



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo

Marcelo Francisco de Souza

**TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO POR
VERMIFILTRAÇÃO: AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DO
SUBSTRATO DA CAMADA SUPERIOR NA QUALIDADE DO
EFLUENTE**

Campinas

2018



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

Marcelo Francisco de Souza

TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO POR VERMIFILTRAÇÃO: AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DO SUBSTRATO DA CAMADA SUPERIOR NA QUALIDADE DO EFLUENTE

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de **Bacharel em Engenharia Civil** à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas.

Orientadora: Profa. Dra. Jerusa Schneider

Campinas

2018

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

So89t Souza, Marcelo Francisco de, 1988-
Tratamento de esgoto sanitário por vermifiltração : avaliação da interferência do substrato da camada superior na qualidade do efluente. / Marcelo Francisco de Souza. – Campinas, SP : [s.n.], 2018.

Orientador: Jerusa Schneider.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Esgotos - Tratamento. 2. Esgoto sanitário. 3. Matéria orgânica. 4. Biofiltro aeróbio. I. Schneider, Jerusa. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações adicionais complementares

Titulação: Bacharel

Data de entrega do trabalho definitivo: 06-07-2018



**TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO POR VERMIFILTRAÇÃO:
AVALIAÇÃO DA INTERFERÊNCIA DO SUBSTRATO DA CAMADA
SUPERIOR NA QUALIDADE DO EFLUENTE**

Marcelo Francisco de Souza

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Jerusa Schneider
Orientadora

.....
Prof. Msc. Francisco José Peña Y Lillo Madrid

.....
Prof. Msc. Isabel Campos Salles Figueiredo

Aprovado em: 06 de julho de 2018



AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus familiares, pai mãe e irmãos, pelo apoio durante a elaboração desse trabalho. Queria agradecer aos amigos que nos momentos mais complicados puderam me ajudar com incentivos. A minha orientadora Jerusa Schneider, pela paciência e explicação nos momentos de dúvidas, sem ela esse estudo não seria possível. Ao pessoal do laboratório LabSAN pela ajuda com os equipamentos e por tirar algumas dúvidas. A Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo e por fim para a Universidade Estadual de Campinas.

RESUMO

Pesquisas mostram que aproximadamente 34 milhões de brasileiros não possuem acesso à rede coletora de esgoto. Dessa forma, sistemas compactos de tratamento vêm sendo adotados para o tratamento de águas residuárias por apresentarem resultados satisfatórios na remoção de poluentes. No entanto, essas tecnologias são de difícil manutenção e operação devido à complexidade dos sistemas, à geração de lodo residual e à consequente perda de eficiência, além de terem implantação difícil e custo elevado. Sendo assim, a vermifiltração surge como alternativa de tratamento de efluentes, possuindo um desempenho satisfatório para a remoção de poluentes, simplicidade de instalação e operação. A tecnologia consiste em um filtro biológico de fluxo intermitente que combinado com a vermicompostagem faz a degradação da matéria orgânica presente no esgoto bruto. Contudo, por se tratar de uma tecnologia relativamente recente, ainda não há uma configuração padrão, tais como a indicação da composição e profundidade do substrato da camada com minhocas e necessidade/frequência de reposição desse substrato. O presente estudo tem como objetivo principal, avaliar a influência de diferentes substratos colonizados com minhocas na eficiência da vermifiltração. Para isso, foram construídos 18 vermifiltros com garrafas pet de 1,5 L, diâmetro de 8 cm, em escala de bancada com diferentes substratos de 12 cm de altura, cada vermifiltro contendo 5 minhocas da espécie *Eisenia andrei*, que paralelamente teve uma unidade comparativa de controle com o mesmo substrato, porém sem minhocas. Os resultados mostram que os vermifiltros contendo minhocas apresentaram maior turbidez do que as unidades de controle. Em relação aos resultados das análises físico-químicas, pH, condutividade e alcalinidade o estudo se mostrou compatível com os atuais trabalhos. Verificou-se, a redução da DQO de 94% para areia com e sem minhocas, para a mistura de Areia+Serragem houve uma remoção de 70% sem minhocas e 88% com minhocas e para a serragem 53% sem minhocas e 69% com minhocas. Quanto aos aspectos finais do substrato ficou evidenciado a movimentação das minhocas no interior dos vermifiltros e mudanças significativas no seu material final.

Palavras-chave: Tratamento descentralizado, esgoto sanitário, matéria orgânica, biofiltro, vermifiltro

ABSTRACT

Research shows that approximately 34 million Brazilians do not have access to the sewage disposal system. In this way, compact treatment systems have been adopted for the treatment of wastewater because they present satisfactory results in the removal of pollutants. However, these technologies are difficult to maintain and operate because of the complexity of the systems, the generation of residual sludge and consequent loss of efficiency, and difficult deployment and cost. Therefore, the vermifiltration emerges as effluent treatment option having a satisfactory performance for the removal of pollutants, simple installation and operation. The technology consists of a biological filter of intermittent flow that combined with vermicomposting makes the degradation of the organic matter present in the raw sewage. However, because it is a relatively recent technology, there is still no standard configuration, such as the indication of the composition and depth of the substrate of the earthworm layer and the necessity/frequency of replacement of that substrate. This study aims to evaluate the influence of different substrates colonized with worms in the efficiency of vermifiltration. To this, were constructed with 18 vermifilters of the 1.5 L PET bottles, diameter 8 cm, bench-scale to different substrates of 12 cm, each containing 5 earthworms of *Eisenia andrei* species, which had a parallel comparative unit control with the same substrate, but without earthworms. The results show that vermifilters containing worms showed higher turbidity than the control units. Regarding the results of the physical-chemical analysis, pH, conductivity, and alkalinity, the study was compatible with the current works. A reduction of DQO was observed for sand with and without earthworms of 94%. On the other hand, the mixture of sand + sawdust, 70% without earthworms and 88% with earthworms, and for sawdust 53% without earthworms and 69% with earthworms. As for the final aspects of the substrate, it showed the movement of the worms within the wormers and significant changes in the final material.

Keywords: Decentralized treatment, sanitary sewage, organic matter, biofilter, vermifilter

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação esquemática (Fonte: Modificado de Duarte et al., 2017).....	6
Figura 2. Representação real do vermifiltro e montagem (Foto: Marcelo F. Souza) ...	7
Figura 3. Minhocas utilizadas e colocadas no substrato (Foto: Marcelo F. Souza).....	8
Figura 4. Local com os vermifiltros no LabReuso (Foto: Marcelo F. Souza)	8
Figura 5. Volume drenado nos diferentes vermifiltros.	11
Figura 6. Comparação da mudança de cor (Foto: Marcelo F. Souza).....	13
Figura 7. Comparação da turbidez entre os substratos: A e A c/m	14
Figura 8. Comparação da turbidez entre os substratos: AS e AS c/m	15
Figura 9. Comparação da turbidez entre os substratos: S e S c/m	15
Figura 10. Variação da condutividade nos diferentes Substratos.....	17
Figura 11. Curva referente a variação do pH das amostras	18
Figura 12. Análise da alcalinidade total.....	19
Figura 13. Comparação da DQO nos diferentes vermifiltros com o esgoto bruto.	20
Figura 14. Densidade populacional e massas iniciais e finais das minhocas.	22
Figura 15. Imagem comparativa dos ensaios de vermifiltração. A) Instalação inicial do ensaios , Abril de 2018. B) Finalização dos ensaios, Junho de 2018. (Foto: Marcelo F. Souza).....	23
Figura 16. "Caminhos" feitos pelas minhocas. A) Vermifiltros com substrato de areia sem minhoca. B) Vermifiltros com substrato de areia com minhocas (Foto: Marcelo F. Souza).....	23



LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Substratos utilizados para os vermifiltros e os filtros controle	5
Tabela 2. Temperaturas médias anotadas no período considerado	9
Tabela 3. Métodos utilizados para caracterização dos efluentes.	10
Tabela 4. Valores para a turbidez em cada tratamento.....	14
Tabela 5. Valores médios da análise de condutividade em μS	16
Tabela 6. Valores médios de pH das amostras.....	17
Tabela 7. Valores médios da alcalinidade e do esgoto bruto.	19
Tabela 8. Valores médios referentes à DQO.....	20
Tabela 9. Valores em porcentagem da remoção da matéria orgânica.	21

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. JUSTIFICATIVA	2
1.1.OBJETIVOS.....	2
3. METODOLOGIA	5
3.1.Efluente utilizado, taxa de aplicação superficial e duração do ensaio	5
3.2.Montagem dos vermifiltros	5
3.3.Disposição das minhocas nos vermifiltros	7
3.4.Metodologia para as análises das amostras.....	9
3.5.Caracterização físico-químico dos efluentes.....	9
3.6.Desenvolvimento populacional de minhocas	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4.1.Drenagem	11
4.2.Avaliação visual alteração da coloração dos efluentes.....	12
4.3.Turbidez.....	14
4.4.Conductividade.....	16
4.5.Análise de pH.....	17
4.6.Alcalinidade.....	18
4.7.Análise da Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	19
4.8.Desenvolvimento populacional das minhocas	21
4.9.Aspecto final do substrato.....	22
5. CONCLUSÕES.....	24
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	25

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que cerca de um bilhão de pessoas no mundo ainda jogam seus esgotos domésticos ao ar livre, a situação ainda é agravada se levarmos em conta que 2,5 bilhões de pessoas ainda não possuem acesso aos serviços de saneamento básico, no mínimo adequado (WHO, 2014).

A falta de tratamento do esgoto sanitário doméstico traz várias consequências negativas para a sociedade, seja rural ou urbana, ocasiona diversas doenças, denominadas doenças feco-orais (ESREY, 1996). Cerca de 90% das mortes por esse tipo de doença são atribuídas às más condições sanitárias (UNICEF/WHO, 2009). Além disso, doenças relacionadas à falta de tratamento do esgoto configurou-se uma das maiores causas de mortes no mundo, atingindo 4.620,4 milhões de pessoas em 2004. No mesmo ano, ocorreram 2,16 milhões de mortes por diarreia no mundo, isto é, uma morte para cada 199 pessoas infectadas. No Brasil, o número de mortes em 2004 foi de 28.900 pessoas (WHO, 2008).

O tratamento do esgoto usualmente instalado no Brasil e em regiões desprovidas de rede coletora apresenta-se como sendo o de tanque séptico, isso porque é uma instalação de baixo custo e possui simplicidade em sua operação (MASSOUD, 2009). Porém esse sistema ainda apresenta a dificuldade da manutenção, uma vez que gera lodo e ainda a longo prazo pode acarretar entupimento o que prejudica a drenagem a longo prazo.

Uma alternativa de tratamento do esgoto, tanto no aspecto técnico e econômico, é a vermifiltração que surge para a remoção de matéria orgânica de efluentes sanitários, sendo uma unidade de pequeno porte que produz vermicomposto ao invés de lodo, além disso, não apresenta mau odor no líquido drenado, bem como possui uma grande simplicidade de instalação, operação e manutenção (SINHA, 2008).

O estudo desse processo de tratamento ainda é pouco expressivo na literatura científica brasileira, encontrando-se apenas algumas pesquisas desenvolvidas (SARTORI, 2010) e por alguns pesquisadores da UNICAMP que estudaram vermifiltros com leito de capim seco e solo (MADRID, 2016; LEOPOLDINO et al., 2016; DUARTE et al., 2017), mas tem tomado a atenção de muitos pesquisadores na Austrália (TAYLOR et al. 2003; SINHA et al. 2008), China

(XING et al. 2010; LIU et al. 2013; LI et al. 2009; NIE et al. 2014), Índia (KUMAR et al. 2014) e Chile (SOTO & TOHÁ, 1998; LAWS, 2003).

2. JUSTIFICATIVA

Os serviços de saneamento básico no país ainda são caracterizados por desigualdades regionais, pois nem toda a população brasileira tem acesso a esse serviço de maneira adequada e a situação ainda é pior nas comunidades distantes dos centros mais equipados com relação ao tratamento de esgoto, principalmente em áreas rurais, onde apresentam elevados deficiências de cobertura.

Os habitantes de comunidades isoladas, devido à falta de coleta e tratamento de esgoto, encontram-se obrigados a conviverem com seus próprios dejetos, sobretudo quando estes são lançados ao ar livre, afetando diretamente a saúde e qualidade de vida da população.

Nesse sentido é adequado o uso de técnicas mais simples e economicamente viável para o tratamento do esgoto, assim a vermifiltração vem como alternativa aos sistemas convencionais. Proporcionando ao usuário uma construção simples e econômica e facilitando o uso através da capacidade de não gerar lodos ou acarretar entupimentos no seu processo de drenagem como é evidenciado em outros sistemas de tratamento de esgoto.

1.1. OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o desempenho do sistema de vermifiltros em escala de bancada para diferentes materiais da camada superior: areia, mistura de areia e serragem e serragem; analisando a influência no processo de vermifiltração.

1.1.1 Objetivos Específicos:

- Avaliar a influência de diferentes substratos (Areia e Serragem) na eficiência do processo de vermifiltração.
- Realizar caracterização físico-química do esgoto bruto e do efluente do vermifiltro;
- Avaliar se a densidade populacional de minhocas é afetada pela taxa de aplicação de esgoto nos vermifiltros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O esgoto doméstico é definido como sendo tudo aquilo que tem origem do uso das águas domésticas, mas também públicas e comerciais. Essa água residuária é caracterizada em 99.9% de água e apenas 0,1% de sólidos. Sólidos estes que podem ser orgânicos e inorgânicos, suspensos e também dissolvidos, além de conter microorganismos. (VON SPERLING, 2005). O que deixa claro a importância do tratamento do esgoto de forma acessível a toda a população.

Dessa forma o trabalho terá foco na vermifiltração, um método simples e que pode ser empregado em áreas rurais funcionando como tratamento eficiente de esgoto sanitário, nesse sentido, são tratamentos de efluente biológicos com o uso de minhocas (BROWN & JAMES, 2007).

Os vermifiltros possui a capacidade de se mostrar eficiente no sentido de que os líquidos drenados não possuem e não liberam odores desagradáveis, além disso, o processo de vermifiltração tem como característica eliminar a matéria orgânica presente no esgoto bruto sem gerar lodos e ainda conseguir aproveitar o processo de compostagem através do material produzido nos vermifiltros. (SINHA et al., 2008).

O material produzido pelas minhocas denominado de húmus é um material em que os tais seres vivos absorvem a matéria orgânica presente no esgoto bruto e transformam em material humificado. (LEOPOLDINO et al., 2016; DUARTE et al., 2017). Por conta do movimento das minhocas, o vermifiltro acaba por conter passagens que facilitam a drenagem. Essas minhocas proporcionam uma aeração natural e a granulação de partículas argilosas, além de fragmentar sedimentos e areia. (SINHA et al., 2008).

Com relação ao esquema de um vermifiltro, não há um real e certa construção da composição dos substratos utilizados, algumas literaturas indicam serragem com outros materiais de construção (SOTO & TOHÁ, 1998), geralmente areia ou brita ou somente agregados sem a mistura de outros componentes ou até mesmo solo puro. (SINHA et al., 2008).

Dentre as referidas pesquisas que utilizaram serragem na composição do substrato com minhocas, apenas Soto & Tohá (1998) reportaram a necessidade de reposição de serragem após alguns meses (não especificando exatamente quantos), bem como de remoção de vermicomposto do topo do reator ao longo do ano,

contudo, sem estabelecer nenhum método ou critério para essas ações.

Kumar et al. (2014) avaliaram ainda, em escala de bancada, a aplicação de cargas mais elevadas de esgoto sintético em vermifiltros, utilizando TAS de 1.500 até 3.000 L.m⁻².dia⁻¹, atingindo uma elevada remoção de DQO (até 96%), de DBO₅ (até 90%) e de Sólidos Dissolvidos Totais (até 82%).

Por outro lado, no estudo realizado na UNICAMP e conduzido por Madrid (2016), foi avaliado o desempenho de dois vermifiltros em escala piloto, sendo um empregado no tratamento de esgoto sanitário bruto e outro no tratamento de efluente proveniente de um filtro anaeróbios, operados por 108 dias em fluxo intermitente com uma TAS de 500 Lm⁻².dia⁻¹, através de 10 dosagens diárias de 50 L.m⁻² cada. Ainda neste estudo, utilizou-se como substrato da camada superior a mistura de materiais ainda não experimentada em outras pesquisas, composta de braquiária (capim do gênero *Brachiaria*) seca não triturada com solo em uma proporção de 3:1 em volume, na qual foram liberadas minhocas da espécie *Eisenia andrei*. Obteve-se a remoção de 63% de DQO e 61% de DBO no vermifiltro que tratou esgoto bruto direto, e 21% de DQO e 36% de DBO no vermifiltro alimentado com efluente do filtro anaeróbio, ou uma remoção global de 81% de DQO e 86% de DBO se considerado o conjunto filtro anaeróbio seguido de vermifiltro tratando o esgoto bruto.

Neste trabalho, Madrid (2016) apresenta diversos parâmetros dos vermifiltros que ainda não estão consolidados, tais como a dosagem de afluente, intervalos entre aplicações e a vazão durante a aplicação, sendo pouco evidenciado na literatura científica a sua relação com o desempenho desses reatores.

Nesse sentido, existe pouco detalhamento de todos os componentes utilizados em cada substrato sem a especificação dos respectivos tamanhos das partículas e proporções de mistura.

3. METODOLOGIA

3.1. Efluente utilizado, taxa de aplicação superficial e duração do ensaio

O presente estudo foi instalado nas dependências do Laboratório de Reúso (LabReuso) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) da UNICAMP e teve duração de três meses: Início em Abril e término em Junho de 2018, onde foram aplicados duas vezes por semana (todas segundas e quartas-feira), amostras de esgoto bruto proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da SANASA e após cada aplicação foram realizadas medidas do volume drenado. A taxa de aplicação superficial foi definida conforme trabalho conduzido por Leopoldino et al., 2016 e Duarte et al., 2017. Sendo assim, foram aplicados 200 ml de esgoto bruto em cada vermifiltro.

3.2. Montagem dos vermifiltros

O ensaio foi conduzido em escala de bancada de vermifiltração, onde foram aplicados diferentes substratos (camada superior de solo com material orgânico e minhocas) verificando a eficiência do processo de vermifiltração. Os substratos utilizados foram: i) areia; ii) areia + serragem e iii) serragem.

Dessa maneira, foram conduzidos ensaios contendo 6 tratamentos com três repetições. Cada vermifiltro foi conduzido com uma unidade comparativa de controle em paralelo (“branco”), composto das mesmas camadas que os vermifiltros, porém sem minhocas, totalizando 18 vermifiltros conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Substratos utilizados para os vermifiltros e os filtros controle

Vermifiltro	Substrato	Siglas
1A a 1C	Areia sem minhoca	A
2A a 2C	Areia + 5 Minhocas	A c/m
3A a 3C	Areia + Serragem sem minhoca	AS
4A a 4C	Areia + Serragem + 5 Minhocas	AS c/m
5A a 5C	Serragem sem minhoca	S
6A a 6C	Serragem + 5 Minhocas	S c/m

Os vermifiltros foram montados em garrafas pet de 1,5 L, com aproximadamente 8 cm de diâmetro, em sua parte inferior foram feitas aberturas para a drenagem e a parte superior da garrafa foi cortada para ser usada como tampa. A tela usada na extremidade da garrafa foi usada como forma e evitar uma possível fuga das minhocas, como mostrado nas Figuras a seguir.

Na Figura 1 há uma representação esquemática composição de cada vermifiltro utilizado no estudo.



Figura 1. Representação esquemática (Fonte: Modificado de Duarte et al., 2017).

O volume drenado foi coletado durante o período do estudo em recipientes plásticos posicionados abaixo de cada garrafa pet, conforme é mostrado na Figura 1 e 2.



Figura 2. Representação real do vermifiltro e montagem (Foto: Marcelo F. Souza)

Em cada vermifiltro foi colocada uma camada de aproximadamente 4 cm de brita 1 e posteriormente foram postos os diferentes tipos de substratos com altura de aproximadamente de 12 cm, como apresentado na Figura 2.

3.3. Disposição das minhocas nos vermifiltros

Cada vermifiltro recebeu 5 minhocas da espécie *Eisenia andrei* obtidas em composteiras do Laboratório de Saneamento (LabSAN) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) - UNICAMP. Realizou-se o monitoramento da biomassa das minhocas antes da disposição e ao final do ensaio de vermifiltração. Cabe destacar, que no momento da disposição nos vermifiltros, adicionou-se um pouco do substrato da composteira de onde foram selecionadas as minhocas, com o intuito de promover melhor aclimatação e acomodação das mesmas nos vermifiltros.

Vale destacar ainda, que minhocas da espécie *Eisenia andrei* foram escolhidas para o estudo, por serem facilmente encontrada no comércio regional, além de serem apontadas como uma das espécies mais indicadas para processos de vermicompostagem por apresentar maior capacidade de aproveitamento de resíduos orgânicos (Madrid, 2016). A densidade populacional inicial de minhocas para o estudo, foi determinado com base nos trabalhos conduzidos por Leopoldino

et al. (2016) e Duarte et al. (2017), porém, optou-se por uma menor densidade, 5 minhocas devido a quantidade disponível de anelídeos no LabSAN da UNICAMP.

A Figura 3 mostra o procedimento no momento em que as minhocas foram colocadas em cada vermifiltro.



Figura 3. Minhocas utilizadas e colocadas no substrato (Foto: Marcelo F. Souza)

Após cada aplicação do esgoto bruto foram realizadas medidas do volume drenado. O volume aplicado de esgoto bruto aos vermifiltros foi de 200 ml à cada dia de aplicação (Leopoldino et al., 2016; Duarte et al., 2017). A Figura 4 apresenta os vermifiltros confeccionados no Laboratório de Reuso, em um local sem a presença de luz natural.



Figura 4. Local com os vermifiltros no LabReuso (Foto: Marcelo F. Souza)

Com essa montagem foi possível verificar a eficiência do processo de vermifiltração, com base na análise de parâmetros como Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, alcalinidade, condutividade, turbidez e avaliação visual da cor do efluente.

As análises foram feitas a cada 20 dias, contando a partir do meio do primeiro mês por conta das preparações para a construção dos vermifiltros. Dessa forma foi feita uma coleta no final de Abril, uma no meio de Maio e outra no meio de Junho.

3.4. Metodologia para as análises das amostras

Também foram registradas, por meio de termômetros, a temperatura ambiente, acomodado no mesmo ambiente de instalação dos vermifiltros ao abrigo da incidência de chuvas e de raios solares. As leituras foram realizadas nos momentos de coleta das amostras líquidas.

Na Tabela 2 estão apresentados as médias das temperaturas anotadas no período de estudo de Abril-Junho de 2018. Foram resgistrados duas medições: uma interna do local (temperatura interna, dentro do laboratório de Reuso) onde os vermifiltros estavam instalados e uma fora do local (temperatura externa). Além disso foram anotadas as temperaturas máximas e mínimas.

Tabela 2. Temperaturas médias anotadas no período considerado

Período	Atual (°C)		Máximas (°C)		Mínimas (°C)	
	Int.	Ext.	Int.	Ext.	Int.	Ext.
Abril	27,4	28,3	30,7	32,6	16,5	14,7
Maio	24,5	23,4	29,4	31,4	14,9	12,9
Junho	20,6	22,0	24,5	26,6	14,1	13,9

3.5. Caracterização físico-químico dos efluentes

Durante todo o experimento, foram realizadas coletas de amostras de esgoto bruto e efluentes dos vermifiltros em três períodos distintos: i) no começo do estudo, ii) no período intermediário e, iii) no final do trabalho para análise de pH, alcalinidade, condutividade, turbidez e DQO. Os procedimentos foram realizados no Laboratório de Saneamento (LabSan) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) da UNICAMP, seguindo-se os métodos analíticos baseados no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012), com

exceção da determinação da alcalinidade total, para a qual empregou-se a forma analítica reportada por Ripley et al. (1986) (Tabela 3).

Tabela 3. Métodos utilizados para caracterização dos efluentes.

Análise	Método	Denominação
pH*	4500-ph Value B	Electrometric Method*
Alcalinidade Total	Ripley et al. (1986)	-
Condutividade*	2510-A	Conductivity*
Turbidez*	2130-B	Nephelometric Method*
Demanda Química de Oxigênio*	5220-D	Closed Reflux, Colorimetric Method*

*(APHA, 2012).

3.6. Desenvolvimento populacional de minhocas

No final do período de estudo dos vermifiltro foi feita a avaliação do desenvolvimento populacional das minhocas retirando o substrato da garrafa pet e posteriormente feita a contagem dos anelídeos. Além disso, foi feito um registro fotográfico da condição final do substrato, demonstrando as diferenças dos que não tinham com os que foram colocados as minhocas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Drenagem

A Figura 5 tem como objetivo apresentar os dados médios das drenagens nos diferentes vermifiltros. Nota-se que os vermifiltros que continham serragem apresentaram uma maior retenção do líquido drenado, com relação aos outros substratos, porém não tão significativos. Além disso, o gráfico demonstra que ao longo do período ocorreu uma maior retenção de líquidos principalmente no início do processo de aplicação do esgoto bruto, isso poderia indicar que no começo os substratos não estariam saturados, o que ocorreria ao longo do processo de filtração. Além disso o gráfico indica que num possível período maior ocorreria um ponto de estabilização da drenagem, já que as duas curvas de Maio e de Junho tiveram uma tendência a ficar bem próximas.

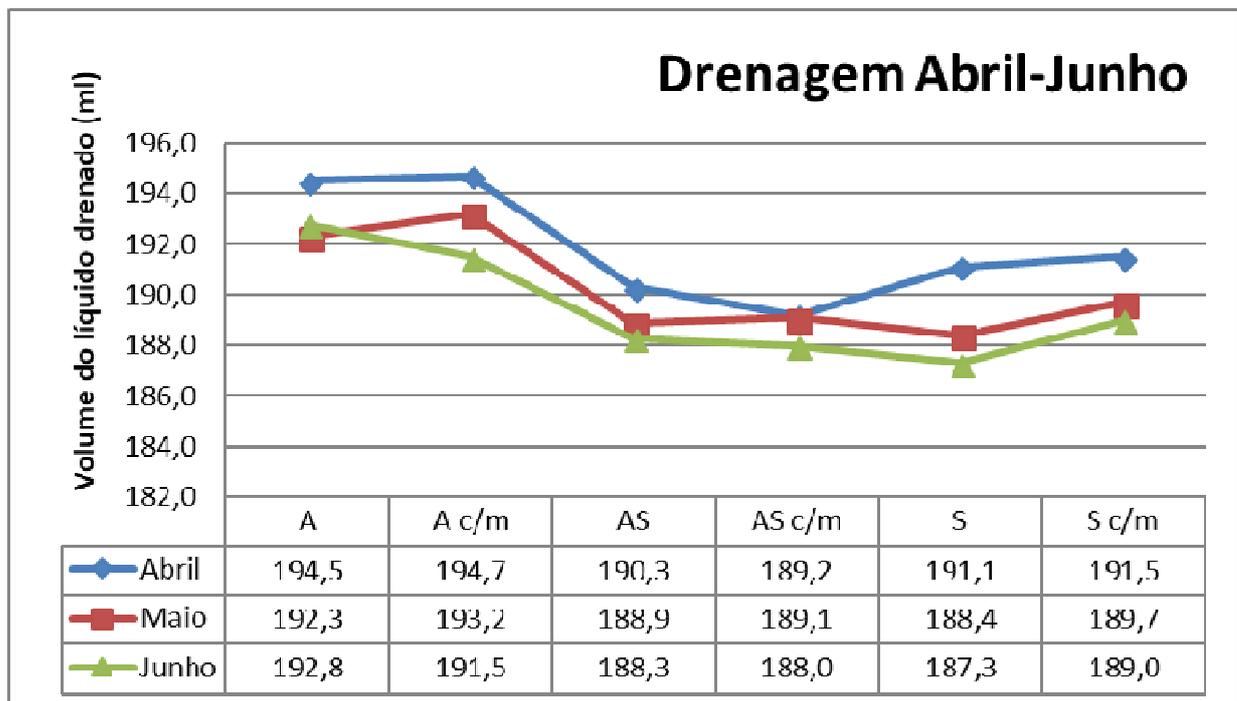


Figura 5. Volume drenado nos diferentes vermifiltros.

Legenda: A - Substrato Areia, A c/m - Areia + Minhocas, AS - Areia + Serragem, AS c/m - Areia + Serragem + Minhocas, S - Serragem, S c/m - Serragem + Minhocas.

4.2. Avaliação visual alteração da coloração dos efluentes

A Figura 6 tem como finalidade mostrar a mudança na coloração dos líquidos drenados pelos vermifiltros, onde se nota que houve uma significativa mudança na cor em alguns substratos, isso pode ser comprovado na observação principalmente do drenado vermifiltro com substrato de Areia com minhocas (2 - A c/m), em que no começo do estudo referente ao mês de Abril, a coloração é clara e transparente, mudando ao longo do período, em que no final, referente ao mês de Junho, nota-se um drenado mais escuro.

Além disso, observou-se também que todos os tratamentos que continham minhocas tinham a capacidade de deixar o drenado mais escuro, isso é comprovado na observação dos líquidos substrato com areia + serragem com minhocas (4 - AS c/m) e substrato com serragem com minhocas (6 - S c/m).

Vale ressaltar que a coloração do efluente sanitário não se alterou no filtro que continha apenas serragem, ou seja, no serragem (5 - S), o registro visual da coloração do esgoto bruto não foi feita, mas ao longo do estudo observou-se essa constatação. Já no vermifiltro, serragem com minhocas (6 - S c/m), a coloração do drenado era notadamente mais turva do que o do efluente colocado.

Esses resultados comprovam também o que se constatou na discussão do trabalho científico da Leopoldino et al. (2016) e nos resultados de Madrid (2016).

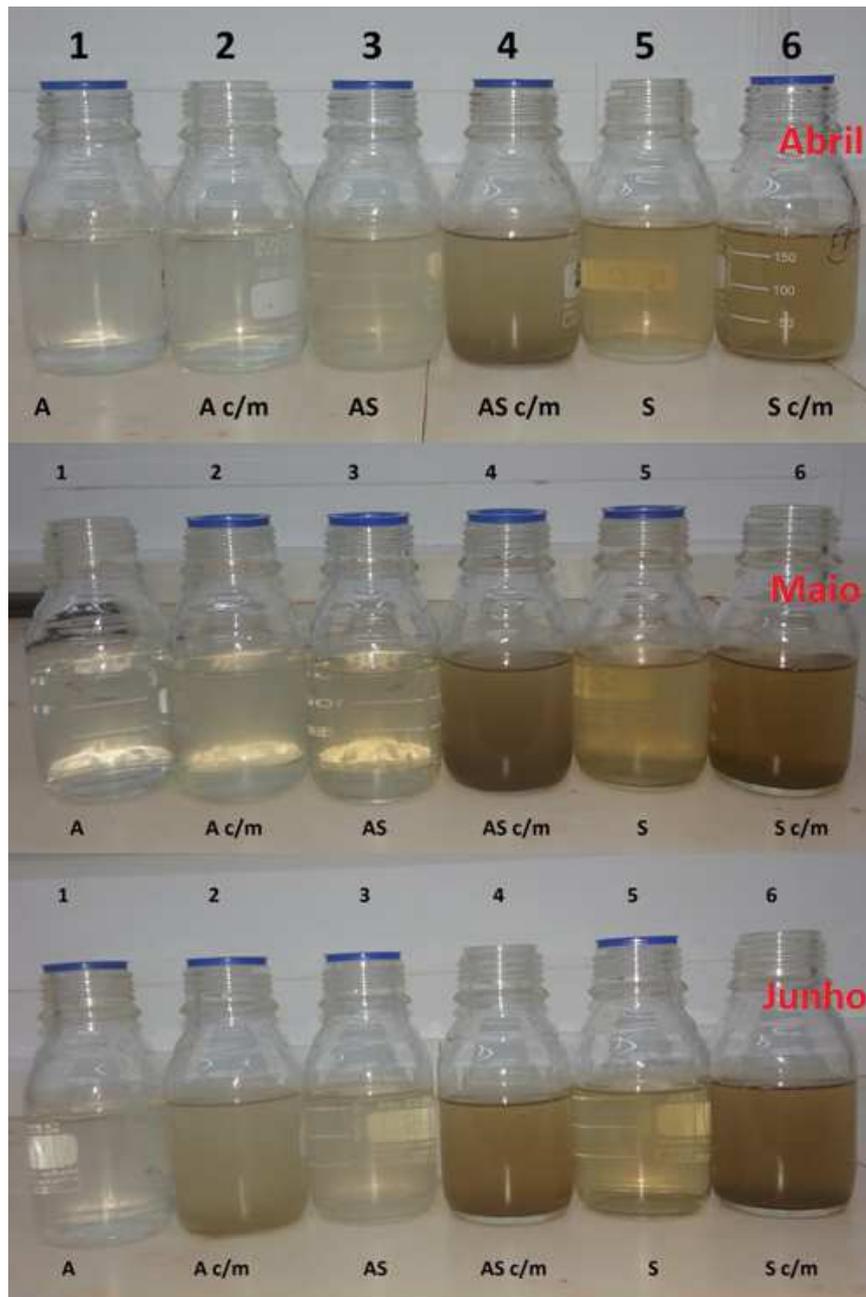


Figura 6. Comparação da mudança de cor (Foto: Marcelo F. Souza)
Legenda: A - Substrato Areia, A c/m - Areia + Minhocas, AS - Areia + Serragem, AS c/m - Areia + Serragem + Minhocas, S - Serragem, S c/m - Serragem + Minhocas

4.3. Turbidez

Pela Tabela 4 e pela Figuras 7, 8 e 9 a análise de turbidez, foi observado que a mudança expressiva desse parâmetro foi dado principalmente no vermifiltro substrato com Areia e minhocas (2 - A c/m), passando de um valor 7,85 UNT (Unidades nefelométricas de turbidez) no início do estudo em abril chegando ao final em Junho, com um valor de 46,11 UNT. Além disso, nota-se também que os tratamentos com minhocas a turbidez foram significativamente mais altos, como pode ser destacado principalmente nos vermifiltros substrato areia-serragem (4 - AS c/m) com minhocas e serragem com minhocas (6 - S c/m).

Tabela 4. Valores para a turbidez em cada tratamento.

	Tratamento	Abril	Mai	Junho
	Esgoto Bruto	30,3	35,1	33,56
1	A	3,3	3,55	3,63
2	A c/m	7,85	17,04	46,11
3	AS	19,83	20,99	21,76
4	AS c/m	157,67	165,51	165,53
5	S	27,8	32,77	34,63
6	S c/m	109,5	115,4	116,57

Legenda: A - Substrato Areia, A c/m - Areia + Minhocas, AS - Areia + Serragem, AS c/m - Areia + Serragem + Minhocas, S - Serragem, S c/m - Serragem + Minhocas

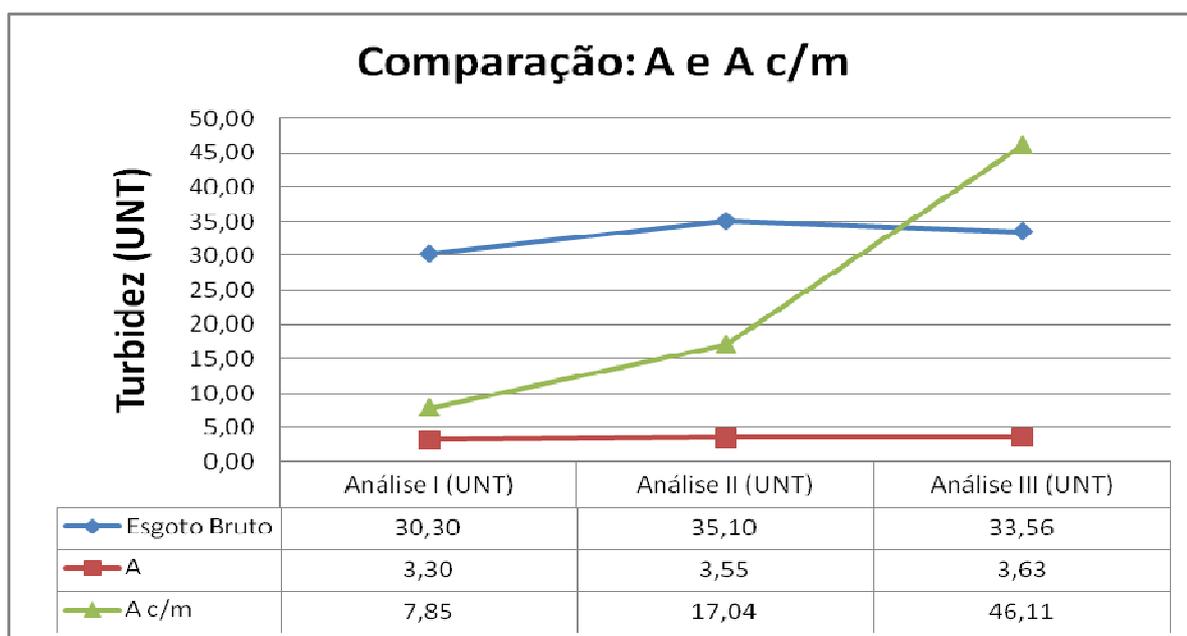


Figura 7. Comparação da turbidez entre os substratos: A e A c/m

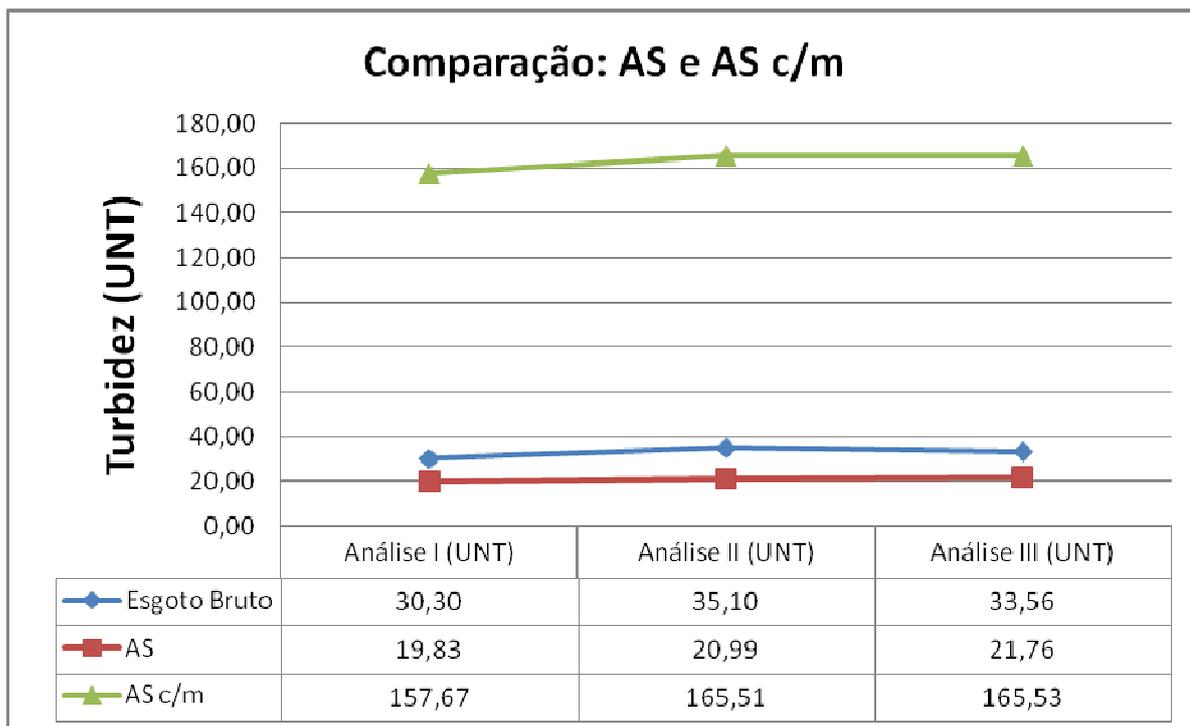


Figura 8. Comparação da turbidez entre os substratos: AS e AS c/m

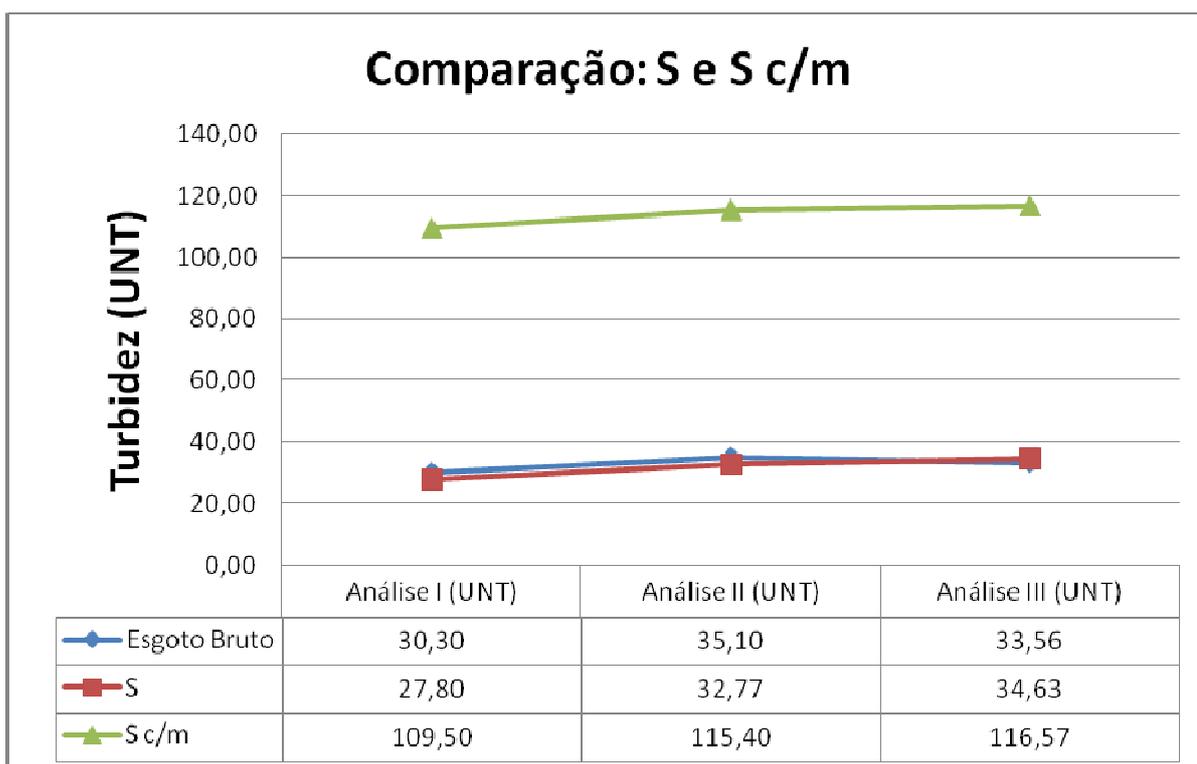


Figura 9. Comparação da turbidez entre os substratos: S e S c/m

4.4. Condutividade

De acordo com a literatura (MATOS, 2004), altos valores de condutividade elétrica indicam elevadas quantidades de substâncias iônicas dissolvidas. A condutividade pode ser observada através da Tabela 5 e a Figura 10 em que se nota, os valores médios em μS , uma pouca alteração na condutividade das amostras no período considerado. Esses resultados estão também de acordo com os trabalhos de Leopoldino et al. (2016) e Duarte et al. (2017), no entanto para os substratos utilizados no presente estudo não houve uma significativa alteração na condutividade das amostras. Mesmo assim se o período de estudo fosse maior haveria um aumento dos valores com relação ao esgoto bruto, já que as curvas tenderam a aumentar nesse período de estudo de três meses e a longo prazo teriam um valor estabilizado.

Tabela 5. Valores médios da análise de condutividade em μS .

	Tratamento	Análise I (μS)	Análise II (μS)	Análise III (μS)
	Esgoto Bruto	519	547	554
1	A	603	597	596
2	A c/m	722	603	608
3	AS	612	599	604
4	AS c/m	681	655	654
5	S	700	604	649
6	S c/m	782	671	694

Legenda: A - Substrato Areia, A c/m - Areia + Minhocas, AS - Areia + Serragem, AS c/m - Areia + Serragem + Minhocas, S - Serragem, S c/m - Serragem + Minhocas

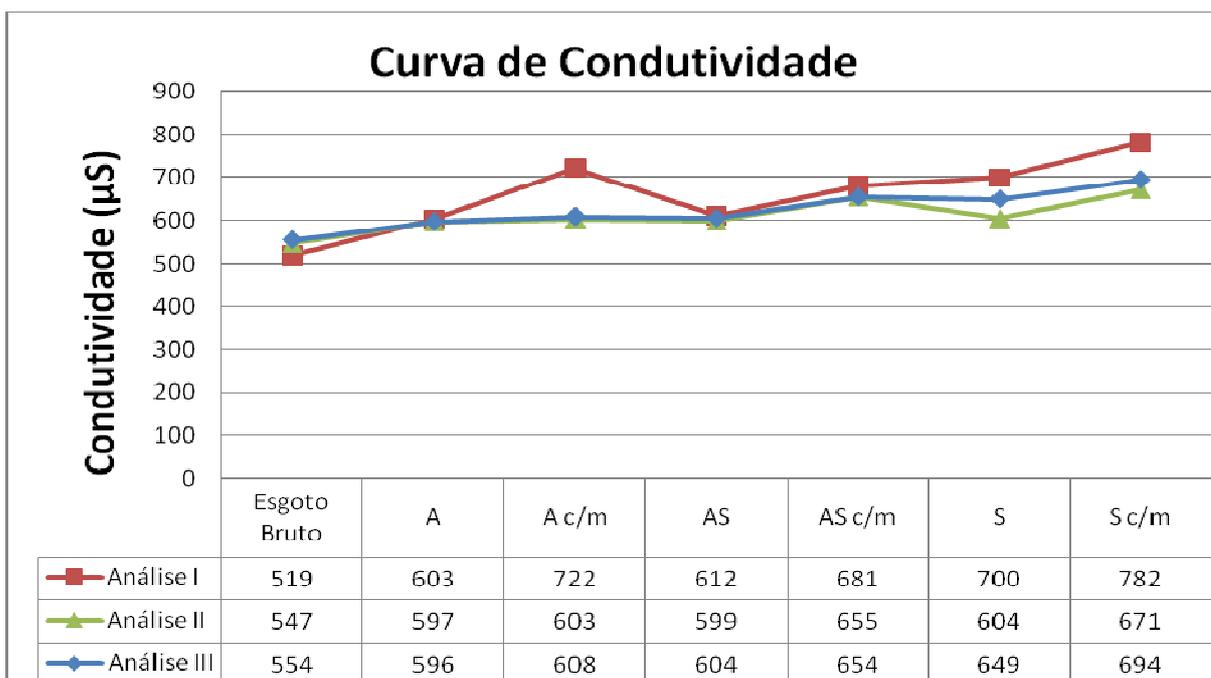


Figura 10. Variação da condutividade nos diferentes Substratos

4.5. Análise de pH

Quanto aos valores médios de pH apresentados na Tabela 6 e na Figura 11 os valores mesmo se alterando não se configuraram de forma significativa, já que ficaram em torno de 6 a 9, intervalo este que consiste em uma resolução estabelecida pelo CONAMA 357/2005 referentes aos despejos de efluentes nos cursos naturais de água. Esse resultado também está de acordo com o trabalho realizado com vermifiltros da Leopoldino et al. (2016) e Duarte et al. (2017).

Tabela 6. Valores médios de pH das amostras.

	Tratamentos	Análise I	Análise II	Análise III
	Esgoto Bruto	6,75	6,84	6,92
1	A	7,06	7,19	7,09
2	A c/m	7,33	7,24	7,17
3	AS	7,17	7,20	7,15
4	AS c/m	7,11	7,09	7,07
5	S	7,00	6,92	7,04
6	S c/m	6,99	7,10	7,00

Legenda: A - Substrato Areia, A c/m - Areia + Minhocas, AS - Areia + Serragem, AS c/m - Areia + Serragem + Minhocas, S - Serragem, S c/m - Serragem + Minhocas

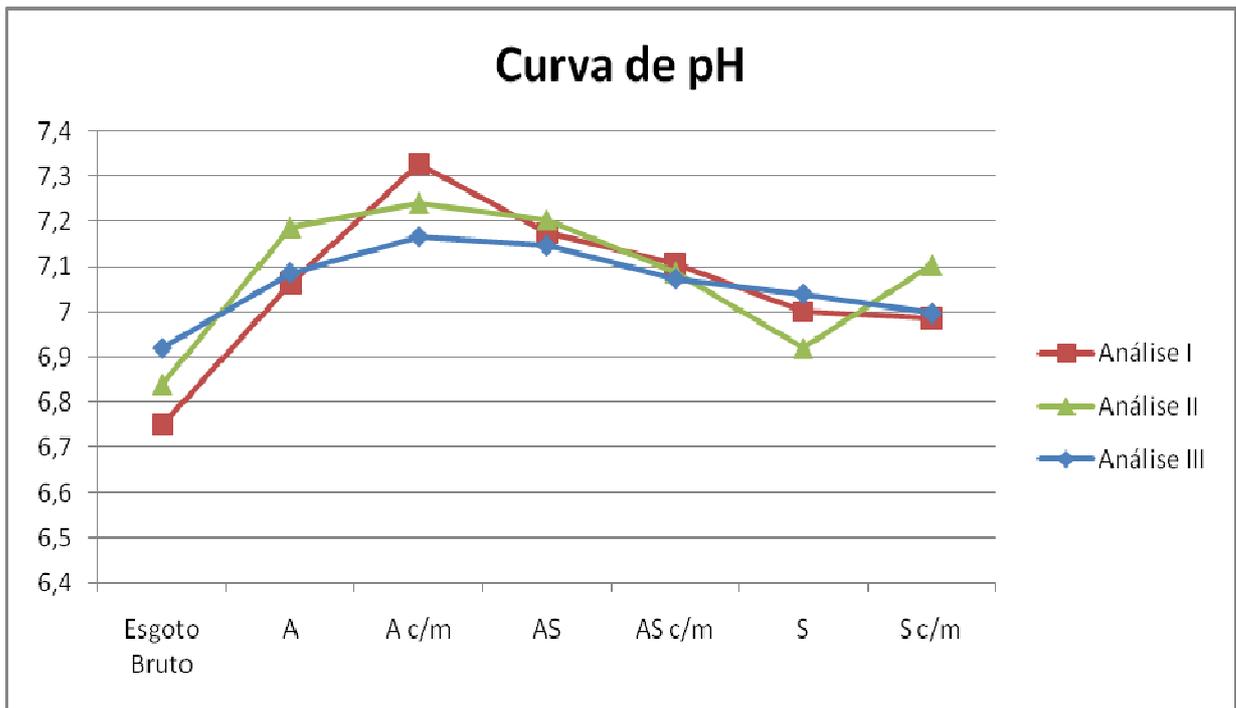


Figura 11. Curva referente a variação do pH das amostras

4.6. Alcalinidade

A Tabela 7 estão apresentados os valores médios referentes a alcalinidade das amostras. Já, na Figura 12, observa-se que houve uma redução nos níveis de alcalinidade com relação ao esgoto bruto. Esses resultados menores na alcalinidade também foram obtidos nos trabalhos de Madrid (2016), Leopoldino et al. (2016) e Duarte et al. (2017).

Essa redução da alcalinidade pode ser devido principalmente aos processos de nitrificação do líquido drenado, que não será foco desse trabalho por conta do tempo indisponível. Nota-se também que as amostras não obtiveram mudanças dos níveis de concentração de alcalinidade ao longo do período, ficando praticamente nas mesmas concentrações, mesmo uma diferença significativa na análise II para o substrato serragem com minhocas (S c/m).

Tabela 7. Valores médios da alcalinidade e do esgoto bruto.

Tratamentos		Análise 1 (mgCaCO ₃ /L)	Análise 2 (mgCaCO ₃ /L)	Análise 3 (mgCaCO ₃ /L)
	Esgoto Bruto	371,8	339,1	326,1
1	A	271,8	247,8	280,4
2	A c/m	176,1	204,4	213,1
3	AS	282,6	276,1	263,1
4	AS c/m	193,5	204,4	189,1
5	S	293,5	282,6	297,8
6	S c/m	317,4	269,6	306,5

Legenda: A - Substrato Areia, A c/m - Areia + Minhocas, AS - Areia + Serragem, AS c/m - Areia + Serragem + Minhocas, S - Serragem, S c/m - Serragem + Minhocas

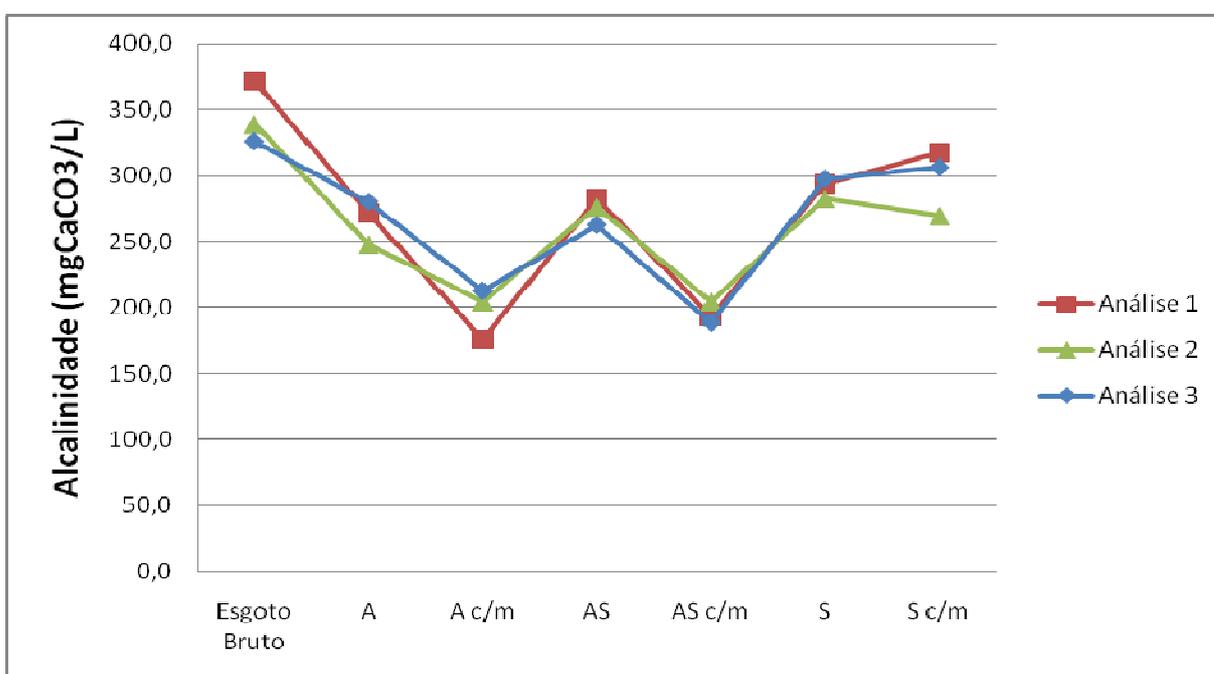


Figura 12. Análise da alcalinidade total

4.7. Análise da Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Quanto a Demanda química de Oxigênio (DQO), que consiste em analisar a quantidade de matéria orgânica presente nas amostras coletadas no período, estão com seus resultados apresentados na Tabela 8. Na Figura 13 está a comparação dos diferentes filtros em relação a DQO do esgoto bruto.

Nota-se que todos os diferentes tratamentos tiveram uma redução da matéria orgânica com relação ao esgoto bruto, além disso nota-se uma redução significativa

da matéria orgânica principalmente nos tratamentos com minhocas, demonstrando que um estudo mais longo faria uma redução ainda maior da matéria orgânica presente efluente inicial. Logo esses resultados comprovam uma de suas implicações como forma de tratamento de esgoto.

Tabela 8. Valores médios referentes à DQO.

Tratamento	Análise I (mgO ₂ /L)	Análise II (mgO ₂ /L)	Análise III (mgO ₂ /L)
Esgoto Bruto	410	385	403
1 A	20	22	26
2 A c/m	17	23	25
3 AS	133	100	120
4 AS c/m	115	87	50
5 S	289	194	190
6 S c/m	386	224	125

Legenda: A - Substrato Areia, A c/m - Areia + Minhocas, AS - Areia + Serragem, AS c/m - Areia + Serragem + Minhocas, S - Serragem, S c/m - Serragem + Minhocas

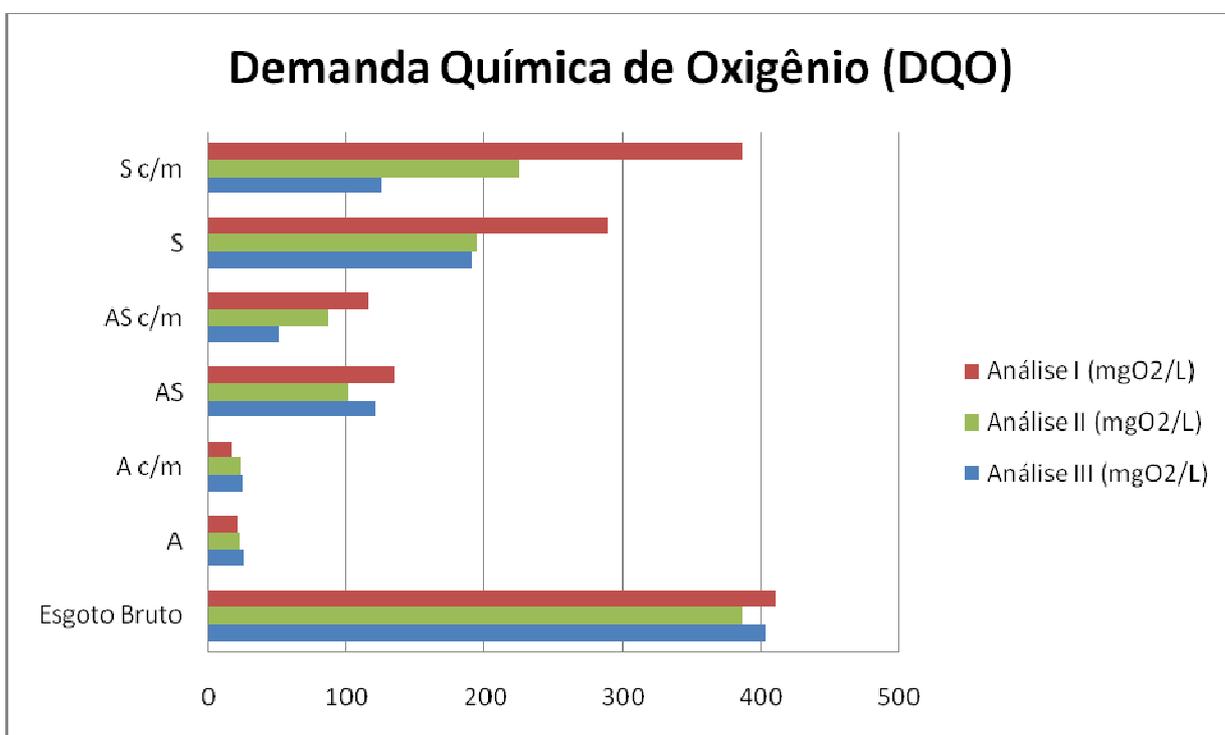


Figura 13. Comparação da DQO nos diferentes vermifiltros com o esgoto bruto.

Pode se verificar na Tabela 9 em valores percentuais que a maior remoção de matéria orgânica ocorreu com o substrato de Areia, aproximadamente 94% nas três amostras coletadas em tempos diferentes, enquanto para a mistura de areia+serragem temos uma remoção em torno de 70% e no caso com serragem temos um acréscimo na remoção partindo de aproximadamente 30% na primeira análise chegando à 53% na terceira.

Além disso os vermifiltros que continham minhocas a porcentagem de remoção da matéria orgânica foi maior em comparação com os respectivos filtros de controle, com aproximadamente 88% no caso com o substrato AS c/m e 69% para o substrato S c/m.

Tabela 9. Valores em porcentagem da remoção da matéria orgânica.

Tratamentos		Análise I	Análise II	Análise III
1	A	95%	94%	94%
2	A c/m	96%	94%	94%
3	AS	68%	74%	70%
4	AS c/m	72%	77%	88%
5	S	30%	50%	53%
6	S c/m	6%	42%	69%

Legenda: A - Substrato Areia, A c/m - Areia + Minhocas, AS - Areia + Serragem, AS c/m - Areia + Serragem + Minhocas, S - Serragem, S c/m - Serragem + Minhocas

4.8. Desenvolvimento populacional das minhocas

A Figura 14 apresenta a comparação inicial e final referente a quantidade de minhocas colocadas e encontradas ao final do estudo. Os valores médios das massas iniciais e finais também estão apresentadas na Figura 14. Nota-se, portanto, que no período de Abril-Junho os vermifiltros areia com minhocas (2 A c/m) e serragem com minhocas (6 S c/m), aconteceram eliminações de minhocas enquanto que no vermifiltro areia + serragem com minhocas (4 AS c/m) não houveram mortes, podendo comprovar que esse substrato é mais adequado para a vida útil do vermifiltro a longo prazo.

Vale destacar também que o período analisado foi curto para que houvesse uma maior mudança populacional das minhocas, uma vez que não foi encontrado algum anelídeo jovem nos substratos.

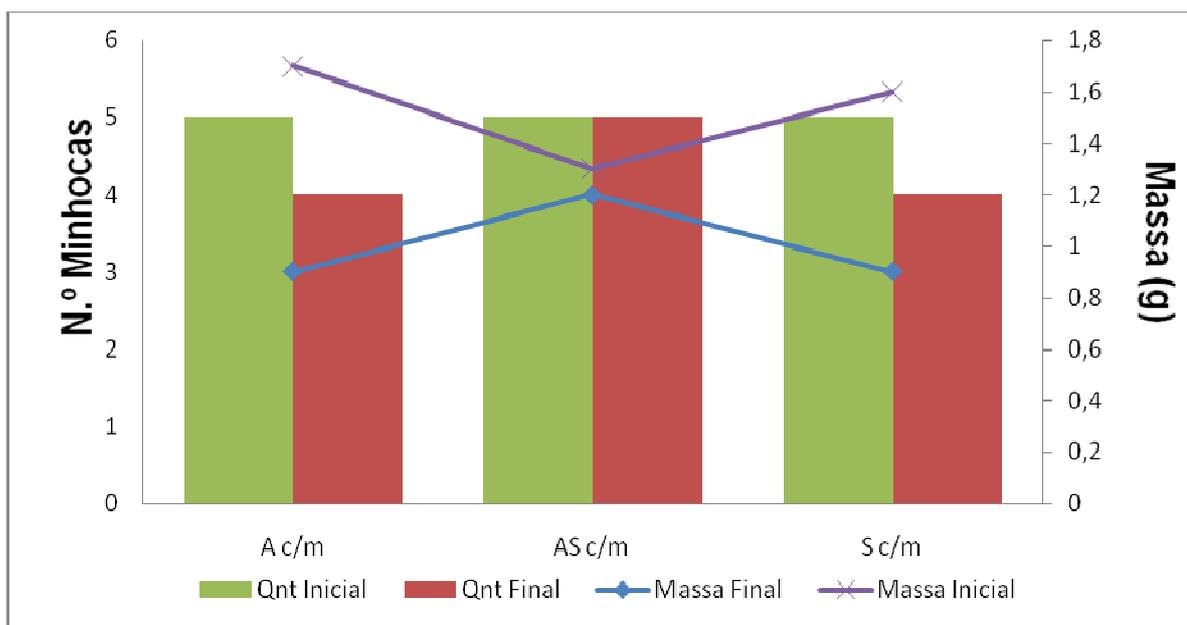


Figura 14. Densidade populacional e massas iniciais e finais das minhocas.

Vale mencionar que ao longo do processo de drenagem algumas minhocas foram encontradas no recipiente de coleta da drenagem, ou seja, algumas delas tiveram sua fuga detectada, até mesmo um dia após a aplicação do esgoto bruto, passando pela camada de brita 1. A maioria das fugas aconteceram principalmente nos vermifiltros que continham apenas serragem, poucas fugas no vermifiltros com mistura de areia+serragem e nenhuma fuga constatada no de areia.

4.9. Aspecto final do substrato

Como pode se notar na Figura 15 a comparação dos vermifiltros com relação ao visual final dos substratos, onde se nota que, os que continham as minhocas, houveram uma mudança bem visível no seu material, estes substratos ficaram com um aspecto mais escuro e com os materiais humificados. Isso se nota mais precisamente nos tratamentos pares 2, 4 e 6 sendo respectivamente com Areia, Areia + Serragem e Serragem, todos com minhocas.

Além disso os substratos que continham as minhocas também apresentaram desenhos em forma de "caminhos" por onde estes anelídeos se moviam, como apresentado na Figura 16. Comprovando a movimentação desses seres no substrato e aeração natural do mesmo (SINHA et al., 2008).

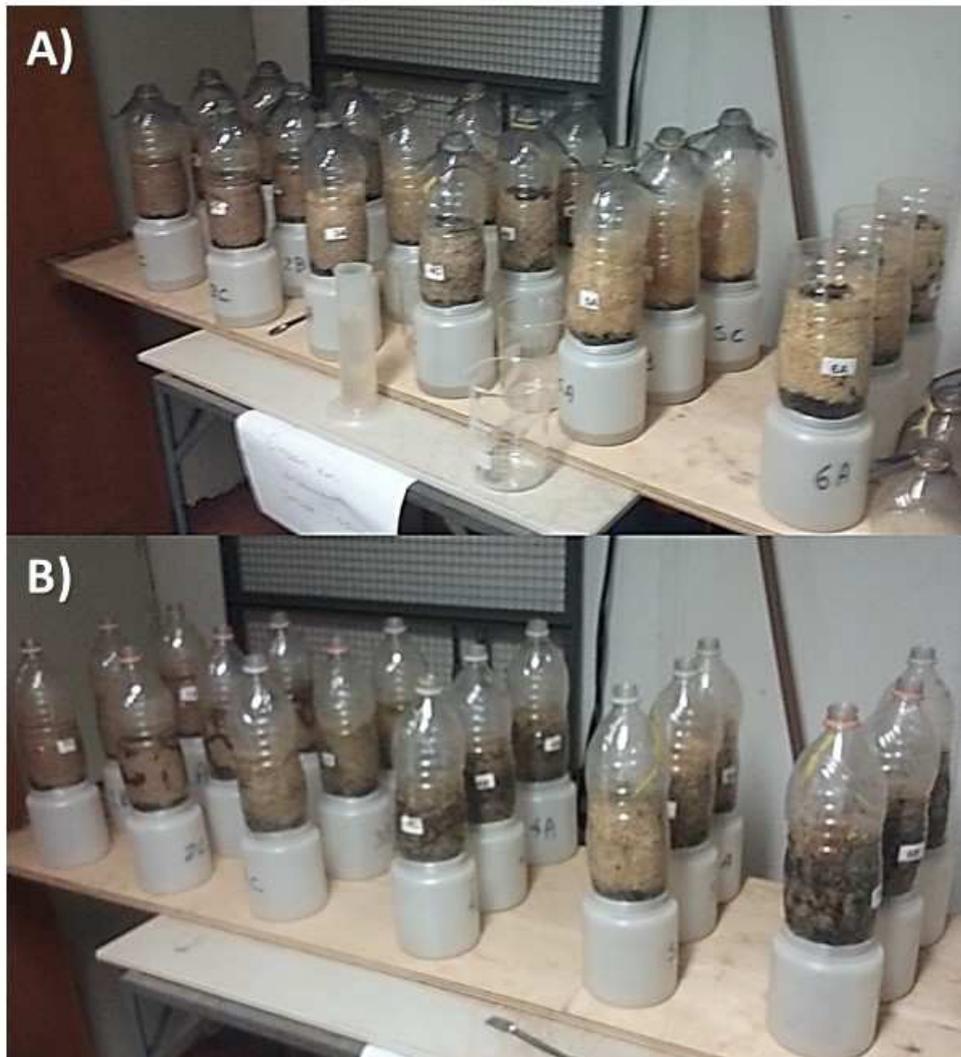


Figura 15. Imagem comparativa dos ensaios de vermifiltração. A) Instalação inicial do ensaios , Abril de 2018. B) Finalização dos ensaios, Junho de 2018. (Foto: Marcelo F. Souza)

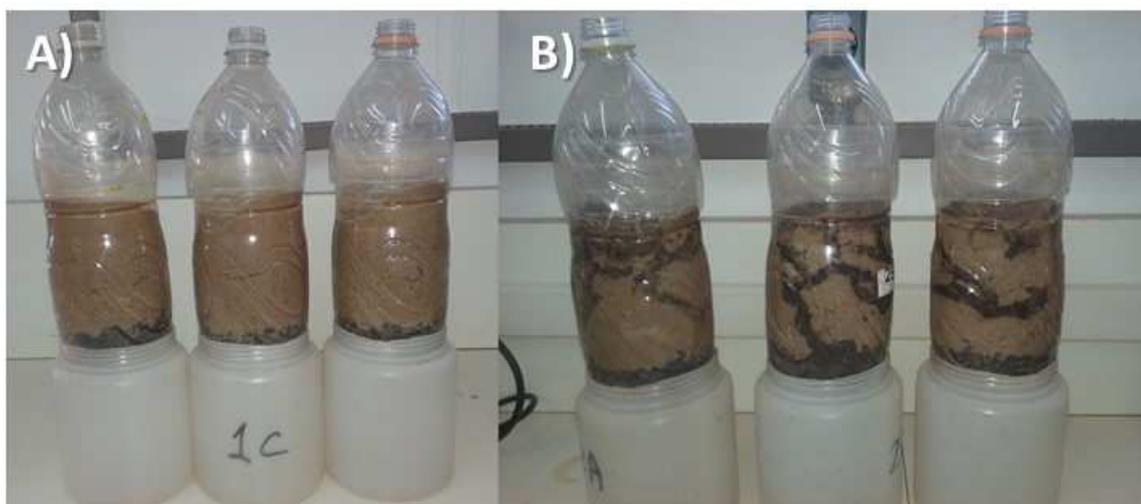


Figura 16. "Caminhos" feitos pelas minhocas. A) Vermifiltros com substrato de areia sem minhoca. B) Vermifiltros com substrato de areia com minhocas (Foto: Marcelo F. Souza)

5. CONCLUSÕES

Portanto com base no que foi estudado no presente trabalho pode-se chegar a uma conclusão de que a drenagem teve uma tendência a ficar com um valor constante a longo prazo. Com relação aos parâmetros físico-químicos das amostras analisadas, como pH, alcalinidade, condutividade, DQO, chegaram a valores plausíveis e compatíveis com a literatura utilizada. Mantendo as características químicas dentro dos padrões estipulados para o despejo nos cursos de água. Com relação a avaliação visual da coloração e a turbidez dos efluente ficou claro que os vermifiltros que continham as minhocas deixavam o líquido drenado com uma coloração bem escura e turva.

Porém, apesar do efluente ser turvo, e apresentar uma coloração pouco atrativa, o processo de vermifiltração teve com principal análise retirar a matéria orgânica do esgoto bruto, chegando a valores de remoção percentuais em torno de: 94% para Areia tanto com e sem minhocas, 70% para Areia+Serragem, 88% para Areia+Serragem+Minhocas, 53% para a serragem sem minhocas e 69% para o vermifiltro com serragem + minhocas.

O comportamento populacional das minhocas se configurou de forma satisfatória, embora num período maior de estudo ocorreria maiores diferenças nos valores encontrados, bem como o um número de minhocas maior poderia acarretar em maiores diferenças. Por fim a análise dos aspectos finais dos substratos demonstrou que os mesmos comprovaram a movimentação dos anelídeos como forma de aeração natural dos mesmos e deixavam com aspecto escuro e com material humificado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como primeiro ponto pode-se destacar curto prazo na condução dos ensaios, em torno de três meses (Abril, Maio e Junho). Um tempo maior de condução, poderia proporcionar análises de outros parâmetros, além de melhorar os resultados dos parâmetros que foram analisados nesse estudo.

Outro ponto, está relacionado a confecção dos vermifiltros e com relação a tela para evitar a fuga das minhocas, que poderia ser trocada pela própria tampa da garrafa, fazendo o mesmo trabalho que a tela e evitando também possível queda de outros tipos de substratos ou substâncias que poderiam ocasionar mudanças nos resultados.

Além disso, também é importante refletir sobre a frequência e a taxa de aplicação superficial do esgoto bruto, podendo manter ou não os 200 ml estipulados nesse trabalho como forma de analisar a eficiência e/ou entender o ponto de inutilização do vermifiltro em relação aos tratamentos convencionais, já implementados e consolidados.

Por fim, cabe destacar ainda a importância da continuidade do estudo, podendo-se utilizar outros substratos e com outros tipos de misturas, bem como com outras alturas de camadas superiores. Desenvolvimentos de novas pesquisas e continuidade desses estudos são extremamente relevantes, pois trata de uma temática moderna e de grande impacto para um país que convive ainda com diferenças regionais que levam pessoas a viverem com condições insalubres.

REFERÊNCIAS

APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater.. 22a edição. Nova Iorque: American Public Health Association / American Water Works Association / Water Environment Association. 2012.

BRASIL. Presidente do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. (CONAMA). Resolução número 357, de 17 de Março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília (DF), 2005.

Brown, G.G. e James, S.W. (2007) - Ecologia, biodiversidade e biogeografia das minhocas no Brasil. In: Brown, G.G. e Fragoso, C. (Ed.) - Minhocas na América Latina: Biodiversidade e ecologia. Londrina, Embrapa Soja, p. 297-381.

DUARTE, N. C.; LEOPOLDINO, A.; MADRID, F.J.P.L; SCHNEIDER, J.; TONETTI, A. L. Wastewater treatment by vermifiltration - Comparison of leachate quality and earthworm population for various substrates. In: International IWA conference on sustainable solutions for small water and wastewater treatment systems. International IWA conference on sustainable solutions for small water and wastewater treatment systems (S2small2017), 2017.

ESREY, S.A. Water, waste, and well-being: a multicountry study. American journal of Epidemiology, v. 143, n. 6, p. 608-623, 1996.

KUMAR, T. et al. Performance evaluation of vermifilter at different hydraulic loading rate using river bed material. Ecological Engineering, n. 62, p. 77-82. 2014.

LAWS, Jessica Eileen Arango. Evaluación ambiental del sistema Tohá em la remoción de Salmonella en aguas servidas domésticas. 2003. 79p. Dissertação (Mestrado em Gestão e Planejamento Ambiental). Universidade do Chile. Santiago, Chile. 2003.

LEOPOLDINO, A. F.; OLIVEIRA, J. H.; MADRID, F.J.P.L; SHNEIDER, J. Desempenho de vermifiltro e avaliação da dinâmica populacional de minhocas no tratamento de esgoto. 2016. XXIV Congresso de Iniciação Científica da UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas, 2016. DOI 10.19146/pibic-2016-51002

LI, X. et al. Properties of biofilm in a vermifiltration system for domestic wastewater sludge stabilization. *Chemical Engineering Journal*, n. 223, p. 932-943. 2013.

LI, Y et al. Continuous village sewage treatment by vermifiltration and activated sludge process. *Water Science & Technology*, DOI 10.2166/wst.2009.715. 2009.

MADRID, F.J.P.L. Aplicação da vermifiltração no tratamento de esgoto sanitário. 2016. 131p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Saneamento e Ambiente). Universidade Estadual de Campinas. 2016.

MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NASR, J. A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*. Vol. 90, pp. 652–659. 2009

NIE, E. et al. Tower bio-vermifilter system for rural wastewater treatment: bench-scale, pilot-scale, and engineering applications. *International Journal of Environmental Science and Technology*. DOI 10.1007/s13762-013-0479-6. 2014.

SARTORI, Marcia Aparecida. Desempenho de vermifiltros no tratamento de esgoto doméstico em pequenas comunidades. 75p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. 2010.

SINHA, R.K.; BHARAMBE G.; CHAUDHARI, U. Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: a low-cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization. *Environmentalist*, n. 28, p. 409-420. 2008.

SOTO, M.A.; TOHÁ, J. Ecological Wastewater Treatment.: *Advanced Wastewater Treatment. Recycling and Reuse*. AWT 98, Milano, Italia 14:16, p. 1091-1094, September. 1998.

TAYLOR M.; CLARKE W.P.; GREENFIELD, P.F. The treatment of domestic wastewater using small-scale vermicompost filter beds. *Ecological Engineering*, n. 21, p. 197–203. 2003.

UNICEF/WHO – The United Nations Children’s Fund/World Health Organization. (2009) *Diarrhoea: why children are still dying and what can be done*. Geneva: World Health Organization.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005. p. 15 – 48.

WHO. Progress on Drinking Water and Sanitation: 2014 Update. World Health Organization / UNICEF. 2014.

XING, M.; LI, X.; YANG, J. Treatment performance of small-scale vermifilter for domestic wastewater and its relationship to earthworm growth, reproduction and enzymatic activity. African Journal of Biotechnology. DOI 10.5897/AJB10.811. 2010.