



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

ENG07053 – TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



Avaliação da eficiência de um minhocário aplicado a resíduos gerados na cidade de Porto Alegre - RS

Autor: Bruno Elias Bavaresco

Orientadora: Liliana Amaral Feris

Porto Alegre, dezembro de 16

Sumário

Sumário	ii
Agradecimentos	iii
Resumo	v
Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	vii
Lista de Abreviaturas, siglas e símbolos	viii
1 Introdução	1
2 Revisão Bibliográfica	2
2.1 Resíduos sólidos urbanos	2
2.1.1 Composição dos resíduos sólidos no Brasil	3
2.2 Resíduos sólidos em Porto Alegre - RS	5
2.3 Caracterização do RSD de Porto Alegre – RS	6
2.4 Métodos alternativos sustentáveis	8
2.4.1 Compostagem	8
2.4.2 Vermicompostagem	9
2.4.3 Compostagem versus Vermicompostagem	10
3 Materiais e Métodos	10
4 Resultados e Discussão	15
4.1 Dados do Lote 1	16
4.2 Dados do Lote 2	19
4.3 Lote 3	22
5 Conclusões	27
6 Referências bibliográficas	28

Agradecimentos

Em primeiro lugar aos meus pais, Ciro e Nilza Bavaresco, pela educação, valores, amizade e pela oportunidade de estudar e correr atrás da tão sonhada faculdade. Pai, tu é uma pessoa sensacional, obrigado por tudo que fez e ainda faz por mim, pelos momentos difíceis que estive e sei que sempre estará ao meu lado me apoiando e me dando força para superá-los. Mãe, se estivesse por aqui, tenho certeza que estaria orgulhosa de quem me tornei e isso me dá muita força para continuar, obrigado por todos os momentos que passamos juntos e por ter sido a pessoa mais fantástica que conheci.

A minha Irmã, Paula, obrigado pelos anos de desejo de juízo, a cada vez mais percebo que preciso deles, pelos cascudos, pelas brigas e hoje em dia pela amizade. E a minha irmã do coração, Caren, pelos anos de convivência, risada, receitas e ensinamentos.

A Eliane (*in memoriam*), que me fez acreditar que era possível estar na UFRGS.

A Solange, Maria e Marcelo, que ajudaram a me criar junto com meus pais.

A Marlene, pela paciência de aguentar um Bruno peste criança.

A tia Eni, que é um anjo em minha vida.

A professora Marla Azário Lansarin, que me estendeu a mão e me deu uma oportunidade no semestre mais difícil da minha vida.

As professoras Aline Schilling Cassini e Isabel Cristina Tessaro, pela sensibilidade de ambas neste semestre de faculdade.

E um agradecimento mais que especial a professora Liliana Amaral Feris, sem a qual a faculdade teria beirado o insuportável mais vezes. Foi uma mestra para mim muito além da sala de aula, me estendeu a mão em todos os momentos difíceis que passei e estive sempre disponível para mim. Além do mais, aceitou me orientar nesse trabalho.

Aos amigos da Associação das Hortas Coletivas do Centro histórico de Porto Alegre (AHCCH), pelas risadas, tretas, parcerias e pelos ideais em comum.

Aos amigos que nessa universidade fiz, vocês são demais. Agradeço imensamente a Luana Variani por ter sempre me trazido a colonagem de volta (e o mimimi), a Érica pelo ombro amigo sempre disponível, a Tia Chica pelas milhares de coisas loucas que vivemos, rimos e até estudamos e o Touro pelos lols e lulz.

Agradeço a todos os amigos que viajaram meio estado para estar comigo naquele péssimo dia de novembro e aos que me ligaram/mandaram mensagem/sinal de fumaça, enfim, que fizeram o que estava ao seu alcance para tentar diminuir a minha dor, não nomearei todos por medo de esquecer de alguém. Destes, não posso deixar de destacar a Joana, que segurou a barra por mim inúmeras vezes e serei eternamente grato.

Aos amigos de Sobradinho, principalmente pelas loucuras, pelos kits no baixinho, pelos alô ao J., pelas infinitas massas com salsicha e pelo LEO Clube.

Ao Rigotto, que mal conheço mas já considero pacas. Com certeza o maior novinho que você respeita.

Ao Lourenço, que né, nos meteu em várias furadas nessa vida, filosofou sobre tudo que era possível – e impossível – e é um amigo inacreditável.

Ao Corvo, o querido da galera, que para minha sorte entrou no curso errado e virou meu amigo, por todos os ensinamentos de pedras, Pokémon, cervejas e pela oportunidade única de conhecer Praia Grande.

Ao Juanito, pelos 7 anos de roomie, pelas bad trips compartilhadas, pela amizade incondicional, pelo carinho, pela atenção, pelas brigas, pelo stress, pelos aprendizados, pelas cricrizices, por ter sido um irmão por todos esses anos.

Ao Leonardo, meu amigo de mais longa data que ainda mantenho contato diário, sem o qual seria impossível a realização desse trabalho. Por ter me acolhido em Santa Maria, me ensinado muita coisa (entre elas, lavar roupa), pelas horas de Tibia na adolescência, pela amizade de mais de 10 anos, pelas bads seguradas, por tudo.

E para finalizar eu não poderia deixar de agradecer a Júlia, minha namorada, parceira, melhor amiga, cheff de cozinha, que me auxiliou muito no desenvolvimento deste trabalho, me dá muita força, está comigo para o que der e vier, me aguenta por mais de 3 anos e me fez entrar num avião por mais de 13 horas. Jú, eu te amo, muito.

Resumo

Com o aumento da geração de resíduos sólidos urbanos, o direcionamento e tratamento destes resíduos tornou-se um problema ambiental e econômico. O presente trabalho avaliou, como alternativa para tal problema, o monitoramento de um processo de vermicompostagem doméstico. Para tal, utilizou-se um minhocário em escala residencial. Foram avaliados os seguintes parâmetros: características da alimentação diária do minhocário, temperatura e a umidade relativa do ar, tanto interna quanto externa. O experimento ocorreu em 3 ciclos durante 9 meses. Avaliou-se a transformação de resíduo orgânico e serragem em húmus de minhoca e biofertilizante, com obtenção de conversão média de 76,47% (p/p). Caso aplicado ao aterro sanitário localizado em Minas do Leão – RS, o processo aumentaria em até 37,7% a vida útil do mesmo. Além disso, a economia anual para a cidade de Porto Alegre – RS, em cenário no qual todo o material orgânico fosse convertido em húmus, seria de R\$ 17 milhões ao ano e o lucro médio bruto caso houvesse a venda de todo o húmus resultante da vermicompostagem seria de R\$ 626 milhões ao ano. Os dados do presente estudo indicam que o processo apresenta vantagens pela facilidade operacional e de aplicação o qual poderia ser integrado à política de gestão de resíduos do município.

Lista de Figuras

Figura 1: Relação entre a população total (10^3 hab) <i>versus</i> a geração per capita de RSU (kg/hab/dia).....	5
Figura 2: Relação entre a renda média mensal dos ocupados (R\$/hab/mês) e a geração per capita de resíduos (kg/hab/dia).....	6
Figura 3: Registro fotográfico do minhocário utilizado com a identificação das caixas.	11
Figura 4: Base da caixa superior, indicando os furos utilizados pelas minhocas no deslocamento entre as caixas (figura 1)	11
Figura 5: Caixa inferior com torneira para retirada do biofertilizante.....	12
Figura 6: Processo da adição dos resíduos orgânicos e serragem (etapas A - F).....	13
Figura 7: Fotografia do processo da adição dos resíduos orgânicos e serragem (etapas A - C).....	13
Figura 8: Húmus, resultado da decomposição do material orgânico via compostagem....	14
Figura 9: Variações de temperatura para o lote 1	16
Figura 10: Variações de temperatura interna para o lote 1	16
Figura 11: Variações de umidade relativa ambiente para o lote 1	17
Figura 12: Variações de umidade relativa interna do minhocário para o lote 1	17
Figura 13: Alimentação do minhocário para o lote 1.....	18
Figura 14: Variações de temperatura para o lote 2	19
Figura 15: Variações de temperatura interna para o lote 2	19
Figura 16: Variações de umidade relativa ambiente para o lote 2	20
Figura 17: Variações de umidade relativa interna do minhocário para o lote 2	20
Figura 18: Alimentação do minhocário para o lote 2.....	20
Figura 19: Variações de temperatura para o lote 3	22
Figura 20: Variações de temperatura interna para o lote 3	22
Figura 21: Variações de umidade relativa ambiente para o lote 3	23
Figura 22: Variações de umidade relativa interna do minhocário para o lote 3	23
Figura 23: Alimentação do minhocário para o lote 3.....	23

Lista de Tabelas

Tabela 1: Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos urbanos coletados no Brasil em 2008.....	3
Tabela 2: Estimativa da quantidade de resíduos sólidos domiciliares e/ou público coletados.	3
Tabela 3: Quantidade diária de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos encaminhados para diferentes formas de destinação final, para os anos de 2000 e 2008	4
Tabela 4: Estimativa da população residente em Porto Alegre.....	5
Tabela 5: Dados referentes à coleta de RSU em Porto Alegre- RS no período de 2009 e 2010	7
Tabela 6: Dados referentes à coleta de RSU em Porto Alegre- RS no período de 2009 e 2010 (b).....	7
Tabela 7: Dados da alimentação do minhocário do lote 1	18
Tabela 8: Dados da alimentação do minhocário do lote 2	21
Tabela 9: Dados da alimentação do minhocário do lote 3	24
Tabela 10: Dados de volume e pH de biofertilizante; relação dos resíduos orgânicos/serragem	24
Tabela 11: Dados da formação de húmus de minhoca.....	23

Lista de Abreviaturas, siglas e símbolos

Ext	Extrato
g	Gramas
Hab	Habitante(s)
IBGE	Instituto brasileiro de geografia e estatística
Kg	Quilograma
L	Litro
mg	Miligramas
Nº	Número
PNRS	Política nacional de resíduos sólidos
p/p	Peso/peso
RSD	Resíduo sólido domiciliar
RSU	Resíduo sólido urbano
t	Tonelada
%	Porcentagem
°C	Graus Celcius

1 Introdução

A quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) cresce a cada dia no Brasil devido, principalmente, ao aumento da geração de resíduos sólidos domiciliares (RSD), que, de 2000 a 2008, cresceu 23,06%. No país, a matéria orgânica representa cerca de 51,4% do total de RSU.

A maior parte da matéria orgânica proveniente das atividades diárias da população é depositada em aterros sanitários. Estes aterros, mesmo que modernizados, ainda não se apresentam como uma solução ecologicamente correta por inutilizar grandes áreas de terra, além do risco de contaminação do solo, da atmosfera e dos lençóis freáticos. Os depósitos de RSU também causam impacto econômico e despendem, segundo dados do departamento municipal de limpeza urbana de 2015, cerca de R\$ 17 milhões anuais para o município de Porto Alegre.

Uma alternativa que contribui benéficamente para os problemas econômicos e ambientais é o processamento biológico realizado utilizando as técnicas de compostagem e vermicompostagem. Por definição, estes processos transformam o resíduo orgânico em fertilizantes orgânicos. No caso da compostagem, os microrganismos do próprio ambiente atuam como agentes; na vermicompostagem, este papel é exercido por vermes, usualmente minhocas. As vantagens da utilização de vermes é o maior controle do processo frente aos microrganismos.

No processo de vermicompostagem, as minhocas convertem o material orgânico em húmus de minhoca e biofertilizante. Em conjunto com a diminuição dos efeitos ambientais negativos, os custos de transporte e depósito, estes produtos podem ser utilizados na agricultura e gerar renda ao município, pois possuem alto valor agregado e baixo custo de produção.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a taxa de conversão de matéria orgânica em húmus de minhoca, através de um processo de vermicompostagem doméstico. É, também, analisado um cenário ideal para a cidade de Porto Alegre – RS, no qual todo o resíduo orgânico possível de aplicar no processo seria aproveitado para esta finalidade, levando em consideração os impactos ambientais e econômicos.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Resíduos sólidos urbanos

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são resultantes das atividades domésticas somadas aos resíduos sólidos oriundos da limpeza de áreas públicas, como parques, vias, etc. O conceito foi estabelecido pela lei nº 12.305 de 2010, que define a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Anterior, a lei nº 11.445 de 2007 definiu diretrizes nacionais para o saneamento básico no artigo sexto, no qual o lixo originário de atividades comerciais, industriais e de serviços cuja responsabilidade pelo manejo não seja atribuída ao gerador, pode, por decisão do poder público, ser considerado RSU.

A composição do RSU varia com a população geradora e é composto por frações orgânicas e inorgânicas. O resíduo pode ser classificado em três categorias:

- Resíduo orgânico: são resíduos que, geralmente, mas não exclusivamente, provém da alimentação humana. São perecíveis, como cascas de frutas e restos de alimentos cozidos;
- Resíduo reciclado: é composto por materiais de fácil reciclagem, com tecnologias amplamente conhecidas, aplicadas e economicamente viáveis. Os materiais com maior relevância são os metais, aço, alumínio, papel, plástico e vidro;
- Rejeito: resíduos coletados apenas para reduzir o impacto ambiental, não há como ser reaproveitado e necessita ser disposto em meio adequado. Alguns exemplos são fraldas, absorventes e papel higiênico.

Além destas categorias, existem também resíduos tóxicos que necessitam de destino especial para que não contaminem o meio ambiente e os seres que nele habitam, como aerossóis, pilhas, baterias, lâmpadas fluorescentes e medicamentos.

Segundo Veras e Povinelli (2004), o RSU constitui um grave problema ambiental para a sociedade humana, principalmente devido à área restrita utilizada como destino final para estes resíduos, o que contribui continuamente para o problema da poluição do solo urbano. Para resolver este problema é necessária uma política de gerenciamento de resíduos, na qual ações ambientais adequadas sejam aplicadas nas etapas de coleta, transporte, tratamento e destinação final dos rejeitos. Além disso, promover a redução da

quantidade de RSU gerado e o reaproveitamento através da reciclagem e reutilização dos materiais.

2.1.1 Composição dos resíduos sólidos no Brasil

Segundo a PNRS, o RSU no Brasil é composto majoritariamente por matéria orgânica, seguido pelos materiais recicláveis e por uma menor porcentagem de rejeitos, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008 (PNRS, 2010).

Resíduos	Participação (%)	Quantidade (t / dia)
Metais	2,9	5.293,50
Aço	2,3	4.213,70
Alumínio	0,6	1.079,90
Papel, papelão e tetrapak	13,1	23.997,40
Plástico total	13,5	24.847,90
Plástico filme	8,9	16.399,60
Plástico rígido	4,6	8.448,30
Vidro	2,4	4.388,60
Material reciclável total	31,9	58.527,40
Matéria orgânica	51,4	94.335,10
Rejeito	16,7	30.618,90
Total	100,0	183.481,50

A ausência de programas de coleta seletiva ainda é um grande problema. Segundo dados do PNRS (2010), em 2008, somente 994 municípios faziam coleta seletiva de lixo, o que corresponde a 18% dos municípios brasileiros, a maioria na região sul e sudeste. Além disso, como mostrado na Tabela 2, o crescimento da quantidade de resíduo por habitante cresceu com o tempo.

Tabela 2. Estimativa da quantidade de resíduos sólidos domiciliares e públicos coletados (Adaptado de PNRS (2010)).

Unidade de análise	Quantidade de resíduos coletados (t / dia)		Quantidade de resíduos gerados por habitante urbano (kg / hab / dia)	
	2000	2008	2000	2008
Brasil	149.094,30	183.481,50	1,1	1,1
Norte	10.991,40	14.637,30	1,2	1,3
Nordeste	37.507,40	47.203,80	1,1	1,2
Sudeste	74.094,00	68.179,10	1,1	0,9
Sul	18.006,20	37.342,10	0,9	1,6
Centro-oeste	8.495,30	16.119,20	0,8	1,3

Observa-se grande crescimento da quantidade de resíduo gerado por habitante urbano por dia entre os anos 2000 e 2008 para as regiões sul e centro-oeste.

2.1.2 Destino final do RSU

Após a coleta, os resíduos são encaminhados para o seu destino final, seja ele reciclagem ou armazenamento/depósito. Na tabela 3, compara-se a quantidade de RSU encaminhado para cada destino final entre os anos de 2000 e 2008.

Tabela 3. Quantidade diária de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos encaminhados para diferentes formas de destinação final, para os anos 2000 e 2008 (Adaptado de PNRS (2010)).

Destino final	2000		2008	
	Quantidade (t/dia)	%	Quantidade (t/dia)	%
Aterro sanitário	49.614,50	35,4	110.044,40	58,3
Aterro controlado	33.854,30	24,2	36.673,20	19,4
Vazadouros a céu aberto	45.484,70	32,5	37.360,80	19,8
Unidade de compostagem	6.364,50	4,5	1.519,50	0,8
Unidade de triagem para reciclagem	2.158,10	1,5	2.592,00	1,4
Unidade de incineração	483,10	0,3	64,80	< 0,1
Vazadouro em áreas alagáveis	228,10	0,2	35,00	< 0,1
Locais não fixos	877,30	0,6	SI ¹	-
Outra unidade	1.015,10	0,7	525,20	0,3
Total	140.080,70	100,0	188.814,90	100

¹ Sem informação.

Embora seja notável a diminuição dos lixões a céu aberto entre 2000 e 2008, a taxa de resíduos destinados à compostagem decresceu de 4,5% para 0,8% e a mudança nas taxas de destino a unidades de triagem e reciclagem foi pequena. Por falta de consciência dos administradores municipais, resíduos que poderiam ter um destino adequado e ambientalmente correto acabam em destinos finais outros que não os de reaproveitamento.

Com a PNRS em pleno funcionamento, hoje em dia só é permitido o descarte em aterros sanitários, unidades de compostagem, unidades de triagem para reciclagem e unidade de incineração.

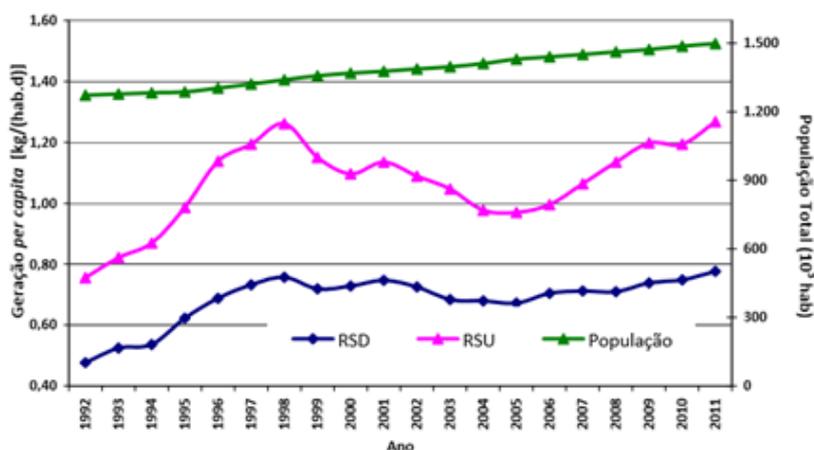
2.2 Resíduos sólidos em Porto Alegre - RS

O Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Porto Alegre (PMGRS) relaciona, no período de 1992 a 2011, a população municipal estimada, conforme Tabela 4, e a evolução da quantidade de resíduos sólidos por habitante, conforme Figura 1.

Tabela 4. Estimativas da população residente em Porto Alegre (PNRS, 2012).

Ano	População estimada (hab)	Ano	População estimada (hab)
1992	1.263.000	2002	1.375.244
1993	1.270.000	2003	1.381.768
1994	1.301.225	2004	1.387.686
1995	1.312.600	2005	1.392.998
1996	1.323.368	2006	1.397.703
1997	1.333.530	2007	1.401.802
1998	1.343.085	2008	1.405.295
1999	1.352.034	2009	1.408.181
2000	1.360.377	2010	1.410.461
2001	1.368.114	2011	1.412.135

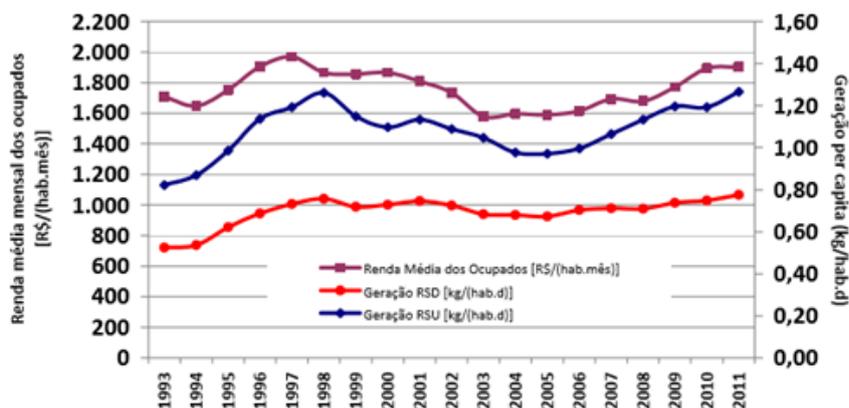
Figura 1. Relação entre a população total (10^3 hab) versus geração de resíduos per capita de RSU (kg/hab/dia) (adaptado de PMGRS, 2012).



Embora o aumento populacional seja um fator importante na correlação, ele não explica, isoladamente, o aumento da geração do RSU. Outro fator relevante é a renda

média da população ativa, conforme Figura 2, que mostra que a renda média influencia mais do que o aumento da população em si.

Figura 2. Relação entre a renda média mensal dos ocupados (R\$/hab/mês) e a geração per capita de resíduos (Kg/hab/dia) (adaptado de PMGRS, 2012).



Os dados de resíduo sólido para 2010 mostram que foi gerado, em média, 2.043 toneladas por dia de RSU. Destes, 901,7 toneladas ou 44,13%, somente de resíduo sólido domiciliar. Esses números indicam que cada habitante gera 0,75 kg por dia de resíduos sólidos domiciliares ou 1,70 kg considerando todo o resíduo sólido da cidade (PMGIRS, 2012).

Dados de 2015 do Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) mostram que houve aumento dos resíduos sólidos gerados no município, tanto o RSU quanto o RSD, os quais são 2.020,128 t/dia e 1.224,566 t/dia respectivamente. Esses valores representam que 60,61% do RSU é exclusivo de RSD (PMGRS, 2015).

2.3 Caracterização do RSD de Porto Alegre – RS

Entre setembro de 2009 e setembro de 2010, um projeto municipal caracterizou o RSU coletado em Porto Alegre, os dados encontram-se nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5. Dados referentes à coleta de RSU em Porto Alegre no período de 2009 e 2010 classificados por roteiros de coleta e massas de RSU (Adaptado de PMGRS, 2010).

Dados do processo	Estrato amostrado – nível de renda					Global
	Extrato “E”	Extrato “D”	Extrato “C”	Extrato “B”	Extrato “A”	
Nº de roteiros de coleta amostrado	108	84	72	84	36	384
Nº de viagens de coleta amostrados	185	161	125	145	66	682
Massa total das descargas (kg)	1372420	1279890	904610	1074111	467232	5098263
Massa total amostrada (kg)	16242	14916	11065	11894	5490	59607
% em massa das cargas amostradas	1,18%	1,17%	1,22%	1,11%	1,18%	1,17%
Massas específicas aparentes médias (kg/m ³)	220,73	231,59	223,04	205,51	205,82	217,34

Tabela 6. Dados referentes à coleta de RSU em Porto Alegre no período de 2009 e 2010 de acordo com a classificação do tipo de resíduo (Adaptado de PMGRS, 2010).

Tipologias de resíduos	Composição gravimétrica em base úmida					Global
	Ext. E	Ext. D	Ext. C	Ext. B	Ext. A	
Papelão	2,18	2,01	2,26	2,10	2,62	2,23
Papel misto	2,55	2,74	2,89	3,26	2,82	2,85
Papel “limpo”	0,85	0,98	0,75	1,48	1,15	1,04
Embalagens multicamadas	1,48	1,37	1,48	1,37	1,12	1,36
Revista	0,77	0,61	0,63	0,72	0,95	0,73
Jornal	2,51	2,88	3,38	4,08	4,13	3,40
Ferrosos	1,22	1,22	1,28	1,07	0,73	1,10
Não ferrosos	0,06	0,04	0,06	0,05	0,02	0,04
Alumínio	0,27	0,31	0,30	0,36	0,33	0,31
PET	1,33	1,28	1,27	1,49	1,59	1,39
Plástico rígido	3,37	3,10	2,95	3,08	3,15	3,13
Plástico filme	3,41	3,34	3,38	3,01	2,44	3,12
Plástico filme incolor	1,77	1,54	1,79	1,78	1,59	1,69
Plástico filme colorido	1,14	0,08	0,20	0,04	0,04	1,40
Plástico PVC	0,07	0,08	0,20	0,04	0,04	0,08
Isopor	0,33	0,35	0,40	0,48	0,46	0,41
Pilhas	0,10	0,03	0,04	0,03	0,03	0,05
Trapos	5,23	4,16	3,60	2,07	1,90	3,39
Madeiras e aglomerados	0,48	0,52	0,44	0,40	0,39	0,45
Cerâmica e rochas	0,42	0,53	0,41	0,47	0,29	0,42
Couros	0,49	0,34	0,24	0,19	0,23	0,30
Ossos	0,33	0,32	0,29	0,28	0,20	0,28
Borracha	0,21	0,19	0,21	0,15	0,10	0,17
Rejeito	12,43	11,25	11,31	9,13	8,92	10,61
Eletroeletrônicos	0,26	0,13	0,22	0,08	0,08	0,15

Tabela 6 (cont.). Dados referentes à coleta de RSU em Porto Alegre no período de 2009 e 2010 de acordo com a classificação do tipo de resíduo (Adaptado de PMGRS, 2010).

Lâmpadas fluorescentes	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Medicamentos	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
Vidro	1,79	1,90	2,35	3,12	3,63	2,56
Resíduo de saúde	0,02	0,02	0,01	0,04	0,00	0,02
TOTAL MATÉRIA ORGÂNICA	54,92	57,52	56,71	58,09	59,12	57,27
TOTAL PAPEL E PAPELÃO	10,34	10,59	11,38	13,01	12,80	11,62
TOTAL METAIS	1,55	1,57	1,64	1,48	1,07	1,46
TOTAL PLÁSTICOS	11,42	10,91	11,14	11,43	11,20	11,23
TOTAL VIDROS	1,79	1,90	2,35	3,12	3,63	2,56
TOTAL REJEITOS E OUTROS	19,98	17,51	16,78	12,87	12,18	15,86

A matéria orgânica coletada em Porto Alegre representa 57,27% do total de RSU gerado e é maior que a média nacional.

2.4 Métodos alternativos sustentáveis

Os principais métodos alternativos são a reciclagem, a incineração, a compostagem e a vermicompostagem. A reciclagem é um método de destinação bastante utilizado, mas somente para materiais secos como papéis, metais, vidros, plásticos, etc. A incineração tem por vantagem o espaço reduzido utilizado, porém levam à geração de produtos tóxicos. Os métodos de compostagem e vermicompostagem são explanados nos itens 2.4.1 e 2.4.2.

2.4.1 Compostagem

A compostagem é definida como o processo de transformação biológica de materiais orgânicos em fertilizantes orgânicos utilizáveis na agricultura. Este processo envolve transformações de natureza bioquímica, promovidas por microrganismos presentes no próprio material ou que nele são adicionados e que utilizam a matéria orgânica in natura como fonte de energia, nutrientes, minerais e carbono (Dores-Silva *et al*, 2013).

É um processo de decomposição aeróbica, no qual os microrganismos geram desprendimento de gás carbônico, água – na forma de vapor – e energia. Parte da energia gerada é usada pelos próprios microrganismos para crescimento e movimento, e a restante é liberada como calor, que se procura conservar na pilha de compostagem. Como resultado, a pilha atinge uma temperatura elevada, resfria e, então, atinge o estágio de maturação e pode ser utilizada (Kiehl, 1985).

2.4.2 Vermicompostagem

A adição de vermes à compostagem é chamada vermicompostagem e tem o intuito de acelerar, facilitar e melhorar o controle do processo de decomposição. As minhocas são os agentes mais comuns utilizados e são bastante descritos na literatura (Kale *et al.*, 1982). Benitez *et al.* (1999) concluíram que, no processo, minhocas mantêm a condição aeróbica nos resíduos orgânicos, convertem uma porção do resíduo como fonte de energia para elas mesmas e o restante do material parcialmente estabilizado é excretado.

Um estudo realizado por Manna *et al.* (2003) avaliou o desempenho das diferentes espécies de minhocas empregadas na vermicompostagem, concluindo que as minhocas da espécie *Eisenia foetida*, popularmente conhecida como minhoca vermelha da Califórnia, é a de mais rápido amadurecimento estrutural e crescimento populacional. É documentado, também, que esta espécie tem o melhor composto final entre as estudadas (Manna *et al.*, 2003; Yadav, 2011).

Encontram-se muitas evidências na literatura de que a interação mutualística entre minhocas, em especial a *Eisenia foetida*, e os microrganismos decompositores são importantes na degradação de matéria orgânica e a liberação de nutrientes para o solo (Edwards and Lofty, 1977).

2.4.2.1 *Eisenia foetida*

As minhocas são invertebrados que pertencem a família *Lumbricidae* e são recorrentes em solos de lugares com clima temperado e tropical. Elas são hermafroditas, tanto o órgão masculino quanto feminino estão presentes em cada indivíduo, entretanto, auto fertilização é uma ocorrência extremamente rara. Seres sexualmente desenvolvidos apresentam uma área em formato de anel chamado clitelo, que é a região onde há glândulas que formam um casulo viscoso que recobre os ovos. Cada casulo pode conter de um a vinte ovos (Stephenson, 1930). A produção de casulos começa na sexta semana de vida e pode durar até o sexto mês, o tempo de incubação é de 3 a 5 semanas e, em condições favoráveis, um par de minhocas pode produzir até 100 casulos (Ismail, 1997).

A quantidade de matéria orgânica que uma minhoca da espécie *Eisenia foetida* pode ingerir varia de 100 a 300 mg/g de massa corporal/dia (Edwards, 1972). E sua massa corporal é, em média, 15g (Reinecke *et al.*, 1992).

Raymond *et al.* (1985) reportam que a temperatura ideal para crescimento e reprodução da população é em 25°C e que a espécie suporta temperatura de 0°C a 35°C. A umidade relativa do ar para a maior eficácia de decomposição é de 60% (Edwards 1983).

2.4.3 Compostagem versus Vermicompostagem

O sistema de vermicompostagem é mais rápido que a tradicional compostagem, diminuindo a necessidade de espaço necessária para o seu funcionamento, (Abbasi *et al.*, 2015), apresenta um produto final com maior qualidade (Roy *et al.*, 2010), menor quantidade de metais pesados (Wu *et al.*, 2014), mais homogênea e com menor granulometria (Atiyeh, 2000) e a condição aeróbica é mantida pelo movimento das minhocas através do leito (Hand *et al.*, 1998).

A principal vantagem do sistema de compostagem é a fase termofílica, que pode atingir 70°C e diminuir consideravelmente a quantidade de bactérias patogênicas no fertilizante (Hay, 1996).

Raymond *et al.* (1985) reportam que o fato de que a vermicompostagem ter a limitação de temperatura máxima de 35°C, devido a ocorrência de morte das minhocas acima dessa temperatura, é uma desvantagem para alguns resíduos que podem tornar o processo menos eficiente. Não é possível decompor carnes neste sistema e a quantidade de cítricos deve ser baixa (Sakai *et al.*, 2011).

O processo de compostagem exige uma aeração mecânica frequente, o que depende de maquinários pesados, além de apresentar odor desagradável. Outra desvantagem notável é a necessidade de fracionar os resíduos sólidos para aumentar a área de superfície utilizada (Hefa *et al.*, 2010).

3 Materiais e Métodos

O minhocário utilizado neste estudo foi adquirido no comércio de Porto Alegre – RS e é composto por três caixas plásticas modulares e uma tampa. As caixas superiores, 1 e 2 (Figura 3), de mesmo tamanho (22 cm x 56,5 cm x 36 cm) são as caixas digestoras, enquanto a caixa inferior, 3 (Figura 3), é a coletora de biofertilizante (15 cm x 56,6 cm x 36 cm).

As caixas 1 e 2 apresentam furos homogêneos e distribuídos pela base, que são utilizados pelas minhocas nos processos migratórios entre as caixas e para lixiviação dos produtos resultantes da compostagem (figura 4). A caixa coletora tem uma torneira para a saída do biofertilizante (figura 5).

Figura 3. Registro fotográfico do minhocário utilizado com a identificação das caixas.



Figura 4. Detalhe da base da caixa superior, indicando os furos utilizados pelas minhocas no deslocamento entre as caixas 1 e 2 (figura1).



Figura 5. Detalhe da caixa inferior com torneira para a retirada do biofertilizante.

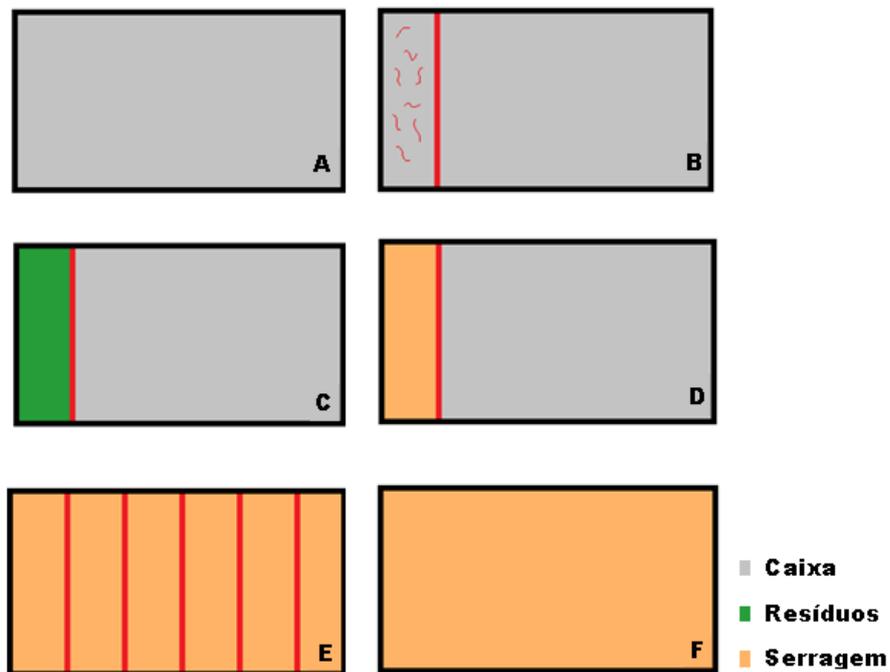
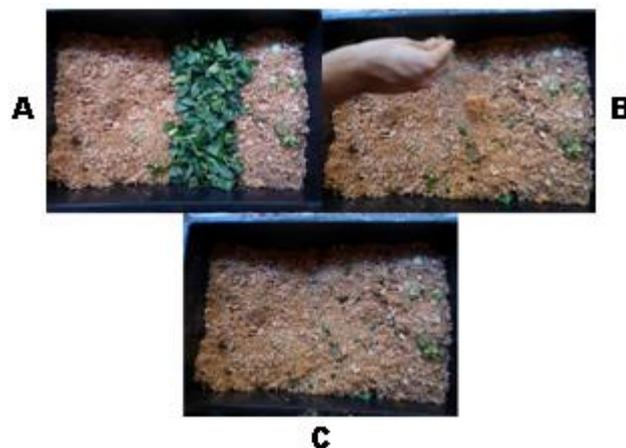


Os resíduos sólidos usados para alimentar a vermicomposteira foram provenientes da alimentação de um apartamento com 5 moradores localizado no bairro Centro Histórico; a serragem utilizada foi oriunda de uma madeireira localizada no bairro Agronomia, ambos na cidade de Porto Alegre – RS.

Neste trabalho definiu-se a minhoca vermelha da Califórnia como a ideal para o processo devido ao espaço disponível, velocidade de crescimento, volume total de resíduos sólidos e o tamanho que possibilita a passagem entre as caixas. O volume de resíduo diário foi determinado em 1,5 L, pois as caixas digestoras têm volume máximo de 44,75 L e o ciclo total da transformação de resíduo em húmus nestas condições é de aproximadamente 60 dias.

Inicia-se o experimento introduzindo as minhocas à primeira caixa com a primeira porção de resíduos, cobrindo-os com quantidade suficiente de serragem. A serragem é utilizada para evitar eventual odor desagradável, diminuir a umidade no interior do digestor e também é uma fonte de carbono para o húmus formado. As Figuras 6 e 7 exemplificam este processo.

Depois de iniciado o processo, o sistema foi alimentado somente de resíduos orgânicos e serragem. Importante observar que a população de minhocas cresce dependendo da taxa de reprodução, ou seja, das condições do ambiente (alimento, temperatura, umidade). Todos os dias, resíduo e serragem são adicionados até o total preenchimento da caixa 1.

Figura 6. Processo da adição dos resíduos orgânicos e serragem (etapas A – F).**Figura 7.** Fotografia do processo da adição dos resíduos orgânicos e serragem (passos A – C).

A caixa 1, quando cheia, trocava de posição com a caixa 2, que a partir daí passava a receber resíduos e serragem. As minhocas migravam de caixa pelos furos quando o alimento começava a ficar escasso. Este ciclo pode se manter indeterminadamente. Aproximadamente 30 dias depois da troca de posição das caixas, o resíduo era processado e passava a ser designado húmus, sendo retirado manualmente das caixas digestoras, separando a maior quantidade possível de minhocas.

Figura 8. Húmus, resultado da decomposição do material orgânico via compostagem.



A coleta de dados deste trabalho foi iniciada em setembro de 2015 e se estendeu até maio de 2016. O período foi escolhido em função de haver variação considerável de temperatura ambiente e umidade relativa do ar. Esses dados foram obtidos diariamente com um termo-higrômetro da marca Incoterm Ref. 7664.01.0.00 com o qual é possível medir a temperatura e umidade, tanto interna do minhocário quanto a ambiente e suas respectivas máximas e mínimas diárias. A exatidão para temperatura é $\pm 1^{\circ}\text{C}$ e para umidade relativa do ar é $\pm 5\%$.

A quantidade, em massa, de resíduos e serragem foi medida com uma balança digital da marca Zeex, modelo BC-5020, com exatidão de $\pm 1\text{g}$. E o volume de resíduo foi medido em Becker de 500 mL.

A coleta do biofertilizante e do húmus se deu 30 dias após o preenchimento das caixas para cada um dos três ciclos de compostagem acompanhados. O húmus foi medido em balança da marca Zheben, modelo TS-801, com escala de 5 a 30 kg, e exatidão de 2 g. O líquido foi filtrado a vácuo para a retirada de possíveis partículas presentes. Os volumes e o pH foram medidos em proveta de 500 mL e pHmetro OHAUS Starter 3100, respectivamente.

Baseado no experimento feito se estimou que 80% do resíduo sólido orgânico domiciliar pode ser utilizado na vermicompostagem devido a sua composição. Alimentos ácidos e resíduos de origem animal não podem ser introduzidos devido à acidez do solo e ao processo de decomposição, respectivamente. Os cálculos foram baseados nesta estimativa.

Os resultados da quantidade de húmus e biofertilizante foram relacionados à quantidade de alimento colocado no minhocário e a média destes valores foi utilizada para comparação com a quantidade de lixo gerado em Porto Alegre. Foram utilizados os valores, em reais, dos contratos da Prefeitura de Porto Alegre para inferir a economia gerada pelo processo de vermicompostagem para o município.

4 Resultados e Discussão

No tempo total do experimento foram feitos três lotes de húmus. Estes estão identificados como lote 1, compreendido entre 16/09/2015 a 20/10/2015 (35 dias); lote 2, 03/11/2015 a 14/12/2015 (41 dias) e lote 3, de 06/03/2016 a 01/04/2016 (27 dias). Os resultados aqui apresentados estão compactados em gráficos e em tabelas resumidas. Os dados brutos são apresentados no anexo 1.

A temperatura ambiente é um fator importante para determinação da temperatura interna pois aquece a caixa e conseqüentemente o seu interior. Não há indícios que a UR ambiente tenha relação com a UR interna, esta é mais relacionada à relação matéria orgânica/serragem, atividade biológica das minhocas, umidade dos resíduos, estágio de decomposição dos resíduos e temperatura interna da caixa.

Tanto a umidade relativa interna quanto a temperatura interna são fatores relevantes para a sobrevivência, facilidade de decomposição e eclosão dos ovos das minhocas. Esse parâmetro é afetado principalmente pela temperatura interna da caixa, estágio de decomposição dos resíduos, população de minhocas e a relação de alimentação residual orgânico/serragem.

Os dados de alimentação por dia apresentados nas Figuras 13, 18 e 23 mostram o quanto de resíduo alimentar e serragem e a curva da soma de ambos. A massa diária foi bastante variável pela diferença de densidade entre os diversos resíduos alimentares, levando em consideração que a constante do projeto é o volume de alimentação destes, fixado em 1,5 L/dia com quanto baste de serragem para cobrir este volume.

4.1 Dados do Lote 1

As Figuras 9 a 13 apresentam os dados obtidos de temperatura ambiente, temperatura interna do minhocário, umidade relativa ambiente, umidade relativa interna e alimentação do minhocário para o lote 1.

Figura 9. Variações de temperatura ambiente para o Lote 1.

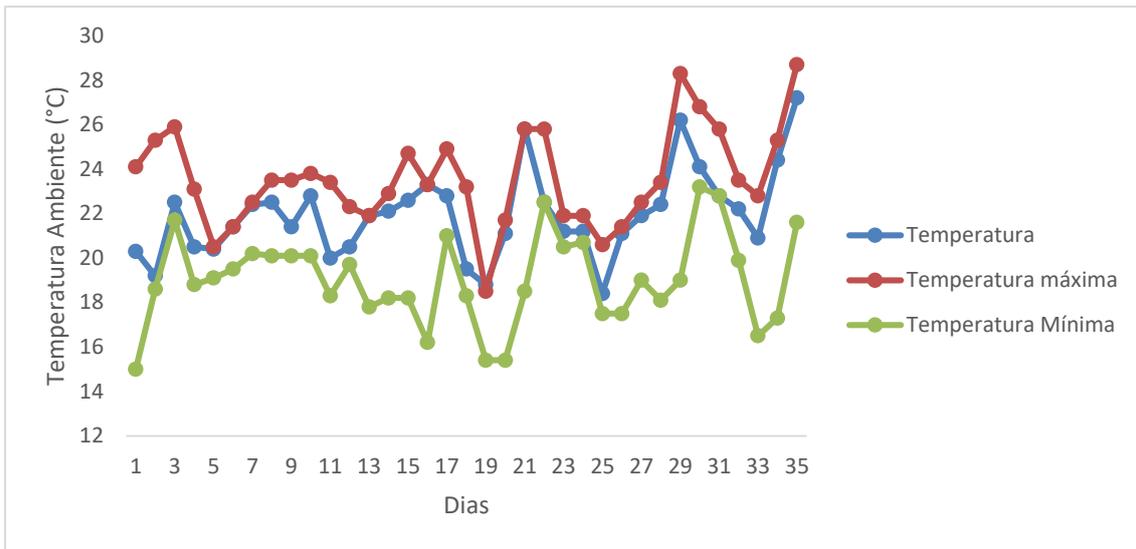


Figura 10. Variações de temperatura interna para o Lote 1.

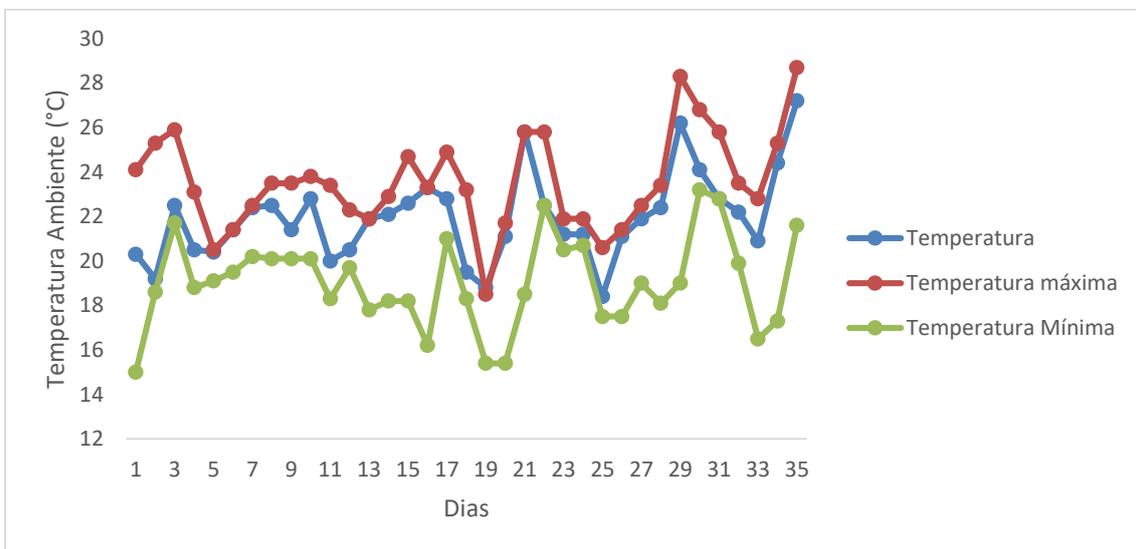
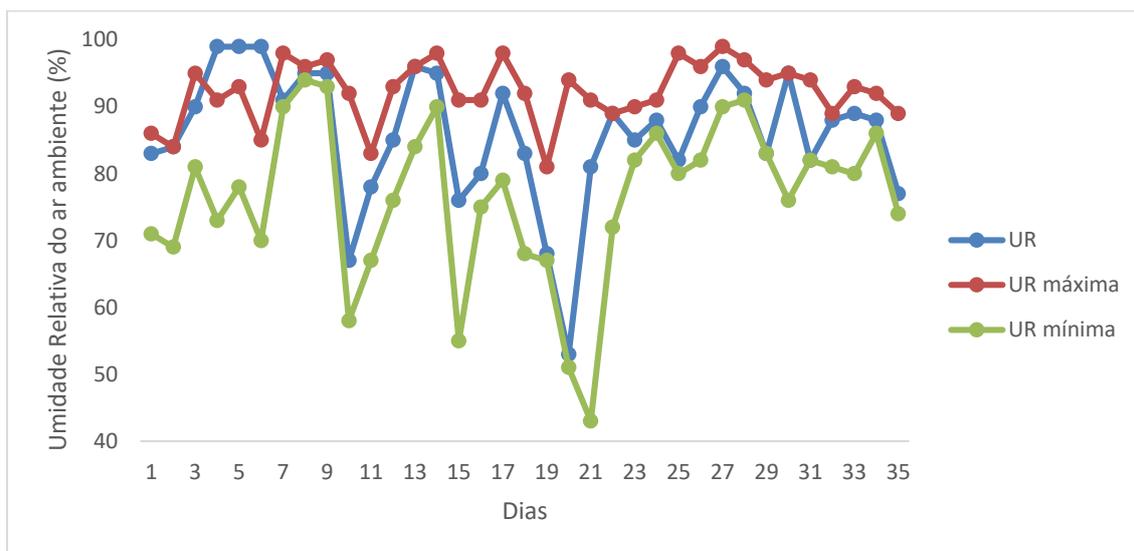
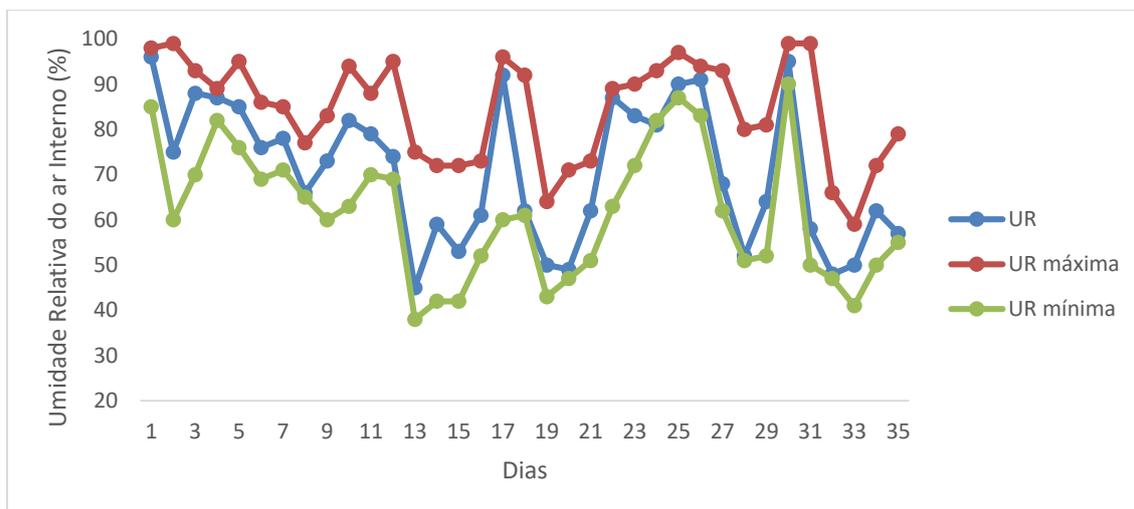
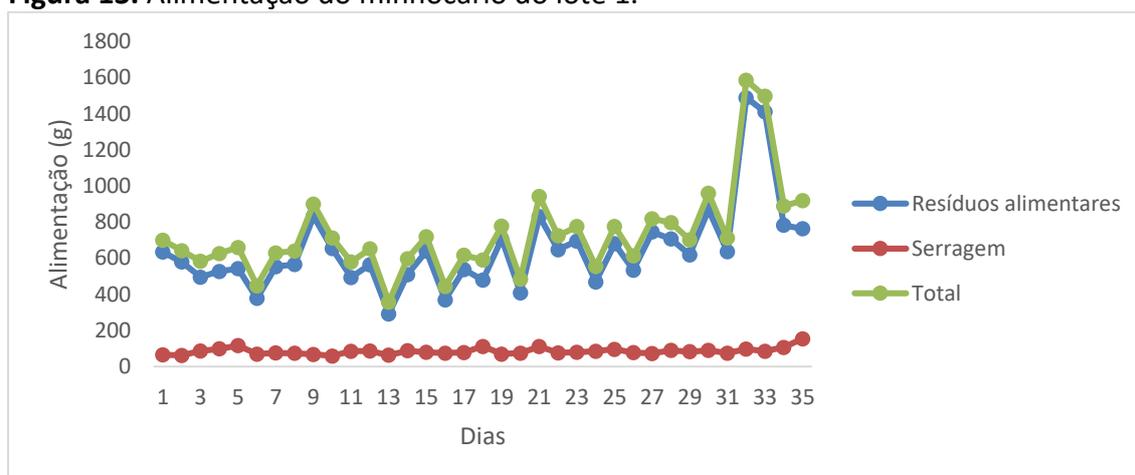


Figura 11. Variações de umidade relativa ambiente para o Lote 1.**Figura 12.** Variações de umidade relativa interna do minhocário para o Lote 1.

As temperaturas médias do ambiente e interna do minhocário foram de 21,3 °C e 19,1 °C, respectivamente, indicando temperatura inferior à ideal. A umidade relativa ambiente média foi de 84,4 % enquanto a interna do minhocário foi de 73,2 %, esta superior à ideal.

Figura 13. Alimentação do minhocário do lote 1.**Tabela 7.** Dados da alimentação do minhocário do lote 1.

Resíduo	Massa (g)	Resíduo	Massa (g)	Resíduo	Massa (g)
Abobrinha	414	Casca Laranja	47	Melão	1146
Abóbora	596	Casca Melão	260	Pepino	200
Agrião	315	Cenoura	361	Radite	111
Alface	374	Chicória	105	Rabanete	620
Caará	633	Couve	351	Rama Couve	
Café + Filtro	1172	Couve-flor	464	Flor	910
Casca Banana	230	Erva mate	2853	Rama	
Casca Batata	141	Espinafre	593	Cenoura	180
Casca Bergamota	20	Jaboticaba	296	Repolho	369
				Talo alho-poró	56
				Serragem	2978
				Total	15795

Os parâmetros fora do ideal encontrados na literatura resultam em baixa conversão de matéria orgânica em húmus, uma vez que a atividade biológica das minhocas é mais lenta nestas condições.

4.2 Dados do Lote 2

As Figuras 14 a 18 apresentam os dados obtidos de temperatura ambiente, temperatura interna do minhocário, umidade relativa ambiente, umidade relativa interna e alimentação do minhocário para o lote 2.

Figura 14. Variações de temperatura ambiente para o Lote 2.

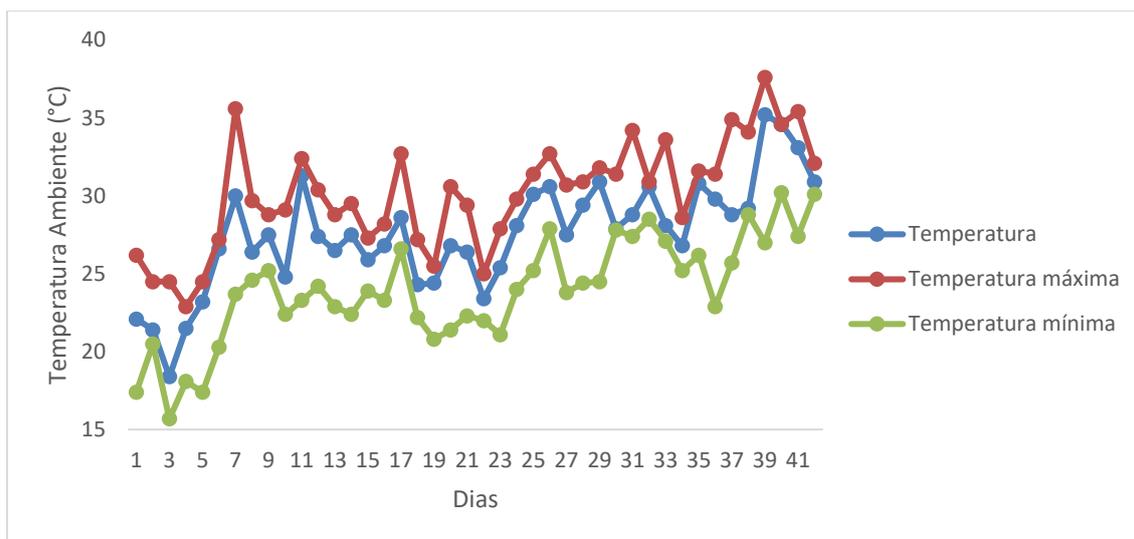


Figura 15. Variações de temperatura interna para o Lote 2.

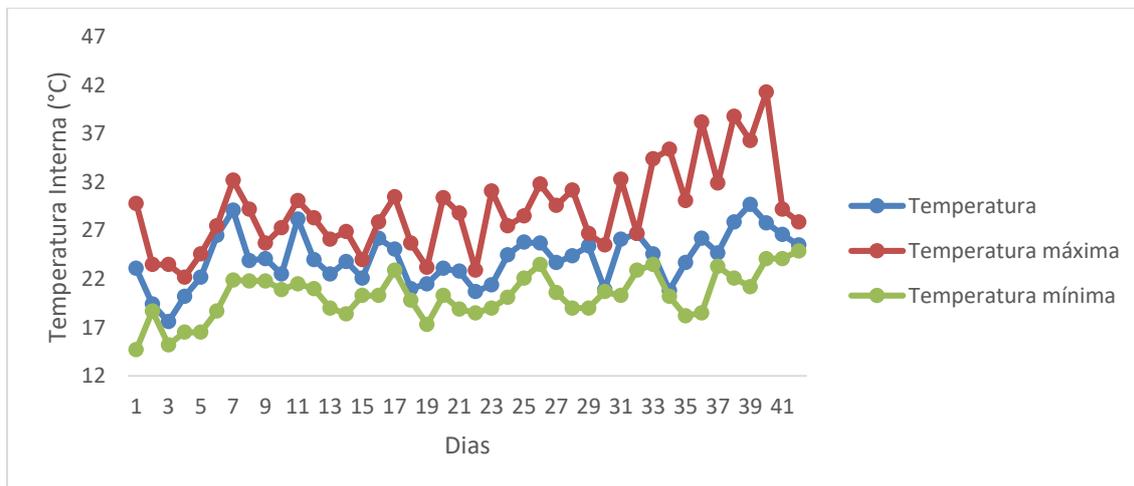


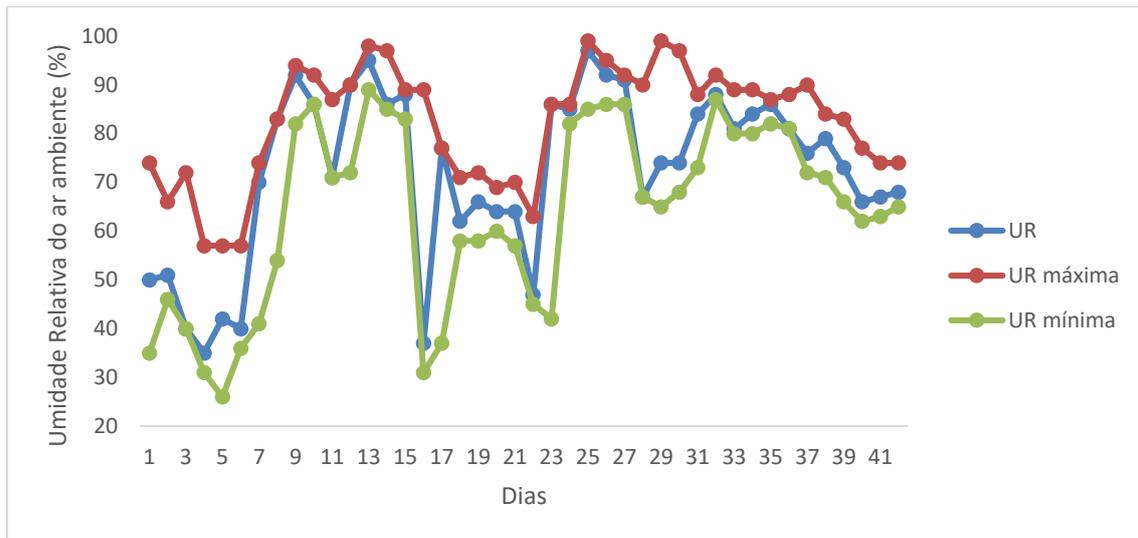
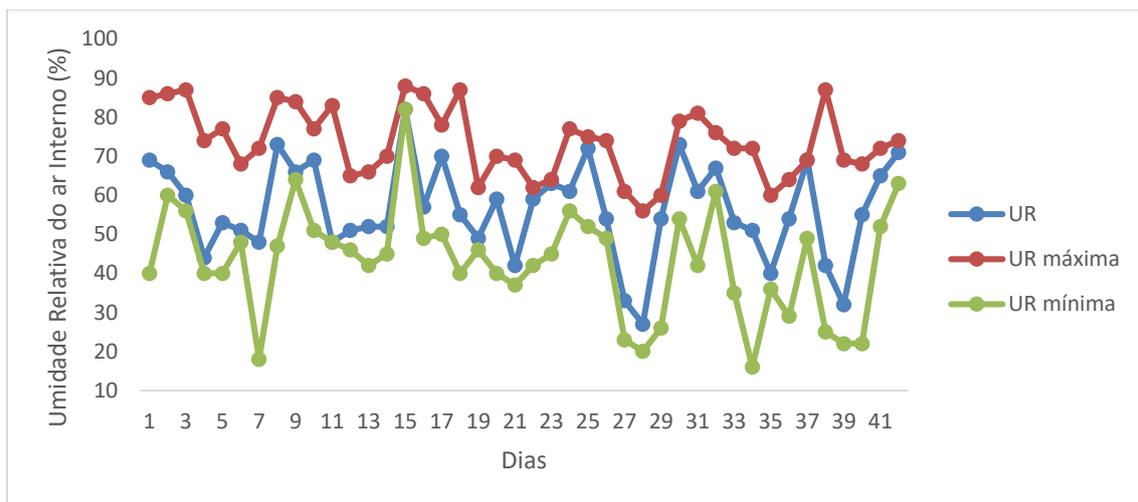
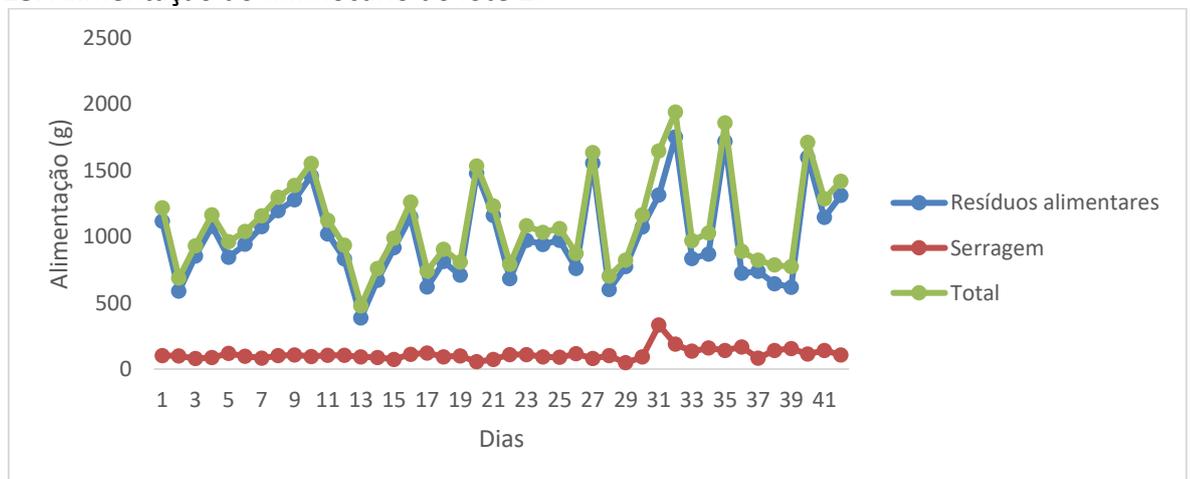
Figura 16. Variações de umidade relativa ambiente para o Lote 2.**Figura 17.** Variações de umidade relativa interna do minhocário para o Lote 2.**Figura 18.** Alimentação do minhocário do lote 2.

Tabela 8. Dados da alimentação do minhocário do lote 2.

Resíduo	Peso (g)	Resíduo	Peso (g)	Resíduo	Peso (g)
Abobrinha	701	Casca Laranja	60	Mamão	938
Alface	481	Cenoura	1000	Pepino	657
Alho-poró	49	Chicória	357	Nabo	460
Beterraba	570	Couve	1886	Radite alemão	145
Brócolis	516	Couve-flor	497	Rama Beterraba	530
Café + Filtro	1163	Erva mate	3304	Rama Couve Flor	324
Casca				Rama	
Abacaxi	283	Espinafre	541	Cenoura	322
Casca		Folha Alho poro	37	Rama Nabo	523
Banana	310	Folha Couve- flor	113	Repolho	953
Casa				Serragem	4672
Beterraba	100			Total	21492

As temperaturas médias ambiente e interna do minhocário foram de 27,0 °C e 14,7 °C, respectivamente. A umidade relativa média ambiente foi de 73,1% enquanto a interna do minhocário foi de 58,3%.

Como o lote 2 teve a temperatura e umidade relativa média muito próximo do ideal, ela demorou mais para ter preenchimento total da caixa pois as minhocas processaram a matéria bastante rápido, fazendo com que seu preenchimento concorresse com a velocidade de decomposição.

4.3 Lote 3

As Figuras 19 a 23 apresentam os dados obtidos de temperatura ambiente, temperatura interna do minhocário, umidade relativa ambiente, umidade relativa interna e alimentação do minhocário para o lote 3.

Figura 19. Variações de temperatura ambiente para o lote 3.

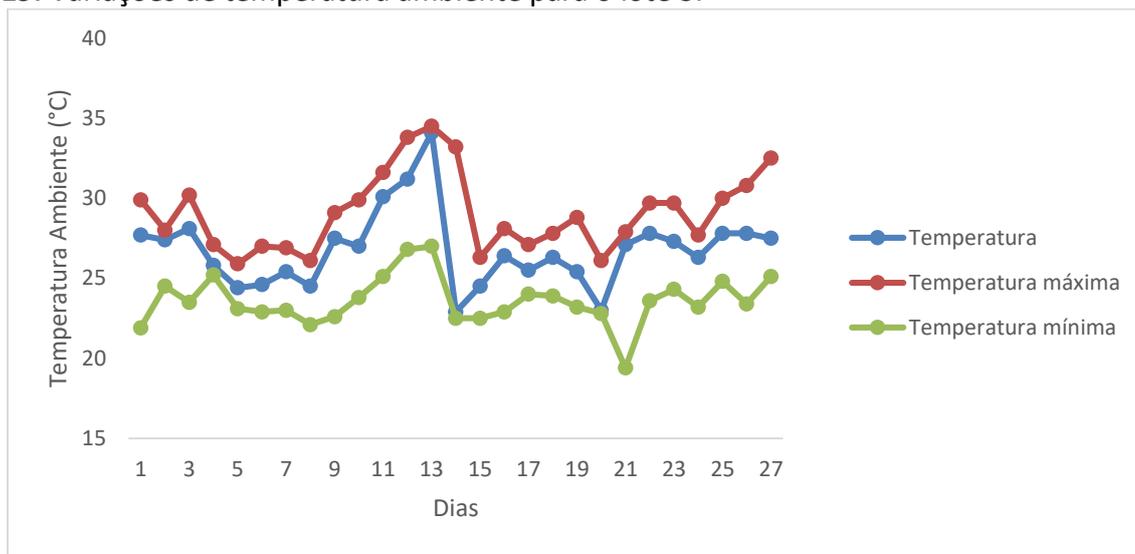


Figura 20. Variações de temperatura interna do minhocário para o lote 3.

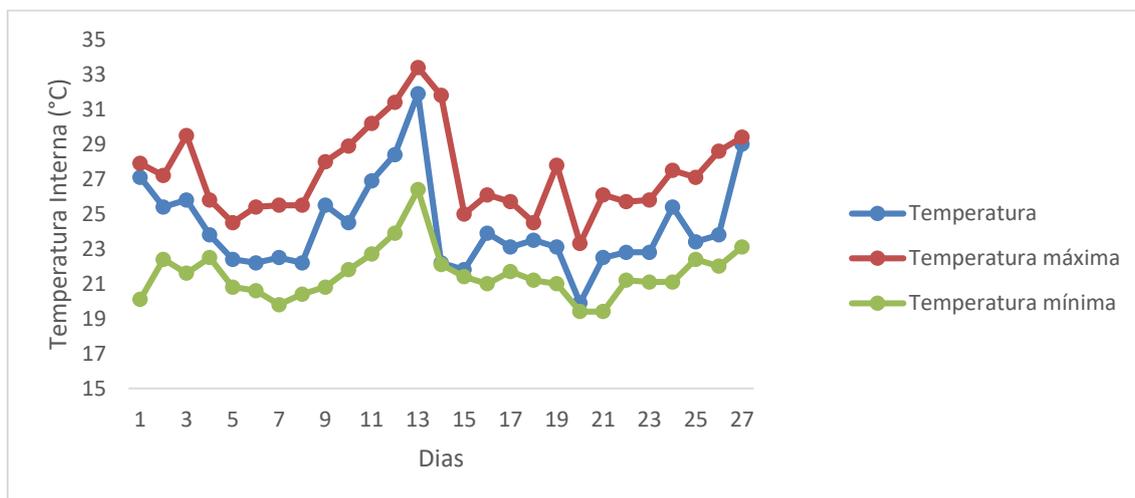


Figura 21. Variações de umidade relativa do ar ambiente para o lote 3.

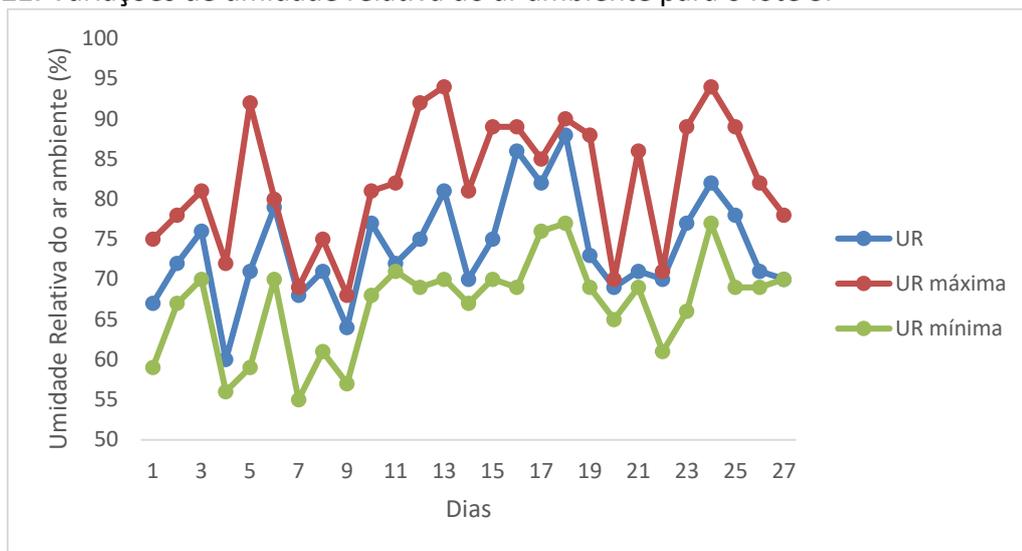


Figura 22. Variações de umidade relativa interna do minhocário para o lote 3.

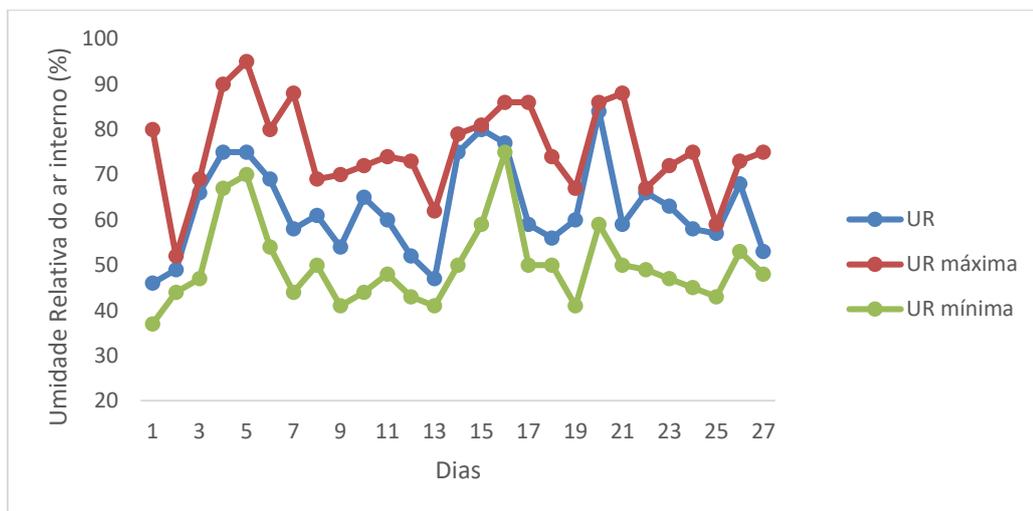


Figura 23. Alimentação do minhocário do lote 3.

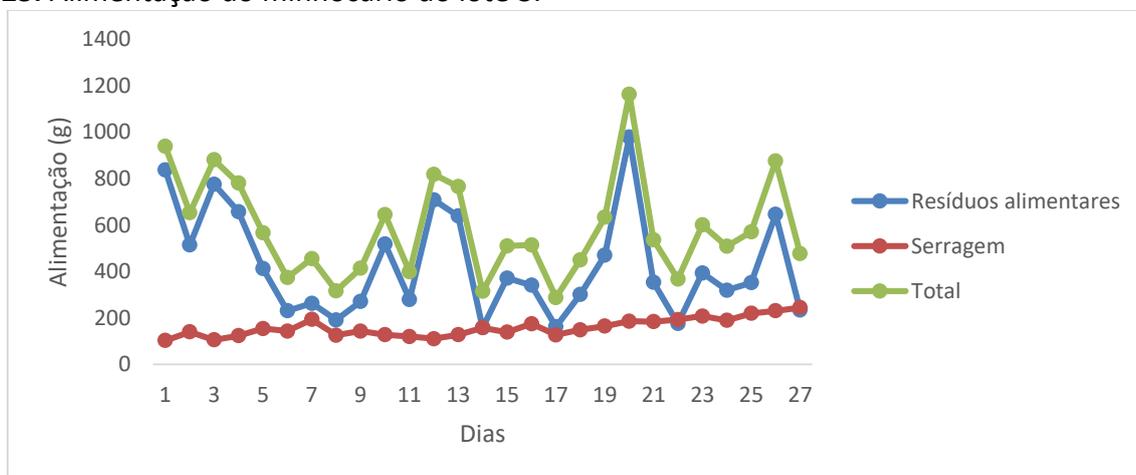


Tabela 9. Dados da alimentação do minhocário do lote 3.

Resíduo	Peso (g)	Resíduo	Peso (g)	Resíduo	Peso (g)
Agrião	149	Couve	203	Melancia	714
Alface	937	Couve-flor	204	Pitaia	310
				Rama	
Brócolis	276	Erva mate	1172	couve	285
				Rama	
Caará	2044	Espinafre	1040	cenoura	342
Café+filtro	2312	Figo	176	Repolho	711
Casca		Folha			
Melão	299	rabanete	193	Rúcula	167
				Serragem	4266
				Total	15800

As temperaturas médias ambiente e interna do minhocário foram de 26,3 °C e 24,4 °C, respectivamente. A umidade relativa média ambiente foi de 74,6% enquanto a interna do minhocário foi de 62,8%.

Não se observa o efeito da temperatura e da umidade relativa próxima ao ideal na passagem do lote 2 para o lote 3. Isto se deve a demora de 3 meses entre uma caixa e outra, a qual foi feita para observar a população de minhocas em temperaturas mais baixas. No entanto, a população de minhocas diminuiu drasticamente e os vermes restantes apresentaram baixo desempenho. Logo, não há inferências sobre as diferentes condições de temperatura e umidade no processo de vermicompostagem.

4.4 Biofertilizante gerado

Os resultados da medição de volume e pH do biofertilizante gerado no processo, assim como a relação resíduos orgânicos por serragem, encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10. Dados de volume e pH do biofertilizante; relação dos resíduos orgânicos/serragem.

Data da extração	Lote	Volume (mL)	pH	Resíduos orgânicos/serragem
20/11/2015	1	1683	8,46	5,304
14/01/2016	2	3380	8,68	4,600
01/05/2016	3	874	8,24	3,704
	Total	4884		

O volume de biofertilizante dos lotes teve uma considerável variação. Era esperado que o lote 2 tivesse um volume maior devido à massa total e ao tempo de alimentação maiores. Este resultado também se deve à grande quantidade de resíduos com alto teor de água, como folhas verdes e erva-mate.

No Lote 1, embora a relação resíduos orgânicos/serragem seja alta, as temperaturas médias e a umidade relativa foram baixas, o que, provavelmente, fez com que as minhocas tivessem seu metabolismo desacelerado

O terceiro lote tem um volume abaixo do esperado, mas isto se deve à pequena população de minhocas no começo da alimentação e, principalmente, à grande quantidade de serragem utilizada.

4.5 Formação do húmus de minhoca

A Tabela 11, abaixo, apresenta os dados sobre a formação de húmus de minhoca para os três lotes avaliados.

Tabela 11. Dados da formação de húmus de minhoca.

Data da extração	Lote	Húmus formado (kg)	Alimentação (kg)	Conversão (%)
20/11/2015	1	10,3	15,795	65,210
14/01/2016	2	16,4	21,492	76,307
01/05/2016	3	13,9	15,800	87,975
	Total	40,6	53,087	76,478

O primeiro lote apresentou uma temperatura média e umidade fora do padrão, isso faz com que a conversão seja baixa. O segundo lote apresentou as médias de temperatura e umidade mais parecidas com a ideal, portanto, essa conversão é a mais próxima do ideal.

Levando em consideração a alta carga de serragem da alimentação do terceiro lote, uma conversão mais alta é esperada visto que a quantidade de biofertilizante formado é bem menor que para os outros dois.

4.6 Estimativa para Porto Alegre - RS

O total de RSD em Porto Alegre é, em média, de 1.224.566 kg/dia e 204.782.213 kg/ano. Segundo o PGIRS, 57,27% do RSD é resíduo orgânico biodegradável e, destes, aproximadamente 80% são aproveitáveis para a vermicompostagem. Com isso, 45,82% do RSD total ou 561.407,2 kg/dia.

Cada tonelada depositada no aterro custa ao município R\$ 44,43 reais, o que leva a um gasto de R\$ 24.927,33/dia ou R\$ 9.098.473,72/ano (DMLU, 2015).

Levando em consideração que o transporte de Porto Alegre até o aterro, localizado em Minas do Leão – RS, custa R\$ 40,26/tonelada (Portal da Transparência e acesso à informação), o município paga um valor total de R\$ 22 mil/dia e R\$ 8 milhões/ano (DMLU, 2016).

Os custos de transporte e depósito em aterro, somados, dependem em torno de R\$ 17 milhões/ano ao orçamento municipal.

Esses dados também comprovam que o aumento da vida útil do aterro, devido ao espaço utilizado, seria de 37,69%.

O valor médio do quilo de húmus de minhoca no comércio de Porto Alegre - RS é de R\$ 4,00. Utilizando a taxa de conversão média (de RSD orgânico para húmus) encontrada neste estudo, de 76,48%, tem-se 156.617.436 kg/ano e um lucro médio bruto de R\$ 626.469.745,00/ano.

5 Conclusões

A utilização de minhocários é uma prática simples, que exige pouco conhecimento técnico, apesar das limitações quanto a quais resíduos devem ser evitados (ácidos e resíduos de animais), e com um retorno significativo para o município, tanto ambiental quanto econômico.

Este processo diminui consideravelmente a emissão de gases para o transporte do RSD e o impacto ambiental do aterro sanitário, já que apresenta um aumento significativo na vida útil do mesmo. O biofertilizante possui um alto valor agregado e pode ser diluído e pulverizado em larga escala como é realizado na agricultura. O húmus pode ser usado na vasta área rural de Porto Alegre ou comercializado através de cooperativas.

A economia de cerca de R\$ 17 milhões representa um valor muito próximo do valor orçado para desporto e lazer em 2015. O lucro bruto médio de cerca de R\$ 626 milhões/ano é praticamente o dobro do que o orçado para previdência social em 2015.

Desta forma os dados indicam que o processo estudado no presente trabalho pode contribuir muito para melhorar a gestão de resíduos sólidos urbanos de Porto Alegre.

6 Referências bibliográficas

Abbasi, S.A.; Nayeem-Shah, M.; Abbasi, T. Vermicomposting of phytomass: limitations of the past approaches and the emerging directions. **J. Clean. Prod.** v. 93, 2015.

Atilyeh, R.M.; Dominguez, J. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms and the effect on seeding growth. **Pedobiologia.** V. 44, p. 709-724, 2000.

Benitez, E.; Nogales, R.; Elvira, C.; Masciandaro, G.; Ceccanti, B. Enzyme activities as indicators of the stabilization of sewage sludges composting with *Eisenia foetida*. **Bioresource Technol.** v. 67, p. 297 – 303, 1999.

Cheng, H.; Hu, Y. Municipal solid waste (MSW) as a renewable source of energy: Current and future practices in China. **Bioresource Technology.** v. 101, p. 3816-3824, 2010.

Dores-Silva, P.R.; Landgraf, M.D.; Rezende, M.O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem *versus* compostagem. **Quim. Nova.** v. 36, p. 640 – 645, 2013.

DMLU. Contrato número 175. **Prefeitura Municipal de Porto Alegre.** Processo 5000329126, 2015.

DMLU. Contrato número 139. **Prefeitura Municipal de Porto Alegre.** Processo 1049993135, 2016.

Edwards, C.A.; Lofty, J.R. Biology of earthworms. **Chapman and Hall.** P. 141, 173, 1977.

Raymond, C.; Edward, F.N.; Malecki, M.R. Factors affecting the vermistabilization process temperature, moisture content and polyculture. **Water Res.** v. 19, p. 1311 – 1317, 1985.

Edwards, C.A. Utilization of earthworm casts as a plant growth médium. **Proc Int Symp on Agricultural and Environmental Prospects in Earthworm Farming.** P. 57 – 66, 1983.

Hand, P.; Hayes, W.A.; Satchell, J.E.; Frankland, J.C.; Edwards, C.A.; Neuhauser, E.F. The vermicomposting of cow slurry earthworm. **Waste Environment Managgemente.** p. 49-63, 1998.

Hay, C.J. Pathogen destruction and biosolids composting. **Biocycle.** p. 67 – 76, 1996.

Ismail, S.A. Vermicology: the biology of earthworms. **Orient Longman Limited.** p. 92, 1997.

Kale, R.D.; Bano, K.; Krishnamoorthy, R.V. Potential of *Perionyx excavatus* for utilizing organic wastes. **Pedobiologia.** v. 23, p. 419 – 425, 1982.

Kiehl, E.J. Fertilizantes orgânicos. **Edit. Agronômica Ceres Ltda.** Piracicaba, p. 492, 1985.

Manna, M.C.; Jha, S.; Ghosh, P.K.; Acharya, C.L. Comparative efficacy of three epigeic earthworms under different deciduous Forest litters decomposition. **Bioresource Technol.** v. 88, 2003.

PMGRS – Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. **Prefeitura de Porto Alegre.** v.1 , 2010.

PMGRS – Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. **Prefeitura de Porto Alegre**. v.1 e v.2, 2012.

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Ministério do Meio-ambiente**, 2012.

Reinecke, A.J.; Viljoen, S.A.; Gayman, R.J. The suitability of *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx Exca catus* and *Ersenia foetida (Oligochaeta)* for vermicomposting in southern Africa in terms of their temperature requirements. **Soil Biol. Biochem.** v. 24, p. 1295 – 1307, 1992.

Roy, S.; Arunachalam, K.; Dutta, B.K.; Arunachalam, A. Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops viz. *Zeamays*, *Phaseolus vulgaris* and *Abelmoscus esculentus*. **Applied Soil Ecology**. v. 45, p. 78 - 84, 2010.

Sakai, E.; Mendes, L.K.T. Minhocário como solução para o lixo orgânico da Escola Municipal Parque da Mangueira, Paraty – RJ. **Educação Ambiental**. v. 4, 2011.

Stephenson, J. The *Oligochaeta*. **Oxford Univ. Press**, London. p. 977, 1930.

Veras, L.R.V.; Povinelli, J. A vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciada com composto de lixo urbano. **Eng. Sanit. ambient.** v. 9, p. 218 – 224, 2004.

Yadav, A.; Garga, V.K. Recycling of organic wastes by employing *Eisenia foetida*. **Bioresource Technol.** v. 102, p. 2874 – 2880, 2011.

Wu, T.Y.; Lim, S.L.; Lim, P.N.; Shak, K.P.Y. Biotransformation of biodegradable solid waste into organic fertilizers using composting or/and vermicomposting. **Chem. Eng. Trans.** v. 39, 2014.

Anexo 1 – Lote 1

Data	Hora	Qualidade e Quantidade (g)																	Total																	
		Abobrinha	Abóbora	Açúcar	Café	Filtra	Casca	Bata	Casca	Bata	Casca	Beij	Casca	Lard	Casca	Meil	Cenoura	Chicória		Couve	Couve-flor	Erva-mate	Espinafre	Jaboticaba	Melão	Pequi	Rábete	Rama	Couf	Rama	Cent	Repolho	Talo	Alho	Serragem	
16/08/2015	15:10				95		88													322													65	570		
17/08/2015	15:50			93				141											210		112												63	517		
18/08/2015	14:50			99															131														87	409		
19/08/2015	14:50	231																															99	429		
20/08/2015	15:10	183																				176											117	426		
21/08/2015	16:20																																			
22/08/2015	14:50																																			
23/08/2015	15:15																																			
24/08/2015	15:20																																			
25/08/2015	14:00																																			
26/08/2015	15:30			70																																
27/08/2015	17:00			78																																
28/08/2015	16:00																																			
29/08/2015	14:00																																			
30/08/2015	15:00																																			
01/09/2015	15:00																																			
02/09/2015	16:00																																			
03/09/2015	15:00																																			
04/09/2015	15:00																																			
05/09/2015	16:00																																			
06/09/2015	15:00																																			
07/09/2015	17:30																																			
08/09/2015	17:00																																			
09/09/2015	15:30																																			
10/09/2015	15:00																																			
11/09/2015	15:30																																			
12/09/2015	15:00																																			
13/09/2015	16:00																																			
14/09/2015	16:00																																			
15/09/2015	16:30																																			
16/09/2015	18:30																																			
17/09/2015	15:30																																			
18/09/2015	18:00																																			
19/09/2015	17:30																																			
20/09/2015	15:00																																			
TOTAL		414	586	315	374	633	1172	230	141	20	47	260	361	105	351	464	2653	593	296	1146	200	111	620	910	180	369	56	2978	13795							

T (°C)	IN					OUT						
	T max (°C)	T min (°C)	Ur (%)	Ur max (%)	Ur min (%)	T (°C)	T max (°C)	T min (°C)	Ur (%)	Ur max (%)	Ur min (%)	
17	21,2	14,5	96	98	85	20,3	24,1	15	83	86	71	
21,8	23,8	15,8	75	99	60	19,2	25,3	18,6	84	84	69	
18,1	18,7	17	88	93	70	22,5	25,9	21,7	90	95	81	
18,9	18,9	16,8	87	89	82	20,5	23,1	18,8	99	91	73	
18,6	19,2	17,1	85	95	76	20,4	20,5	19,1	99	93	78	
20,1	20,1	18,1	76	86	69	21,4	21,4	19,5	99	85	70	
20,6	20,8	18,8	78	85	71	22,4	22,5	20,2	91	98	90	
21,4	22,1	18,3	66	77	65	22,5	23,5	20,1	95	96	94	
20,1	22,1	18,3	73	83	60	21,4	23,5	20,1	95	97	93	
21,2	22,1	18,3	82	94	63	22,8	23,8	20,1	67	92	58	
18,8	21,9	16,4	79	88	70	20	23,4	18,3	78	83	67	
18,7	20,9	17,8	74	95	69	20,5	22,3	19,7	85	93	76	
20,6	20,9	15,9	45	75	38	21,9	21,9	17,8	96	96	84	
22	22,1	16,4	59	72	42	22,1	22,9	18,2	95	98	90	
20,9	23,9	16,4	53	72	42	22,6	24,7	18,2	76	91	55	
22,7	22,8	14,3	61	73	52	23,3	23,3	16,2	80	91	75	
20,7	23,2	18,9	92	96	60	22,8	24,9	21	92	98	79	
17	21,1	15,3	62	92	61	19,5	23,2	18,3	83	92	68	
17,9	18,4	12,9	50	64	43	18,8	18,5	15,4	68	81	67	
20,5	21,5	13,4	49	71	47	21,1	21,7	15,4	53	94	51	
25,3	25,4	16,8	62	73	51	25,8	25,8	18,5	81	91	43	
20,1	24,8	19,9	87	89	63	22,5	25,8	22,5	89	89	72	
19,3	20,8	18,6	83	90	72	21,2	21,9	20,5	85	90	82	
18,7	19,9	18,2	81	93	82	21,2	21,9	20,7	88	91	86	
17,2	19,1	16,1	90	97	87	18,4	20,6	17,5	82	98	80	
19	19,3	15,9	91	94	83	21,1	21,4	17,5	90	96	82	
19	20	16,1	68	93	62	21,9	22,5	19	96	99	90	
20,6	21,4	14,9	52	80	51	22,4	23,4	18,1	92	97	91	
23,8	26,6	16,7	64	81	52	26,2	28,3	19	83	94	83	
19,9	23,9	18,9	95	99	90	24,1	26,8	23,2	95	95	76	
17,9	22	17,4	58	99	50	22,8	25,8	22,8	82	94	82	
17,1	18,7	15,1	48	66	47	22,2	23,5	19,9	88	89	81	
17,8	19,6	11,4	50	59	41	20,9	22,8	16,5	89	93	80	
21,5	23,1	14,3	62	72	50	24,4	25,3	17,3	88	92	86	
25,9	26,8	18,8	57	79	55	27,2	28,7	21,6	77	89	74	
Média	19,09857143			73,17142857			21,30285714			84,4		

Data	Hora	Qualidade e Quantidade (g)													Total															
		Anabolina/Alice	Alho-poró	Beterraba	Brócolis	Café + Filé	Casca Alca	Casca Bari	Casca Beter	Casca Lata	Cenoura	Chicória	Couve	Couve-flor		Erva mate	Espinacre	Folha Alho	Folha Couf	Mamão	Pepino	Nabo	Radite-alef	Bama Betu	Bama Couf	Rama Cem	Rama Nabli	Repolho	Serragem	
03/11/2015	15:30													324														102	582	
04/11/2015	15:30			49		96								234														59	294	
05/11/2015	18:00													234														79	426	
06/11/2015	18:30					111								203														87	539	
07/11/2015	18:00													102														117	422	
08/11/2015	17:30													80														97	471	
09/11/2015	17:30				233									497														83	537	
10/11/2015	18:30																											101	598	
11/11/2015	17:00									138				198														95	273	
12/11/2015	18:30									145				228														107	639	
13/11/2015	18:00													366														104	550	
14/11/2015	18:00																											103	416	
15/11/2015	18:30																											85		
16/11/2015	18:30																											74		
17/11/2015	18:00																											97	220	
18/11/2015	17:00																											68	332	
19/11/2015	18:00																											73	474	
20/11/2015	18:30																											112	574	
21/11/2015	18:30																											121	488	
22/11/2015	19:00																											99	377	
23/11/2015	19:00																											55	739	
24/11/2015	18:30																											73	579	
25/11/2015	18:30																											109	397	
26/11/2015	19:00																											178	109	486
27/11/2015	18:30																											378	92	470
28/11/2015	19:00																											89	486	
29/11/2015	19:00																											115	379	
30/11/2015	18:30																											80	777	
01/12/2015	18:30																											101	300	
02/12/2015	18:00																											48	387	
03/12/2015	18:00																											32	686	
04/12/2015	18:30																											188	876	
05/12/2015	18:30																											134	417	
06/12/2015	19:00																											159	434	
07/12/2015	18:30																											140	859	
08/12/2015	19:00																											167	361	
09/12/2015	18:30																											83	369	
10/12/2015	17:30																											141	322	
11/12/2015	18:30																											155	309	
12/12/2015	19:00																											113	799	
13/12/2015	19:00																											140	593	
14/12/2015	19:00																											107	655	
TOTAL		701	481	49	570	516	1163	283	310	100	60	1000	357	1886	497	3304	541	37	113	938	657	460	145	530	324	523	953	4672	21492	

IN						OUT					
T (°C)	T max (°C)	T min (°C)	Ur (%)	Ur max (%)	Ur min (%)	T (°C)	T max (°C)	T min (°C)	Ur (%)	Ur max (%)	Ur min (%)
23,1	29,8	14,7	69	85	40	22,1	26,2	17,4	50	74	35
19,4	23,5	18,7	66	86	60	21,4	24,5	20,5	51	66	46
17,6	23,5	15,2	60	87	56	18,4	24,5	15,7	40	72	40
20,2	22,2	16,5	44	74	40	21,5	22,9	18,1	35	57	31
22,2	24,6	16,5	53	77	40	23,2	24,5	17,4	42	57	26
26,5	27,5	18,7	51	68	48	26,6	27,2	20,3	40	57	36
29,1	32,2	21,9	48	72	18	30	35,6	23,7	70	74	41
23,9	29,2	21,8	73	85	47	26,4	29,7	24,6	83	83	54
24,1	25,7	21,8	66	84	64	27,5	28,8	25,2	92	94	82
22,5	27,3	20,9	69	77	51	24,8	29,1	22,4	86	92	86
28,2	30,1	21,5	48	83	48	31,3	32,4	23,3	71	87	71
24	28,3	21	51	65	46	27,4	30,4	24,2	90	90	72
22,5	26,1	19	52	66	42	26,5	28,8	22,9	95	98	89
23,8	26,9	18,4	52	70	45	27,5	29,5	22,4	86	97	85
22,1	24	20,3	82	88	82	25,9	27,3	23,9	88	89	83
26,2	27,9	20,3	57	86	49	26,8	28,2	23,3	37	89	31
25,1	30,5	22,9	70	78	50	28,6	32,7	26,6	77	77	37
21	25,7	19,8	55	87	40	24,3	27,2	22,2	62	71	58
21,5	23,2	17,3	49	62	46	24,4	25,5	20,8	66	72	58
23,1	30,4	20,3	59	70	40	26,8	30,6	21,4	64	69	60
22,8	28,8	18,9	42	69	37	26,4	29,4	22,3	64	70	57
20,7	22,9	18,5	59	62	42	23,4	25	22	47	63	45
21,4	31,1	19	63	64	45	25,4	27,9	21,1	86	86	42
24,5	27,5	20,1	61	77	56	28,1	29,8	24	85	86	82
25,8	28,5	22,1	72	75	52	30,1	31,4	25,2	97	99	85
25,7	31,8	23,5	54	74	49	30,6	32,7	27,9	92	95	86
23,7	29,6	20,6	33	61	23	27,5	30,7	23,8	91	92	86
24,4	31,2	19	27	56	20	29,4	30,9	24,4	67	90	67
25,4	26,7	19	54	60	26	30,9	31,8	24,5	74	99	65
20,9	25,5	20,7	73	79	54	27,9	31,4	27,8	74	97	68
26,1	32,3	20,3	61	81	42	28,8	34,2	27,4	84	88	73
26,7	26,7	22,9	67	76	61	30,6	30,9	28,5	88	92	87
24,6	34,4	23,5	53	72	35	28,1	33,6	27,1	81	89	80
20,8	35,4	20,2	51	72	16	26,8	28,6	25,2	84	89	80
23,7	30,1	18,2	40	60	36	30,8	31,6	26,2	86	87	82
26,2	38,2	18,5	54	64	29	29,8	31,4	22,9	81	88	81
24,7	31,9	23,3	69	69	49	28,8	34,9	25,7	76	90	72
27,9	38,8	22,1	42	87	25	29,2	34,1	28,8	79	84	71
29,7	36,3	21,2	32	69	22	35,2	37,6	27	73	83	66
27,8	41,3	24,1	55	68	22	34,6	34,6	30,2	66	77	62
26,6	29,2	24,1	65	72	52	33,1	35,4	27,4	67	74	63
25,5	27,9	24,9	71	74	63	30,9	32,1	30,1	68	74	65
Média	24,725			58,32142857			27,04047619			73,13095238	

Data	Hora	Agrião	Alface	Brócolis	Café + Filtros	Casca Melão	Cenoura	Couve	Couve-flor	Erva mate	Espinafre	Figo	Folha Rábano	Melancia	Pitaita	Rama Couve	Rama Cenoura	Rama Nabo	Repolho	Rucula	Serragem	Total	
06/03/2016	18:30		98		149					589											102	938	
07/03/2016	19:00							203							310							139	652
08/03/2016	19:00				160	615																105	880
09/03/2016	18:30					481						176										123	780
10/03/2016	19:30				127											285						154	566
11/03/2016	20:30				84					230												143	373
12/03/2016	19:30									146							32					193	455
13/03/2016	19:30																151					125	316
14/03/2016	18:30				151												119					143	413
15/03/2016	20:00				67					151												127	644
16/03/2016	20:00				86								193									119	398
17/03/2016	20:00					708																110	818
18/03/2016	19:35				130	508																127	765
19/03/2016	19:25			157																		157	314
20/03/2016	20:30																		371			138	509
21/03/2016	19:00																		340			174	514
22/03/2016	20:30			161																		126	287
23/03/2016	20:00				134															167		148	449
24/03/2016	20:00				166						303											164	633
25/03/2016	19:00				264									714								185	1163
26/03/2016	20:00	149							204													183	536
27/03/2016	20:00																					192	367
28/03/2016	20:00									204												207	600
29/03/2016	19:00				43																	189	508
30/03/2016	20:00			157	194																	219	570
31/03/2016	20:00				289					228	128											230	875
01/04/2016	21:00									233												244	477
TOTAL		149	937	276	2044	2312	299	203	204	1172	1040	176	193	714	310	285	342	0	711	167	4266	15800	

IN						OUT						
T (°C)	T max (°C)	T min (°C)	Ur (%)	Ur max (%)	Ur min (%)	T (°C)	T max (°C)	T min (°C)	Ur (%)	Ur max (%)	Ur min (%)	
27,1	27,9	20,1	46	80	37	27,7	29,9	21,9	67	75	59	
25,4	27,2	22,4	49	52	44	27,4	28	24,5	72	78	67	
25,8	29,5	21,6	66	69	47	28,1	30,2	23,5	76	81	70	
23,8	25,8	22,5	75	90	67	25,8	27,1	25,2	60	72	56	
22,4	24,5	20,8	75	95	70	24,4	25,9	23,1	71	92	59	
22,2	25,4	20,6	69	80	54	24,6	27	22,9	79	80	70	
22,5	25,5	19,8	58	88	44	25,4	26,9	23	68	69	55	
22,2	25,5	20,4	61	69	50	24,5	26,1	22,1	71	75	61	
25,5	28	20,8	54	70	41	27,5	29,1	22,6	64	68	57	
24,5	28,9	21,8	65	72	44	27	29,9	23,8	77	81	68	
26,9	30,2	22,7	60	74	48	30,1	31,6	25,1	72	82	71	
28,4	31,4	23,9	52	73	43	31,2	33,8	26,8	75	92	69	
31,9	33,4	26,4	47	62	41	34,1	34,5	27	81	94	70	
22,2	31,8	22,1	75	79	50	22,9	33,2	22,5	70	81	67	
21,8	25	21,4	80	81	59	24,5	26,3	22,5	75	89	70	
23,9	26,1	21	77	86	75	26,4	28,1	22,9	86	89	69	
23,1	25,7	21,7	59	86	50	25,5	27,1	24	82	85	76	
23,5	24,5	21,2	56	74	50	26,3	27,8	23,9	88	90	77	
23,1	27,8	21	60	67	41	25,4	28,8	23,2	73	88	69	
19,9	23,3	19,4	84	86	59	23	26,1	22,8	69	70	65	
22,5	26,1	19,4	59	88	50	27,1	27,9	19,4	71	86	69	
22,8	25,7	21,2	66	67	49	27,8	29,7	23,6	70	71	61	
22,8	25,8	21,1	63	72	47	27,3	29,7	24,3	77	89	66	
25,4	27,5	21,1	58	75	45	26,3	27,7	23,2	82	94	77	
23,4	27,1	22,4	57	59	43	27,8	30	24,8	78	89	69	
23,8	28,6	22	68	73	53	27,8	30,8	23,4	71	82	69	
29	29,4	23,1	53	75	48	27,5	32,5	25,1	70	78	70	
Média	24,43518519			62,7962963			26,34814815			74,55555556		