fins agrícolas e de jardinagem ou para fins de geração de energia;

Estratégia 13: Induzir e incentivar os grandes geradores tais como: supermercados, atacadistas, Ceasas, condomínios, órgãos governamentais, eventos e comerciantes para que sejam responsáveis em destinar áreas específicas nos seus estabelecimentos para a prática da compostagem, desenvolvendo logísticas que viabilizem tal utilização, tais como a agricultura urbana e a implantação de hortas escolares sem o uso de defensivos agrícolas;

Estratégia 14: Promover ações de educação ambiental formal e não formal especificamente aplicadas a temática da compostagem, incentivando a prática correta de separação dos resíduos orgânicos e das diferentes modalidades de compostagem domiciliar, estímulo ao uso de minhocários e composteiras. Assegurar recursos para capacitação da sociedade para a diminuição da geração de

resíduos orgânicos, prática da compostagem e também geração de renda por meio da comercialização do composto. [...]”

Além das estratégias, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos apresenta metas relacionadas a diversas etapas de gerenciamento dos resíduos. A meta número 4 do Plano estabelece percentuais de redução de resíduos úmidos dispostos em aterros, que aumentam gradativamente a cada quatro anos, conforme apresentado na Tabela 3. Observa-se que, em 2015 a região sul deveria reduzir em 30% a quantidade de resíduos úmidos dispostos em aterros. Entretanto, poucas ações foram executadas para cumprir esta meta.

Tabela 3 - Meta de redução de resíduos úmidos enviados para aterros sanitários

Meta	Região	Metas (%)				
		2015	2019	2023	2027	2031
	Brasil	19	28	38	46	53
Redução do percentual de resíduos úmidos disposto em aterros, com base na caracterização nacional	Região Norte	10	20	30	40	50
	Região Nordeste	15	20	30	40	50
	Região Sul	30	40	50	55	60
	Região Sudeste	25	35	45	50	55
	Região Centro-oeste	15	25	35	45	50

Fonte: Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 2012.

Existem algumas tecnologias que podem ser empregadas para tratamento dos resíduos úmidos, promovendo a redução da quantidade de resíduos enviada aos aterros sanitários. Dentre elas, vale citar a compostagem, a digestão anaeróbia e a incineração (FADE/UFPE, 2014), sendo que a incineração é inviável para tratar exclusivamente os resíduos orgânicos, devido aos altos teores de umidade.

Segundo CAMPOS (2012), um dos fatores que pode contribuir para a redução de resíduos úmidos enviados aos aterros é o incentivo à compostagem domiciliar. Além desta contribuição, este processo de degradação da matéria orgânica tem como produto final um composto sólido, rico em matéria orgânica estabilizada, que pode ser aplicado no solo para melhorar suas características físico-químicas.

Segundo DORES-SILVA et al (2013), a incorporação de matéria orgânica a solos agricultáveis, proveniente de resíduos gerados no próprio empreendimento, diminui a emissão de CO₂ na atmosfera, auxilia na retenção de umidade, melhora a textura dos solos, e fornece macro e micronutrientes às plantas. Entretanto, o autor ressalta que a matéria orgânica dos resíduos deve ser devolvida ao solo estabilizada, com macro e micronutrientes em uma forma mais assimilável pelas plantas e microrganismos presentes no solo. O autor cita dois processos de estabilização de materiais orgânicos, que visam sua posterior disposição agrícola, são: a compostagem, realizada exclusivamente por microrganismos, e a vermicompostagem, realizada por uma simbiose entre minhocas e microrganismos que vivem em seu trato digestivo.

No município de Porto Alegre, o DMLU realiza o tratamento de uma parcela dos resíduos orgânicos gerados no município por meio da compostagem. Em 2011 foram compostados aproximadamente quatro mil toneladas de resíduos (PMGIRS de Porto Alegre, 2013).

2.2.3. Custos associados às etapas de gerenciamento da parcela orgânica dos RSD no município de Porto Alegre – RS

Após consultar diversos Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos de municípios brasileiros conclui-se que os serviços de limpeza urbana, até então executados pela administração pública, estão sendo terceirizados em muitos municípios. Neste modelo de gestão, são firmados contratos entre o município e as empresas privadas para execução de serviços de gerenciamento dos resíduos. No município de Porto Alegre - RS não é diferente, empresas privadas executam as etapas de coleta, transporte e disposição final dos RSD e são remuneradas de acordo com a massa de resíduos coletada, transportada e disposta no aterro.

Na Tabela 4 são apresentados os valores que constam nos contratos firmados entre o Departamento Municipal de Limpeza Urbana de Porto Alegre - RS (DMLU) e as empresas contratadas para cada uma das etapas do gerenciamento dos RSD no município de Porto Alegre - RS.

Tabela 4 – Custos associados às etapas de gerenciamento dos RSD em Porto Alegre - RS

Serviço	Custo (R\$/tonelada)
Coleta regular manual	81,63
Coleta regular automatizada	128,28
Transporte da estação de transbordo ao aterro sanitário	28,13
Disposição final em aterro sanitário	24,63

Fonte: DMLU (2014).

2.3. O processo de compostagem

Segundo a NBR 13.591:1996, define-se como compostagem o “processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação.”

Segundo MELLO-PEIXOTO (2014), entende-se por compostagem o conjunto de técnicas aplicadas para controlar a degradação de materiais orgânicos, com o objetivo de transformá-los em um material estável com atributos físicos, químicos e biológicos, superiores àqueles encontrados nas matérias primas. Durante o processo biológico, certos componentes da matéria orgânica são utilizados pelos microorganismos para formação dos seus tecidos, outros são volatilizados e outra parte é transformada em uma substância escura, uniforme, rica em partículas coloidais, cujas propriedades físicas, químicas e fisico-químicas são totalmente diferentes das originais (Bidone e Povinelli, 1999).

Como qualquer processo biológico, a eficiência da compostagem está associada a condições especiais de temperatura, umidade, pH, aeração e relação C:N. Durante a degradação da matéria orgânica, há elevação da temperatura na massa de resíduos e em cada faixa específica de temperatura agem diferentes microorganismos. Assim, a temperatura é um dos principais fatores de acompanhamento do desempenho do processo (REIS, 2005).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2010), os RSU apresentam características que viabilizam a sua compostagem. Conforme supracitado, a eficiência do processo depende de condições favoráveis, que podem ser obtidas pela utilização de uma parte de resíduos como frutas, legumes e verduras para três partes de resíduos de poda e jardinagem. Entretanto como se trata de um processo em que há interferência de muitas variáveis, outras proporções entre estes materiais podem ser utilizadas.

2.3.1. Principais variáveis de controle do processo de compostagem

A compostagem é um processo biológico, portanto fatores como aeração, presença de nutrientes e umidade são fundamentais para atingir a eficiência na degradação da matéria orgânica. Além destes parâmetros, a temperatura, o pH e a granulometria também são importantes (Fernandes e Silva, 1999).

A aeração é fundamental para o processo, pois os microorganismos utilizam o oxigênio para oxidar a matéria orgânica. Para fornecer oxigênio ao sistema é necessário a existência de espaços vazios na massa de resíduos, portanto não se recomenda a utilização de resíduos com granulometria muito fina. Em caso de adensamento da massa e preenchimento dos espaços vazios, o meio se tornará anaeróbico, podendo gerar odores desagradáveis. Além disso, os microorganismos necessitam de carbono, como fonte de energia, e de nitrogênio para síntese de proteínas, portanto a massa de resíduos compostados deve apresentar esses nutrientes. Para isso, recomenda-se a utilização de diferentes tipos de resíduos orgânicos, atingindo uma relação C:N entre 1:20 e 1:70 (Fernandes e Silva, 1999).

A umidade também é um parâmetro fundamental para o processo porque a sobrevivência dos microorganismos está condicionada à existência de água no meio. O teor ótimo de umidade para o processo é em torno de 50 a 60%. Altas umidades afetam a aeração, pois a água ocupa os espaços vazios e dificulta o fluxo de oxigênio (Fernandes e Silva, 1999).

Segundo REIS (2005), a temperatura influencia na velocidade do processo, pois a atividade dos microorganismos é mais acelerada entre 50 e 70° C. Já o pH não costuma ser um fator crítico para a compostagem, apesar de ser um parâmetro difícil de ser controlado. Quando a relação C/N da mistura for conveniente, este parâmetro não causa desequilíbrio ao sistema. Já a granulometria dos resíduos é importante porque influencia nos demais

parâmetros como oxigenação, umidade e temperatura. De modo geral, o tamanho das partículas deverá ser de 25 e 75 mm para garantir a existência dos espaços vazios (Fernandes e Silva, 1999).

2.3.2. Utilização da compostagem para tratamento da parcela orgânica dos RSD nos estabelecimentos geradores

Segundo MELLO-PEIXOTO (2014), a compostagem de resíduos é uma ação sustentável, pois aproveita restos e sobras para produzir adubo de alto valor biológico. O autor cita ainda que esse tratamento representa uma importante opção de destino aos resíduos rurais e urbanos como: restaurantes, hotéis, indústrias, supermercados e grandes entrepostos agrícolas.

PIRES (2013), em sua dissertação intitulada “O tratamento dos resíduos orgânicos como cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Análise dos planos municipais da bacia do Alto Tietê”, apresenta o exemplo do *Shopping Eldorado*, localizado na zona oeste do município de São Paulo, que realiza, dentro do próprio estabelecimento comercial a compostagem dos resíduos orgânicos gerados na praça de alimentação. O sistema implantado inicia pela coleta seletiva dos resíduos orgânicos por meio de lixeiras marrons, conforme definido na Resolução CONAMA nº 275. Os resíduos gerados na preparação dos alimentos pelos restaurantes e os restos das refeições dos clientes são encaminhados para uma pequena central de compostagem, onde são triturados com um triturador (Figura 1), aumentando a superfície de contato e acelerando a degradação (Figura 2). Posteriormente, os resíduos são mantidos em um tanque para ocorrência da bioestabilização, cujo período de duração é reduzido por meio da adição de enzimas produzidas a base de algas. As enzimas contribuem também para evitar odores desagradáveis gerados pela anaerobiose. Após a bioestabilização, o material passa por equipamentos mecânicos para revolvimento e humificação (Figura 3).

O composto produzido é utilizado em uma horta localizada na laje superior do Shopping (Figura 4). Além de fornecer alimentos aos colaboradores do estabelecimento, a horta colabora para a manutenção da temperatura interna do local mais amena, reduzindo assim o gasto energético com equipamentos de refrigeração de ar. No local são produzidos

legumes e verduras livres de agrotóxicos e destinados aos próprios colaboradores do Shopping Eldorado.



Figura 1 – Triturador de resíduos

Fonte: PIRES (2013)



Figura 2 – Aspecto dos resíduos antes e depois da trituração

Fonte: PIRES (2013)



Figura 3 - Equipamento para revolvimento e humificação dos resíduos

Fonte: PIRES (2013)



Figura 4 – Horta na qual é aplicado o composto produzido

Fonte: PIRES (2013)

2.4. Vermicompostagem

Segundo Bidone e Povinelli (1999), a vermicompostagem é um tipo de processo de compostagem no qual se utiliza minhocas para digestão da matéria orgânica e aumento da aeração e da drenagem do solo. Portanto, as características do processo são semelhantes à compostagem tradicional, porém alguns parâmetros devem ser adaptados às condições de sobrevivência das minhocas. LAMIM (1997) define a vermicompostagem como a transformação da matéria orgânica, resultante da ação combinada de minhocas e da microflora que vive em seu trato digestivo.

DORES-SILVA et al. (2013), cuja pesquisa envolveu a comparação entre as propriedades físico-químicas do composto e do vermicomposto produzidos a partir de misturas entre resíduos da agricultura e esterco bovino, afirmam que o processo de vermicompostagem é mais eficaz na estabilização dos resíduos estudados do que a compostagem tradicional.

Segundo NADOLNY (2009), a vermicompostagem, também chamada de minhocultura é uma opção viável para realizar a reciclagem dos resíduos orgânicos domiciliares e o vermicomposto produzido atende à legislação brasileira vigente, podendo ser comercializado como composto orgânico.

Além do benefício ambiental, a minhocultura gera grande quantidade de biomassa de minhocas, visto que a taxa de reprodução das espécies é alta. Essa biomassa pode ser utilizada na complementação da alimentação animal, na pesca esportiva, na venda de matrizes para produtores que desejam entrar no ramo da minhocultura, ou até mesmo na alimentação humana, devido ao seu elevado teor de proteínas (Embrapa, 2011).

Segundo Bidone e Povinelli (1999), a função das minhocas é mais mecânica do que bioquímica, embora, após a ingestão do material elas excretem os coprólitos, que são produtos da biotransformação realizada pelos microorganismos naturalmente existentes nos intestinos das minhocas.

As minhocas integram o filo dos Anelídeos e a classe Oligoqueta, que agrupa cerca de 3.100 espécies entre minhocas e outras espécies que vivem em água doce. Os oligoquetas adultos, em idade reprodutiva, apresentam um segmento do corpo que é mais espesso e inchado devido à presença de glândulas que secretam muco para a cópula, o clitelo (Figura 5). A cópula é a transferência de esperma mútua entre indivíduos, visto que as minhocas são todas hermafroditas. No clitelo são formados os casulos onde são depositados os óvulos e os espermatozoides para geração de novos indivíduos. Os casulos são amarelados e tem formato ovoide (Ruppert e Barnes, 1996) (Figura 6).

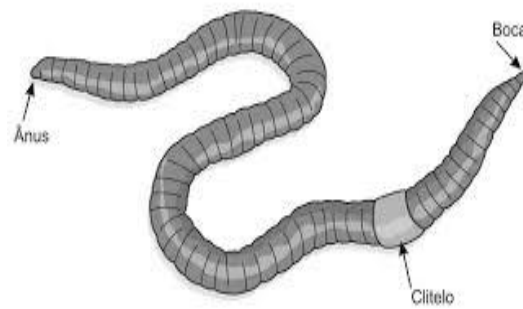


Figura 5 – Região do clitelo das minhocas
Fonte: Ruppert e Barnes, 1996.



Figura 6 – Casulos de minhoca
Fonte: Autor

A espécie *Eisenia foetida*, popularmente conhecida como minhoca californiana ou minhoca vermelha, é bastante empregada no processo de vermicompostagem de resíduos, pois além de se alimentar de matéria orgânica em decomposição, permite a aeração do solo quando realiza o seu deslocamento. Esses fatores aceleram o processo de degradação da matéria orgânica, cujo resultado final é o um vermicomposto rico em matéria orgânica que reconstitui as estruturas físicas e biológicas do solo, atuando como um fertilizante natural. Além disso, neutraliza o pH do solo e eleva a concentração de nutrientes, aumentando a resistência das plantas contra pragas e doenças (Czekoski, 2006). Em relação à quantidade de alimento ingerido por essa espécie, Bidone e Povinelli (1999) sustentam que cada indivíduo ingere uma quantidade de matéria orgânica igual à sua massa diariamente.

A espécie *Eisenia foetida*, quando adulta, fornece um casulo a cada 5 dias, de cada qual originam-se de 3 a 6 indivíduos, portanto a espécie apresenta alta taxa de reprodução.

Além disso, adapta-se muito bem ao cativeiro, sendo apropriada para a vermicompostagem (Bidone e Povinelli, 1999).

2.4.1. Principais variáveis de controle do processo de vermicompostagem

A eficiência do processo de vermicompostagem depende das condições ambientais existentes. Segundo Embrapa (2011), o ambiente deve ser mantido a uma temperatura entre 20 e 25°C, umidade entre 70 e 85 % e pH neutro. Além disso, é importante que o meio não seja muito compactado e nem encharcado, para proporcionar a aeração necessária. Edwards (1995) apud VERAS (2004) relata que os sistemas de vermicompostagem devem ser mantidos em temperaturas abaixo de 35°C, pois a exposição das minhocas a temperaturas acima desse valor provoca sua morte.

Segundo Migdalski (2001), o ambiente ideal para as minhocas deve ser rico em matéria orgânica e deve apresentar uma pequena camada úmida na superfície. O autor cita que os parâmetros pH e oxigenação interferem no processo de vermicompostagem, pois são essenciais à sobrevivência das minhocas.

2.4.2. Vermicompostagem doméstica

A vermicompostagem doméstica é um método que permite realizar o tratamento de resíduos orgânicos no local de origem, evitando os gastos e os impactos ambientais associados à coleta, transporte e destinação final dos resíduos orgânicos domiciliares, por exemplo. Consiste em um sistema simples, de fácil operação e perfeitamente adaptável a casas e apartamentos (Leite, 2011).

No município de São Paulo-SP, a prefeitura está executando um projeto socioambiental, em escala piloto, para avaliar a viabilidade de implantação de sistemas de vermicompostagem doméstica. Intitulado como “Composta São Paulo”, o projeto consiste na distribuição gratuita das composteiras, aliada ao treinamento dos usuários e ao monitoramento de indicadores de operação do processo. Foram distribuídas 2.000 composteiras para voluntários cadastrados e foram registrados mais de 10.000 interessados, indicando que há o

interesse da população. Caso os resultados sejam positivos, a prefeitura ampliará o projeto para os demais interessados (Prefeitura Municipal de São Paulo, 2014).

Atualmente existem algumas empresas que comercializam kits para vermicompostagem caseira. Apesar das pequenas diferenças existentes entre os produtos disponíveis no mercado, o princípio de funcionamento dos sistemas é idêntico. São vermicomposteiras formadas por três ou mais recipientes iguais, encaixados um sobre o outro e interligados por furos existentes na base das caixas, conforme ilustrado na Figura 7 e na Figura 8.



Figura 7 - Furos existentes na base das caixas

Fonte: Morada da Floresta Soluções Ecológicas LTDA, 2014.



Figura 8 - Composteira doméstica

Fonte: Morada da Floresta Soluções Ecológicas LTDA, 2014.

Um dos fornecedores consultados informa em sua página na rede mundial de computadores que, para iniciar o processo de vermicompostagem doméstica utilizando um sistema de 50 cm de comprimento x 35 cm de largura e 65 cm de altura são necessárias cerca de 250 minhocas da espécie *Eisenia foetida*, um pouco de vermicomposto pronto e um pacote de serragem ou folhas secas (Morada da Floresta, 2014). Outro fornecedor consultado indica que 200 indivíduos da espécie, além de terra preta e húmus, são suficientes para dar partida no mesmo sistema de tratamento. O fundo de uma das caixas deve ser coberto com uma camada de 5 cm de húmus ou vermicomposto pronto para abrigar as minhocas.

A degradação dos resíduos ocorre nas duas caixas superiores, também chamadas de caixas digestoras (Figura 8). A caixa inferior tem como função a coleta do líquido gerado, que também é um biofertilizante. A alimentação do sistema (adição de resíduos) inicia pela gaveta superior, onde são adicionadas as minhocas, e permanece sendo realizada nessa caixa até que o volume desta seja preenchido. No momento em que essa caixa for preenchida totalmente, realiza-se a inversão desta com a caixa do meio, de modo que a caixa cheia permanece maturando no andar do meio para finalizar a produção do vermicomposto. Nesse momento inicia-se a alimentação da caixa vazia, agora localizada na parte superior. Quando o vermicomposto estiver pronto na caixa do meio, as minhocas migrarão através dos furos para o andar de cima em busca de alimento. Em média, após 60 dias, as duas caixas estarão cheias e o composto estará pronto para ser aplicado no solo (Morada da Floresta, 2014).

A operação do sistema requer alguns cuidados, para que a vermicomposteira não atraia ou gere odores indesejáveis. Os tipos de resíduos orgânicos que podem ser adicionados é um fator importante para o correto andamento do processo biológico. Segundo o “Manual da Compostagem Doméstica com Minhocas” (Morada da Floresta, 2014), alguns resíduos podem ser adicionados livremente, outros em pouca quantidade e há um terceiro grupo que não deve ser adicionado. No Quadro 1 são exemplificados os grupos mencionados.

Colocar à vontade	Colocar pouco	Não colocar
Frutas		Carnes
Legumes Verduras	Frutas cítricas	Limão,
Grãos e sementes	Alimentos cozidos	Temperos fortes (pimenta, alho, cebola)
Sachê de chá (sem etiqueta)	Guardanapos e papel toalha	Óleos e gorduras
Erva de chimarrão	Flores e ervas	Líquidos (iogurtes, leite, caldos de sopa, feijão)
Borra e filtro de café	Laticínios	Fezes de animais domésticos
Cascas de ovos		Papéis (higiênicos, jornais e papelões)

Quadro 1 - Grupos de resíduos importantes para o processo de vermicompostagem doméstica
Fonte: Morada da Floresta, 2014

APPELHOF (1997) apud NADOLNY (2009) ressalta que, na vermicompostagem caseira, não é aconselhado adicionar carnes ou derivados do leite ao processo, pois apesar de serem consumidos pelas minhocas, atraem moscas e ratos, além de gerar odor desagradável.

A alimentação do sistema é uma etapa importante, principalmente para evitar a emissão de odores e a atração de insetos. Segundo o manual distribuído no projeto “Composta São Paulo”, a adição dos resíduos deve ser realizada à medida que o resíduo é gerado, evitando cargas orgânicas muito altas. Para facilitar a operação, recomenda-se manter um recipiente com tampa junto à pia, onde são colocados os resíduos temporariamente. Ao adicionar os resíduos na composteira, estes devem ser colocados em um canto da caixa e devem ser totalmente cobertos com material seco – serragem ou folhas secas picadas –, a fim de evitar a emissão de odores e a atração de animais indesejáveis. Quando o recipiente estiver cheio, deve ser esvaziado na composteira. O Manual indica também que, se possível, os resíduos sejam picados antes da adição à vermicomposteira, de maneira a aumentar a superfície de contato e diminuir o tempo de degradação.

Entretanto, existem sistemas de vermicompostagem projetados para grandes geradores (Figura 9), cuja operação prevê o preenchimento de uma gaveta de uma só vez, ou seja, o sistema recebe e absorve uma alimentação pontual, com carga orgânica alta.



Figura 9 – Sistema de vermicompostagem doméstica para tratamento de resíduos orgânicos de grandes geradores

Fonte: Morada da Floresta, 2014

O tamanho das gavetas, o número de andares do sistema e a quantidade de minhocas adicionadas no início do processo dependem do volume de resíduos orgânicos gerados diariamente pelo gerador (Morada da Floresta, 2014).

Segundo Leite (2011), em seu trabalho intitulado “Avaliação do uso e operação de composteira caseira que utiliza vermicompostagem”, foi avaliada a satisfação de usuários de composteiras caseiras e foram identificadas as dificuldades associadas à operação desses sistemas, por meio de um questionário aplicado a alguns clientes de uma empresa fornecedora.

Os resultados indicaram que 76% das pessoas que utilizam as composteiras vivem em casas, 18% em apartamentos e 6% em sítios. Da amostra total avaliada, 56% dos usuários não tiveram incômodos durante a operação da composteira, enquanto 26% enfrentaram alguma dificuldade; 18% não responderam essa questão. Os motivos do incômodo foram especificados pelos usuários e são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Motivos que geraram incômodos associados às composteiras caseiras

Motivos do incômodo	Número de pessoas que comentaram	Número de registros
Moscas dentro das caixas		3
Vazamento do chorume pela torneira de retirada		2
Larvas dentro das caixas		2
Houve morte das minhocas, causando cheiro ruim		2
Falta uma base apropriada para retirada do chorume		2
Composteira não pode ficar mal tampada senão as minhocas fogem		1
Não pode ficar totalmente tampada no verão		1
Os produtos (composto e chorume) são mal cheirosos		1
Dúvidas sobre outros organismos que aparecem na composteira		1
Dificuldade em saber quantidade de material seco a ser colocada		1
Chorume já invadiu a caixa de cima		1
Grande geração de chorume		1
Problemas com baratas que já foi resolvido		1
A torneira de retirada do chorume é muito embaixo		1
Dúvida sobre a troca de posição das caixas		1
Composteira é pesada		1
Descarte do material		1
Retirada do material		1

Fonte: Leite, 2011.

A pesquisa indicou também que aproximadamente 70% dos entrevistados não tiveram problemas para destinar o composto. A maioria dos usuários utilizou tanto o composto como o chorume gerado para adubação das plantas em sua própria residência. 60% dos usuários não gastam mais do que 30 minutos semanalmente para operar a composteira e 51% declararam estar muito satisfeitos com a composteira doméstica.

PIRES (2013) apresenta dois exemplos de grandes geradores que utilizam a técnica da vermicompostagem para tratamento *in locu* da parcela orgânica dos RSU gerados no local. O primeiro exemplo é a Universidade Mackenzie, que trata cerca de 30% dos resíduos orgânicos gerados na praça de alimentação da Universidade. O sistema instalado tem capacidade para tratar cerca de 2.000 litros de resíduos por mês com auxílio de 200.000 minhocas californianas. O composto e o biofertilizante produzidos são utilizados para adubação dos jardins, da horta medicinal e da horta de educação ecológica existentes no campus. Na Figura 10 é apresentado o sistema de tratamento instalado



Figura 10 - Sistema de vermicompostagem implantado na Universidade Mackenzie
Fonte: PIRES, 2013

O segundo exemplo apresentado refere-se a um sistema de vermicompostagem instalado em uma empresa com 400 funcionários, que trata 100% dos resíduos orgânicos gerados. Na Figura 11 é apresentado o sistema.



Figura 11- Sistema de vermicompostagem implantado em uma empresa de 400 funcionários.
Fonte: PIRES (2013).

2.5. Educação ambiental

Atualmente um dos empecilhos para realização do tratamento dos RSU é a má segregação realizada pela população. A compostagem de resíduos orgânicos domiciliares em grandes unidades centralizadas não é viável economicamente porque, dentre outros fatores,

diante da péssima segregação realizada pela população, são necessários equipamentos muito caros de separação de materiais. Se a população realizasse a segregação corretamente, a tecnologia seria viável. A solução para esse problema é a promoção da conscientização ambiental e da informação sobre a correta segregação.

É nesse contexto que se encaixa a adoção das vermicomposteiras. Além de realizar o tratamento de uma parcela dos resíduos na fonte, também contribui para o aprendizado sobre a correta segregação dos materiais, viabilizando o tratamento. Segundo DOS SANTOS (2007), cuja pesquisa desenvolvida foi relacionada à educação ambiental em escolas públicas de Minas Gerais utilizando a compostagem de resíduos orgânicos como temática, as pequenas ações de conscientização são necessárias para mudar os paradigmas existentes na sociedade, construindo uma nova maneira de lidar com os resíduos.

3. METODOLOGIA

Diante das metas de redução de disposição de resíduos orgânicos em aterros sanitários e da estratégia que sugere o estímulo à utilização da compostagem doméstica e minhocários, ambas apresentadas no Plano Nacional de Resíduos Sólidos e com base no projeto implantado no município de São Paulo, no qual a prefeitura distribuiu composteiras domésticas para população, decidiu-se realizar a avaliação da viabilidade de implantação e operação desses sistemas de tratamento de resíduos orgânicos nos próprios locais de geração (domicílios, restaurantes, creches e outros empreendimentos). Para isso, foi montado um experimento com oito vermicomposteiras domésticas, operadas dentro de um apartamento, que configura o local, teoricamente, menos apropriado, dentre os geradores citados. Ou seja, no caso da comprovação da viabilidade de operação do sistema em um apartamento, o mesmo vale para os demais locais. Na Figura 12 são apresentadas as oito composteiras utilizadas no experimento.



Figura 12 - Experimento realizado com oito vermicomposteiras domésticas

Fonte: Autor

3.1. Localização do experimento

O experimento foi realizado no município de Porto Alegre - RS. As vermicomposteiras foram mantidas na área de serviço de um apartamento, em local coberto e com boa ventilação.

3.2. Caracterização dos resíduos orgânicos

Os resíduos orgânicos utilizados na alimentação das composteiras foram coletados em um restaurante e em uma creche, ambos localizados no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Vale ressaltar que não há preparação de almoço na creche, pois a refeição chega pronta do restaurante universitário. Todavia, os lanches, que geralmente são constituídos por frutas, são preparados no local.

Em ambos os locais, os funcionários disseram realizar a segregação dos resíduos recicláveis. Portanto, foi solicitado a eles que armazenassem a parcela que continha os resíduos orgânicos e os rejeitos em um tonel durante três dias consecutivos de expediente para que fosse realizada a caracterização destes resíduos. O objetivo da caracterização foi identificar a parcela de resíduos compostáveis e de resíduos cítricos.

Foram realizadas duas caracterizações, utilizando-se a mesma metodologia. Inicialmente foi realizada a pesagem dos resíduos para avaliar geração diária em cada um dos estabelecimentos. Posteriormente, os resíduos foram dispostos sobre uma lona e separados manualmente em montes de acordo com três categorias:

- Resíduos compostáveis: restos e cascas de frutas e verduras, casca de ovo, borra e filtro de café, erva mate, sacos de chá, entre outros;
- Resíduos cítricos: laranja, limão, abacaxi, bergamota, entre outras;
- Rejeitos: cebola, pimentão, alho e restos de alimentos cozidos e salgados, como carnes, arroz, feijão, massa, entre outros;

Foi realizada uma análise visual dos tipos de resíduos gerados por cada um dos geradores e, posteriormente, cada categoria foi pesada em uma balança de precisão de 1g, para avaliar a fração em peso úmido de cada uma das categorias sobre o total.

3.3. Montagem das vermicomposteiras domésticas

As matrizes de minhocas utilizadas para dar partida nos experimentos foram doadas pelos funcionários do Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais da UFRGS (LACOR), onde existe uma vermicomposteira, mantida pelos alunos e professores, para tratamento de uma parcela dos resíduos orgânicos gerados no local. As minhocas utilizadas são da espécie *Eisenia foetida*, popularmente conhecidas como minhocas vermelhas ou minhocas californianas.

As vermicomposteiras foram montadas com três caixas poliméricas com as seguintes dimensões: 44 cm de comprimento, 35 cm de largura e 15 cm de altura. As caixas foram encaixadas uma em cima da outra com uma tampa em cima (Figura 13). Foram feitos 35 furos de aproximadamente 0,5 cm de diâmetro na base das caixas de cima e do meio, permitindo que as minhocas circulassem entre os três andares (Figura 14) e que o chorume drenasse para a caixa inferior. O sistema se manteve isolado para entrada de moscas e outros insetos, mas permitiu o fluxo de ar. A área total ocupada pelas oito composteiras foi de cerca de 1,5 m², considerando que todas ficaram posicionadas no chão. Cada vermicomposteira recebeu uma identificação numérica, de 1 à 8.



Figura 13 - Composteira montada com três caixas poliméricas

Fonte: Autor

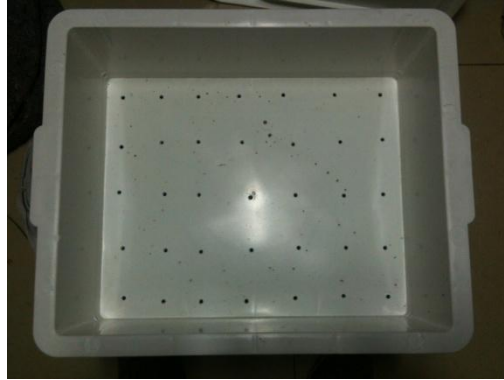


Figura 14 - Furos realizados nas caixas
Fonte: Autor

Na gaveta do meio, onde foi iniciada a alimentação dos resíduos, o fundo foi coberto com uma camada de 5 cm de vermicomposto úmido (Figura 15), retirado de uma vermicomposteira em operação, para abrigar as minhocas. Foram adicionadas 250 minhocas da espécie *Eisenia foetida* ao sistema, conforme os fornecedores de vermicomposteiras indicam para sistemas com dimensões semelhantes às utilizadas neste estudo.



Figura 15 - Composto utilizado para iniciar o processo
Fonte: Autor

3.4. Operação e monitoramento das vermicomposteiras domésticas

A operação dos sistemas envolveu as seguintes etapas: segregação inicial dos resíduos orgânicos, coleta e transporte dos resíduos do local de geração até o local do experimento, segregação entre compostáveis e cítricos, trituração e alimentação das composteiras.

A primeira segregação inicial era realizada pelos funcionários responsáveis pela preparação das refeições na creche e no restaurante. Para instruí-los, foi realizada uma conversa breve, explicando o objetivo do trabalho e informando quais os resíduos deveriam ser separados. Além disso, para evitar falhas nesta etapa, foi fixado um cartaz na parede, acima da lixeira, com uma lista dos resíduos que deveriam ser segregados.

A coleta dos resíduos junto aos geradores foi realizada uma vez por semana, nas segundas-feiras e o transporte até o local dos experimentos foi realizado com um automóvel. A necessidade do carro para realizar o transporte inviabilizou que as coletas fossem realizadas três vezes na semana, pois o automóvel estava disponível apenas em um dia da semana. Portanto, nas segundas-feiras, os resíduos eram coletados, transportados e preparados para a alimentação da semana, quando necessário.

A preparação dos resíduos, realizada nas segundas-feiras, envolveu a segregação, trituração de uma parcela destes e o armazenamento em local refrigerado para alimentação durante a semana, quando necessário. Inicialmente era realizada a separação dos resíduos cítricos, pois a parcela destes na alimentação das composteiras foi controlada (15% em peso úmido). Além disso, eram retirados os rejeitos que eventualmente vinham misturados, como plásticos, papéis, e alimentos como arroz, pão, entre outros. Posteriormente, era realizada a trituração de uma parcela dos resíduos selecionados, visto que metade das composteiras receberam resíduos triturados. Finalmente, após a alimentação, os resíduos restantes eram armazenados em potes poliméricos e mantidos em local refrigerado para alimentação do resto da semana, caso necessário.

A quantidade de resíduos tratada nas composteiras foi calculada com base nas seguintes informações:

- Um indivíduo da espécie *Eisenia foetida* consome a quantidade de matéria orgânica igual à sua massa diariamente (Bidone e Povinelli (1999));
- A massa de 250 indivíduos adultos da espécie *Eisenia foetida* é 100 g.

Para saber a massa de 250 minhocas, foi realizada a pesagem de 50 indivíduos adultos, obtendo-se como resultado 20 g (Figura 16). Esse valor foi multiplicado por 5 para obter o dado necessário.



Figura 16 - Pesagem das minhocas

De acordo com os dados da bibliografia, em um período de 75 dias (2 meses e meio), 250 minhocas seriam capazes de consumir 7,5 kg de matéria orgânica. Portanto, foi definido que cada sistema receberia 7 kg de resíduos para serem tratados durante o período de 75 dias. Vale ressaltar que não foram considerados no cálculo os novos indivíduos gerados pela reprodução das minhocas. A massa de resíduos calculada e o tempo de degradação dos mesmos são coerentes com o volume das composteiras e com o tempo de produção do composto informado na bibliografia (2 a 3 meses), respectivamente.

Conforme supracitado, o experimento envolveu a operação de oito vermicomposteiras, com o objetivo de avaliar a viabilidade de implantação e operação de sistemas de vermicompostagem doméstica e comparar diferentes tipos de operação. Para isso, foram testados os seguintes parâmetros operacionais:

- Tipos de resíduos utilizados na alimentação das composteiras;
- Tipo de alimentação das composteiras;
- Granulometria dos resíduos adicionados;

Diante do resultado da caracterização dos resíduos, que indicou uma porcentagem média de 14% de resíduos cítricos, decidiu-se avaliar se a adição dessa parcela realmente afetaria negativamente o processo, conforme informam algumas bibliografias. Dessa forma, um dos parâmetros operacionais variados no experimento foi a adição de resíduos cítricos na proporção de 15% em relação ao total adicionado. Ou seja, dentre as oito composteiras, quatro

delas receberam resíduos nessa proporção. Na Figura 17 e na Figura 18, são apresentados os resíduos cítricos e os demais resíduos utilizados para alimentação.



Figura 17 – Resíduos cítricos
Fonte: Autor



Figura 18 – Resíduos não cítricos
Fonte: Autor

Outro parâmetro operacional testado foi o tipo de alimentação. Quatro composteiras receberam o montante total de resíduos (7 kg) divididos em duas alimentações de 3,5 kg (alimentação pontual), enquanto as outras quatro composteiras, em 14 alimentações de 0,5 kg (alimentação difusa). Nos casos em que as composteiras foram alimentadas em apenas duas oportunidades, as alimentações tiveram intervalo de 30 dias (01 de setembro e 01 de outubro). Nos casos em que foram realizadas 14 alimentações, não houve um espaçamento fixo entre cada uma. Entretanto, no início do processo, foram realizadas menos alimentações para adaptação das minhocas e, ao final, elas tornaram-se mais frequentes. Na Figura 19 e na Figura 20 são ilustrados os dois métodos de alimentação realizados.



Figura 19 - Alimentação pontual
Fonte: Autor



Figura 20 – Alimentação difusa
Fonte: Autor

O terceiro parâmetro variado foi a granulometria dos resíduos. Quatro composteiras receberam resíduos brutos, enquanto as outras quatro foram alimentadas com resíduos triturados. O equipamento utilizado para trituração é apresentado na Figura 21. A aparência dos resíduos brutos e dos resíduos triturados pode ser avaliada nas Figura 22 e Figura 23, respectivamente.



Figura 21 –Triturador de resíduos
Fonte: Autor



Figura 22 - Resíduos brutos
Fonte: Autor



Figura 23 – Resíduos triturados
Fonte: Autor

No Quadro 2, é apresentado um resumo dos métodos de operação de cada composteira. Para facilitar a compreensão dos resultados, apresentados posteriormente, adotou-se uma sigla de identificação para cada vermicomposteira, que informa o tipo de operação empregada naquele sistema. A primeira letra da sigla indica o tipo de alimentação realizada (“D” para difusa e “P” para pontual). A segunda e a terceira letra representam a presença ou não de resíduos cítricos (“Pc” para presença de cítricos e “Ac” para ausência de cítricos). Por fim, as duas últimas letras indicam a granulometria dos resíduos adicionados (“Rb” para resíduos brutos e “Rt” para resíduos triturados).

Quadro 2 - Resumo das variáveis operacionais testadas no experimento

Identificação da Composteiras	Variáveis operacionais					
	Tipo de alimentação		Tipo de resíduos adicionados		Granulometria dos resíduos	
	Difusa	Pontual	Ausência de resíduos cítricos	Presença de resíduos cítricos	Resíduos triturados	Resíduos brutos
1 (DAcRb)	X		X			X
2 (DPcRb)	X			X		X
3 (PAcRb)		X	X			X
4 (PPcRb)		X		X		X
5 (DAcRt)	X		X		X	
6 (DPcRt)	X			X	X	
7 (PAcRt)		X	X		X	
8 (PPcRt)		X		X	X	

Fonte: Autor

Para adicionar a quantidade correta de resíduos em cada composteira, era realizada a pesagem dos mesmos em uma balança, conforme apresentado na Figura 24, Figura 25 e Figura 26.



Figura 24 - Pesagem dos resíduos triturados
Fonte: Autor



Figura 25 – Pesagem dos resíduos brutos
Fonte: Autor



Figura 26 - Pesagem dos resíduos cítricos
Fonte: Autor

A alimentação das composteiras (adição dos resíduos) foi realizada na caixa do meio, ao contrário das orientações dos fornecedores dos sistemas de vermicompostagem doméstica, que sugerem a alimentação na gaveta superior. Optou-se por esta metodologia, porque no caso indicado pelos fornecedores, nos quais a alimentação é realizada na gaveta superior e a maturação do vermicomposto na gaveta do meio, o biofertilizante gerado na decomposição dos resíduos drena sobre o vermicomposto em fase de maturação, atrasando a etapa final do processo. Além disso, esta situação faria com que as minhocas fossem mantidas na gaveta de maturação, atraídas pela matéria orgânica do biofertilizante, atrasando a migração para a gaveta superior, onde deveriam estar para degradar os resíduos que estarão sendo adicionados pela alimentação.

Na alimentação das composteiras, os resíduos sempre foram colocados em um dos cantos da caixa, evitando espalhá-los por toda a superfície, conforme ilustrado na Figura 27. Após a colocação dos resíduos (Figura 27), estes eram cobertos totalmente com folhas secas trituradas, para diminuir odores e evitar a aproximação de insetos (Figura 28). Não foi realizado o reviramento da massa de resíduos, pois a aeração é promovida pela movimentação das minhocas.



Figura 27 – Aspecto da composteira antes da cobertura com folhas secas

Fonte: Autor



Figura 28 - Aspecto da composteira após a cobertura com folhas secas

Fonte: Autor

No 60º dia do experimento, quando foram completados os 7 kg de resíduos adicionados a todas as composteiras, a gaveta do meio foi invertida de andar com a de cima, até então vazia. A gaveta vazia recebeu uma camada de 5 cm de composto pronto para servir de base para a alimentação, que foi realizada por mais 15 dias (mais 3,5 kg de resíduos foi adicionado). Quando o experimento atingiu o 75º dia, a alimentação foi encerrada e, no 80º dia, as vermicomposteiras foram abertas para observação do aspecto dos vermicompostos produzidos e contagem das minhocas nos dois andares.

Para avaliar a viabilidade de implantação e operação do sistema de vermicompostagem doméstica e comparar diferentes métodos de operação, foram monitorados alguns indicadores qualitativos de operação e alguns parâmetros físico-químicos e biológicos do processo, conforme apresentado nas Tabela 6 e Tabela 7, respectivamente. Para realizar o monitoramento dos parâmetros físico-químicos, os equipamentos de medição foram posicionados no mesmo ponto da composteira, para acompanhar a variação do parâmetro ao longo de todo o processo de degradação do resíduo.

Tabela 6 – Indicadores qualitativos de operação avaliados frequência de avaliação

Indicadores de operação	Frequência de monitoramento	Nº total de registros
Presença de odores ruins	3 vezes por semana	30
Presença de insetos	3 vezes por semana	30
Dificuldades logísticas	Sem frequência	-

Fonte: Autor

O monitoramento da presença de odores ruins e de insetos foi realizado de forma qualitativa, ou seja, avaliou-se a presença ou não desses componentes. As dificuldades logísticas de operação dos sistemas foram avaliadas ao longo do experimento

Tabela 7 - Parâmetros físico-químicos monitorados e frequência de monitoramento

Parâmetros físico-químicos e biológicos monitorados	Frequência de monitoramento	Nº total de registros
Temperatura	3 vezes por semana	30
Umidade	3 vezes por semana	30
pH	3 vezes por semana	30
Volume de biofertilizante	1 vez por semana	10
Número de minhocas	No início e no final do experimento	2

Fonte: Autor

O monitoramento da temperatura foi realizado com um termômetro de mercúrio. As medições foram realizadas sempre na mesma região da composteira, no canto onde foi colocada a primeira porção de resíduos, para acompanhar a evolução da temperatura ao longo de todo o processo de degradação. O termômetro era mantido na composteira por cerca de três minutos, até ocorrer o equilíbrio térmico, para então ser realizada a leitura, conforme ilustra a Figura 29. A umidade e o pH foram medidos com um aparelho multiparâmetro, utilizado para medição de pH, umidade e luminosidade do solo (Figura 30).



Figura 29 – Medição de temperatura, pH e umidade
Fonte: Autor



Figura 30 – Aparelho utilizado para medição de umidade e pH nas vermicomposteiras
Fonte: Autor

O volume de biofertilizante gerado foi medido com um copo de Becker de 1.000 mL, conforme apresentado na Figura 31.



Figura 31 - Medição do volume de biofertilizante gerado
Fonte: Autor

Por fim, foi realizada a contagem das minhocas, para avaliar o crescimento da população em cada composteira.

3.5. Benefícios financeiros da vermicompostagem doméstica

Além do cumprimento das metas definidas no Plano Nacional de Resíduos Sólidos e das vantagens ambientais associadas à redução da disposição de resíduos orgânicos em aterros sanitários, a adoção de práticas domésticas de tratamento de resíduos gera vantagens financeiras para os municípios. Grande parte dos municípios terceiriza os serviços de manejo de RSD e paga por tonelada de resíduos coletados, transportados e dispostos nos aterros sanitários, portanto o tratamento doméstico reduz estas despesas.

Para estimar as vantagens econômicas da utilização da vermicompostagem doméstica, analisou-se, de forma simplificada, o caso do município de Porto Alegre - RS, sobre o qual foram obtidos os custos associados aos serviços de manejo de RSD. A metodologia baseou-se no cálculo da redução destes custos, considerando que uma parcela da população passasse a destinar uma parcela dos resíduos para a vermicompostagem doméstica.

Para o cálculo das despesas atuais do município de Porto Alegre - RS com o manejo da parcela orgânica dos resíduos domiciliares foram considerados apenas os custos dos contratos firmados entre a prefeitura e as empresas prestadoras dos serviços de coleta,

transporte e disposição final dos resíduos. Os documentos são disponibilizados no site da prefeitura de Porto Alegre - RS. Não foi considerado o custo de operação da unidade de transbordo e compostagem.

Para calcular as despesas de manejo após a adoção dos sistemas de vermicompostagem, foram considerados apenas os custos de aquisição dos kits de vermicompostagem, visto que os custos de operação seriam irrisórios. Estes custos foram estimados pelo próprio autor a partir dos custos dos experimentos realizados.

4. RESULTADOS

4.1. Caracterização dos resíduos orgânicos

Verificou-se que a segregação de materiais secos recicláveis, realizada pelos funcionários do restaurante e da creche é eficiente, pois havia poucos materiais recicláveis misturados aos resíduos orgânicos e rejeitos no momento da caracterização gravimétrica. Nas Tabela 8 e Tabela 9 são apresentados os resultados quantitativos das caracterizações realizadas e nas Figura 32, Figura 33, Figura 34, Figura 35 e Figura 36, são apresentadas fotografias das etapas do processo.

Tabela 8 - Resultado da primeira caracterização dos resíduos

Local de geração	Geração média de resíduos orgânicos (kg/dia)	Categoria	Porcentagem	Resíduos identificados
Restaurante	5,5	Resíduos compostáveis	65%	Cascas e restos de cenoura, ovo, banana, alface, melão, manga, beterraba abobrinha, azeitona, abóbora, couve flor, repolho, e outros vegetais verdes.
		Resíduos cítricos/ácidos	12%	Abacaxi, cebola, bergamota, laranja, pimentão
		Rejeitos orgânicos	23%	Arroz, feijão, batata, pão, carne, aipim, farofa e massa, pedaços de papel e plástico.
Creche	3,1	Resíduos compostáveis	77%	Cascas e restos de mamão, banana, melancia, melão e maçã.
		Resíduos cítricos/ácidos	13%	Laranja e abacaxi
		Rejeitos	10%	Pão, arroz e feijão

Fonte: Autor



Figura 32- Caracterização dos resíduos orgânicos

Fonte: Autor



Figura 33 – Pesagem dos resíduos compostáveis
Fonte: Autor



Figura 34 – Pesagem resíduos cítricos/ácidos
Fonte: Autor



Figura 35 – Pesagem dos rejeitos
Fonte: Autor

Tabela 9 - Resultados da segunda caracterização dos resíduos

Local de geração	Geração média de resíduos orgânicos (kg/dia)	Categoria	Porcentagem	Resíduos identificados
Restaurante	4,9	Resíduos indicados à vermicompostagem	76%	Cascas e restos de ovo, tomate, alface, melão banana, manga, beterraba e vegetais verdes em geral.
		Resíduos cítricos/ácidos	17%	Abacaxi, cebola, bergamota, laranja, pimentão
		Rejeitos orgânicos	7%	Pão, arroz e feijão
Creche	2,2	Resíduos compostáveis	82%	Cascas e restos de mamão, banana, maçã e ovo.
		Resíduos cítricos/ácidos	18%	Laranja
		Rejeitos	-	Pão, arroz e feijão

Fonte: Autor



Figura 36 – Segunda caracterização realizada

Fonte: Autor

4.2. Operação e monitoramento das vermicomposteiras

A segregação dos resíduos orgânicos, realizada pelos funcionários da creche e do restaurante a pedido do autor, foi satisfatória. Entretanto, antes da alimentação das composteiras com estes resíduos, era realizada uma segunda segregação para retirar os resíduos cítricos. Nesse momento, eram removidos rejeitos que eventualmente foram misturados.

Dentre os indicadores do processo, é importante destacar a presença de odores ruins associados às vermicomposteiras nº 3 (PACRb), 4 (PPcRb), 7 (PACRt) e 8 (PPcRt), constatados principalmente nos monitoramentos que sucederam às alimentações. Essas composteiras foram operadas com alimentação pontual, ou seja, receberam 3,5 kg de resíduos em duas oportunidades. Os odores ruins foram percebidos após a abertura das composteiras. Enquanto mantiveram-se tampadas, não foi possível perceber o cheiro ruim.

Nos Gráfico 1, Gráfico 2, Gráfico 3 e Gráfico 4, é apresentado o percentual de vezes que foi verificada a presença de odores ruins em cada uma destas composteiras supracitadas, sobre um total de 30 monitoramentos realizados. Destaca-se negativamente a composteira nº 4 (PPcRb), cujos resultados indicaram que, em 73% dos monitoramentos realizados havia odor ruim ao abrir as caixas, oriundo principalmente do biofertilizante gerado. Esse fato ocorreu provavelmente devido à presença dos resíduos cítricos não triturados, visto que a composteira nº 3 (PACRb), cuja única diferença em relação à 4 (PPcRb) é a ausência dos cítricos, não apresentou odores ruins com tanta frequência. Em nenhum momento foram verificados odores ruins associados aos sistemas nº 1 (DACRb), 2 (DPcRb), 5 (DACRt) e 6 (DPcRt). Isto permite presumir, observando os gráficos apresentados a seguir, que a alimentação difusa é importante para prevenção de maus odores.

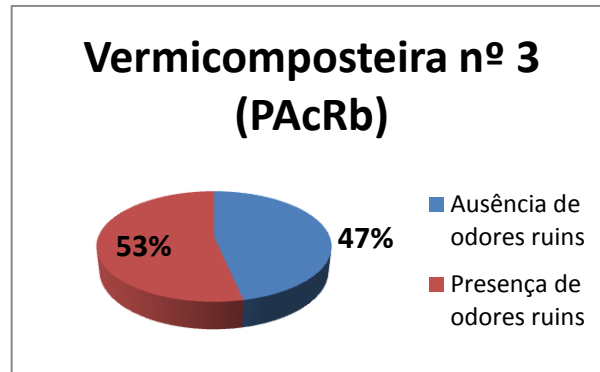


Gráfico 1 - Resultado do monitoramento da presença de odores ruins associados à vermicomposteira nº 3 (PACRb)
Fonte: Autor

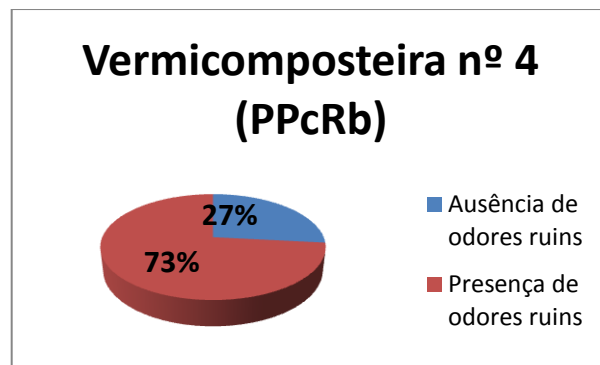


Gráfico 2 - Resultado do monitoramento da presença de odores ruins associados à vermicomposteira nº 4 (PPcRb)
Fonte: Autor

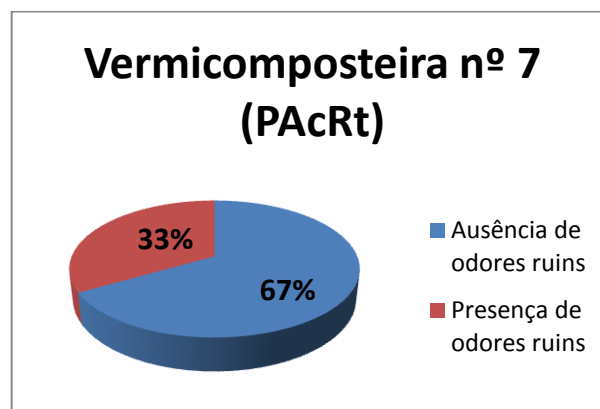


Gráfico 3 - Resultado do monitoramento da presença de odores ruins associados à vermicomposteira nº 7 (PACRt)
Fonte: Autor

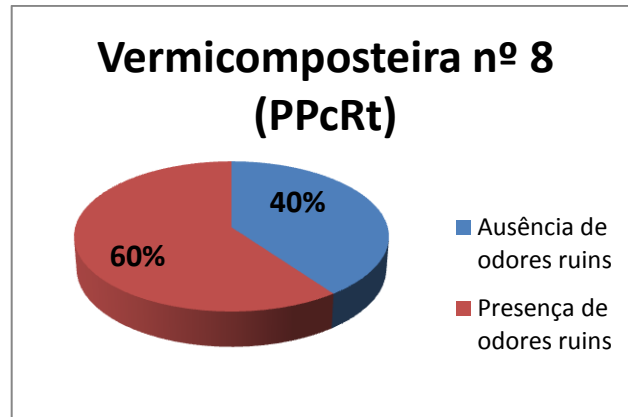


Gráfico 4 - Resultado do monitoramento da presença de odores ruins associados à vermicomposteira nº 8 (PPcRt)

Fonte: Autor

A presença de insetos não foi um problema enfrentado. O único registro de insetos durante o experimento foi de pequenas moscas, que costumam estar associadas às frutas em processo inicial de decomposição.

Foram identificadas algumas dificuldades logísticas que poderão ser enfrentadas durante a operação dos sistemas pelos usuários. A primeira delas é a necessidade de realizar a coleta de material seco para recobrimento dos resíduos adicionados na composteira. Os usuários deverão recolher folhas secas em praças, parques ou em pátios para utilizar na operação do sistema, pois a cobertura dos resíduos é essencial para evitar a atração de insetos.

Outra dificuldade enfrentada, esta identificada na etapa final do experimento, foi o peso da gaveta superior, que contém o vermicomposto em maturação e que deve ser removida para alimentar o sistema. Esse fato pode causar dificuldades de operação, principalmente se os sistemas forem colocados no chão.

Em relação aos parâmetros físico-químicos, a umidade apresentou o mesmo comportamento para todas as composteiras. Observou-se uma variação constante de acordo com a profundidade de medição – o parâmetro variou gradativamente de valores em torno de 60% na camada superior da composteira até 100% no fundo da caixa. Em todas as medições, o equipamento indicou 100% de umidade na base da caixa, porém não foi verificado o acúmulo de líquido a ponto de gerar anaerobiose. Dessa forma, a umidade não foi um parâmetro limitante ao processo. Todas as composteiras mantiveram-se úmidas, de forma que não foi necessário fornecer água aos sistemas. Este fato se deve provavelmente ao fato de que

o percolado acumulado na caixa inferior é parcialmente vaporizado, o que favorece a umidificação das duas caixas superiores.

O pH também apresentou comportamento constante, sempre em torno de 7,5 em todas as medições realizadas. Não foram identificadas variações relevantes nesse parâmetro, nem mesmo para as vermicomposteiras cuja alimentação englobou uma parcela de resíduos cítricos.

Em relação ao volume de biofertilizante gerado, destaca-se que, nas composteiras que foram alimentadas com alimentação pontual, o volume gerado foi maior, conforme apresentado na Tabela 10.

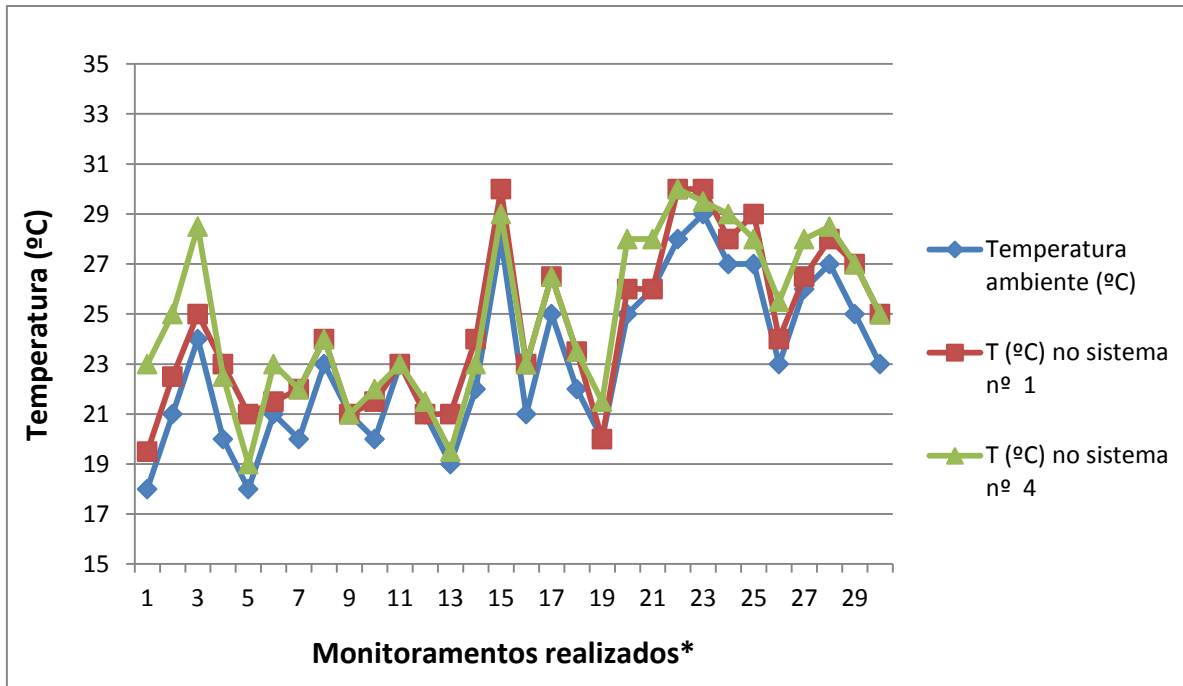
Tabela 10 - Volume de biofertilizante gerado

Identificação da composteira	Volume total de biofertilizante gerado (mL)
1 (DAcRb)	4.030
2 (DPcRb)	4.100
3 (PAcRb)	4.980
4 (PPcRb)	4.680
5 (DAcRt)	4.450
6 (DPcRt)	4.400
7 (PAcRt)	4.870
8 (PPcRt)	5.300

Fonte: Autor

Não houve grandes variações de temperatura na massa de resíduos, portanto este não foi um fator limitante à eficiência do processo. Entretanto, o experimento foi realizado em uma época do ano favorável (entre os meses de agosto e outubro), cujas temperaturas ambientes são amenas no município de Porto Alegre - RS - entre 18 e 28 °C. As medições de temperatura indicaram que, de maneira geral os sistemas se mantêm cerca de 2 °C acima da temperatura ambiente. Constatou-se que a temperatura da massa de resíduos apresentou uma variação máxima de 5 °C, verificada alguns dias após a adição dos mesmos à vermicomposteira nº 8 (PPcRt), cuja operação envolveu alimentação pontual de resíduos triturados. Nas composteiras alimentadas de maneira difusa, não houve variações de temperatura expressivas. No * Os monitoramentos são apresentados em ordem cronológica, sendo o nº 1 o primeiro e mais antigo e o nº 30, o último e mais recente.

Gráfico 5 são apresentadas as séries de temperatura verificadas nas composteiras nº1 (DAcRb) e 4 (PPcRb), juntamente com a evolução da temperatura ambiente. Estas duas composteiras foram as que apresentaram a maior variabilidade de temperaturas no início do processo de degradação.



* Os monitoramentos são apresentados em ordem cronológica, sendo o nº 1 o primeiro e mais antigo e o nº 30, o último e mais recente.

Gráfico 5- Série de temperaturas monitoradas nas vermicomposteiras 1 (DAcRb) e 4 (PPcRb) em comparação com a temperatura ambiente

Fonte: Autor

A temperatura do sistema não variou muito em relação à temperatura ambiente devido a reduzida volumetria das caixas. As reações exotérmicas da compostagem tem a temperatura dissipada rapidamente devido à reduzida volumetria dos resíduos.

Finalmente, as composteiras foram abertas e os vermicompostos foram dispostos sobre uma lona para permitir uma avaliação do aspecto de cada um e a contagem das minhocas, conforme apresentado nas Figura 37 e Figura 38. A observação e o manuseio dos vermicompostos não permitiram tirar conclusões comparativas entre eles. Todos apresentaram aspecto visual, textura e umidade semelhantes. Observou-se que os produtos da decomposição dos resíduos dos sistemas nº 4 (PPcRb) e nº 8 (PPcRt) apresentavam mau cheiro.

O resultado da contagem das minhocas ao final do experimento indicou que, na vermicomposteira nº 5 (DAcRt) houve a maior taxa de reprodução, visto que a população teve um crescimento de 64,4%. Por outro lado, nas composteiras nº 6 (DPcRt) e nº 8 (PPcRt), a taxa de crescimento foi de apenas 18%. Ao analisar a migração das minhocas entre as caixas, verifica-se que, no sistema nº 7 (PAcRt) ocorreu o maior número de minhocas na caixa do meio. Por outro lado, no sistema nº 4 (PPcRb), apenas 4 minhocas migraram de caixa.



Figura 37 – Abertura das composteiras para avaliação dos vermicompostos contagem das minhocas

Fonte: Autor



Figura 38 – Aspecto do vermicomposto produzido na composteira nº 5 (DAcRt)

Fonte: Autor

Tabela 11 – Resultado da contagem final das minhocas

Identificação da composteira	Identificação da caixa	Nº de minhocas no início do experimento	Nº de minhocas ao final do experimento	Nº total de minhocas ao final do experimento	Taxa de crescimento da população
1 (DAcRb)	Caixa superior	250	301	331	32,40%
	Caixa do meio	0	30		
2 (DPcRb)	Caixa superior	250	325	369	47,60%
	Caixa do meio	0	44		
3 (PAcRb)	Caixa superior	250	231	321	28,40%
	Caixa do meio	0	90		
4 (PPcRb)	Caixa superior	250	334	340	36,00%
	Caixa do meio	0	6		
5 (DAcRt)	Caixa superior	250	371	411	64,40%
	Caixa do meio	0	40		
6 (DPcRt)	Caixa superior	250	276	296	18,40%
	Caixa do meio	0	20		
7 (PAcRt)	Caixa superior	250	236	377	50,80%
	Caixa do meio	0	141		
8 (PPcRt)	Caixa superior	250	195	295	18,00%
	Caixa do meio	0	100		

Fonte: Autor

4.3. Vantagens econômicas da vermicompostagem doméstica

Além dos problemas ambientais, as tecnologias de manejo dos RSD empregadas atualmente estão vinculadas a altas despesas para os municípios. Portanto, é necessário buscar alternativas ambiental, social e economicamente viáveis para lidar com estes resíduos. A distribuição de kits de vermicompostagem doméstica para a população é uma alternativa que já está sendo avaliada em escala piloto no município de São Paulo. Os benefícios financeiros de uma ação como esta foram estimados para o município de Porto Alegre - RS, conforme apresentado a seguir.

Na Tabela 12 são apresentados os custos de cada etapa de manejo dos RSD no município de Porto Alegre - RS atualmente.

Tabela 12 - Custos associados a cada etapa de manejo dos RSD no município de Porto Alegre - RS

Tipo de serviço contratado	Custos (R\$/tonelada de resíduo)
Coleta regular manual*	81,63
Transporte da estação de transbordo ao aterro sanitário	28,13
Disposição final em aterro sanitário	24,63
TOTAL	134,39

*Não engloba os resíduos recicláveis.

Fonte: Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2014.

Considerando que há geração de cerca de 342.000 toneladas/ano de RSD em Porto Alegre (PMGIRS de Porto Alegre, 2013), o custo anual da prestação dos serviços da Tabela 12 gira em torno de 46 milhões de reais para. Neste cálculo, adotou-se somente a coleta manual, embora algumas regiões do município sejam atendidas pela coleta automatizada.

Na Tabela 13 é apresentado o custo total de aquisição dos kits de vermicompostagem doméstica, de acordo com a parcela da população contemplada. Considerou-se um custo unitário de R\$ 100,00 para cada kit, e uma população total de 1.600.000 habitantes em Porto Alegre - RS. O custo foi avaliado pelo autor durante o experimento.

Tabela 13 – Custo de aquisição dos kits de vermicompostagem de acordo com o número de residências contempladas

Parcela da população realizando a vermicompostagem doméstica	População atendida (hab.)	Número de residências atendidas* (unid.)	Custo de implantação
0,25%	4.000	1.333	R\$ 133.333,00
0,50%	8.000	2.667	R\$ 266.667,00
0,75%	12.000	4.000	R\$ 400.000,00
1%	16.000	5.333	R\$ 533.333,00
1,25%	20.000	6.667	R\$ 666.667,00
1,50%	24.000	8.000	R\$ 800.000,00
1,75%	28.000	9.333	R\$ 933.333,00
2%	32.000	10.667	R\$ 1.066.667,00

*Foi considerada uma média de 3 pessoas por residência.

Fonte: Autor

Para estimar a parcela de RSD que passaria a não ser enviada aos aterros sanitários a partir da distribuição das vermicomposteiras domésticas, foram consideradas as seguintes informações:

- Dentre o total de RSD teoricamente coletados na coleta regular (orgânicos e rejeitos), 78% é matéria biodegradável e 22% são rejeitos, conforme a caracterização dos RSD apresentada no PMGIRS de Porto Alegre (2013);
- Dentre os resíduos biodegradáveis, uma parcela de 75% é passível de ser vermicompostada, conforme a caracterização dos resíduos orgânicos, apresentada nas Figura 8 Tabela 8 e Tabela 9 deste trabalho;

Portanto, estima-se que cerca de 60% dos resíduos da coleta regular possa ser destinada à vermicompostagem doméstica. Na Tabela 14 são apresentados os valores calculados para vários cenários de população contemplada pelo recebimento dos kits.

Tabela 14 – Estimativa das vantagens econômicas para os municípios que realizem a distribuição de kits de vermicompostagem doméstica para a população

Parcela da população realizando a vermicompostagem	Parcela de RSD que deixa de ser disposta em aterros sanitários	Despesa com o manejo de RSD sem vermicompostagem doméstica (R\$/ano)	Despesa com o manejo de RSD com vermicompostagem doméstica (R\$/ano)	Economia de despesa com manejo (R\$/ano)	Custo de implantação (R\$/ano)
0,25%	0,15%	46.000.000,00	45.931.000,00	69.000,00	133.333,00
0,50%	0,30%	46.000.000,00	45.862.000,00	138.000,00	266.667,00
0,75%	0,45%	46.000.000,00	45.793.000,00	207.000,00	400.000,00
1%	0,60%	46.000.000,00	45.724.000,00	276.000,00	533.333,00
1,25%	0,75%	46.000.000,00	45.655.000,00	345.000,00	666.667,00
1,50%	0,90%	46.000.000,00	45.586.000,00	414.000,00	800.000,00
1,75%	1,05%	46.000.000,00	45.517.000,00	483.000,00	933.333,00
2%	1,20%	46.000.000,00	45.448.000,00	552.000,00	1.066.667,00

Fonte: Autor

Vale ressaltar que foi desconsiderado no cálculo o serviço de coleta automatizada a operação da unidade de transbordo e compostagem do DMLU. Caso esses serviços fossem

considerados, o custo anual de manejo dos resíduos seria maior e a economia de recursos também.

O cálculo apresentado é bastante simplificado e tem por objetivo apresentar uma estimativa básica das vantagens econômicas da utilização das vermicomposteiras domésticas subsidiadas pelas prefeituras, entretanto não substitui estudos detalhados para implantação de um projeto dessa natureza.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A utilização de sistemas de vermicompostagem doméstica para tratamento de resíduos orgânicos em restaurantes, creches e outros estabelecimentos deve incluir uma etapa de treinamento dos funcionários responsáveis pela preparação dos alimentos, com o objetivo de garantir a correta segregação dos resíduos compostáveis e a eficiência do processo. Além disso, recomenda-se a fixação de cartazes informando os tipos de resíduos que devem ser segregados. Esta recomendação aplica-se também aos usuários residenciais. A distribuição de kits de vermicompostagem deve incluir um manual com informações sobre as etapas de operação do processo, principalmente a segregação de resíduos.

Os resultados das caracterizações gravimétricas dos resíduos indicaram que os tipos de resíduos gerados em restaurantes e creches apresentam alto potencial para vermicompostagem doméstica.

A área necessária para operação de uma vermicomposteira doméstica é pequena, de modo que este sistema pode ser operado tranquilamente em apartamentos. Em caso de necessidade de se operar duas composteiras, devido ao volume de resíduos gerado, estas podem ser dispostas uma em cima da outra, de modo que a área superficial ocupada é a mesma.

Para que a operação dos sistemas de vermicompostagem doméstica não esteja associada a odores ruins, recomenda-se que a alimentação do sistema seja realizada de forma difusa, ou seja, pouca quantidade de resíduos adicionados em uma alimentação, com frequência diária, ou a cada dois dias, por exemplo. Para usuários residenciais, é aconselhado manter um recipiente de 1 litro ao lado da pia, de modo que após preencher este volume, os resíduos sejam destinados às composteiras. Além disso, não devem ser adicionados resíduos cítricos - exceto se forem triturados e em proporção não superior a 15% - pois também causam mau cheiro.

Para evitar a presença de insetos, é necessário manter os sistemas sempre fechados quando não estiverem sendo alimentados, principalmente para evitar a entrada de moscas. Além disso, os resíduos adicionados ao processo devem sempre ser cobertos com material seco, pois as moscas colocam seus ovos em superfícies úmidas.

A temperatura dos sistemas não apresentou grandes variações, entretanto sabe-se que a época do ano em que foi realizado o experimento - entre os meses de Agosto e Outubro - favoreceu o desenvolvimento dos processos. Recomenda-se que o processo também seja avaliado em outras épocas do ano.

A demora na migração das minhocas para a caixa do meio pode ter sido consequência da existência de matéria orgânica na caixa superior após os 75 dias estipulados, ou seja, o valor da bibliografia, que indica que uma minhoca consome a sua massa em matéria orgânica diariamente, não foi verificada no experimento. Outra hipótese que pode ter contribuído para é a pequena quantidade de furos realizados ou a obstrução destes, prejudicando a passagem das minhocas.

Observou-se que as taxas de reprodução das minhocas foram maiores nas composteiras alimentadas com resíduos triturados, fato que acelera a degradação da matéria orgânica. Portanto, recomenda-se que em locais como restaurantes, creches ou outros estabelecimentos, seja adquirido um triturador para operar os sistemas implantados, acelerando o processo de degradação.

A comparação visual e de textura entre os vermicompostos produzidos não apresentou diferenças perceptíveis. Recomenda-se que seja realizada a análise das propriedades químicas dos vermicompostos em laboratório, para avaliar a qualidade destes.

Os resultados obtidos na análise das vantagens econômicas associadas à utilização da vermicompostagem doméstica indicam que a distribuição de kits de vermicompostagem para a população acarretaria vantagens financeiras para o município. As vantagens tornam-se tanto maiores quanto maior o número de famílias contempladas. Adotando-se um cenário otimista, em que 2% da população aderisse a este processo, teríamos uma economia de cerca de R\$ 550.000,00 anuais a partir do terceiro ano de implantação. Os resultados indicam que o investimento teria um tempo de retorno de cerca de 2 anos.

A vermicompostagem poderia ser utilizada para tratamento dos resíduos da creche e do restaurante, atingindo uma redução de até 75% da parcela de resíduos enviados aos aterros sanitários.

Vale ressaltar o grande apelo associado à temática dos resíduos sólidos atualmente. Muitas pessoas que tomaram conhecimento do trabalho expressaram a intenção de adquirir uma vermicomposteira, pois consideram absurda e insustentável a rota de manejo aplicada à

fração orgânica dos RSU em Porto Alegre. Dessa forma, o sistema de vermicompostagem apresentado configura-se como uma excelente ferramenta de educação ambiental, pois auxilia na conscientização a respeito da correta segregação dos resíduos sólidos. Sabe-se que um dos entraves à adoção de rotas de manejo mais adequadas é justamente que a má segregação realizada pela população.

Diante da realidade atual observada nos municípios brasileiros, nos quais não há tratamento da parcela orgânica dos RSD e não estão sendo realizadas ações para melhorar este panorama, a implantação de projetos de vermicompostagem doméstica surge como uma alternativa barata e viável de ser operada pela população.

6. REFERÊNCIAS

ARANCIBIA, Felipe Eduardo Rodríguez. **Consumo sustentável: padrões de consumo da nova classe média brasileira**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília. Brasília - DF, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Informação e documentação - Compostagem - Terminologia: NBR 13.591**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade; POVINELLI, Jurandir. 1999. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC – USP.

BRINGHENTI, J. R. **Programas de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos: Aspectos Operacionais e da Participação da População**. 2004. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública da USP, São Paulo, 2004.

CAMPOS, Heliana Kátia Tavares. **Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, vol.17, nº 2 abr./jun. 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 275, de 25 de abril de 2001** – Data da legislação: 25/04/2001 – Brasília, Publicação Diário Oficial da União, 04 de abril de 2001.

CZEKOSKI, Zilmara M. W; OLIVEIRA, Renato C. de. **Influência de diferentes substratos na reprodução e desenvolvimento de Eisenia foetida**. 2006

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA DE PORTO ALEGRE – RS (DMLU). **Contratos de prestação de serviços de manejo de RSU**. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmlu/>. Acesso em: 12 de setembro de 2014.

DIAS, David Montero; MARTINEZ, Carlos Barreira; BARROS, Raphael Tobias Vasconcelos; LIBÂNIO, Marcelo. **Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais.** Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, vol.17, n 3 jul./set. 2012.

DMITRIJEVAS, Cibele. **Análise de ecoeficiência de técnicas para tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos.** Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais). - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010

DORES-SILVA, Paulo R.; LANDGRAF, Maria Diva; REZENDE, Maria Olímpia de O. **Processo de Estabilização de Resíduos Orgânicos: Vermicompostagem Versus Compostagem.** Química Nova, Vol. 36, No. 5, 2013.

DOS SANTOS, Helaine Maria Naves. **Educação ambiental por meio da compostagem de resíduos sólidos orgânicos em escolas públicas de Araguari.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (*EMBRAPA*). **Minhocultura ou Vermicompostagem:** Criação de minhocas para produzir fertilizante orgânico capaz de melhorar os atributos químicos, físicos e biológicos do solo. 2011.

FERNANDES, Fernando; DA SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos.** PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Universidade Estadual de Londrina. 1999.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DE MINAS GERAIS. **Panorama da Destinação de Resíduos Sólidos Urbanos em Minas Gerais: Relatório de Progresso.** Belo Horizonte, 2013. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/minas_sem_lixo/2013/novo/relatorio_de_progresso_2012_classificacao%20e%20panorama%20rsu.pdf. Acesso em 14 de setembro de 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2014.** Agosto de 2014. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2014/>. Acesso em: 25 de setembro de 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos: Relatório de pesquisa. 2012.**

LAMIM, Soraida Sozzi Miguel. **Caracterização Química e Física e Vermicomposto e Avaliação de Sua Capacidade em Adsorver Cobre e Zinco.** QUÍMICA NOVA, 21(3), 1998.

LEITE, Denise Ferreira de Moura. **Avaliação do uso e operação de composteira caseira que utiliza vermicompostagem.** Monografia (Faculdade de Saúde Pública, Departamento de Saúde Ambiental). UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2011.

MELLO-PEIXOTO, TOLEDO, Erika Cosendey; GODOY, Carlos Vergilio Crozzatti; SILVA, Richard Mobiglia; GALDINO, Maria José Quina; CREMER, Edivaldo; LOPES, Valdir. **Compostagem: Construção e Benefícios.** I Congresso Paranaense de Agroecologia – Pinhais. Universidade Estadual do Norte do Paraná – UENP. Pinhais, 2014

MIGDALSKI, M.C. **Criação de minhocas:** guia prático. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 118p.

MORADA DA FLORESTA SOLUÇÕES ECOLÓGICAS LTDA. **GUIA DE COMPOSTAGEM CASEIRA.** Disponível em: <http://www.moradadafloresta.org.br/>. Acesso em: 10 de agosto de 2014.

MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE - RS. Lei Complementar Nº 728, De 8 De Janeiro De 2014, que Institui o Código Municipal de Limpeza Urbana. Porto Alegre, 8 de janeiro de 2014. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 7 de janeiro de 2014. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmlu/usu_doc/728novocodigo.pdf, Acesso em 11 de setembro de 2014.

NADOLNY, Herlon Sérgio. **Reprodução e Desenvolvimento das Minhocas (*Eisenia Andrei* (Bouché 1972) e *Eudrilus Eugeniae* (Kinberg 1867)) em Resíduo Orgânico Doméstico**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo, área de concentração em Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas). Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, 2009.

NÚCLEO SUDESTE DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO (NUCASE). **Resíduos sólidos: plano de gestão de resíduos sólidos urbanos: guia do profissional e treinamento: nível 2**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – Belo Horizonte: ReCESA, 96 p, 2007.

ONOFRE, Fabiana Lima. **Estimativa de geração de resíduos sólidos domiciliares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba, 2013.

PIRES, Caio Souza. **O tratamento dos resíduos orgânicos como cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Análise dos planos municipais da bacia do Alto Tietê**. Dissertação (Mestrado em Ciências, Programa de Engenharia Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Paulo, 2013.

PLANO ESTADUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO RIO GRANDE DO SUL (PERS-RS). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Rio Grande do Sul**. Apresentação realizada em audiência pública na Assembleia Legislativa. Versão preliminar disponível para consulta pública. Secretaria Estadual do Meio Ambiente, 2014

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Porto Alegre - Volume 1 – Diagnóstico e Prognóstico**, 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Composta São Paulo**. Disponível em: <http://www.compostasaopaulo.eco.br/>. Acesso em: 08 de agosto de 2014.

REIS, Mariza Fernanda Power. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) -

Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

RUPPERT, Edward E.; BARNES, Robert D. **Zoologia dos Invertebrados**. Tradução de Paulo Marcos Oliveira. 6ª ed. São Paulo: Roca, 1996. Título original: Invertebrate zoology.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE URBANO DO MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Manual para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos**. Brasília – DF, 2010.

SOARES, Erika Leite de Souza Ferreira. **Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. **Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. 2014

VERAS, Luciana Rodrigues Valadares; POVINELLI, Jurandir. **A Vermicompostagem do Lodo de Lagoas de Tratamento de Efluentes Industriais Consorciada com composto de Lixo Urbano**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, Vol. 9 - Nº 3 - jul/set 2004.