

MÁRCIA APARECIDA SARTORI

**DESEMPENHO DE VERMIFILTROS NO TRATAMENTO DE ESGOTO
DOMÉSTICO EM PEQUENAS COMUNIDADES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S251d
2010

Sartori, Márcia Aparecida, 1981-
Desempenho de vermifiltros no tratamento de esgoto
doméstico em pequenas comunidades / Márcia Aparecida
Sartori. – Viçosa, MG, 2010.
xviii, 75f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Antônio Alves Soares.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 65-68.

1. Esgotos. 2. Irrigação com águas residuais.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

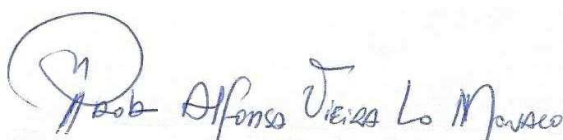
CDD 22. ed. 628.3

MÁRCIA APARECIDA SARTORI

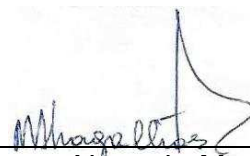
**DESEMPENHO DE VERMIFILTROS NO TRATAMENTO DE ESGOTO
DOMÉSTICO EM PEQUENAS COMUNIDADES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 9 de março de 2010.



Paola Alfonsa Vieira Lo Mônaco



Marcos Alves de Magalhães



Alisson Carraro Borges



Laércio dos Anjos Benjamin



Antônio Alves Soares
(Orientador)

Aos meus queridos pais,
João Batista e Maria José;
e aos meus queridos irmãos Marco e Sônia.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e pelas oportunidades a mim concedidas.

Aos meus pais e irmãos, pelo amor, pela compreensão, pela paciência e pelo incentivo em buscar novos conhecimentos.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), por meio do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), pela oportunidade e por ter ministrado os conhecimentos necessários à realização do curso.

Ao professor Antônio Alves Soares, pela orientação e participação efetiva neste trabalho.

Aos professores Antonio Teixeira de Matos e Laércio dos Anjos Benjamim, pelo aconselhamento e pela colaboração.

À Intec Consultoria e Assessoria LTDA e a todos os colegas de trabalho, que, em conjunto, me viabilizaram esta oportunidade de crescimento profissional e possibilitaram a conciliação dos estudos e do trabalho.

Ao grande amigo Rafael Oliveira Batista, pela amizade, pela colaboração e pelo incentivo para o cumprimento das atividades.

Ao grande amigo Sidiney Cabral de Sousa, pelo incentivo profissional em momentos importantes da minha vida, pelo carinho e pela amizade.

Ao grande amigo Gilberto Estanislau dos Santos, pela competência em operar a unidade experimental, pela ajuda na coleta de dados de campo, pela dedicação, pelo constante bom-humor, pela criatividade e pela amizade.

Ao Simão, pela grande ajuda no Laboratório de Qualidade da Água e pelo profissionalismo.

Aos meus colegas da Intec: Débora, Gilberto, Rafael, Sidiney, Aedra, André Luís, Juliete, Vanessa, Cláudia, Carlos Eduardo, Vanessa, Jane, Amanda, Gillian, Flávia, Sidna, André Lopes, Michel, Gabriel, Adinan, Rossini, Letícia e Brasileiro, pelo carinho e pela amizade.

Aos meus colegas de curso: Raquel, Ednaldo, Valdeir, Antover, Ed Carlo, Caio, Gustavo, Fabrício, Maike e Olga, pela harmoniosa convivência e pelo companheirismo durante o curso.

Aos estagiários: Jaqueline, Antônio Carlos, Tainan, Anderson e Talita, pela dedicação e colaboração durante a coleta de dados.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV: José Galinari, Gilberto, Edna, Claudenilson, Francisco, Eduardo, Marcos, José Mauro, Evaristo, D. Maria, Graça, Caititu, José Eustáquio e Luiz Mauro, pela atenção e extraordinária disposição em servir.

Às companheiras de república, pelo convívio, pelo apoio e pela amizade.

A todas as pessoas que contribuíram, direta e indiretamente, para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

MÁRCIA APARECIDA SARTORI, filha de João Batista Sartori e Maria José da Silva Sartori, nasceu em Guiricema, MG, em 23 de março de 1981.

Em 2001, matriculou-se no Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, graduando-se em outubro de 2006.

Em março de 2008, ingressou no Programa de Pós-Graduação da UFV, no Mestrado em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, submetendo-se à defesa da dissertação em março de 2010.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Caracterização do esgoto doméstico	4
2.2. Importância do tratamento de esgoto doméstico	7
2.3. Principais técnicas de tratamento de esgoto doméstico	8
2.4. Saneamento básico em comunidades rurais de baixa renda .	10
2.5. A técnica de tratamento de esgoto doméstico com vermifiltros	11
2.6. Principais características das minhocas	12
2.7. Legislação ambiental aplicada aos esgotos domésticos trata- dos	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	16

	Página
3.1. Localização e descrição da área experimental	16
3.2. Sistema de tratamento avaliado	17
3.3. Condução do experimento	20
3.4. Testes com as minhocas	20
3.5. Análises estatísticas	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1. Características físicas, químicas e bioquímicas do esgoto doméstico afluente e efluente dos vermifiltros	25
4.1.1. Variação do pH nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico	25
4.1.2. Variação da condutividade elétrica (CE) nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico	26
4.1.3. Variação da turbidez nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico	29
4.1.4. DBO obtida no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico	31
4.1.5. DQO obtida no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico	34
4.1.6. Concentração de óleos e graxas no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico	37
4.1.7. Concentração de fósforo total no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico	41
4.1.8. Concentração de sódio no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico	43
4.1.9. Concentração de potássio no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico	45
4.1.10. Concentração de sólidos totais no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico	47

	Página
4.1.11. Concentração de sólidos suspensos totais no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico	50
4.1.12. Concentração de nitrogênio obtida no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico	52
4.1.13. Concentração de nitrato no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico	55
4.2. Parâmetros biométricos das minhocas coletadas nos vermifiltros	58
5. CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS	65
APÊNDICE	69

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Principais microrganismos relacionados às doenças de veiculação hídrica	7
2 Análises de variância de pH, CE, TB, DBO, DQO, OG, P, Na ⁺ , K, ST, SST, NT e NO ₃ ⁻ , nos diferentes vermifiltros, taxas de aplicação e tempos de avaliação	24
3 Valores médios da variação do pH (%) do efluente em relação ao afluente, para tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação	25
4 Valores de pH no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros com lixo orgânico compostado (EVL), com bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e com serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 m ³ m ⁻² d ⁻¹	26
5 Valores médios da variação da CE (%) do efluente em relação ao afluente, para o tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação	27
6 CE (dS m ⁻¹) no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e 1,5 m ³ m ⁻² d ⁻¹	28

7	Valores médios da variação da turbidez (%) do efluente em relação ao afluente para cada tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação	29
8	Turbidez (UNT) no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e 1,5 $m^3 m^{-2} d^{-1}$	32
9	Valores médios da remoção de DBO (%) do esgoto doméstico para cada tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação ...	32
10	DBO ($mg L^{-1}$) obtida no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e 1,5 $m^3 m^{-2} d^{-1}$	34
11	Valores médios de remoção de DQO (%) do esgoto doméstico, de acordo com o tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação	35
12	DQO ($mg L^{-1}$) obtida no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e 1,5 $m^3 m^{-2} d^{-1}$	36
13	Valores médios de remoção de OG (%) dos afluentes, de acordo com o tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação nos vermifiltros	37
14	Concentração de OG ($mg L^{-1}$) no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e 1,5 $m^3 m^{-2} d^{-1}$	40
15	Valores médios da remoção de P (%) dos afluentes de acordo com o tipo de material orgânico constituinte, tempo e taxa de aplicação nos vermifiltros	41

16	Concentração de P (mg L^{-1}) obtido no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	42
17	Valores médios da remoção de Na^+ (%) dos afluentes, de acordo com o tipo de material orgânico constituinte, tempo e taxa de aplicação nos vermifiltros	43
18	Concentração de Na^+ ($\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$) obtido no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	45
19	Valores médios da remoção de K (%) dos afluentes de acordo com o tipo de material orgânico constituinte, tempo e taxa de aplicação nos vermifiltros	46
20	Concentração de K (mg L^{-1}) obtido no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	47
21	Valores médios da remoção de ST (%) dos afluentes, de acordo com o tipo de material orgânico constituinte, tempo e taxa de aplicação nos vermifiltros	48
22	Concentração de ST (mg L^{-1}) obtidos no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	49
23	Valores médios da remoção de SST (%) dos afluentes, de acordo com o tipo de material orgânico constituinte, tempo e taxa de aplicação nos vermifiltros	50
24	Concentração de SST (mg L^{-1}) obtidos no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	52

25	Valores médios da remoção de NT (%) dos afluentes, de acordo com o tipo de material orgânico constituinte, tempo e taxa de aplicação nos vermifiltros	53
26	Concentração de NT (mg L^{-1}) obtida no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	54
27	Valores médios da remoção de NO_3^- (%) dos afluentes, de acordo com o tipo de material orgânico constituinte, tempo e taxa de aplicação nos vermifiltros	55
28	Concentração de NO_3^- (mg L^{-1}) obtido no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	57
29	Análise de variância de massa, comprimento, diâmetro e número de minhocas, nos diferentes vermifiltros, taxas de aplicação e tempos de avaliação	59
30	Valores médios da massa das minhocas (g), em função do tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação de esgoto doméstico nos vermifiltros	60
31	Valores médios do comprimento das minhocas (mm), em função do tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação de esgoto doméstico nos vermifiltros	61
32	Valores médios do diâmetro das minhocas (mm), em função do tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação de esgoto doméstico nos vermifiltros	62
33	Valores médios do número de minhocas/ $0,01 \text{ m}^3$ para o tipo de material orgânico constituinte, tempo e taxa de aplicação de esgoto doméstico nos vermifiltros	62
1A	Variação da temperatura na água residuária afluente e efluente dos vermifiltros no mês de agosto	70
2A	Variação da temperatura na água residuária afluente e efluente dos vermifiltros no mês de setembro	71

	Página
3A Variação da temperatura na água residuária afluyente e efluente dos vermifiltros no mês de outubro	72
4A Variação da temperatura na água residuária afluyente e efluente dos vermifiltros no mês de novembro	73
5A Variação da temperatura na água residuária afluyente e efluente dos vermifiltros no mês de dezembro	74
6A Caracterização química do lixo orgânico compostado	75

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Tratamento: preliminar (a); de esgoto doméstico por disposição no solo via escoamento superficial (b); por fertirrigação via gotejamento (c); em lagoa facultativa (d); e por vermifiltros (e) e (f)	17
2 Protótipo: construídos em alvenaria, nas dimensões de 1,0 m de largura por 2,0 m de comprimento por 1,2 m de altura, destacando-se a vista frontal (a); protegidos com sombrite (b); preenchidos com materiais orgânicos (lixo compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira) (c); e contendo lixo orgânico compostado com a tubulação de alimentação do sistema (d)	19
3 Detalhe da coleta do material sólido no vermifiltro (a) e da amostra de material para contagem, medição e pesagem das minhocas (b)	21

RESUMO

SARTORI, Márcia Aparecida, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2010. **Desempenho de vermifiltros no tratamento de esgoto doméstico em pequenas comunidades.** Orientador: Antônio Alves Soares. Coorientadores: Antônio Teixeira de Matos e Laércio dos Anjos Benjamim.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar a eficiência de três vermifiltros, constituídos por bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira e lixo orgânico domiciliar compostado, utilizados para a remoção de poluentes de esgoto doméstico, buscando-se definir a taxa de aplicação de esgoto que proporcione melhor desempenho do sistema, avaliar a capacidade operacional do vermifiltro, ao longo do tempo de sua operação e avaliar a influência do tipo de material filtrante na eficiência dos vermifiltros. O experimento foi conduzido na Área Experimental de Tratamento de Resíduos (AETR) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG. Os vermifiltros foram avaliados em 27 protótipos construídos de alvenaria, nas dimensões de 1,0 m de largura por 2,0 m de comprimento por 1,2 m de altura, que foram destinados aos testes com três tipos de materiais orgânicos filtrantes e três taxas de aplicação de esgoto doméstico (0,5; 1,0 e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹). No interior de cada protótipo, foi colocado um litro de minhocas, o que corresponde a uma população em torno de 1.500 minhocas. Cada vermifiltro foi submetido

às três taxas de aplicação de esgoto doméstico e operado diariamente, por duas horas, na taxa de aplicação de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$; quatro horas, na de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$; e por seis horas, na de $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. A amostragem da água residuária foi feita no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, cujas análises físicas, químicas e bioquímicas foram realizadas com frequência mensal durante os cinco meses de experimentação. Além disso, foram obtidos dados biométricos (massa, comprimento e diâmetro) e contagem numérica das minhocas coletadas, a partir dos vermifiltros, para comparação, com valores obtidos ao se colocá-las nesses no início do experimento. Os protótipos testados proporcionaram remoções de até 91% nos valores de turbidez, 80% da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), 80% da demanda química de oxigênio (DQO), 78% dos óleos e graxas, 69% do fósforo total (P), 86% dos sólidos suspensos totais e 60% de nitrogênio total (NT) dos efluentes, no período de agosto a dezembro de 2009. Não houve diferenças significativas nos resultados, quando foram comparadas as taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e quanto à remoção de poluentes do esgoto doméstico. Entretanto, houve diferenças entre os tipos de materiais testados: a serragem de madeira e o bagaço de cana-de-açúcar proporcionaram melhor desempenho no tratamento de esgoto doméstico, pois o lixo orgânico compostado aumentou a concentração dos parâmetros físicos e químicos no efluente; bem como, não houve diferenças significativas entre os parâmetros biométricos analisados nas minhocas nos diferentes tipos de vermifiltros.

ABSTRACT

SARTORI, Márcia Aparecida, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2010. **Vermifilter performance in the treatment of household sewage waste in small communities**. Adviser: Antônio Alves Soares. Co-advisers: Antônio Teixeira de Matos and Laércio dos Anjos Benjamim.

This work aimed to analyze the efficiency of three vermifilters constituted of sugarcane bagasse, wood sawdust, and household composted organic garbage used for removal of household waste pollutants, aiming to: define sewage waste application rate providing the best system performance; to evaluate the operational capacity of vermifilters along time; and to evaluate the effect of type of filtering material on the efficiency of the vermifilters. The experiment was carried out at the Experimental Area of Sewage Waste Treatment of the Universidade Federal de Viçosa (UFV), in Viçosa, MG. The vermifilters were evaluated in 27 brick-built prototypes, 1.0 m wide, 2.0 m long and 1.2 m high, tested with three types of filtering organic materials and three application rates of household sewage waste (0.5; 1.0 and 1.5 m³ m⁻² d⁻¹). A liter of worms, corresponding to a population of around 1.500 worms, was placed inside each prototype. Each vermifilter was submitted to three application rates of household sewage waste and daily operated at an application rate of 0.5 m³m⁻² d⁻¹; during four hours for 1.0 m³ m⁻² d⁻¹ and during six hours for 1.5 m³ m⁻² d⁻¹. The residual water sampling was collected from the

influent and effluents of the vermifilters, whose physical, chemical, and biochemical analyses were conducted monthly during the five experimental months. In addition, biometric data were obtained (mass, length and diameter) and numerical count of the worms collected in the vermifilters for comparison with the values obtained when the worms were placed in them in the beginning of the experiment. The prototypes tested provided removal of up to 91% in turbidity values, 80% of biochemical oxygen demand (BOD), 80% of chemical oxygen demand (COD), 78% of the oils and greases, 69% of total phosphorus (P), 86% of total suspended solids and 60% of total nitrogen (TN) of the effluents, from August to December 2009. No significant differences in the results were found when the application rates of 0.5; 1.0; and 1.5 m³ m⁻² d⁻¹ were compared nor in relation to the removal of household waste pollutants. However, differences were found between the types of materials tested, with wood sawdust and sugarcane bagasse providing a better sewage treatment performance, as the composted organic waste increased the concentration of the physical and chemical parameters in the effluent, with no significant differences being found between the biometric parameters analyzed in the worms in the different types of vermifilters.

1. INTRODUÇÃO

A inadequação dos serviços de saneamento básico é uma das principais causas de doenças e de poluição hídrica no mundo. De acordo com o Relatório de Desenvolvimento Humano (HUMAN DEVELOPMENT REPORT – HDR, 2006), cerca de 2,6 bilhões de habitantes moram em domicílios sem rede de esgoto, e cerca de 1,7 milhões de crianças morrem em decorrência de diarreias e de outras doenças provocadas pela água contaminada ou por más condições de saneamento.

O lançamento de esgoto doméstico bruto em cursos d'água altera as características naturais da água, sob os parâmetros biológicos, químicos e físicos, comprometendo, conseqüentemente, a qualidade para o consumo humano ou mesmo para o uso em atividades agropecuárias. Essa alteração pode inviabilizar sua captação à jusante de pontos de lançamento, particularmente quando a carga orgânica lançada atingir níveis que tornem economicamente inexecutável o tratamento para a sua potabilização.

Vale ressaltar, ainda, que as tecnologias convencionais utilizadas pelas companhias de saneamento são inviáveis para utilização em estações de tratamento para comunidades rurais de baixa renda, tanto pelo alto custo de implantação e manutenção como pela grande dispersão populacional existente na zona rural. Existe, portanto, necessidade de desenvolvimento de tecnologias

de baixo custo e de fácil operação para o tratamento de esgoto doméstico para pequenas comunidades.

Os vermifiltros são dispositivos compostos de materiais orgânicos e inorgânicos, geralmente de três camadas: a primeira, constituída de material orgânico, na qual deverá haver o desenvolvimento de microrganismos e minhocas, responsáveis pela absorção e degradação da matéria orgânica presente nos esgotos domésticos; a segunda, por cascalho; e a terceira, por brita (SOTO; TOHÁ, 1998).

Soto e Tohá (1998) consideram os vermifiltros alternativa para uso no tratamento de águas residuárias domésticas e industriais produzidas em pequena escala, que têm como principais vantagens a inexistência da emissão de maus odores, o fácil manejo e o baixo custo de instalação. Além disso, o efluente desse sistema pode ser utilizado como fertirrigação de culturas, reduzindo, assim, os custos com fertilizantes convencionais.

Laws (2003) analisou a qualidade de efluentes de vermifiltros de serragem de madeira, operando com esgoto doméstico bruto na taxa de $1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e obteve remoção de 95% na demanda química de oxigênio (DQO), 80% dos sólidos suspensos totais (SST) e 70% no nitrogênio e fósforo. Entretanto, há necessidade de testar o sistema utilizando outros substratos.

Segundo Matos (2007), os materiais orgânicos a serem utilizados em filtros orgânicos devem ser, preferencialmente, subprodutos da agroindústria ou resíduos agrícolas, como casca de arroz, casca dos frutos do cafeeiro, pergaminho de grãos de café, bagaço de cana-de-açúcar, sabugo de milho, serragem de madeira, casca de coco, capim picado, entre outros, uma vez que estão facilmente disponíveis em áreas agroindustriais e podem ser dispostos de forma mais harmônica no meio ambiente, após serem submetidos à compostagem.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar a eficiência de vermifiltros constituídos por bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira e lixo orgânico domiciliar compostado, colonizados em sua camada superior com minhocas da espécie *Eisenia phoetida*, para a remoção de poluentes de esgoto doméstico, a fim de definir a taxa de aplicação de esgoto doméstico que proporcione melhor desempenho do sistema; verificar a capacidade

operacional do vermifiltro; e avaliar a influência do tipo de material filtrante na eficiência dos vermifiltros em remover poluentes.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Caracterização do esgoto doméstico

A água residuária doméstica é aquela que provém, principalmente, de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou quaisquer edificações que dispõem de instalações com banheiros, lavanderias e cozinhas. É constituída por dejetos humanos (fezes e urina) e águas utilizadas nas diversas atividades diárias, como asseio corporal, preparo de alimento, lavagem de roupas e utensílios domésticos (VON SPERLING, 2005).

As fezes humanas são compostas por alimentos, digeridos ou não, albuminas, gorduras, carboidratos, proteínas, sais e infinidade de microrganismos (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Na urina, são eliminadas algumas substâncias, como a ureia, resultantes das transformações químicas (metabolismo) de compostos nitrogenados (proteínas). As fezes e, principalmente, a urina, contêm grande porcentagem de água, além de matéria orgânica e inorgânica. No esgoto, 20% de matéria orgânica é composto de fezes e 2,5% de urina (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Segundo Jordão e Pessôa (2005), as principais características físicas ligadas aos esgotos domésticos são a presença de matéria sólida, temperatura, odor, cor e turbidez.

Os esgotos domésticos contêm, aproximadamente, 99,9% de água e apenas 0,1% de sólidos. Este percentual de sólidos é responsável por problemas de poluição das águas, tornando necessário o tratamento dos esgotos (JORDÃO; PESSÔA, 2005; TERADA et al., 1985).

A temperatura do esgoto é, em geral, pouco superior à das águas de abastecimento, variando de 20 a 25°C. A velocidade de decomposição do esgoto é proporcional ao aumento da temperatura, o que propicia a diminuição na viscosidade e a melhora das condições de sedimentação do material em suspensão (METCALF & EDDY INCORPORATION – MEI, 1985; JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Os odores característicos do esgoto são causados pelos gases formados no processo de decomposição. Assim, o odor de mofo (típico do esgoto fresco) e o de ovo podre (típico do esgoto velho ou séptico) ocorrem devido à presença de gás sulfídrico (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

A cor é característica decorrente da presença de substâncias dissolvidas e, na maioria das vezes, de natureza orgânica. Já a turbidez é por causa da presença de substâncias em suspensão (sólidos suspensos). Essas indicam, de imediato, o estado de decomposição do esgoto. A tonalidade acinzentada acompanhada de alguma turbidez é típica do esgoto fresco e a cor preta é típica do esgoto velho (MEI, 1985; AZEVEDO NETTO, 1987; JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Segundo Jordão e Pessôa (2005), as principais características químicas dos esgotos domésticos são as matérias orgânica e inorgânica.

Cerca de 70% dos sólidos contidos no esgoto são de origem orgânica. Geralmente, esses compostos orgânicos são combinação de carbono, hidrogênio e oxigênio e, algumas vezes, nitrogênio (SILVA; MARA, 1979).

As substâncias orgânicas presentes nos esgotos são compostas de proteínas (40 a 60%), carboidratos (25 a 50%), gorduras e óleos (10%) e surfactantes (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA, 2004).

As proteínas são produtoras de nitrogênio e contém carbono, hidrogênio, oxigênio e, algumas vezes, fósforo, enxofre e ferro. Elas são os principais constituintes dos organismos animais, mas estão presentes, também,

em plantas. O gás sulfídrico presente nos esgotos é proveniente do enxofre advindo das proteínas (PAGANINI, 1997).

Os carboidratos contêm carbono, hidrogênio e oxigênio e são as principais substâncias a serem destruídas pelas bactérias, com a produção de ácidos orgânicos; por esta razão, os esgotos velhos apresentam maior acidez (FUNASA, 2004).

As gorduras, também denominadas matéria graxa e óleos, provêm de manteiga, óleos vegetais, carne e derivados de petróleo. Elas são indesejáveis, em razão da sua aderência às paredes das canalizações, o que pode provocar entupimento (FUNASA, 2004).

Os surfactantes são constituídos por moléculas orgânicas com a propriedade de formar espumas no corpo receptor ou na estação de tratamento de esgoto (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

A quantidade de matéria orgânica presente nos esgotos é expressa por dois parâmetros primordiais que indicam o nível de contaminação de um corpo d'água: demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO). A DBO mede a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar biologicamente a matéria orgânica presente em uma amostra. Num efluente, quanto maior a quantidade de matéria orgânica biodegradável maior será a DBO. Normalmente, a DBO dos esgotos domésticos varia entre 100 e 400 mg L⁻¹, enquanto em cursos d'água naturais, em torno de 10 a 15 mg L⁻¹ (NUVOLARI, 2003). Com a análise da DQO, visa-se quantificar o consumo de oxigênio que ocorre durante a oxidação química dos compostos orgânicos e inorgânicos presentes numa determinada amostra. A oxidação química do material orgânico é obtida por oxidantes fortes como o permanganato ou dicromato de potássio (NUVOLARI, 2003).

Segundo Andrade Neto (1997), a matéria inorgânica nos esgotos é constituída, principalmente, pela presença de areia, proveniente das águas de lavagens das ruas e das do subsolo, que chegam às galerias de modo indevido ou que se infiltram através das juntas das canalizações.

2.2. Importância do tratamento de esgoto doméstico

A América Latina enfrenta sérios problemas com a alta incidência de doenças relacionadas à falta de saneamento básico. As populações mais afetadas são as que vivem em localidades pobres, periféricas e rurais. Estes locais, por não possuírem sistemas de esgoto ou drenagem apropriados, fazem com que elevada carga de poluição seja despejada nos corpos de água, muitos dos quais são utilizados no abastecimento de água sem nenhum tratamento antes do seu consumo. Como consequência, depara-se com um ciclo vicioso, em que o homem ingere água contaminada, infecta-se e depois, com seus dejetos, volta a contagiar a fonte de água. Este ciclo ocorre com as principais doenças relacionadas com a água (GALAL-GORCHEV, 1996), que são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais microrganismos relacionados às doenças de veiculação hídrica

Organismos	Principais doenças	Quantidade excretada por indivíduo infectado/g de fezes	Máxima sobrevivência na água (dias)	Dose infectante ^a
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenterite	10 ⁸	90	10 ² -10 ⁹
<i>Salmonella typhi</i>	Febre tifóide	10 ⁶	-	-
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	10 ⁶	30	10 ⁸
<i>Salmonella typhimurium</i>	Salmonelose	10 ⁶	60 - 90	10 ⁶ - 10 ⁸
<i>Cryptosporidium</i> sp.	Criptosporidiose	10 ²	-	1 - 30
<i>Entamoeba histolytica</i>	Desintéria amebiana	10 ⁷	25	10 - 100
<i>Giardia lamblia</i>	Giardíase	10 ⁵	25	1 - 10
<i>Adenovírus</i> (31 tipos)	Doenças respiratórias	10 ⁶	-	-
<i>Enterovírus</i> (71 tipos) (Polio, Echo, Coxsackie)	Gastroenterite, anomalias no coração, meningite etc.	10 ⁷	90	1 - 72
Vírus da hepatite A	Hepatite infecciosa	10 ⁶	5 - 27	1 - 10
<i>Rotavírus</i>	Gastroenterite	10 ⁶	5 - 27	1 - 10
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariíase	10 - 10 ³	365	2 - 5
<i>Taenia solium</i> (solitária)	Cisticercose	10 ³	270	1
<i>Shistosoma mansoni</i>	Esquistosomose	-	-	-

Fonte: Adaptada da United States Environmental Protection Agency – USEPA (1999).

^a Dose infectante que provoca sintomas clínicos em 50% dos indivíduos testados.

Dentre as doenças de importância primária causadas pela contaminação com o esgoto doméstico estão a cólera, leptospirose, febre tifoide, febre paratifoide, disenteria bacilar, amebíase, esquistosomose, enterobíase, giardíase, salmonelose, as quais provocam milhões de mortes em todo mundo, em especial em países em desenvolvimento.

A Organização Mundial de Saúde (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD – OMS, 1999) constatou que 80% de todas as doenças que se alastram nos países do Terceiro Mundo são provenientes de água contaminada. Sabe-se que a diarreia é responsável pelos elevados índices de mortalidade na América Latina e no Caribe, provocando cerca de 200 mil mortes a cada ano, cifra esta que aumenta em muito se levar em conta a febre tifoide e a hepatite.

2.3. Principais técnicas de tratamento de esgoto doméstico

O grau de remoção dos poluentes de águas residuárias, de forma a adequar o lançamento à qualidade desejada ou ao padrão de qualidade vigente, está associado aos conceitos de nível e eficiência no tratamento.

Segundo Chernicharo et al. (2006), usualmente, consideram-se as seguintes etapas de tratamento dos esgotos domésticos:

- Tratamento preliminar: tem por finalidade remover as partículas sólidas grosseiras (granulometrias maiores que 0,25 mm) em suspensão nos esgotos domésticos, por meio de processos físicos. Utilizam-se grades, caixas de areia para a remoção de sólidos sedimentáveis e caixas de gordura para separação de materiais insolúveis como óleos e graxas.
- Tratamento primário: objetiva a redução de sólidos em suspensão por meio de estruturas dimensionadas para se obter tempo de detenção maior que o empregado no tratamento preliminar ou utilizando-se equipamentos que possibilitem a sedimentação de partículas. Sedimentadores, flotores e filtros pertencem a essa classe.
- Tratamento secundário: tem por finalidade a redução de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos muito pequenos. Os processos biológicos de remoção utilizados classificam-se em: aeróbio, quando são empregados

microrganismos que necessitam continuamente de oxigênio dissolvido, no meio líquido, fornecido por aeradores mecânicos ou pela circulação dos líquidos (lagoas aeradas); e anaeróbio, quando usam-se microrganismos que não necessitam de oxigênio dissolvido no meio líquido, aplicado em esgotos domésticos com alta carga orgânica.

- Tratamento terciário: objetiva a redução do nível populacional de bactérias patogênicas, bem como a remoção final da matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e outros elementos presentes na água. De forma geral, é empregado quando o efluente vai ser drenado para rios, lagos e represas ou para reutilização da água. Como exemplos, têm-se lagoas de maturação e carvão ativado (PERDOMO et al., 2003).

As tecnologias convencionais usadas pelas companhias de saneamento são inviáveis para utilização em estações de tratamento para comunidades rurais de baixa renda, tanto pelo alto custo de implantação e manutenção como pela grande dispersão populacional existente na zona rural. Há, portanto, necessidade de desenvolvimento de tecnologias de baixo custo e de fácil operação para o tratamento de esgoto doméstico. Nesse sentido, destacam-se os filtros orgânicos e vermifiltros.

Os filtros orgânicos são sistemas constituídos por resíduos orgânicos utilizados para remover, por filtração, sólidos em suspensão contidos em águas residuárias de atividades humanas, agropecuárias e industriais. Trata-se de opção interessante, tendo em vista a abundância de resíduos sólidos orgânicos em áreas urbanas, industriais e rurais; o baixo custo de aquisição; e a possibilidade de compostagem do material depois de utilizado nos filtros.

Matos et al. (2003) propuseram a utilização de filtros orgânicos no tratamento primário de águas residuárias da suinocultura. Os materiais filtrantes usados no estudo foram o bagaço de cana-de-açúcar, a casca de arroz, a casca de café, o fino do carvão vegetal, o sabugo de milho e a serragem de madeira, que proporcionaram remoções nas concentrações de cobre, sólidos sedimentáveis e sólidos totais do efluente de até 44, 90 e 33%, respectivamente.

Lo Monaco et al. (2004) obtiveram remoções de demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, sólidos totais, nitrogênio total e

fósforo total de até 40, 80, 70, 50 e 65%, respectivamente, com o tratamento de águas residuárias da suinocultura em filtros de serragem de madeira, utilizando diferentes faixas granulométricas do material filtrante.

Magalhães et al. (2006) conseguiram remoções de sólidos suspensos e sólidos totais de 90 a 99% e de 43 a 57%, respectivamente, em filtros de serragem de madeira e de 81 a 96% e de 50 a 56%, respectivamente, para os de bagaço de cana-de-açúcar, com tempo de operação médio de 1 a 1,7 h e área superficial de 1 m², suficiente para o tratamento de 3.600 a 5.500 L de águas residuárias da suinocultura.

Os vermifiltros são variantes dos filtros orgânicos, possuindo, geralmente, três camadas: a primeira é constituída de resíduo sólido orgânico, na qual deverá haver o desenvolvimento de microrganismos e minhocas (*Eisenia phoetida*), responsáveis pela absorção e degradação da matéria orgânica presente nos esgotos domésticos; a segunda, formada de cascalho, e a terceira, por brita, servem de apoio e aeração ao sistema, garantindo a sua permeabilidade (SOTO; TOHÁ, 1998).

Soto e Tohá (1998) consideram o sistema alternativa de uso para o tratamento de águas residuárias domésticas e industriais, produzidas em pequena escala, e que têm como principais vantagens a inexistência da emissão de maus odores, o fácil manejo e baixo custo de instalação.

Considerando a necessidade de se obterem mais informações técnicas e científicas relativas ao tratamento e aproveitamento agrícola de esgotos domésticos, torna-se imprescindível gerar conhecimentos que sejam técnica e economicamente viáveis e ambientalmente aceitos pela sociedade.

2.4. Saneamento básico em comunidades rurais de baixa renda

No Brasil, aproximadamente 45 milhões de pessoas não têm acesso a serviços de coleta de esgoto. Do total do esgoto coletado, cerca de 30% é tratado antes de ser lançado nos corpos hídricos receptores (HDR, 2006). O lançamento de esgoto doméstico bruto em cursos d'água altera as características naturais da água a partir do ponto de lançamento e compromete

sua qualidade para consumo humano ou mesmo para uso em atividades agropecuárias.

Tem-se verificado, a partir dos avanços tecnológicos no tratamento de esgoto, a viabilização de projetos de sistemas com grande eficiência para o tratamento de águas residuárias. Contudo, essas novas tecnologias estão voltadas especialmente para o tratamento de grandes volumes de resíduos e para grandes cidades.

Segundo Javarez Júnior et al. (2007), apesar da falta de estudos científicos sobre o assunto, na área rural, a contaminação do solo e das águas de superfície e subterrâneas decorrentes do não tratamento das águas residuárias domiciliares e das residuárias geradas em outras atividades zootécnicas já é realidade que preocupa diversos setores da sociedade, gerando a necessidade de alternativas para o seu tratamento de forma descentralizada e por meio de sistemas com baixo custo de instalação e manutenção e, ainda, de fácil operação.

Uma opção para solucionar o problema do tratamento do esgoto doméstico em pequenas comunidades rurais é o uso dos filtros orgânicos e dos vermifiltros.

2.5. A técnica de tratamento de esgoto doméstico com vermifiltros

Na Universidade do Chile, foi desenvolvido um sistema de tratamento de águas residuárias constituído por um vermifiltro, e posterior exposição do efluente à radiação ultravioleta, utilizando-se, para isso, uma câmara de radiação ultravioleta com exposição de tempo de 2,5 minutos a uma intensidade de 30 W m^{-2} . Este sistema é denominado Sistema Tohá (SOTO; TOHÁ, 1998).

A água residuária passa através do vermifiltro pela ação da gravidade, parcialmente absorvida; parte da matéria orgânica é retida e degradada, ocorrendo filtração, adsorção, reações aeróbias e anaeróbias específicas.

Neste sistema, ao aplicar uma taxa de $1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de esgoto doméstico bruto, foram obtidas reduções na ordem de 99% de DBO, 89% de nitrogênio e 70% de fósforo; duas a três unidades logarítmicas de coliformes

termotolerantes; e reduções superiores a 95% para sólidos totais e de 96% para sólidos suspensos totais (SOTO; TOHÁ, 1998).

Laws (2003) analisou a qualidade da filtração de vermifiltros, operando com esgoto doméstico bruto na taxa de $1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, e obteve remoção de 95% na demanda química de oxigênio, 80% dos sólidos suspensos totais e 70% no nitrogênio e fósforo.

Este tipo de tratamento tem vantagens, que são consideradas como alternativa para o tratamento das águas residuárias domésticas e industriais para pequenas e médias escalas, removendo aspectos indesejáveis como turbidez, odor e cor, além de ser de fácil operação, econômico e eficiente (LAWS, 2003).

Segundo Laws (2003), esse sistema de tratamento de águas residuárias é completo, não havendo tratamento primário, secundário e terciário, e nem formação de lodos, pois toda a matéria orgânica é consumida e transformada em material humificado. O sistema não se impermeabiliza, devido à ação das minhocas que ficam em constante movimento, perfurando constantemente o filtro, permitindo a passagem da água residuária. Esse não utiliza elementos químicos; portanto, os custos operacionais são mínimos, já que requerem somente o consumo energético das bombas hidráulicas. O sistema funciona por unidade de superfície, sendo um sistema modular, podendo ser ampliado de acordo com as necessidades (SOTO; TOHÁ, 1998).

O nível de eficiência do sistema, na remoção de matéria orgânica, é comparável a outros de maiores custos e pode sofrer variações bruscas de pH e temperatura sem maiores problemas; suporta precipitações e alta incidência de radiação solar. As minhocas se reproduzem constantemente e, por isso, não é necessária a sua reposição (SOTO; TOHÁ, 1998).

2.6. Principais características das minhocas

As minhocas pertencem ao filo *Anellida*, possuem o corpo segmentado e apresentam divisões denominadas metâmeros, semelhantes a anéis, razão pela qual são chamadas de anelídeos. Seus órgãos de sentido são pouco desenvolvidos, exceto o tato. A espécie *Eisenia phoetida* apresenta alta

capacidade reprodutiva e tem preferência por ambientes com elevado conteúdo de matéria orgânica (VERAS; POVINELLI, 2004).

A umidade no meio é determinante para a sua sobrevivência, o que faz com que as minhocas prefiram, como “habitat” natural, os solos úmidos, porosos, fofos, nitrogenados, ligeiramente alcalinos e que contenham reservas de nutrientes. Apesar de as minhocas não possuírem olhos, sofrem de fotofobia e têm aversão à luz ultravioleta, que lhes é fatal. São pecilotérmicos (sangue frio) como peixes e anfíbios. Ressalta-se que o sangue das minhocas é composto de hemoglobina de coloração vermelha. Elas absorvem o oxigênio pela pele e liberam o dióxido de carbono, transferindo sensação de frio ao serem tocadas (BIDONE, 2001).

Segundo Vieira (1993), as minhocas vivem em galerias ou túneis cavados por elas mesmas, como proteção contra condições ambientais adversas ou ao ataque de predadores. Essas galerias podem atingir mais de 2 m de profundidade, arejando o solo e permitindo infiltração melhor das águas das chuvas.

Para cavar essas galerias, nos solos fofos ou macios, as minhocas usam a sua extremidade anterior, vão se esticando e empurrando a terra com força muscular seis vezes maior, proporcionalmente à dos músculos de um homem, e depois, vencido o espaço, dilatam a sua região faríngea e distendem os anéis do seu dorso, forçando os grãos de terra a se afastarem, por compressão para os lados, formando, assim, as galerias pelas quais elas transitam. Nos solos compactos ou duros, as minhocas têm que escavar a terra com a boca para abrir a sua galeria. Nesse caso, a terra retirada passa através do seu tubo digestivo (VIEIRA, 1993).

Nos solos que contêm minhocas, as águas das chuvas vão penetrando pelas galerias formadas por estas, aumentando a capacidade de retenção da água e, conseqüentemente, evitando o escoamento superficial.

Além disso, as minhocas produzem húmus, que é o resultado da transformação da matéria orgânica por elas ingerida. Este é inodoro, leve, solto, macio, sem contaminações, rico em sais assimiláveis pelas plantas e estável; possui pH neutro e não está mais sujeito a fermentações, podendo ser usado na adubação do solo (VIEIRA, 1993).

As minhocas são hermafroditas que não se autofecundam; a permuta de sêmen ocorre quando dois animais se justapõem com formação de um casulo, 48 h após a copulação. Uma camada mucosa é produzida sobre o clitelo, que endurece gradativamente ao ser exposta ao ar. O interior dos casulos é preenchido por substância albuminóide, da qual os embriões se nutrem. Estes são expelidos por contração do animal e permanecem cerca de duas a três semanas no solo, ambiente onde eclodem os ovos. Cada casulo contém entre 10 a 20 ovos onde se desenvolvem duas a três larvas em média (BIDONE, 2001).

Quanto à anatomia interna, as minhocas apresentam cérebro, cerca de cinco corações, papo, moela e intestinos. No aparelho digestivo, destaca-se o tubo que se estende desde a boca até o ânus, apresentando várias dilatações em seu trajeto. Na faringe, o alimento recebe uma espécie de saliva, contendo muco para facilitar seu deslocamento e a degradação de substâncias por ação de várias enzimas digestivas. O alimento já amolecido é triturado pela ação de sua forte musculatura e dura cutícula na moela. Pelos rins, são eliminadas amônia, ureia e creatinina. Após a ingestão de matéria orgânica, os produtos de excreção das minhocas são resultantes da ação de microrganismos naturalmente existentes no intestino desses anelídeos. A aeração do meio ambiente, a porosidade do solo e a estabilidade da temperatura nas faixas ideais são fatores complementares que participam da dinâmica das minhocas (BIDONE, 2001).

A espécie *Eisenia phoetida* apresenta rápido crescimento, excelente proliferação e habilidade de converter resíduos orgânicos pouco decompostos em material estabilizado (húmus). Nesse processo de biodegradação, as minhocas e a microflora, que vive nos respectivos tratamentos digestivos, atuam de forma combinada, em consórcio (AQUINO et al., 1992).

2.7. Legislação ambiental aplicada aos esgotos domésticos tratados

Em termos gerais, as exigências nacionais para a qualidade dos esgotos tratados e o lançamento nos cursos d'água receptores devem satisfazer à legislação vigente como disposto na Resolução CONAMA

357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelecer as condições e os padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2005).

A Resolução CONAMA 357/2005 também delega aos órgãos ambientais estaduais as funções de fiscalizar, orientar e punir as atividades potencialmente poluidoras, bem como definir diretrizes locais para emissão dos efluentes, caso necessário.

No estado de Minas Gerais, o lançamento direto de efluentes em corpos d'água receptores deve atender tanto a padrões estabelecidos pela legislação federal (Resolução CONAMA 357/2005) quanto pela estadual (Deliberação Normativa COPAM 01/2008), que estabelecem normas e padrões para qualidade das águas, lançamento de efluentes nas coleções de água e outras providências (BRASIL, 2005 e 2008).

Resume-se, a seguir, o disposto dessa norma, em termos de padrão de lançamento de efluentes de esgoto doméstico em corpos hídricos receptores:

- Potencial hidrogeniônico (pH): entre 6 e 9.
- Temperatura: inferior a 40°C. A variação de temperatura do corpo hídrico receptor não deverá exceder a 3°C na zona de mistura.
- Sólidos sedimentáveis (SP): até 1 mL L⁻¹, com o teste em cone de Imhoff, durante 1 h.
- Óleos e graxas (OG): até 50 mg L⁻¹.
- Ausência de material flutuante.
- DBO: até 60 mg L⁻¹ ou tratamento com eficiência de redução de DBO em no mínimo 60% e média anual igual ou superior a 70%.
- DQO: até 180 mg L⁻¹ ou tratamento com eficiência de redução de DQO em no mínimo 55% e média anual igual ou superior a 65%.
- Sólidos suspensos totais: até 100 mg L⁻¹.
- Os efluentes não poderão conferir ao corpo hídrico receptor características em desacordo com o seu enquadramento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e descrição da área experimental

Este trabalho foi realizado na Área Experimental de Tratamento de Resíduos (AETR), uma das áreas experimentais do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), situada em Viçosa, Minas Gerais, tendo como coordenadas geográficas latitude 20°45'14" S, longitude 42°52'53" W e altitude média de 650 m.

A AETR é constituída por uma estação elevatória e uma unidade de tratamento de água residuária de origem doméstica, abastecida com esgoto proveniente do condomínio residencial Bosque Acamari. Nessa área experimental, são conduzidos vários experimentos como os dos tratamentos de esgoto doméstico por disposição no solo via escoamento superficial; por fertirrigação via gotejamento, por sistema alagado construído; em lagoa facultativa; e por vermifiltros. Em alguns experimentos, a água residuária recebe tratamento primário e, em outros, passa apenas pelo tratamento preliminar, conforme Figura 1.



Figura 1 – Tratamentos: preliminar (a); de esgoto doméstico por disposição no solo via escoamento superficial (b); por fertirrigação via gotejamento (c); em lagoa facultativa (d); e por vermifiltros (e) e (f).

3.2. Sistema de tratamento avaliado

Para avaliar a eficiência do tratamento de esgoto doméstico com os vermifiltros, o afluente passou por tratamento preliminar, constituído de um desarenador, um medidor de vazão e uma caixa de homogeneização; por um tratamento primário, em um tanque séptico com tempo de detenção de 14 horas; e, em seguida, pelos vermifiltros.

Os vermifiltros foram avaliados em 27 protótipos construídos de alvenaria, nas dimensões de 1,0 m de largura por 2,0 m de comprimento por

1,2 m de altura, onde foram ensaiados três tipos de materiais orgânicos filtrantes (bagaço de cana-de-açúcar com granulometria de 5,0 a 8,0 mm, serragem de madeira e lixo orgânico domiciliar compostado com granulometria de 2,0 a 5,0 mm) e três taxas de aplicação de esgoto doméstico bruto (0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). A granulometria do bagaço de cana-de-açúcar e da serragem de madeira utilizadas foi escolhida com base nos trabalhos de Lo Mônaco et al. (2004), que pesquisaram a melhor granulometria para o tratamento de águas residuárias da suinocultura em filtros orgânicos.

Os materiais bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira foram selecionados, com base nos trabalhos de Brandão (1999), Lo Mônaco (2001) e Magalhães et al. (2006), em que foi analisada a operação de diferentes tipos de materiais e granulometrias em filtros orgânicos com água residuária da suinocultura, pois apresentaram maior eficiência no tratamento. A fração orgânica segregada do lixo foi escolhida com o objetivo de reutilizar resíduos sólidos urbanos no tratamento de esgoto doméstico.

Os protótipos de vermifiltros (Figura 2) foram preenchidos com uma camada superior de 0,60 m de espessura de material orgânico, onde foram adicionadas minhocas da espécie *Eisenia phoetida* e uma camada inferior de brita # 1, com espessura de 0,20 m, visando favorecer a drenagem no vermifiltro.

No fundo de cada módulo, foi instalado um sistema de drenagem, composto por tubos de PVC com diâmetro nominal de 32 mm, para a coleta do efluente tratado.

Na montagem dos vermifiltros, os materiais orgânicos foram acondicionados nos protótipos de forma gradual, em camadas de 20 cm de espessura, sob compressão de $16,35 \text{ kN m}^{-2}$, pressão exercida por um homem, de 50 kgf de peso apoiado em um só pé, até ser atingida a altura de 60 cm. A compressão exercida sobre os diversos tipos de materiais orgânicos foi escolhida com base nos trabalhos de Magalhães et al. (2006), que pesquisaram a melhor compressão de materiais orgânicos para o tratamento de águas residuárias da suinocultura em filtros orgânicos.



Figura 2 – Protótipos: construídos em alvenaria, nas dimensões de 1,0 m de largura por 2,0 m de comprimento por 1,2 m de altura, destacando-se a vista frontal (a); protegidos com sombrite (b); preenchidos com materiais orgânicos (lixo compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira) (c); e contendo lixo orgânico compostado com a tubulação de alimentação do sistema (d).

Os protótipos foram circundados por sombrite, para evitar a ação de predadores naturais das minhocas, e abastecidos com esgoto doméstico, utilizando-se três motobombas de 1 cv, três reservatórios de 5 m³ e tubos de PVC de 25 mm perfurados ao longo do seu comprimento, formando pequenos tubos janelados.

Para a determinação da taxa de aplicação, foi medida e ajustada a vazão de entrada em todos os vermifiltros. Em função desta vazão, obteve-se o tempo de aplicação de 2 horas para a taxa de 0,5 m³ m⁻² d⁻¹; 4 horas, para a de 1,0 m³ m⁻² d⁻¹; e 6 horas, para a de 1,5 m³ m⁻² d⁻¹.

3.3. Condução do experimento

O experimento foi realizado no período de 1.º de agosto a 23 de dezembro de 2009.

As características físicas e químicas do afluente e do efluente dos vermifiltros foram analisadas a cada 30 dias de funcionamento do sistema, em conformidade com as recomendações contidas no *Standard Methods* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA, 2005).

Os valores de temperatura (T) foram medidos “in loco” com termômetro digital. No Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, foram realizadas as análises de potencial hidrogeniônico (pH) com peagômetro; turbidez (TU), com turbidímetro; e condutividade elétrica (CE), utilizando condutímetro. Foram determinadas a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pelo método iodométrico (processo Winkler); e a demanda química de oxigênio (DQO), pelo método oxidimétrico com refluxo. A concentração dos óleos e graxas (OG) foi quantificada por extração com éter de petróleo (extrator Soxhlet); os sólidos suspensos totais (SST), pelo método gravimétrico com a utilização de membranas de fibra de vidro (0,45 µm de diâmetro de poro); os sólidos totais (ST), pelo método gravimétrico; o nitrogênio total (NT), pelo método Kjeldahl; o fósforo (P) e o nitrato (NO₃⁻), por espectrofotometria; e o sódio (Na⁺) e o potássio (K), por fotometria de chama.

3.4. Testes com as minhocas

Em cada vermifiltro foi colocado um litro de minhoca, correspondendo, em média, a 1.500 minhocas.

Antes de as minhocas serem distribuídas nos vermifiltros, coletou-se um lote de 100 minhocas, ao acaso, para pesagem e medição de comprimento e diâmetro, a fim de comparar suas características ao longo das etapas do tratamento.

Foram realizadas medidas de massa, diâmetro e comprimento das minhocas, em amostra coletada em cada protótipo, em meados do mês de outubro (metade da fase experimental) e de dezembro (final do tratamento), para comparações morfológicas e do número de indivíduos/volume de amostra.

Para a coleta, utilizou-se um cilindro de 24 cm de diâmetro com 25 cm de profundidade. A amostragem foi feita próxima à tubulação de entrada do esgoto no sistema, por ser uma região mais úmida e com maior concentração de nutrientes (Figura 3).

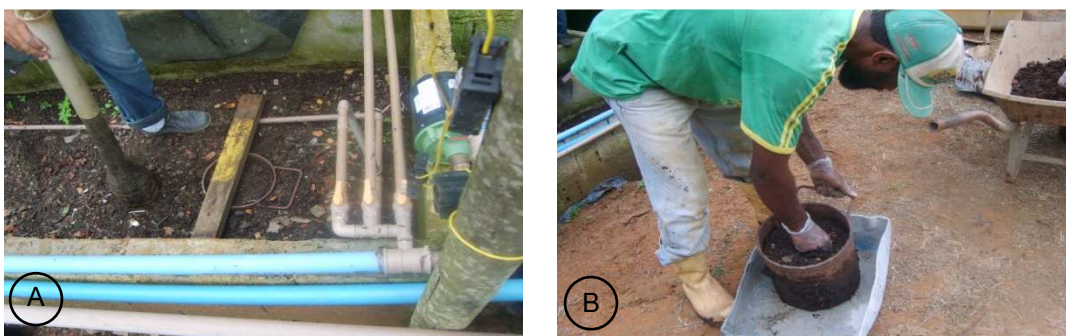


Figura 3 – Detalhe da coleta do material sólido no vermifiltro (a) e da amostra de material para contagem, medição e pesagem das minhocas (b).

Ao serem retiradas as amostras, foi feita a contagem das minhocas, selecionando um lote de 15 minhocas de cada amostra, para quantificação da massa, em balança digital, e medição do comprimento e diâmetro, com auxílio de um paquímetro.

Para medição do comprimento e diâmetro das minhocas, preparou-se solução fixadora com água destilada e formol (solução a 10%), para que não fossem perdidas as características ao morrerem. Este método foi adotado para evitar que as minhocas se movessem durante a medição e pesagem.

3.5. Análises estatísticas

Para analisar o desempenho dos vermifiltros, foi montado um esquema de parcelas subdivididas, tendo, nas parcelas as taxas de aplicação do esgoto doméstico (0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹); nas subparcelas, os tipos de materiais orgânicos (bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira e lixo orgânico domiciliar compostado); e, nas subsubparcelas, os tempos das

avaliações (1, 2, 3, 4 e 5 meses), no delineamento em blocos casualizados, com três repetições.

Os dados de potencial hidrogeniônico (pH), turbidez (TU), condutividade elétrica (CE), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), óleos e graxas (OG), sólidos suspensos totais (SST), sólidos totais (ST), fósforo (P), nitrogênio (N), nitrato (NO_3^-), sódio (Na^+) e potássio (K) e as características das minhocas como massa, comprimento, diâmetro e número de minhocas/volume foram submetidos à análise de variância e ao teste de média.

Na análise de variância, foi utilizado o teste F, em nível de 5% de probabilidade. As médias foram comparadas, utilizando-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas, utilizando-se o *software* Sistemas para Análises Estatísticas (SAEG) versão 9.0, desenvolvido pela UFV.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, é encontrado o resumo da análise de variância dos valores de remoção de NT, SST, ST, K, Na⁺, NO₃⁻, P, OG, DQO, DBO, CE, TB e pH dos protótipos de vermifiltros, no esquema de parcelas subsubdivididas.

Verificou-se, nas variáveis de remoção de ST, NO₃⁻, OG, DQO, CE, TB e pH, que a interação T x TA x TM foi significativa a 1 ou 5% de probabilidade. No entanto, para as variáveis de remoção de NT, SST, K, Na⁺, P e DBO, a interação T x TA x TM não foi significativa a 5% de probabilidade. Apesar disso, optou-se por fazer o desdobramento dessas variáveis, devido ao interesse em estudar o desempenho dos protótipos de vermifiltros.

Em vista dos resultados das análises de variância, procedeu-se ao desdobramento da interação T x TA x TM, para as variáveis de remoção de pH, CE, TB, DBO, DQO, OG, P, Na⁺, K, ST, SST, NT e NO₃⁻.

Tabela 2 – Análises de variância de pH, CE, TB, DBO, DQO, OG, P, Na⁺, K, ST, SST, NT e NO₃⁻, nos diferentes vermifiltros, taxas de aplicação e tempos de avaliação

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio												
		pH	CE	TB	DBO	DQO	OG	P	Na ⁺	K	ST	SST	NT	NO ₃ ⁻
Taxa de aplicação (TA)	2	146**	3678 ^{ns}	226, ^{ns}	2800 ^{ns}	3571**	979**	8453 ^{ns}	2502 ^{ns}	1,05x10 ^{5ns}	1,40x10 ^{4**}	2508**	4702 ^{ns}	5,95x10 ^{5**}
Resíduo (a)	6	3,8	1667	90,9	1278	417	51,5	3489	1680	83627	1146	203	1511	7099
Tipos de materiais orgânicos (TM)	2	373**	6,90x10 ^{5**}	3035**	3,55x10 ^{5**}	3,48x10 ^{5**}	1058**	2,87x10 ^{5**}	4,67x10 ^{5**}	3,60x10 ^{7**}	3,50x10 ^{6**}	1,18x10 ^{4**}	7,73x10 ^{5**}	1,75x10 ^{6**}
TA x TM	4	26,6*	1,58x10 ^{4**}	588 ^{ns}	2504 ^{ns}	1513**	141 ^{ns}	3200 ^{ns}	1387 ^{ns}	2,93x10 ^{4ns}	2,64x10 ^{4**}	892**	1234 ^{ns}	1,05x10 ^{5**}
Resíduo (b)	12	9,3	1571	193	1010	323	39,6	2694	1087	73142	3245	178	1232	4496
Tempo de avaliação (T)	4	267,7**	7,00x10 ^{6**}	3361**	2,87x10 ^{5**}	2,78x10 ^{5**}	1240**	1,07x10 ^{5**}	2,56x10 ^{6**}	3,30x10 ^{7**}	5,38x10 ^{6**}	1844**	1,28x10 ^{6**}	9,93x10 ^{5**}
T x TA	8	35,3**	6703*	691**	513 ^{ns}	675 ^{ns}	1115**	4454 ^{ns}	1501 ^{ns}	7,44x10 ^{4ns}	1,26x10 ^{4**}	518*	6790**	5,92x10 ^{4**}
T x TM	8	7,6**	3,57x10 ^{5**}	848**	2,46x10 ^{5**}	2,40x10 ^{5**}	177**	7,74x10 ^{4**}	2,92x10 ^{5**}	1,90x10 ^{7**}	2,60x10 ^{6**}	977**	6,08x10 ^{5**}	6,7-x10 ^{5**}
T x TA x TM	16	5,3*	1,43x10 ^{4**}	344*	576 ^{ns}	739*	254**	4104 ^{ns}	1385 ^{ns}	4,92x10 ^{4ns}	2,56x10 ^{4**}	294 ^{ns}	1876 ^{ns}	3,67x10 ^{4**}
Resíduo (c)	72	2,6	2566	166	807	380	40,3	3069	842	7,16x10 ⁴	4011	227	1216	4612

** , * e ^{ns} significativos, a 1 e 5% de probabilidade, e não-significativo, a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

4.1. Características físicas, químicas e bioquímicas do esgoto doméstico afluente e efluente dos vermifiltros

4.1.1. Variação do pH nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico

Na Tabela 3, são apresentados os valores médios da variação do pH (%) do efluente, em relação ao afluente, de acordo com o tipo de material orgânico, dentro de cada nível de tempo de aplicação e cada nível de taxa de aplicação. Foi verificado, nesta tabela, que houve efeito das taxas de aplicação na alteração do pH, para cada tipo de material orgânico, com exceção do mês de outubro. Pôde-se observar que, em algumas vezes, o pH aumentou ao passar pelos vermifiltros, principalmente naqueles constituídos por lixo orgânico compostado.

Tabela 3 – Valores médios da variação do pH (%) do efluente em relação ao afluente, para tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação

Tempo de aplicação	Tipos de materiais orgânicos	Taxa de aplicação ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$)		
		0,5	1,0	1,5
Agosto	Lixo	-7,33Ab	-7,08Ab	-15,42Bb
	Bagaço	1,33Aa	-2,08Aa	-8,76Ba
	Serragem	-5,13Bb	-0,23Aa	-6,97Ba
Setembro	Lixo	-7,68ABb	-5,13Ab	-10,55Bb
	Bagaço	-0,16Aa	2,04Aa	-4,01Ba
	Serragem	-1,45Ba	2,84Aa	-6,59Ca
Outubro	Lixo	-5,23Ab	-2,63Ab	-2,59Aa
	Bagaço	3,21Aa	2,30Aa	-0,33Aa
	Serragem	-0,19Aa	2,63Aa	0,99Aa
Novembro	Lixo	-2,82Ab	-2,49Aa	-1,51Aa
	Bagaço	3,62Aa	-0,49Ba	-0,53Ba
	Serragem	2,51Aa	0,58Aa	-0,31Aa
Dezembro	Lixo	-0,68Ab	-0,42Ab	0,18Aa
	Bagaço	6,86Aa	1,67Bab	1,45Ba
	Serragem	4,90Aa	4,60Aa	2,30Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, nas linhas, para cada taxa de aplicação, e minúscula, nas colunas, para cada tempo de aplicação, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O pH dos efluentes dos vermifiltros variou de 6,42 a 7,81, quando submetidos à taxa de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$; de 6,5 a 7,69, para a taxa de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$; e de 6,32 a 7,73, para a taxa de $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Tabela 4). Estes valores encontraram-se dentro do faixa de 6 a 9, que é o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 e pela Deliberação Normativa COPAM 01/2008, para lançamento de efluentes em cursos d'água.

Tabela 4 – Valores de pH no aflente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros com lixo orgânico compostado (EVL), com bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e com serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

Tipo	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	$0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$				
AFL	7,28	6,42	6,95	7,56	7,34
EVL	7,81	6,91	7,31	7,77	7,39
EVB	7,18	6,43	6,73	7,29	6,84
EVS	7,65	6,51	6,96	7,37	6,98
$1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	7,20	6,69	7,10	7,50	7,18
EVL	7,71	7,03	7,29	7,69	7,21
EVB	7,35	6,55	6,94	7,54	7,06
EVS	7,22	6,50	6,91	7,46	6,85
$1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	6,70	6,32	7,07	7,52	7,38
EVL	7,73	6,99	7,25	7,63	7,37
EVB	7,29	6,57	7,09	7,56	7,27
EVS	7,17	6,74	7,00	7,54	7,21

4.1.2. Variação na condutividade elétrica (CE) nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico

Não houve efeito das taxas de aplicação sobre a CE para os materiais orgânicos avaliados, no período de outubro a dezembro (Tabela 5).

Tabela 5 – Valores médios da variação da CE (%) do efluente em relação ao afluente, para o tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação

Tempo de aplicação	Tipos de materiais orgânicos	Taxa de aplicação ($\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$)		
		0,5	1,0	1,5
Agosto	Lixo	-875,01Ac	-951,31Ab	-946,19Ab
	Bagaço	1,32Aa	-55,67Aa	-32,24Aa
	Serragem	-462,09Bb	-49,22Aa	-71,22Aa
Setembro	Lixo	-128,47Ab	-198,94Ab	-153,17Ab
	Bagaço	-1,99Aa	-22,73Aa	-5,58Aa
	Serragem	10,00Aa	-6,68Aa	-26,03Aa
Outubro	Lixo	-42,50Aa	-40,33Aa	-35,94Aa
	Bagaço	7,00Aa	6,82Aa	0,08Aa
	Serragem	-15,26Aa	-1,95Aa	-2,61Aa
Novembro	Lixo	-20,95Aa	-42,60Aa	-37,42Aa
	Bagaço	-4,09Aa	1,81Aa	-8,45Aa
	Serragem	-4,28Aa	-2,33Aa	-6,83Aa
Dezembro	Lixo	-49,82Aa	-22,56Aa	-23,79Aa
	Bagaço	-7,32Aa	1,85Aa	0,04Aa
	Serragem	-9,06Aa	4,99Aa	-8,43Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, nas linhas, para cada taxa de aplicação, e minúscula, nas colunas, para cada tempo de aplicação, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

No mês de agosto, o efeito foi significativo no efluente do vermifiltro de serragem de madeira, submetido à taxa de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, que diferiu das demais taxas. Nos meses de agosto e setembro, os vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado diferiram daqueles constituídos pelos demais tipos de materiais orgânicos.

Nota-se, no mês de agosto, que os valores de condutividade elétrica (CE) nos vermifiltros de lixo orgânico compostado e serragem de madeira, submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, foram muito superiores aos obtidos no esgoto doméstico afluente (Tabela 6). A condutividade elétrica no efluente manteve-se, na maioria das vezes, acima dos valores medidos no afluente, provavelmente em função da lixiviação de sais do material filtrante, o que proporcionou aumento na sua concentração no efluente dos vermifiltros.

Tabela 6 – CE (dS m^{-1}) no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

Tipo	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	$0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$				
AFL	0,58	0,63	0,59	0,64	0,64
EVL	5,62	1,43	0,84	0,78	0,96
EVB	0,57	0,64	0,55	0,67	0,69
EVS	3,24	0,56	0,68	0,67	0,70
$1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	0,56	0,60	0,61	0,64	0,64
EVL	5,89	1,80	0,86	0,91	0,79
EVB	0,87	0,74	0,57	0,62	0,63
EVS	0,84	0,64	0,62	0,65	0,61
$1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	0,54	0,61	0,60	0,61	0,65
EVL	5,68	1,55	0,82	0,84	0,80
EVB	0,72	0,64	0,60	0,66	0,65
EVS	0,93	0,77	0,62	0,65	0,70

De acordo com Matos (2004), altos valores de condutividade elétrica indicam elevadas quantidades de substâncias iônicas dissolvidas, e os íons mais freqüentemente associados à CE são cálcio, magnésio, potássio, sódio, carbonato, bicarbonato, sulfato, entre outros.

Brandão (1999) e Lo Mônaco (2001) também encontraram valores de CE mais elevados nos efluentes do que nos afluentes em filtros orgânicos constituídos por bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, operando com água residuária da suinocultura, e observaram que os filtros orgânicos avaliados não apresentaram remoção perceptível de íons da água residuária, indicando ser limitada a capacidade de retenção iônica dos materiais filtrantes.

Observou-se que nos efluentes dos vermifiltros constituídos por serragem de madeira submetidos às diferentes taxas de aplicação, os valores médios de CE foram menores que nos vermifiltros formados de lixo orgânico compostado e bagaço de cana-de-açúcar.

Os efluentes dos vermifiltros constituídos de lixo orgânico compostado apresentaram valores muito altos de CE, se comparados com os formados pelos outros materiais filtrantes, em todos os meses e em todas as taxas de aplicação. Provavelmente, isto ocorreu devido às altas concentrações de cálcio, magnésio e potássio, conforme pode ser observado na Tabela 6A, no Apêndice.

4.1.3. Variação da turbidez nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico

É constatado, na Tabela 7, que houve efeito das taxas de aplicação na variação da turbidez, para cada tipo de material orgânico, no período de agosto a dezembro.

Tabela 7 – Valores médios da variação da turbidez (%) do efluente, em relação ao afluente, para cada tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação

Tempo de aplicação	Tipos de materiais orgânicos	Taxa de aplicação (m ³ m ⁻² d ⁻¹)		
		0,5	1,0	1,5
Agosto	Lixo	57,34Ba	87,28Aa	90,94Aa
	Bagaço	56,60Aa	45,98Ab	59,29Ab
	Serragem	79,52Aa	67,61Aab	68,19Aab
Setembro	Lixo	47,67ABa	27,92Bb	64,42Aa
	Bagaço	70,85Aa	55,61Aa	47,75Aa
	Serragem	61,43Aa	65,58Aa	67,97Aa
Outubro	Lixo	42,97Aa	52,51Aa	41,28Aa
	Bagaço	39,08Aa	45,24Aa	43,81Aa
	Serragem	41,91Ba	69,06Aa	61,04ABa
Novembro	Lixo	34,59Aa	28,51Ab	26,16Aa
	Bagaço	48,80Aa	41,54Ab	31,51Aa
	Serragem	47,23Ba	73,01Aa	42,53Ba
Dezembro	Lixo	46,18Aa	12,53Bb	13,36Ba
	Bagaço	60,29Aa	44,48Aa	37,63Aa
	Serragem	59,58ABa	68,43Aa	36,00Ba

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, nas linhas, para cada taxa de aplicação, e minúscula, nas colunas, para cada tempo de aplicação, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Comparando as médias na variação de turbidez nos efluentes, em relação ao afluente, verificou-se que, nos vermifiltros, constituídos por lixo orgânico compostado, submetidos à taxa de aplicação de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, a turbidez diferiu das demais taxas, no mês de agosto.

Já os constituídos por lixo orgânico compostado, submetidos à taxa de aplicação de $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, apresentaram variação na turbidez efluente em relação ao afluente, que diferiu da taxa de aplicação de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, no mês de setembro.

A variação da turbidez efluente, em relação ao afluente, nos vermifiltros compostos por serragem de madeira, quando submetidos à taxa de aplicação de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, diferiu da obtida no afluente e nos efluentes dos expostos à de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, no mês de outubro. Nos protótipos formados por serragem de madeira submetidos à taxa de aplicação de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, a variação da turbidez diferiu da obtida nas demais taxas de aplicação, no mês de novembro.

Já nos vermifiltros formados por lixo orgânico compostado e submetidos às taxas de aplicação de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, a variação da turbidez diferiu da obtida nas demais taxas de aplicação, enquanto a variação da turbidez nos efluentes e afluentes dos compostos por serragem de madeira e submetidos à taxa de aplicação de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ diferiu da obtida nos protótipos expostos à de $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, no mês de dezembro.

No mês de agosto, a variação da turbidez dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado submetidos às taxas de aplicação de $1,0$ e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ diferiu da obtida nos formados pelos demais tipos de materiais orgânicos. No mês de setembro, os constituídos por lixo orgânico compostado expostos à taxa de aplicação de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ apresentaram variação da turbidez, que diferiu da obtida nos protótipos de vermifiltros com os demais tipos de materiais orgânicos. No mês de novembro, a variação da turbidez nos vermifiltros compostos por serragem de madeira e submetidos à taxa de aplicação de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ diferiu da obtida nos constituídos pelos demais tipos de materiais orgânicos; e, no mês de dezembro, os vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado e submetidos à taxa de aplicação de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ apresentaram variação da turbidez, que diferiu da obtida nos constituídos pelos demais tipos de materiais orgânicos.

Notou-se que ocorreram muitas variações nos dados analisados por causa do aumento da turbidez nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado; do passar do tempo; e da eficiência dos vermifiltros formados por serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar, por não ter variado muito em função do tempo.

É observado, na Tabela 7, que a passagem do esgoto doméstico nos vermifiltros, constituídos por lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹, proporcionou diminuição nos valores de turbidez do efluente em relação ao afluente.

Verificou-se que houve remoção de até 91% da turbidez nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado no início do tratamento. No entanto, percebeu-se que houve diminuição da eficiência dos formados por lixo orgânico compostado na turbidez com o tempo de operação, indicando necessidade de substituição do material com o tempo, uma vez que a turbidez está diretamente relacionada com a concentração de sólidos suspensos (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Nos efluentes coletados dos vermifiltros constituídos de lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira e submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹, notou-se variação nos valores médios de turbidez de 5,73 a 38,17 UNT.

4.1.4. DBO obtida no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico

Verificou-se, na Tabela 9, que não houve efeito das taxas de aplicação sobre a remoção de DBO, para os diferentes tipos de material orgânico, no período de outubro a dezembro.

Estabelecendo comparação entre as médias de remoção de DBO, constatou-se que, nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado, submetidos à taxa de aplicação de 0,5 m³ m⁻² d⁻¹, a remoção de DBO do esgoto doméstico diferiu das obtidas nas demais taxas de aplicação, no mês de agosto (Tabela 9).

Tabela 8 – Turbidez (UNT) no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹

Tipo	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	0,5 m³ m⁻² d⁻¹				
AFL	58,60	41,40	62,60	31,90	30,10
EVL	25,00	21,67	35,70	20,87	16,20
EVB	25,43	12,07	38,13	16,33	11,95
EVS	12,00	15,97	36,37	16,83	12,17
1,0 m³ m⁻² d⁻¹					
AFL	60,10	42,50	69,70	32,50	31,40
EVL	7,64	30,63	33,10	23,23	27,47
EVB	32,47	18,87	38,17	19,00	17,43
EVS	19,47	14,63	21,57	8,77	9,91
1,5 m³ m⁻² d⁻¹					
AFL	63,30	46,00	64,60	33,00	28,70
EVL	5,73	16,37	37,93	24,37	24,87
EVB	25,77	24,03	36,30	22,60	17,90
EVS	20,14	14,73	25,17	18,97	18,37

Tabela 9 – Valores médios da remoção de DBO (%) do esgoto doméstico para cada tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação

Tempo de aplicação	Tipos de materiais orgânicos	Taxa de aplicação (m ³ m ⁻² d ⁻¹)		
		0,5	1,0	1,5
Agosto	Lixo	-570,03Ab	-630,58Bb	-666,69Bb
	Bagaço	32,02Aa	30,33Aa	56,86Aa
	Serragem	44,44Aa	38,07Aa	45,15Aa
Setembro	Lixo	2,95Aa	-21,45ABb	-56,62Bb
	Bagaço	43,88Aa	54,89Aa	38,79Aa
	Serragem	42,52Aa	54,64Aa	58,70Aa
Outubro	Lixo	64,76Aa	50,00Aa	24,15Aa
	Bagaço	64,27Aa	56,16Aa	39,82Aa
	Serragem	54,63Aa	59,84Aa	52,63Aa
Novembro	Lixo	61,36Aa	59,78Aa	41,78Aa
	Bagaço	70,91Aa	66,40Aa	53,06Aa
	Serragem	59,75Aa	80,10Aa	55,32Aa
Dezembro	Lixo	46,90Aa	49,38Aa	44,73Aa
	Bagaço	53,55Aa	65,94Aa	52,75Aa
	Serragem	51,25Aa	74,36Aa	62,43Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, nas linhas, para cada taxa de aplicação, e minúscula, nas colunas, para cada tempo de aplicação, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 9, é observado que, no mês de agosto, a remoção de DBO do esgoto doméstico, aplicado nos vermifiltros formados por lixo orgânico compostado e submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹, diferiu das obtidas dos constituídos por serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar; e, no mês de setembro, a remoção de DBO do esgoto doméstico, nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado e expostos às taxas de aplicação de 1,0 e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹, diferiu da obtida dos demais tipos de materiais orgânicos.

É verificado na Tabela 10, que, nos meses de agosto e setembro, houve aumento da concentração da DBO nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado e submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹, em relação ao afluente, podendo ter ocorrido devido ao desprendimento de partículas de material orgânico contidos neste material. Em termos de tratamento de água residuária, isto é fator negativo, já que o material filtrante prejudicou a qualidade do efluente no que se refere à DBO. Segundo Jordão e Pessoa (2005), quanto maior o grau de poluição orgânica maior a DBO do corpo d'água. Paralelamente, à medida que ocorre estabilização da matéria orgânica, decresce a DBO.

Os menores valores de DBO nos efluentes dos vermifiltros foram encontrados na taxa de aplicação de 0,5 m³ m⁻² d⁻¹, obtida nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado no valor de 59 mg L⁻¹, no terceiro mês de aplicação; e, nos de bagaço de cana-de-açúcar e de serragem de madeira, de 51 mg L⁻¹ e 54 mg L⁻¹, respectivamente, no quinto mês de aplicação. Estes valores são inferiores aos limites estabelecidos tanto pela legislação federal (Resolução CONAMA 357/2005) quanto pela estadual (Deliberação Normativa COPAM/CERH 01/2008), que estabelecem que a DBO deve ser igual ou menor a 60 mg L⁻¹ (BRASIL, 2005 e 2008).

Percebeu-se que, na maioria das vezes, os efluentes dos vermifiltros não atingiram a faixa mínima de 60% de eficiência de remoção de DBO, estabelecida pela supracitada Resolução CONAMA 357/2005 e Deliberação Normativa COPAM 01/2008, para sistemas de tratamento de esgotos sanitários, o que indica necessidade de pós-tratamento no efluente (BRASIL, 2005 e 2008).

Tabela 10 – DBO (mg L^{-1}) obtida no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

Tipo	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	$0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$				
AFL	201	170	166	249	111
EVL	1347	165	59	96	59
EVB	137	95	59	72	51
EVS	112	98	75	100	54
$1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	174	167	159	275	209
EVL	1273	203	79	110	106
EVB	121	75	70	92	71
EVS	108	76	64	55	54
$1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	202	153	153	209	189
EVL	1551	240	116	122	104
EVB	87	94	92	98	89
EVS	111	63	72	93	71

4.1.5. DQO obtida no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico

Na Tabela 11, é constatado que não houve efeito das taxas de aplicação sobre a remoção de DQO do esgoto doméstico, para cada tipo de material orgânico testado, no período de outubro a dezembro.

Verificou-se que a remoção de DQO do esgoto doméstico nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado diferiu para as taxa de aplicação de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, no mês de agosto; e os formados por lixo orgânico compostado, submetidos à taxa de aplicação de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, apresentaram remoção de DQO, que diferiu das obtidas nos expostos às taxas de aplicação de $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, no mês de setembro (Tabela 11).

Tabela 11 – Valores médios de remoção de DQO (%) do esgoto doméstico, de acordo com o tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação

Tempo de aplicação	Tipos de materiais orgânicos	Taxa de aplicação ($\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$)		
		0,5	1,0	1,5
Agosto	Lixo	-616,94Bb	-566,79Ab	-666,69Cb
	Bagaço	21,18Aa	41,51Aa	56,86Aa
	Serragem	24,76Aa	48,01Aa	45,15Aa
Setembro	Lixo	-11,73Ab	-31,43ABb	-50,11Bb
	Bagaço	35,39Aa	48,63Aa	35,74Aa
	Serragem	29,52Aa	48,35Aa	60,90Aa
Outubro	Lixo	58,07Aa	50,00Aa	24,15Aa
	Bagaço	64,27Aa	56,16Aa	39,82Aa
	Serragem	54,63Aa	59,84Aa	52,63Aa
Novembro	Lixo	56,90Aa	59,78Aa	41,77Aa
	Bagaço	66,45Aa	66,40Aa	53,06Aa
	Serragem	59,75Aa	80,10Aa	47,10Aa
Dezembro	Lixo	36,04Aa	49,38Aa	44,73Aa
	Bagaço	41,15Aa	65,94Aa	52,75Aa
	Serragem	39,39Aa	74,36Aa	55,21Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, nas linhas, para cada taxa de aplicação, e minúscula, nas colunas, para cada tempo de aplicação, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Analisando as médias da remoção de DQO, na Tabela 11, observou-se que, nos meses de agosto e setembro, a remoção de DQO do afluente, nos protótipos de vermifiltro constituído por lixo orgânico compostado e submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$, diferiu das obtidas dos formados pelos demais tipos de materiais orgânicos.

Analisando os dados apresentados na Tabela 12, percebeu-se que, nos meses de agosto e setembro, houve aumento da concentração da DQO nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado e submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$, em relação ao afluente, provavelmente devido ao desprendimento de partículas de material orgânico contidos neste material.

Tabela 12 – DQO (mg L^{-1}) obtida no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

Tipo	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	$0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$				
AFL	610	443	498	747	432
EVL	4374	495	209	322	276
EVB	481	286	178	251	254
EVS	459	312	226	301	262
$1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	623	440	476	824	628
EVL	4152	578	238	331	318
EVB	364	226	209	277	214
EVS	324	227	191	164	161
$1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	607	480	459	627	566
EVL	4654	721	348	365	313
EVB	262	308	276	294	267
EVS	333	188	217	332	254

As menores concentrações de DQO no efluente foram encontradas nos vermifiltros de serragem de madeira, quando esses foram submetidos às taxas de aplicação de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, tendo sido obtidos os valores de 191 mg L^{-1} , 164 mg L^{-1} e 161 mg L^{-1} no terceiro, quarto e quinto mês de aplicação, respectivamente. Lo Mônaco (2001), trabalhando com filtros orgânicos, operando com água residuária da suinocultura, verificou que a serragem de madeira foi, dentre todos os materiais filtrantes, o que menos liberou sólidos e solutos de fácil oxidação química, ou seja, que concorrem para aumento na DQO da água residuária.

Laws (2003) analisou a qualidade da filtração dos efluentes de vermifiltros de serragem de madeira, operando com esgoto doméstico bruto, sob a taxa de aplicação de $1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, e obteve remoção de 95% na DQO.

Os resultados obtidos da DQO apresentados na Tabela 12, na maioria das vezes, não atenderam ao padrão de lançamento de efluentes em corpos

receptores de água no estado de Minas Gerais (Deliberação Normativa COPAM/CERH 01/2008), cujo valor é de 180 mg L⁻¹.

Nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹ foram obtidas remoções de até 62, 66 e 74%, respectivamente. De acordo com a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG 1/2008, os efluentes coletados nos vermifiltros formados de serragem de madeira, expostos à taxa de aplicação de 1,0 m³ m⁻² d⁻¹, no período de outubro a dezembro, apresentaram remoção de DQO superior ao mínimo de 55%, estabelecida para o lançamento em corpos hídricos receptores (BRASIL, 2008).

4.1.6. Concentração de óleos e graxas no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico

Na Tabela 13, é observado que houve efeito das taxas de aplicação de esgoto doméstico na remoção de OG, para cada tipo de material orgânico, com exceção do mês de novembro.

No mês de agosto, a remoção de OG nos vermifiltros, constituídos por bagaço de cana-de-açúcar e submetidos à taxa de aplicação de 1,5 m³ m⁻² d⁻¹, diferiu das demais taxas de aplicação. Nos vermifiltros compostos por bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, submetidos às taxas de aplicação de 1,0 m³ m⁻² d⁻¹, a remoção de óleos e graxas do afluente diferiu daquela obtida nos protótipos expostos à taxa de aplicação de 0,5 e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹, no mês de setembro (Tabela 13).

A remoção de óleos e graxas do afluente nos vermifiltros, constituídos por lixo orgânico compostado e bagaço de cana-de-açúcar e submetidos à taxa de 1,0 m³ m⁻² d⁻¹, diferiu das obtidas nos efluentes dos vermifiltros submetidos às demais taxas de aplicação, no mês de outubro.

No mês de agosto, a remoção de OG do afluente dos vermifiltros, formados por bagaço de cana-de-açúcar e expostos às taxas de aplicação de 0,5 e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹ (Tabela 13), diferiu das obtidas nos constituídos por serragem de madeira e lixo orgânico compostado.

Tabela 13 – Valores médios de remoção de OG (%) dos afluentes, de acordo com o tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação nos vermifiltros

Tempo de aplicação	Tipos de materiais orgânicos	Taxa de aplicação ($\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$)		
		0,5	1,0	1,5
Agosto	Lixo	39,57Ab	51,02Aa	43,79Aa
	Bagaço	58,81Aa	63,27Aa	24,84Bb
	Serragem	44,72Ab	53,40Aa	43,14Aa
Setembro	Lixo	54,32Ab	39,55Ba	51,31ABb
	Bagaço	66,67Aab	23,16Bb	69,28Aa
	Serragem	78,40Aa	25,42Bb	66,34Aa
Outubro	Lixo	55,86Aa	30,36Bb	60,00Aa
	Bagaço	58,02Aa	51,49Ba	66,96Aa
	Serragem	64,51Aa	42,86Ba	43,48Bb
Novembro	Lixo	31,94Ab	24,52Ab	27,11Ab
	Bagaço	34,13Ab	38,71Aa	36,67Aab
	Serragem	49,90Aa	40,65Aa	42,00Aa
Dezembro	Lixo	37,50Ab	37,66Ab	34,95Ab
	Bagaço	37,68Bb	52,17Aa	45,25ABab
	Serragem	56,88Aa	54,99Aa	51,31Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, nas linhas, para cada taxa de aplicação, e minúscula, nas colunas, para cada tempo de aplicação, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Já no mês de setembro, a remoção de OG do afluente nos vermifiltros, constituídos por lixo orgânico compostado e submetidos às taxas de aplicação de 1,0 e 1,5 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$, diferiu das obtidas nos compostos por serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar, enquanto a remoção de óleos e graxas nos vermifiltros, formados por lixo orgânico compostado, diferiu somente da obtida nos constituídos por serragem de madeira, quando expostos à taxa de 0,5 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$.

No mês de outubro, a remoção de OG do afluente nos vermifiltros, constituídos por lixo orgânico compostado e submetidos à taxa de 1,0 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$, diferiu da obtida dos protótipos compostos por serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar, enquanto a remoção de OG nos vermifiltros, formados por serragem de madeira e expostos à taxa de aplicação de 1,5 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$, diferiu da obtida nos vermifiltros constituídos pelos demais tipos de materiais orgânicos.

No mês de novembro, a remoção de OG do afluente nos vermifiltros, constituídos por serragem de madeira e submetidos às taxas de 0,5 e 1,5 $\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, diferiu da obtida nos compostos por lixo orgânico compostado, enquanto a remoção de óleos e graxas nos vermifiltros, formados por lixo orgânico compostado e expostos à taxa de aplicação de 1,0 $\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, diferiu da obtida nos vermifiltros constituídos pelos demais tipos de materiais orgânicos.

Já no mês de dezembro, a remoção de OG do afluente nos vermifiltros, formados por lixo orgânico compostado e submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 $\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, diferiu da obtida nos protótipos compostos por serragem de madeira.

Estas inúmeras variações na concentração de OG provavelmente ocorreram devido à diminuição da eficiência na remoção de óleos e graxas nos vermifiltros, constituídos por lixo orgânico compostado ao longo do tempo de operação, e ao aumento da eficiência na remoção nos vermifiltros, compostos por serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar.

Analisando os dados apresentados na Tabela 14, observou-se que a passagem do esgoto doméstico pelos vermifiltros, constituídos por lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, ocasionou redução na concentração de OG do efluente em relação ao afluente para todas as taxas de aplicação, no período de agosto a dezembro. Nos vermifiltros formados por lixo compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira ocorreu remoção de óleos e graxas de até 60, 69 e 78%, respectivamente.

As menores concentrações de OG no efluente dos vermifiltros foram encontradas na taxa de aplicação de 0,5 $\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$, no mês de setembro, em que foram obtidos os valores de 49,3 mg L^{-1} ; 36,0 mg L^{-1} ; e 23,3 mg L^{-1} nos vermifiltros constituídos de lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, respectivamente. Esses resultados obtidos para OG atendem ao padrão de lançamento de efluente em corpos hídricos receptores do estado de Minas Gerais, que é de 50 mg L^{-1} (BRASIL, 2008).

Tabela 14 – Concentração de OG (mg L^{-1}) no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

Tipo	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	$0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$				
AFL	123,0	108,0	108,0	167,0	184,0
EVL	74,3	49,3	47,7	113,7	115,0
EVB	50,7	36,0	45,3	110,0	114,7
EVS	68,0	23,3	38,3	83,7	79,3
$1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	98,0	118,0	112,0	155,0	177,0
EVL	48,0	71,3	78,0	117,0	110,3
EVB	36,0	90,7	54,3	95,0	84,7
EVS	45,7	88,0	64,0	92,0	79,7
$1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	102,0	102,0	115,0	150,0	165,0
EVL	57,3	49,7	46,0	109,3	107,3
EVB	76,7	31,3	38,0	95,0	90,3
EVS	58,0	34,3	65,0	87,0	80,3

Segundo Jordão e Pessoa (2005), a necessidade de remoção da gordura contida nos esgotos está condicionada aos problemas que esse material traz às unidades de um sistema de esgoto sanitário. Deve-se evitar a gordura em grandes proporções, em razão de obstruções nos coletores; aderência nas peças especiais da rede de esgotos; acúmulo nas unidades de tratamento, provocando odores desagradáveis e perturbações no funcionamento dos dispositivos de tratamento; e aspectos desagradáveis nos corpos receptores.

4.1.7. Concentração de fósforo total no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico

Verificou-se, na Tabela 15, que não houve efeito das taxas de aplicação sobre a remoção de fósforo total, para os materiais orgânicos estudados, no período de setembro a dezembro.

Tabela 15 – Valores médios da remoção de P (%) dos afluentes de acordo com o tipo de material orgânico constituinte, tempo e taxa de aplicação nos vermifiltros

Tempo de aplicação	Tipos de materiais orgânicos	Taxa de aplicação ($\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$)		
		0,5	1,0	1,5
Agosto	Lixo	-513,97Bb	-256,04Ab	-436,98Bb
	Bagaço	12,50Aa	10,06Aa	-0,33Aa
	Serragem	33,00Aa	45,89Aa	17,83Aa
Setembro	Lixo	-43,95Ab	-107,57Ab	-55,25Ab
	Bagaço	40,66Aa	21,24Aa	10,31Aa
	Serragem	48,67Aa	52,05Aa	26,75Aa
Outubro	Lixo	-41,59Ab	5,22Ab	-12,73Ab
	Bagaço	52,71Aa	38,98Aa	36,21Aa
	Serragem	46,06Aa	62,07Aa	28,66Aa
Novembro	Lixo	-16,94Ab	-31,96Ab	-25,41Ab
	Bagaço	44,23Aa	35,65Aa	6,40Aa
	Serragem	44,85Aa	58,86Aa	23,39Aa
Dezembro	Lixo	-6,76Ab	8,97Ab	2,81Ab
	Bagaço	40,19Aa	64,67Aa	32,31Aa
	Serragem	43,59Aa	68,71Aa	26,69Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, nas linhas, para cada taxa de aplicação, e minúscula, nas colunas, para cada tempo de aplicação, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A comparação entre as médias de remoção de fósforo total mostrou que a remoção de fósforo nos vermifiltros formados por bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira e expostos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 $\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ não diferiram entre si, no período de agosto a dezembro, mas a remoção de fósforo total nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado e submetidos às taxas de aplicação de 0,5, 1,0 e 1,5 $\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$

diferiram daquelas obtidas nos vermifiltros constituídos por bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, no período de agosto a dezembro (Tabela 15).

Analisando os dados apresentados na Tabela 16, observou-se que os efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado e submetido às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹ foram, na maioria das vezes, superiores aos valores de fósforo do afluente, o que torna, neste aspecto, o material de utilização não recomendável.

Tabela 16 – Concentração de P (mg L⁻¹) obtida no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹

Tipo	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	0,5 m³ m⁻² d⁻¹				
AFL	7,17	7,78	7,78	7,92	7,36
EVL	44,01	11,21	11,02	9,26	7,86
EVB	6,27	4,62	3,68	4,42	4,40
EVS	4,80	4,00	4,20	4,37	4,15
1,0 m³ m⁻² d⁻¹					
AFL	8,30	7,89	7,60	7,84	7,69
EVL	29,54	16,37	7,20	10,34	7,00
EVB	7,46	6,21	4,64	5,04	2,72
EVS	4,49	3,78	2,88	3,22	2,41
1,5 m³ m⁻² d⁻¹					
AFL	7,48	8,30	7,27	7,92	7,79
EVL	40,15	12,88	8,20	9,93	7,58
EVB	7,50	7,44	4,64	7,41	5,28
EVS	6,14	6,08	5,19	6,07	5,71

Constatou-se, nos vermifiltros constituídos de bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira e submetidos às diferentes taxas de aplicação, que houve remoção de fósforo no período de agosto a dezembro.

As maiores eficiências na remoção de fósforo do afluente dos vermifiltros ocorreram quando foi aplicada a taxa de 1,0 m³ m⁻² dia⁻¹, tendo sido obtidos, no quinto mês de aplicação, os percentuais de remoção de 8,97%;

64,67%; e 68,71% nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, respectivamente.

Laws (2003) analisou a qualidade da filtração de vermifiltros de serragem de madeira, operando com esgoto doméstico bruto, sob a taxa de $1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, e obteve remoção de 70% de fósforo.

Brandão (1999), trabalhando com filtros orgânicos, operando com água residuária da suinocultura, encontrou valores de concentração de P no efluente acima dos valores obtidos no afluente e observou que o uso dos materiais filtrantes, casca de arroz, casca de café, e sabugo de milho, proporcionou aumento na remoção de fósforo com o aumento no volume de poros desses materiais.

4.1.8. Concentração de sódio no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico

Na Tabela 17, é constatado que não houve efeito das taxas de aplicação sobre a remoção de Na^+ do afluente, de acordo com o tipo de material orgânico constituinte do vermifiltro, no período de agosto a dezembro.

Observou-se que, no mês de agosto, a remoção de Na^+ nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado e submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ diferiu da obtida nos formados pelos demais tipos de materiais orgânicos (Tabela 17).

Analisando os dados apresentados na Tabela 18, verificou-se que em todos os tempos de aplicação houve aumento na concentração de sódio no efluente nos vermifiltros constituído por lixo orgânico compostado, provavelmente devido à solubilização desse elemento no material filtrante dos vermifiltros.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 18, percebeu-se que o sódio foi pouco removido pelos materiais filtrantes (serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar) e que a concentração dos efluentes ficou bem próxima da concentração de sódio no afluente. Não houve influência do tipo de material filtrante e nem da taxa de aplicação do esgoto doméstico na concentração de sódio no efluente.

Tabela 17 – Valores médios da remoção de Na⁺ (%) dos afluentes, de acordo com o tipo de material orgânico constituinte, tempo e taxa de aplicação nos vermifiltros

Tempo de aplicação	Tipos de materiais orgânicos	Taxa de aplicação (m ³ m ⁻² d ⁻¹)		
		0,5	1,0	1,5
Agosto	Lixo	-736,80Ab	-652,68Ab	-756,25Ab
	Bagaço	23,84Aa	-31,67Aa	17,10Aa
	Serragem	18,80Aa	13,63Aa	28,95Aa
Setembro	Lixo	-109,67Aa	-150,90Aa	-197,12Aa
	Bagaço	-7,62Aa	-18,93Aa	-49,10Aa
	Serragem	-21,20Aa	2,65Aa	-55,14Aa
Outubro	Lixo	-20,17Aa	-34,91Aa	-26,83Aa
	Bagaço	-7,15Aa	-17,69Aa	-11,60Aa
	Serragem	-10,57Aa	-17,09Aa	-13,95Aa
Novembro	Lixo	-2,39Aa	-12,86Aa	-11,39Aa
	Bagaço	-0,20Aa	-11,40Aa	2,36Aa
	Serragem	-0,17Aa	-8,21Aa	-3,75Aa
Dezembro	Lixo	0,88Aa	-1,82Aa	-4,31Aa
	Bagaço	10,87Aa	8,26Aa	5,12Aa
	Serragem	4,54Aa	8,94Aa	0,41Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas para cada taxa de aplicação e minúscula nas colunas para cada tempo de aplicação não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Lo Mônaco (2001), trabalhando com filtros orgânicos em água residuária da suinocultura, não obteve remoção de sódio nos diferentes tipos de materiais e nas diferentes granulometrias testadas.

De acordo com Brandão (1999), as elevadas disponibilidades de sódio e potássio nos materiais orgânicos filtrantes podem estar associadas às altas solubilidades desses sais presentes ou deslocados do complexo de troca do material.

Tabela 18 – Concentração de Na^+ ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) obtida no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

Tipo	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	Taxa de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$				
AFL	4,21	3,00	2,96	4,25	4,33
EVL	35,25	6,29	3,56	4,35	4,29
EVB	3,21	3,23	3,17	4,26	3,86
EVS	3,42	3,64	3,28	4,26	4,13
Taxa de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	4,21	3,09	2,96	3,96	4,33
EVL	31,70	7,75	4,00	4,47	4,41
EVB	5,55	3,67	3,49	4,41	3,97
EVS	3,64	3,01	3,47	4,28	3,94
Taxa de $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	4,21	2,36	3,18	3,87	4,29
EVL	36,07	7,02	4,04	4,31	4,48
EVB	3,49	3,52	3,55	3,78	4,07
EVS	2,99	3,66	3,63	4,01	4,28

4.1.9. Concentração de potássio no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico

Constatou-se, nas Tabelas 19 e 20, que, no período de agosto a dezembro, os valores de K, nos efluentes coletados nos vermifiltros constituídos por lixo compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, foram superiores aos valores de K, no esgoto doméstico afluente.

Analisando os dados apresentados na Tabela 20, percebeu-se que, durante o período de tempo de aplicação de esgoto doméstico, nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, houve aumento na concentração de potássio.

Tabela 19 – Valores médios da remoção de K (%) dos afluentes, de acordo com o tipo de material orgânico constituinte, tempo e taxa de aplicação nos vermifiltros

Tempo	Tipos de filtros	Taxa (m ³ m ⁻² d ⁻¹)		
		0,5	1,0	1,5
Agosto (1)	Lixo (1)	-7064,29Bb	-6365,75Ab	-6574,86ABc
	Bagaço (2)	-807,31Aa	-641,35Aa	-880,27Ab
	Serragem (3)	-725,45Aa	-420,67Aa	-216,59Aa
Setembro (2)	Lixo (1)	-1495,98Ab	-1689,13Ab	-1374,30Ab
	Bagaço (2)	-175,08Aa	-331,36Aa	-194,97Aa
	Serragem (3)	-409,70Aa	-32,24Aa	-274,47Aa
Outubro (3)	Lixo (1)	-244,31Aa	-265,93Aa	-290,99Aa
	Bagaço (2)	-73,90Aa	-45,43Aa	-68,23Aa
	Serragem (3)	-96,88Aa	-26,50Aa	-48,16Aa
Novembro (4)	Lixo (1)	-74,83Aa	-154,93Aa	-37,27Aa
	Bagaço (2)	-37,10Aa	-16,34Aa	-12,42Aa
	Serragem (3)	-30,81Aa	-10,46Aa	-10,46Aa
Dezembro (5)	Lixo (1)	-134,16Aa	-143,41Aa	-152,01Aa
	Bagaço (2)	-51,11Aa	-25,91Aa	-3,36Aa
	Serragem (3)	-23,81Aa	-15,40Aa	-48,79Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, nas linhas, para cada taxa de aplicação, e minúscula, nas colunas, para cada tempo de aplicação, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Conforme Lo Mônaco (2001), os materiais orgânicos filtrantes, ao invés de reterem potássio liberam-no, proporcionando a obtenção de efluentes ricos desse elemento, devido à solubilização do potássio presente no meio filtrante, podendo ser essa a responsável pelas altas concentrações de potássio nos efluentes dos vermifiltros.

Brandão (1999) encontrou concentrações de potássio no efluente de até 130 vezes a do afluente de filtros orgânicos, operando com água residuária da suinocultura no bagaço de cana-de-açúcar, e de 35 a 55 vezes, no efluente do filtro de serragem de madeira.

Observou-se que o mês de agosto foi o que mais contribuiu para o aumento desse elemento no efluente de vermifiltro, provavelmente porque foi a primeira aplicação da água residuária e, com isso, a lixiviação foi maior.

Tabela 20 – Concentração de K (mg L^{-1}) obtida no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

Tipo	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	$0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$				
AFL	7,47	9,80	8,70	10,35	9,56
EVL	535,33	156,45	29,97	18,10	22,38
EVB	67,80	26,97	15,14	14,19	14,44
EVS	61,68	49,97	17,13	13,54	11,83
$1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	7,97	9,30	8,80	9,96	9,56
EVL	515,33	166,45	32,21	25,39	23,27
EVB	59,09	40,13	12,80	11,59	12,03
EVS	41,50	12,30	11,14	11,00	11,03
$1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	7,97	8,80	8,30	9,96	9,96
EVL	532,00	129,79	32,47	13,67	25,10
EVB	78,13	25,97	13,97	11,20	10,29
EVS	25,23	32,97	12,30	11,00	14,82

Vale ressaltar que a obtenção de altas concentrações de potássio é um aspecto positivo quando se tem o interesse de utilizar águas residuárias na fertirrigação de cultivos agrícolas.

4.1.10. Concentração de sólidos totais no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico

Na Tabela 21, é evidenciado que não houve efeito das taxas de aplicação sobre a remoção de ST do afluente, de acordo com o tipo de material orgânico constituinte dos vermifiltros, no período de setembro a dezembro.

A remoção de sólidos totais nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado e submetidos à taxa de aplicação de $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ diferiu das obtidas das demais taxas de aplicação, enquanto a remoção de ST do afluente nos vermifiltros constituídos por serragem de madeira e submetidos às

taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹ diferem entre si, no mês de agosto (Tabela 21).

Tabela 21 – Valores médios da remoção de ST (%) dos afluentes, de acordo com o tipo de material orgânico constituinte, tempo e taxa de aplicação nos vermifiltros

Tempo de aplicação	Tipos de materiais orgânicos	Taxa de aplicação (m ³ m ⁻² d ⁻¹)		
		0,5	1,0	1,5
Agosto	Lixo	-2357,42Ac	-2285,15Ac	-2574,65Bc
	Bagaço	-105,76Aa	-59,39Aa	-60,00Aa
	Serragem	-830,53Ab	-498,41Bb	-262,11Cb
Setembro	Lixo	-243,01Ab	-265,01Ab	-296,45Ab
	Bagaço	-57,97Aa	-41,01Aa	-35,88Aa
	Serragem	-59,84Aa	-35,51Aa	-87,98Aa
Outubro	Lixo	-3,11Aa	-25,33Aa	8,31Aa
	Bagaço	26,16Aa	16,33Aa	40,91Aa
	Serragem	19,03Aa	18,78Aa	35,00Aa
Novembro	Lixo	-8,29Aa	2,96Aa	11,52Aa
	Bagaço	17,73Aa	14,99Aa	23,57Aa
	Serragem	11,92Aa	26,38Aa	26,46Aa
Dezembro	Lixo	22,19Aa	33,59Aa	25,48Aa
	Bagaço	38,60Aa	39,90Aa	35,12Aa
	Serragem	31,06Aa	42,17Aa	37,39Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, nas linhas, para cada taxa de aplicação, e minúscula, nas colunas, para cada tempo de aplicação, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Constatou-se que, no mês de agosto, a remoção de ST nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹, diferiu entre si; e, no mês de setembro, os vermifiltros formados por lixo compostado, submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹, apresentaram remoção de ST que diferiu da obtida nos vermifiltros compostos pelos demais tipos de materiais orgânicos.

Analisando os dados apresentados na Tabela 22, observou-se, nos meses de agosto e setembro, que os valores de sólidos totais nos efluentes dos vermifiltros, constituídos por lixo orgânico compostado, serragem de

madeira e bagaço de cana-de-açúcar e submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹, foram superiores aos valores de sólidos totais do afluente, provavelmente devido à solubilização de íons e substâncias do material orgânico filtrante.

Tabela 22 – Concentração de ST (mg L⁻¹) obtidos no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹

Tipo	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	Taxa de 0,5 m³ m⁻² d⁻¹				
AFL	440,00	410,00	697,00	643,00	778,00
EVL	10812,67	1406,33	718,67	696,33	605,33
EVB	905,33	647,67	514,67	529,00	477,67
EVS	4094,33	655,33	564,33	566,33	536,33
Taxa de 1,0 m³ m⁻² d⁻¹					
AFL	440,00	382,00	600,00	676,00	792,00
EVL	10494,67	1394,33	752,00	656,00	526,00
EVB	701,33	538,67	502,00	574,67	476,00
EVS	2633,00	517,67	487,33	497,67	458,00
Taxa de 1,5 m³ m⁻² d⁻¹					
AFL	430,00	366,00	682,00	703,00	764,00
EVL	11501,00	1451,00	625,33	622,00	569,33
EVB	688,00	497,33	403,00	537,33	495,67
EVS	1556,67	688,00	443,33	517,00	478,33

Nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira e expostos às taxas de aplicação de 1,0 e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹ ocorreu remoção de até 33,6; 40,9; e 42% dos sólidos totais no período de outubro a dezembro, respectivamente. Os valores médios de ST, nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹, apresentaram variação de 403 a 11.501 mg L⁻¹.

Lo Mônaco (2001) encontrou percentuais de remoção superiores aos obtidos neste trabalho, quando utilizou filtros orgânicos no tratamento de água residuária da suinocultura, tendo obtido valores na ordem de 60 a 70% no filtro constituído por serragem de madeira e de 60%, no formado por bagaço de cana-de-açúcar. No entanto, Brandão (1999) encontrou eficiência máxima de remoção de 33%, quando o material filtrante utilizado foi o fino de carvão vegetal.

4.1.11. Concentração de sólidos suspensos totais no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico

Na Tabela 23, é mostrado que não houve efeito das taxas de aplicação sobre a remoção de SST, para os tipos de material orgânico, no período de setembro a outubro.

Tabela 23 – Valores médios da remoção de SST (%) dos afluentes, de acordo com o tipo de material orgânico constituinte, tempo e taxa de aplicação nos vermifiltros

Tempo de aplicação	Tipos de materiais orgânicos	Taxa de aplicação ($m^3m^{-2}d^{-1}$)		
		0,5	1,0	1,5
Agosto	Lixo	11,71Ab	20,55Ab	37,84Ab
	Bagaço	75,68Aa	75,80Aa	81,53Aa
	Serragem	13,06Bb	73,52Aa	65,77Aab
Setembro	Lixo	35,59Ab	36,99Ab	11,81Ab
	Bagaço	80,18Aa	81,71Aa	78,90Aa
	Serragem	61,71Aab	73,58Aa	69,62Aa
Outubro	Lixo	31,85Aa	50,53Aa	54,58Aa
	Bagaço	49,63Aa	73,68Aa	77,66Aa
	Serragem	44,44Aa	65,96Aa	67,03Aa
Novembro	Lixo	59,09Aba	39,30Bb	72,99Aa
	Bagaço	75,25Aa	73,13Aa	66,09Aa
	Serragem	54,04Aa	82,09Aa	78,16Aa
Dezembro	Lixo	60,19Aa	72,11Aa	57,50Aa
	Bagaço	78,24Aa	78,23Aa	85,83Aa
	Serragem	55,56Ba	86,39Aa	71,25Aba

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, nas linhas, para cada taxa de aplicação, e minúscula, nas colunas, para cada tempo de aplicação, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A remoção de SST nos protótipos de vermifiltros constituídos por serragem de madeira e submetidos à taxa de aplicação de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ diferiu das demais taxas, nos meses de agosto e dezembro. Os vermifiltros formados por lixo orgânico compostado e expostos à taxa de aplicação de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ proporcionaram remoção de SST, que diferiram das taxas de aplicação de 0,5 e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, no mês de novembro.

A remoção de SST do afluente dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado e serragem de madeira submetidos às taxas de aplicação de 0,5, 1,0 e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ diferiu das obtidas dos vermifiltros compostos por bagaço de cana-de-açúcar. Tal fato, provavelmente, se atribui ao arraste de partículas presentes no lixo compostado e na serragem de madeira, durante esse período de aplicação do esgoto doméstico.

Analisando os dados apresentados na Tabela 24, percebeu-se eficiente remoção de SST nas três taxas de aplicação do esgoto doméstico, ao longo do tempo. Notou-se que houve remoção de até 73, 85 e 86% de SST nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente, no período de agosto a dezembro. Estes valores estão próximos aos encontrados por Laws (2003) que, analisando a qualidade dos efluentes dos vermifiltros de serragem de madeira operando com esgoto doméstico bruto na taxa de $1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, obteve remoção de 80% de sólidos suspensos totais.

Os valores médios de sólidos suspensos totais nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, oscilaram de 22,67 a $139,33 \text{ mg L}^{-1}$. Constatou-se, no período de outubro a dezembro, que os valores de sólidos suspensos totais, dos efluentes dos vermifiltros, foram inferiores ao limite de 100 mg L^{-1} de sólidos suspensos totais para lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores (BRASIL, 2008).

Tabela 24 – Concentração de SST (mg L^{-1}) obtida no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

Tipo	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	$0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$				
AFL	148,00	148,00	180,00	132,00	144,00
EVL	130,67	95,33	122,67	54,00	57,33
EVB	36,00	29,33	90,67	32,67	31,33
EVS	128,67	56,67	100,00	60,67	64,00
$1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	146,00	164,00	190,00	134,00	196,00
EVL	116,00	103,33	94,00	81,33	54,67
EVB	35,33	30,00	50,00	36,00	42,67
EVS	38,67	43,33	64,67	24,00	26,67
$1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	148,00	158,00	182,00	116,00	160,00
EVL	92,00	139,33	82,67	31,33	68,00
EVB	27,33	33,33	40,67	39,33	22,67
EVS	50,67	48,00	60,00	25,33	46,00

4.1.12. Concentração de nitrogênio total no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico

É apresentado, na Tabela 25, que não houve efeito das taxas de aplicação na remoção de nitrogênio total do afluente, de acordo com os materiais orgânicos avaliados, no período de setembro a dezembro, e nem dos materiais orgânicos estudados, no período de outubro a dezembro.

No mês de agosto ocorreu o desprendimento de NT pré-existente no lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, ocasionando o surgimento de valores negativos na remoção desta variável.

Embora numericamente tenha sido possível observar maior eficiência na remoção de nitrogênio nos vermifiltros constituídos por bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira (Tabela 26), não foi encontrada diferença significativa entre as médias, em nível de 5% de probabilidade, entre os meses de outubro e dezembro.

Tabela 25 – Valores médios da remoção de NT (%) dos afluentes, de acordo com o tipo de material orgânico constituinte, tempo e taxa de aplicação nos vermifiltros

Tempo de aplicação	Tipos de materiais orgânicos	Taxa de aplicação ($\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$)		
		0,5	1,0	1,5
Agosto	Lixo	-1215,48 Bc	-1095,25Ac	-1117,96Ab
	Bagaço	-62,59 Aba	-11,15Aa	-86,55Ba
	Serragem	-295,10 Bb	-133,58Ab	-116,34Aa
Setembro	Lixo	3,33 Aa	-37,35Ab	-33,33Ab
	Bagaço	40,36 Aa	41,62Aa	46,67Aa
	Serragem	23,33 Aa	21,02Aab	7,39Aab
Outubro	Lixo	27,96 Aa	17,24Aa	28,13Aa
	Bagaço	51,62 Aa	37,93Aa	39,59Aa
	Serragem	36,56 Aa	20,69Aa	14,59Aa
Novembro	Lixo	12,91 Aa	29,45Aa	27,39Aa
	Bagaço	49,80 Aa	55,37Aa	39,75Aa
	Serragem	51,28 Aa	59,69Aa	39,75Aa
Dezembro	Lixo	21,37 Aa	17,19Aa	22,23Aa
	Bagaço	26,50 Aa	41,08Aa	33,57Aa
	Serragem	24,79 Aa	37,89Aa	30,33Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, nas linhas, para cada taxa de aplicação, e minúscula, nas colunas, para cada tempo de aplicação, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 26, é verificado, no mês de agosto, que os valores de nitrogênio total nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$, foram superiores aos valores de nitrogênio total do afluente, em razão do arraste de nutrientes pelo esgoto doméstico na sua passagem através dos meios filtrantes.

As concentrações médias de nitrogênio total nos efluentes dos vermifiltros, constituídos por lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$, variaram de 21,42 a 478,51 mg L^{-1} .

Tabela 26 – Concentração de NT (mg L^{-1}) obtida no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

Tipo	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	$0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$				
AFL	35,15	58,58	44,27	63,15	54,55
EVL	462,33	56,62	31,89	55,00	42,89
EVB	57,14	34,93	21,42	31,70	40,09
EVS	138,86	44,91	28,08	30,77	41,03
$1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	39,29	56,86	41,41	64,76	58,55
EVL	469,59	78,10	34,27	45,69	48,48
EVB	43,67	33,19	25,70	28,90	34,50
EVS	91,77	44,91	32,84	26,11	36,36
$1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$					
AFL	39,29	58,58	45,70	60,35	57,55
EVL	478,51	78,10	32,84	43,82	44,76
EVB	73,29	31,24	27,61	36,36	38,23
EVS	85,00	54,25	39,03	36,36	40,09

Nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, ocorreu remoção de até 55, 71 e 74%, respectivamente.

Laws (2003) analisou a qualidade do efluente de vermifiltros de serragem de madeira, operando com esgoto doméstico bruto na taxa de $1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, e obteve remoção de 70% de nitrogênio total.

Já Lo Mônaco (2001), trabalhando com filtros orgânicos de serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho triturado em água residuária da suinocultura, encontrou eficiência na remoção de nitrogênio total na faixa de 45-65%, tendo sido obtidas menores remoções com filtros de sabugo de milho triturado.

Brandão (1999), trabalhando com filtros orgânicos, operando com água residuária da suinocultura, não encontrou alterações sensíveis na concentração de nitrogênio total do efluente dos filtros em relação ao afluente.

4.1.13. Concentração de nitrato no afluente e nos efluentes dos vermifiltros, operando com esgoto doméstico

Na Tabela 27, é verificado que houve efeito das taxas de aplicação sobre a remoção de NO_3^- do afluente, de acordo com o tipo de material orgânico constituinte dos vermifiltros, no período de agosto a dezembro.

Tabela 27 – Valores médios da remoção de NO_3^- (%) dos afluentes, de acordo com o tipo de material orgânico constituinte, tempo e taxa de aplicação nos vermifiltros

Tempo de aplicação	Tipos de materiais orgânicos	Taxa de aplicação ($\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$)		
		0,5	1,0	1,5
Agosto	Lixo	-1467,17Bc	-1607,68Cb	-759,51Ab
	Bagaço	-99,84Ba	-21,33ABa	59,52Aa
	Serragem	-530,89Bb	13,33Aa	21,91Aa
Setembro	Lixo	-434,77Bb	-327,85Bb	-18,96Aa
	Bagaço	11,55Aa	-12,75Aa	68,06Aa
	Serragem	-55,23Aa	8,53Aa	43,93Aa
Outubro	Lixo	-256,67Bb	-180,56Bb	-4,76Aa
	Bagaço	-109,17Ba	-4,86ABa	59,13Aa
	Serragem	-200,83Bab	20,83Aa	24,60Aa
Novembro	Lixo	-212,21Ba	-91,55ABa	-25,81Aa
	Bagaço	-125,08Ba	11,04Aa	11,21Aa
	Serragem	-139,95Ba	36,15Aa	31,04Aa
Dezembro	Lixo	-175,07Ba	-6,50Aa	-31,13Aa
	Bagaço	-82,83Aa	14,34Aa	-9,33Aa
	Serragem	-83,57Aa	44,58Aa	14,44Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, nas linhas, para cada taxa de aplicação, e minúscula, nas colunas, para cada tempo de aplicação, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Constatou-se que a remoção de NO_3^- do afluente nos vermifiltros, constituídos por lixo orgânico compostado e submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, difere entre si, enquanto nos vermifiltros constituídos por bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira e submetidos à taxa de aplicação de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ a remoção de NO_3^- do afluente diferiu da obtida nos protótipos de vermifiltro, submetidos à taxa de aplicação de $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, no mês de agosto (Tabela 27).

Os vermifiltros formados por lixo compostado e submetidos à taxa de aplicação de $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ apresentou remoção de NO_3^- , que diferiu das demais taxas de aplicação, no mês de setembro. A remoção de NO_3^- do afluente nos protótipos de vermifiltros, constituídos por lixo orgânico compostado e bagaço de cana-de-açúcar e expostos à taxa de aplicação de $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, diferiu da obtida nos vermifiltros compostos pelas demais taxas de aplicação no mês de outubro, enquanto os vermifiltros constituídos por serragem de madeira e submetidos à taxa de aplicação de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ apresentaram remoção de NO_3^- , que diferiu da obtida no afluente dos protótipos de vermifiltros submetidos às demais taxas de aplicação.

Os vermifiltros formados por lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira e submetidos à taxa de aplicação de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ apresentaram remoção de NO_3^- do afluente, que diferiu da obtida nos submetidos à taxa de aplicação de $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, no mês de novembro. Já a remoção de NO_3^- nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado exposto à taxa de aplicação de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ diferiu da obtida nos submetidos às demais taxas de aplicação, no mês de dezembro.

No mês de agosto, a remoção de NO_3^- do afluente nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira e submetidos à taxa de aplicação de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ diferiu entre si, enquanto os formados por lixo orgânico compostado e expostos às taxas de aplicação de 1,0 e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ apresentaram remoção de NO_3^- , que diferiu dos vermifiltros constituídos pelos demais tipos de materiais orgânicos. Nos meses de setembro e outubro, a remoção de NO_3^- nos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado e submetidos às taxas de aplicação de 0,5 e $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ diferiu da obtida nos constituídos por bagaço de cana-de-açúcar.

Na Tabela 28, é observado, no período de agosto a dezembro, que os valores de NO_3^- , nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado e submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$, foram superiores aos valores encontrados no afluente. Tal fato provavelmente ocorreu devido ao arraste de nutrientes pelo esgoto doméstico quando de sua percolação no meio filtrante.

Tabela 28 – Concentração de NO_3^- (mg L^{-1}) obtida no afluente (AFL) e nos efluentes dos vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado (EVL), bagaço de cana-de-açúcar (EVB) e serragem de madeira (EVS), ao longo do tempo de operação do sistema, nas taxas de 0,5; 1,0; e 1,5 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$

Tipo	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	0,5 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$				
AFL	0,51	0,91	0,40	0,40	0,45
EVL	7,99	4,85	1,43	1,26	1,24
EVB	1,02	0,80	0,84	0,91	0,83
EVS	3,22	1,41	1,20	0,97	0,83
1,0 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$					
AFL	0,50	0,43	0,48	0,58	0,54
EVL	8,54	1,84	1,35	1,12	0,58
EVB	0,61	0,48	0,50	0,52	0,46
EVS	0,43	0,39	0,38	0,37	0,30
1,5 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$					
AFL	0,98	1,36	0,84	0,62	0,60
EVL	8,42	1,62	0,88	0,78	0,79
EVB	0,40	0,43	0,34	0,55	0,66
EVS	0,77	0,76	0,63	0,43	0,51

Nos vermifiltros constituídos por serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar, submetidos às taxas de aplicação de 1,0 e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹, ocorreu remoção de até 45 e 68%, respectivamente, no período de agosto a dezembro. As concentrações médias de NO₃⁻, nos efluentes coletados nos vermifiltros formados por lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, expostos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹, apresentaram oscilação de 0,30 a 8,54 mg L⁻¹.

Analisando os materiais orgânicos utilizados na constituição dos vermifiltros, pôde-se constatar que o lixo orgânico compostado não é recomendável para este tipo de tratamento, pois ele prejudicou a qualidade da água residuária nos dois primeiros meses de tratamento para a maioria das características analisadas. No entanto, com o tempo tendeu a atingir valores próximos aos encontrados nos vermifiltros de serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar.

O bagaço de cana-de-açúcar e a serragem de madeira apresentaram melhores resultados, retendo a maioria dos elementos poluentes e diminuindo a liberação desses elementos nos efluentes dos vermifiltros desde o início do tratamento.

Observou-se que não houve diferenças significativas, no que se refere à remoção de poluentes do esgoto doméstico, entre as taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹.

4.2. Parâmetros biométricos das minhocas coletadas nos vermifiltros

Na Tabela 29, é apresentado o resumo da análise de variância dos valores médios de massa, comprimento, diâmetro e número de minhocas nos protótipos de vermifiltros, no esquema de parcelas subdivididas.

Verificou-se que a interação T x TA x TM não foi significativa a 1 ou 5% de probabilidade (Tabela 29). Apesar disso, optou-se por fazer o desdobramento dessas, devido ao interesse em estudar o desempenho delas nos protótipos de vermifiltros.

Tabela 29 – Análise de variância de massa, comprimento, diâmetro e número de minhocas, nos diferentes vermifiltros, taxas de aplicação e tempos de avaliação

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio			
		Massa	Comprimento	Diâmetro	Número de minhocas
Taxa de aplicação (TA)	2	3,91x10 ^{-2**}	139,70**	2,94x10 ^{-1**}	25077,86 ^{ns}
Tipos de materiais orgânicos (TM)	2	4,94x10 ^{-3 ns}	6,22 ^{ns}	3,21x10 ^{-2 ns}	12776,68 ^{ns}
Tempo de avaliação (T)	2	2,40x10 ^{-1**}	8,22 ^{ns}	1,49**	26472,49 ^{ns}
TA x TM	4	4,86x10 ^{-3 ns}	22,83 ^{ns}	3,98x10 ^{-2 ns}	11071,99 ^{ns}
T x TM	4	1,52x10 ^{-3 ns}	9,71 ^{ns}	2,94x10 ^{-1*}	12926,57 ^{ns}
T x TA	4	1,41x10 ^{-2**}	65,79*	1,17x10 ^{-1 ns}	12659,98 ^{ns}
T x TA x TM	8	1,35x10 ^{-3 ns}	7,15 ^{ns}	2,17x10 ^{-2 ns}	17521,91 ^{ns}
Resíduo (c)	58	2,37x10 ⁻³	22,61	4,19 x10 ⁻²	6377,09

** , * e ^{ns} significativos, a 1 e 5% de probabilidade e não-significativo, a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Antes de as minhocas serem colocadas nos vermifiltros, obteve-se, num lote de 100 minhocas, os valores médios individuais de 0,16 g de massa, 53,48 mm de comprimento e 2,02 mm de diâmetro. Com isso, pôde-se comparar as características das minhocas no início do tratamento, na metade e no final do tratamento.

Na Tabela 30, é constatado que houve efeito das taxas de aplicação sobre a massa média das minhocas no mês de outubro para o vermifiltro constituído por lixo orgânico compostado submetido à taxa de 0,5 m³ m⁻² d⁻¹, que diferiu da taxa de 1,0 m³ m⁻² d⁻¹. Observou-se que, no mês de dezembro, os vermifiltros constituídos pelos três tipos de materiais filtrantes avaliados e submetidos à taxa de 0,5 m³ m⁻²d⁻¹ diferiram das demais taxas. Atentou-se que a massa média foi menor nas minhocas dos vermifiltros expostos à taxa de 0,5 m³ m⁻² d⁻¹, talvez pelo fato de ter sido menor a quantidade de esgoto doméstico aplicado diariamente, fazendo com que ganhassem menos massa.

Tabela 30 – Valores médios da massa das minhocas (g), em função do tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação de esgoto doméstico nos vermifiltros

Tempo de aplicação	Tipos de materiais orgânicos	Taxa de aplicação ($\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$)		
		0,5	1,0	1,5
Outubro	Lixo	0,28Bb	0,41Aa	0,39ABa
	Bagaço	0,32Aa	0,39Aa	0,34Aa
	Serragem	0,31Aa	0,32Ab	0,35Aa
Dezembro	Lixo	0,19Ba	0,37Aa	0,37Aa
	Bagaço	0,18Ba	0,36Aa	0,30Aa
	Serragem	0,21Ba	0,27Ab	0,31Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, nas linhas, para cada taxa de aplicação, e minúscula, nas colunas, para cada tempo de aplicação, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Comparando os valores da massa média nos diferentes tipos de materiais analisados, observou-se que na serragem de madeira houve diferença em relação aos demais materiais para a taxa de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, nos meses de outubro e dezembro (Tabela 30).

Observou-se ainda, na Tabela 30, que as minhocas tiveram aumento de massa média do início do tratamento (0,16 g) até a metade do tratamento (em outubro) para as três taxas de aplicação avaliadas, diminuindo depois no final do tratamento (em dezembro).

Na Tabela 31, é evidenciado que, no mês de outubro, houve efeito significativo das taxas de aplicação sobre o comprimento médio das minhocas para os vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado e submetidos à taxa de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, que diferiram da taxa de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

No entanto, numericamente, observou-se que o comprimento médio das minhocas aumentou na metade do tratamento para a taxa de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, em relação ao comprimento médio no início do tratamento, que foi de 53,48 mm; provavelmente, devido à taxa de aplicação ter sido propícia ao desenvolvimento. Na taxa de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, houve diminuição do valor médio do comprimento das minhocas, nos meses de outubro e dezembro, em relação ao valor médio do início do tratamento, possivelmente devido à menor quantidade de esgoto doméstico aplicado diariamente.

Tabela 31 – Valores médios do comprimento das minhocas (mm), em função do tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação de esgoto doméstico nos vermifiltros

Tempo de aplicação	Tipos de materiais orgânicos	Taxa de aplicação ($\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$)		
		0,5	1,0	1,5
Outubro	Lixo	45,62Ba	59,31Aa	54,18ABa
	Bagaço	47,62Aa	58,67Aa	53,09Aa
	Serragem	49,11Aa	55,78Aa	51,37Aa
Dezembro	Lixo	48,13Aa	55,78Aa	56,78Aa
	Bagaço	49,62Aa	52,38Aa	49,78Aa
	Serragem	53,84Aab	52,75Aa	52,53Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas para cada taxa de aplicação, e minúscula, nas colunas, para cada tempo de aplicação, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Evidenciou-se que não houve diferença significativa no comprimento médio das minhocas contidas nos diferentes tipos de materiais orgânicos analisados (Tabela 31).

Na Tabela 32, é mostrado que houve efeito das taxas de aplicação sobre o diâmetro das minhocas no mês de dezembro nos três tipos de vermifiltros avaliados e submetidos à taxa de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, que diferiram da taxa de $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. O diâmetro médio das minhocas foi menor nos vermifiltros expostos à taxa de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ no mês de dezembro, se comparadas com as médias de início e na metade do tratamento.

Comparando os valores médios de diâmetro nos diferentes tipos de materiais, atentou-se que no mês de outubro houve diferença significativa para o bagaço de cana-de-açúcar na taxa de $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, que apresentou diâmetro médio menor que os demais tipos de material. Na taxa de $1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, a serragem diferiu dos obtidos nos demais materiais, apresentando diâmetro médio menor (Tabela 32).

Constatou-se, na Tabela 33, que não houve efeito das taxas de aplicação sobre o número de minhocas nos vermifiltros submetidos às taxas de 0,5; 1,0; e $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, embora, numericamente, tenha sido observado que na taxa de $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ houve maior número de minhocas por volume de amostra.

Tabela 32 – Valores médios do diâmetro das minhocas (mm), em função do tipo de material orgânico, tempo e taxa de aplicação de esgoto doméstico nos vermifiltros

Tempo de aplicação	Tipos de materiais orgânicos	Taxa de aplicação ($\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$)		
		0,5	1,0	1,5
Outubro	Lixo	2,28Aa	2,49Aa	2,48Aa
	Bagaço	2,04Ab	2,54Aa	2,31Aa
	Serragem	2,20Aa	2,23Ab	2,26Aa
Dezembro	Lixo	1,51Bb	1,96ABa	2,13Aa
	Bagaço	1,62Ba	1,87ABa	1,96Aa
	Serragem	1,76Ba	1,79Ab	2,04Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, nas linhas, para cada taxa de aplicação, e minúscula, nas colunas, para cada tempo de aplicação, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 33 – Valores médios do número de minhocas/0,01 m^3 para o tipo de material orgânico constituinte, tempo e taxa de aplicação de esgoto doméstico nos vermifiltros

Tempo de aplicação	Tipos de materiais orgânicos	Taxa de aplicação ($\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$)		
		0,5	1,0	1,5
Outubro	Lixo	53Aa	80Aa	133,33Aa
	Bagaço	19,33Ab	17,67Ab	78,33Aab
	Serragem	16,33Ab	23Ab	35Ab
Dezembro	Lixo	231Aa	36,67Ab	96,33Ab
	Bagaço	54,67Ab	28,33Ab	59Ab
	Serragem	55Ab	23Ab	371,67Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, nas linhas, para cada taxa de aplicação, e minúscula, nas colunas, para cada tempo de aplicação, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Observou-se que houve efeito dos tipos de materiais utilizados nos vermifiltros. O lixo orgânico compostado propiciou o desenvolvimento de maior número de minhocas tanto no mês de outubro assim como em dezembro, com exceção da serragem de madeira na taxa de $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

5. CONCLUSÕES

- Os protótipos de vermifiltros constituídos por lixo orgânico compostado, bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira, quando submetidos às taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹, proporcionaram remoções de até 91% nos valores de turbidez, 80% da demanda bioquímica de oxigênio, 80% da demanda química de oxigênio, 78% dos óleos e graxas, 69% do fósforo total, 86% dos sólidos suspensos totais e 60% do nitrogênio total dos efluentes, no período de agosto a dezembro de 2009.
- Não foram constatadas diferenças significativas, no que se refere à remoção de poluentes do esgoto doméstico, entre as taxas de aplicação de 0,5; 1,0; e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹.
- Houve influência dos tipos de materiais orgânicos sobre o desempenho dos vermifiltros. A serragem de madeira e o bagaço de cana-de-açúcar apresentaram melhor desempenho e maior capacidade de reter poluentes.
- O lixo orgânico compostado aumentou a concentração da maioria das variáveis físicas e químicas analisadas no efluente, principalmente nos dois primeiros meses de operação dos vermifiltros. Dessa forma, não é recomendável a utilização desse material para o tratamento de esgoto doméstico com vermifiltros.

- Não foram constatadas diferenças significativas nos valores médios de massa, comprimento, diâmetro e número de minhocas/volume de amostra para as diferentes taxas de aplicação e tipos de materiais analisados.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for water and wastewater examination**. 19.ed. Washington, D.C., 2005. 1134 p.

ANDRADE NETO, C.O. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários: experiências brasileiras**. Rio de Janeiro: ABES, 1997. 301 p.

AQUINO, A.M.; ALMEIDA, D.L.; SILVA, V.F. Utilização de minhocas na estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem. **Revista Itaguaí**, n. 8, p. 1-6, 1992.

AZEVEDO NETTO, J.M. **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. 2.ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987. 549 p.

BIDONE, F.R.A. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: ABES, 2001. 240 p. (Projeto PROSAB).

BRANDÃO, V.S. **Tratamento de águas residuárias da suinocultura utilizando filtros orgânicos**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Brasília, 2005.

BRASIL. Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Deliberação Normativa n.º 01 de 05 de maio de 2008. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e de outras providências.** Belo Horizonte, 2008.

CHERNICHARO, C.A.L.; FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; PIVELI, R.P.; VON SPERLING, M.; MONTEGGIA, L.O. Tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados a diversas modalidades de reuso da água. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2006. cap. 3, p. 63-110. (Projeto PROSAB).

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Manual de saneamento.** 3.ed. Brasília, 2004. 408 p.

GALAL-GORCHEV, A. Desinfección del agua potable y subproductos de interés para la salud. In: _____. **La calidad del agua potable en América Latina: ponderación de los riesgos microbiológicos contra los riesgos de los subproductos de la desinfección química.** Washington: ILSI Press, 1996. p. 89-100.

HUMAN DEVELOPMENT REPORT – HDR. **Power, poverty and the global water crisis.** New York: United Nations Development Programme, 2006. 440 p.

JAVAREZ JÚNIOR, A.; PAULA JÚNIOR, D.R.; GAZZOLA, J. Avaliação do desempenho de dois sistemas modulares no tratamento anaeróbio de esgotos em comunidades rurais. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 794-803, 2007.

JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos.** Rio de Janeiro: ABES, 2005. v. 1, p. 9-28.

LAWS, J.E.A. **Evaluación ambiental del sistema Tohá en la remoción de *Salmonella* en aguas servidas domésticas.** 2003. 92 p. Tesis (Magister en Gestión y Planificación Ambiental) – Universidad de Chile, Santiago.

LO MÔNACO, P.A. **Influência da granulometria do material orgânico filtrante na eficiência de tratamento de águas residuárias.** 2001. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

LO MÔNACO, P.A.; MATOS, A.T.; JORDÃO, C.P.; CECON, P.R.; MARTINEZ, M.A. Influência da granulometria da serragem de madeira como material filtrante no tratamento de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 116-119, 2004.

MAGALHÃES, M.A.; MATOS, A.T.; DENÍCULI, W.; TINOCO, I.F.F. Operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 472-478, 2006.

MATOS, A.T. **Manejo e tratamento de resíduos agroindustriais**. Viçosa: AEAGRI, 2004. 69 p. (Caderno Didático).

MATOS, A.T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa: AEAGRI, 2007. 140 p. (Caderno Didático, 38).

MATOS, A.T.; BRANDÃO, V.S.; NEVES, J.C.L.; MARTINEZ, M.A. Removal of Cu and Zn from swine raising wastewater using organic filters. **Environmental Technology**, v. 24, n. 2, p. 171-178, 2003.

METCALF & EDDY INCORPORATION – MEI. **Ingeniería sanitária: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales**. 2.ed. Barcelona: Labor, 1985. 908 p.

NUVOLARI, A. **Esgotos sanitários: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. São Paulo: FATEC/Edgar Blucher, 2003. 519 p.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD – OMS. **Agua y salud**. 1999. 19 p.

PAGANINI, W.S. **Disposição de esgotos no solo (escoamento superficial)**. São Paulo: Fundo Editorial AESABESP, 1997. 232 p.

PERDOMO, C.C.; OLIVEIRA, P.A.V.; KUNZ, A. **Metodologia sugerida para estimar o volume e a carga de poluentes gerados em uma granja de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003. (Comunicado Técnico, 332).

SILVA, S.A.; MARA, D.D. **Tratamentos biológicos de águas residuárias: lagoas de estabilização**. Rio de Janeiro: ABES, 1979. 44 p.

SOTO, M.A.; TOHÁ, J. Ecological wastewater treatment. In: INTERNACIONAL CONGRESS: ADVANCED WASTEWATER TREATMENT, RECYCLING AND REUSE, 2., 1998, Milan. **Proceedings...** Milan, 1998. p. 1091-1094.

TERADA, M.; ZUCCOLO, A.C.F.; PAGANINI, W.S. Tratamento de esgotos domésticos por disposição no solo com utilização de gramíneas. **Revista DAE**, São Paulo, v. 45, n. 142, p. 249-254, 1985.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Guidance manual: alternative disinfections and oxidants**. Washington, D.C., 1999.

VERAS, L.R.V.; POVINELLI. J. A vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciadas com composto de lixo urbano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 218-224, 2004.

VIEIRA, M.I. **Minhocas dão lucros**: reprodução, produção, instalações, comercialização. São Paulo: Prata, 1993. 184 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 243 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, 1).

APÊNDICE

APÊNDICE

Tabela 1A – Variação da temperatura na água residuária afluyente e efluente dos vermifiltros no mês de agosto

Taxa de aplicação ($\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$)	Tipo	Horário (h)		
		09:00	12:00	15:00
0,5	AFL	22,00	24,70	27,40
	EVL	22,47	23,40	26,60
	EVB	22,10	24,10	27,30
	EVS	22,20	24,30	27,57
1,0	AFL	21,80	24,50	27,20
	EVL	22,20	23,30	26,40
	EVB	21,50	23,90	26,90
	EVS	22,30	23,80	26,70
1,5	AFL	21,80	24,90	28,00
	EVL	22,32	23,20	26,80
	EVB	21,90	23,90	27,50
	EVS	22,10	24,10	27,62

Tabela 2A – Variação da temperatura na água residuária afluente e efluente dos vermifiltros no mês de setembro

Taxa de aplicação (m ³ m ⁻² d ⁻¹)	Tipo	Horário (h)		
		09:00	12:00	15:00
0,5	AFL	21,60	25,40	26,50
	EVL	21,93	25,67	26,43
	EVB	22,03	24,60	26,29
	EVS	22,07	25,50	26,25
1,0	AFL	21,20	25,60	26,10
	EVL	21,47	25,03	25,90
	EVB	21,63	25,45	25,37
	EVS	21,63	25,67	26,15
1,5	AFL	21,30	25,50	26,30
	EVL	21,83	25,33	25,50
	EVB	22,00	25,42	25,30
	EVS	21,87	25,34	25,70

Tabela 3A – Variação da temperatura na água residuária afluente e efluente dos vermifiltros no mês de outubro

Taxa de aplicação (m ³ m ⁻² d ⁻¹)	Tipo	Horário (h)		
		09:00	12:00	15:00
0,5	AFL	23,60	25,50	26,00
	EVL	23,77	25,27	25,67
	EVB	23,50	23,50	26,27
	EVS	23,40	26,03	26,17
1,0	AFL	23,90	25,50	25,90
	EVL	24,77	25,07	25,33
	EVB	25,13	25,27	25,67
	EVS	25,77	25,83	25,93
1,5	AFL	23,90	25,60	25,70
	EVL	24,87	25,23	25,47
	EVB	25,07	25,13	25,43
	EVS	25,40	25,57	25,60

Tabela 4A – Variação da temperatura na água residuária afluente e efluente dos vermifiltros no mês de novembro

Taxa de aplicação (m ³ m ⁻² d ⁻¹)	Tipo	Horário (h)		
		09:00	12:00	15:00
0,5	AFL	25,70	26,20	28,40
	EVL	24,73	26,70	28,00
	EVB	26,67	26,67	27,30
	EVS	25,40	26,67	28,27
1,0	AFL	25,70	26,20	28,40
	EVL	24,20	25,53	26,47
	EVB	25,83	26,60	27,33
	EVS	25,67	26,37	26,97
1,5	AFL	25,70	26,20	28,40
	EVL	25,40	26,53	28,10
	EVB	25,83	26,33	26,23
	EVS	25,03	26,43	26,90

Tabela 5A – Variação da temperatura na água residuária afluente e efluente dos vermifiltros no mês de dezembro

Taxa de aplicação (m ³ m ⁻² d ⁻¹)	Tipo	Horário (h)		
		9:00	12:00	15:00
0,5	AFL	26,00	27,80	29,70
	EVL	25,57	26,23	26,40
	EVB	26,57	26,57	27,13
	EVS	26,03	26,73	27,47
1,0	AFL	26,00	27,80	29,70
	EVL	24,53	26,33	26,53
	EVB	25,63	26,50	26,23
	EVS	26,13	26,37	26,30
1,5	AFL	26,00	27,80	29,70
	EVL	25,43	26,07	26,03
	EVB	25,67	26,40	25,83
	EVS	25,33	26,10	26,23

Tabela 6A – Caracterização química do lixo orgânico compostado

Amostra	Dag·kg ⁻¹								
	Densidade (g·cm ⁻³)	pH	Ca	Mg	K	N	Na	Al	P
1	0,48	7,67	5,73	0,52	0,74	0,87	-	1,01	1,23

Amostra	mg·kg ⁻¹								
	S	Cu	Zn	Mn	Fe	Cd	Ni	Pb	Cr
1	-	73,15	244,56	5263,50	18085,00	18,43	*	100,16	41,39

MO = Sólidos Voláteis Totais

* não detectado

1 – Composto orgânico de lixo urbano proveniente da Usina de Triagem e Compostagem de São Geraldo, MG.