

## II-311 - APLICAÇÃO DA VERMIFILTRAÇÃO NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

**Francisco José Peña y Lillo Madrid<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Mestrando em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (DSA/FEC/UNICAMP).

**Isabel Campos Salles Figueiredo**

Bióloga licenciada e bacharel pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Mestre em Ecologia pela Universidade de Brasília (UnB). Doutoranda em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (DSA/FEC/UNICAMP).

**Daniel Augusto Camargo Bueno**

Tecnólogo em Controle Ambiental pela Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas (FT/UNICAMP). Graduação em andamento em Engenharia Ambiental e em Tecnologia de Saneamento Básico pela Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas (FT/UNICAMP). Mestrado em andamento em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (DSA/FEC/UNICAMP).

**Bárbara Stefani Caldeira dos Santos**

Graduanda em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Campinas (DSA/FEC/UNICAMP).

**Adriano Luiz Tonetti**

Engenheiro Químico pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Mestre e Doutor em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (DSA/FEC/UNICAMP). Professor Doutor do Departamento de Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (DSA/FEC/UNICAMP).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Doutor Osório Alves, 777 - Cidade Universitária - Campinas - SP – CEP: 13083-720 - Brasil - Tel: (19) 9812-1204 - e-mail: [francisco.plm@gmail.com](mailto:francisco.plm@gmail.com)

### RESUMO

A disposição inadequada de esgotos sanitários oferece graves riscos à proteção da saúde pública. Tanques sépticos seguidos de tecnologias complementares (filtros anaeróbios, biofiltros percoladores, filtros de areia, wetlands construídas, etc.) vêm sendo adotados para o tratamento descentralizado de águas residuárias por apresentarem resultados satisfatórios para a remoção de poluentes. No entanto, essas tecnologias possuem dificuldades de manutenção e operação devido à geração de lodo e possibilidade de colmatção do leito, além de terem um relativo custo elevado de implantação. A vermifiltração surge como uma tecnologia de equivalente desempenho para a remoção de poluentes, possuindo maior simplicidade de instalação e manutenção, tornando-se uma alternativa economicamente e tecnicamente atraente. Ela consiste em um biofiltro de fluxo intermitente que combina o processo de vermicompostagem com degradação microbiológica. O presente projeto em andamento visa avaliar o desempenho da vermifiltração tanto no tratamento de efluente anaeróbio (a partir de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente com leito de casca de coco verde e Tempo de Detenção Hidráulica de 24 horas) quanto de esgoto bruto. Cada vermifiltro possui diâmetro de 300 mm com um leito dividido em três camadas: a superior de 0,40 m composta de terra vegetal com minhocas da espécie *Eisenia andrei*; a intermediária de 0,40 m de pedrisco; e a inferior de 0,20 m de Brita 1 para a drenagem do efluente tratado. Os vermifiltros serão avaliados para as Taxas de Aplicação Superficial de 500, 1.000, 1.500 e 2.000 L.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>. O projeto complementa a linha de pesquisa da FEC-UNICAMP em “Saneamento de Comunidades Rurais e Isoladas”.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento descentralizado, esgoto sanitário, matéria orgânica, biofiltro, vermifiltração.

## INTRODUÇÃO

O fornecimento de um tratamento de esgoto eficaz e de custo reduzido para áreas de baixa densidade populacional e afastadas de grandes centros urbanos ainda é um desafio em todo o mundo (Massoud et al. 2009). Paulatinamente, pesquisadores da UNICAMP vêm estudando alternativas de tratamento de esgotos sanitários que sejam tecnicamente e economicamente viáveis para comunidades rurais e/ou isoladas, como o emprego de filtros anaeróbios com leito de anéis de bambu (Tonetti et al. 2011; Tonetti et al. 2012; Camargo & Nour, 2001), filtros anaeróbios com leito de casca de coco verde (Cruz et al. 2010; Cruz et al. 2013), filtros de areia seguidos de filtros anaeróbios (Tonetti et al. 2005; Tonon, 2011; Tonetti et al. 2012b; Tonetti et al. 2013), além de estudos para o reutilização de esgoto tratado, como o reúso de efluente clarificado para irrigação de *Eucalyptus grandis* (Marinho et al. 2013) e de roseiras (Marinho et al. 2013b), e até mesmo a aplicação de lodo de esgoto sanitário em roseiras (Paixão Filho et al. 2014). O presente projeto complementa essa linha de pesquisa da FEC-UNICAMP em Saneamento de Comunidades Rurais e Isoladas, iniciando o estudo de uma nova alternativa para sistemas descentralizados de tratamento de esgotos, a vermifiltração.

O Vermifiltro é uma tecnologia relativamente recente, sendo pioneiramente desenvolvido para o tratamento de esgoto sanitário na Universidade do Chile na década de 1990 (Soto & Tohá, 1998). É definido como um filtro biológico aeróbio composto por uma camada superior de substrato com material orgânico e minhocas, usualmente da espécie *Eisenia fetida* ou *Eisenia andrei*.

As minhocas proporcionam uma aeração natural e a granulação de partículas argilosas, além de fragmentar sedimentos e areia. Como consequência, há o aumento da superfície específica do meio filtrante e a ampliação da capacidade de retenção de compostos orgânicos e inorgânicos. Desse modo, os sólidos suspensos presentes no afluente são retidos no topo do vermifiltro, sendo inicialmente decompostos pelas minhocas e posteriormente processados pelos microrganismos presentes em todas as camadas do biofiltro (Sinha et al. 2008).

O estudo do processo da vermifiltração ainda é pouco expressivo na literatura brasileira, com estudos iniciais na Universidade Federal de Viçosa (Sartori, 2010), mas amplamente estudada na Austrália (Taylor et al. 2003; Sinha et al. 2008), China (Xing et al. 2010; Liu et al. 2013; Nie et al. 2014) e Índia (Kumar et al. 2014; Arora et al. 2014).

Todos esses estudos investigaram o potencial da aplicação da vermifiltração em sistemas descentralizados de tratamento de esgotos sanitários, evidenciando sua alta eficiência, destacando-se Liu et al. (2013) e Nie et al. (2014) por relatarem o desempenho da tecnologia no tratamento descentralizado de efluentes domésticos de vilas rurais na China.

Todos os referidos autores comprovam ainda que essa tecnologia oferece a significativa vantagem da ausência de formação de lodo na unidade, minimizando despesas adicionais com o tratamento e deposição final dessa fase sólida, além de ser um processo livre de odor, apresentando um efluente suficientemente clarificado para o reúso na irrigação agrícola ou em parques e jardins.

Em relação à eficiência do tratamento, os estudos pioneiros de Soto e Tohá (1998) indicaram um excelente desempenho de vermifiltros em escala piloto no tratamento de esgoto sanitário com o emprego de uma Taxa de Aplicação Superficial (TAS) de  $1.000 \text{ L.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , alcançando uma remoção de até 99% de DBO, 95% de Sólidos Suspensos Totais, 96% Sólidos Suspensos Voláteis, 89% de nitrogênio total e 70% de fósforo.

Kumar et al. (2014) avaliou ainda, em escala de bancada, a aplicação de cargas mais elevadas de esgoto sintético em vermifiltros, utilizando TAS de  $1.500$  até  $3.000 \text{ L.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , atingindo relativos bons resultados para a remoção de DQO (até 96%), DBO5 (até 90%), Sólidos Dissolvidos Totais (até 82%), tendo a composição do esgoto afluente: DQO de  $472 \pm 18 \text{ mg/l}$ , DBO de  $327 \pm 13 \text{ mg/l}$ , Sólidos Totais de  $689 \pm 99 \text{ mg/l}$ , Sólido Suspensos Totais de  $289 \pm 106 \text{ mg/l}$ , Carbono Orgânico Total  $210 \pm 18 \text{ mg/l}$ , Nitrogênio Total de  $48.9 \pm 10.6 \text{ mg/l}$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$  de  $20 \pm 2.5 \text{ mg/l}$ , Fósforo Total de  $8.1 \pm 3.3 \text{ mg/l}$  e pH de  $7.1 \pm 0.08$ .

Vale destacar que em comparação aos sistemas simplificados de filtros de areia para o tratamento de efluentes anaeróbios, para os quais Tonon (2011) comprovou o bom desempenho dos filtros de areia com aplicações superficiais de  $100$  até  $800 \text{ L.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  (valores médios mínimos de remoção de 80% de SST, 92% de DQO e 94% de DBO para qualquer um dos TAS utilizados), os vermifiltros oferecem uma eficiência semelhante

demandando menores áreas superficiais para o tratamento de uma mesma carga orgânica com riscos mínimos de colmatção do leito.

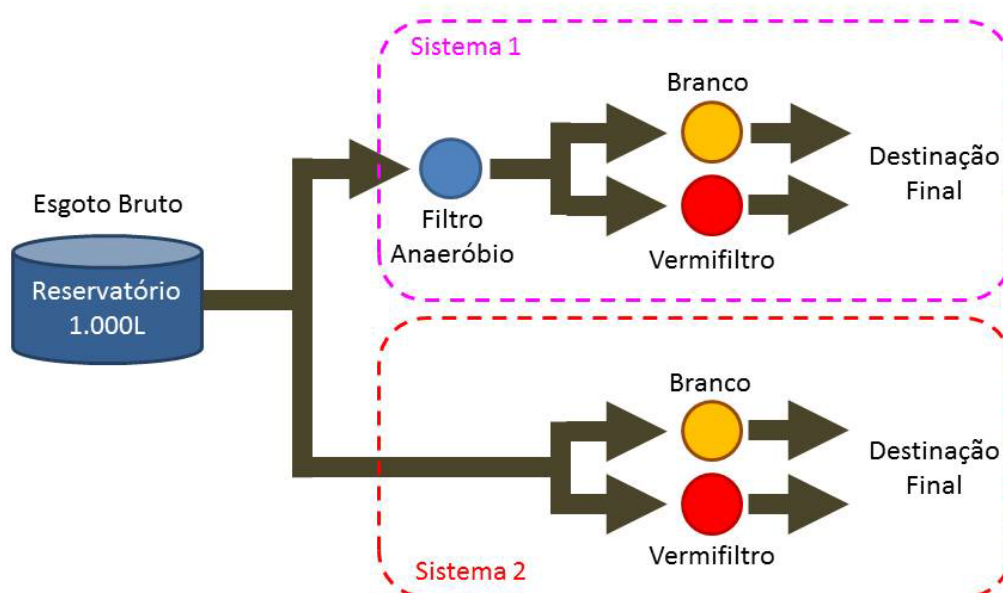
Conforme diversos estudos recentes (Yang et al. 2013; Li et al. 2013; Liu et al. 2013) os elevados valores de TAS suportados pelos vermifiltros relacionam-se à rápida estabilização, mineralização e humificação da matéria orgânica ocasionada pelas minhocas, o que proporciona a formação de um biofilme de maior diversidade bacteriana e atividade metabólica.

Xing et al. (2010) também correlaciona a eficiência de tratamento dos vermifiltros com as atividades enzimáticas decorrente à abundância de minhocas, principalmente com a manutenção de uma população com um maior número indivíduos adultos (peso maior ou igual a 300 mg cada). Para as diversas TAS estudadas pelo autor (2.400 até 6.700 L.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>) o leve decaimento na remoção de poluentes verificado frente ao gradativo aumento dessas aplicações relaciona-se com a constatação da diminuição do número de minhocas adultas e da diminuição do Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) na unidade, impedindo que os substratos orgânicos sejam totalmente degradados antes de serem drenados do biofiltro.

## MATERIAIS E MÉTODOS

As unidades constituintes do sistema simplificado de tratamento de esgotos sanitários por vermifiltração foram instaladas dentro das dependências do Laboratório de Protótipos Aplicados ao Tratamento de Águas e Efluentes (LabPro) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) da UNICAMP, Campinas / SP, sendo utilizado parte do esgoto bruto proveniente da rede coletora interna ao campus da UNICAMP.

O projeto contempla dois sistemas piloto de vermifiltração: um antecedido do Filtro Anaeróbico de fluxo ascendente e outro que receberá diretamente o esgoto bruto (**Figura 1**). Cada sistema opera com uma unidade comparativa de controle em paralelo (“branco”), sendo um biofiltro semelhante ao vermifiltro, porém sem minhocas.



**Figura 1: Esquema simplificado dos sistemas de vermifiltração no LabPro-FEC-UNICAMP.**

O filtro anaeróbico utilizado é equivalente ao estudado por Cruz et al. (2013) e Cruz et al. (2010), constituído por uma estrutura em aço inox em formato cilíndrico com fundo cônico de aproximadamente 1,68 m de altura e 0,75 m de diâmetro, com capacidade de armazenamento máximo de 460 L. Esse reator opera com fluxo ascendente, preenchido com cascas de coco verde fracionadas em formato de meio octante, atuando como substrato fixador para as bactérias que promovem a degradação anaeróbica da matéria orgânica. Considerando o

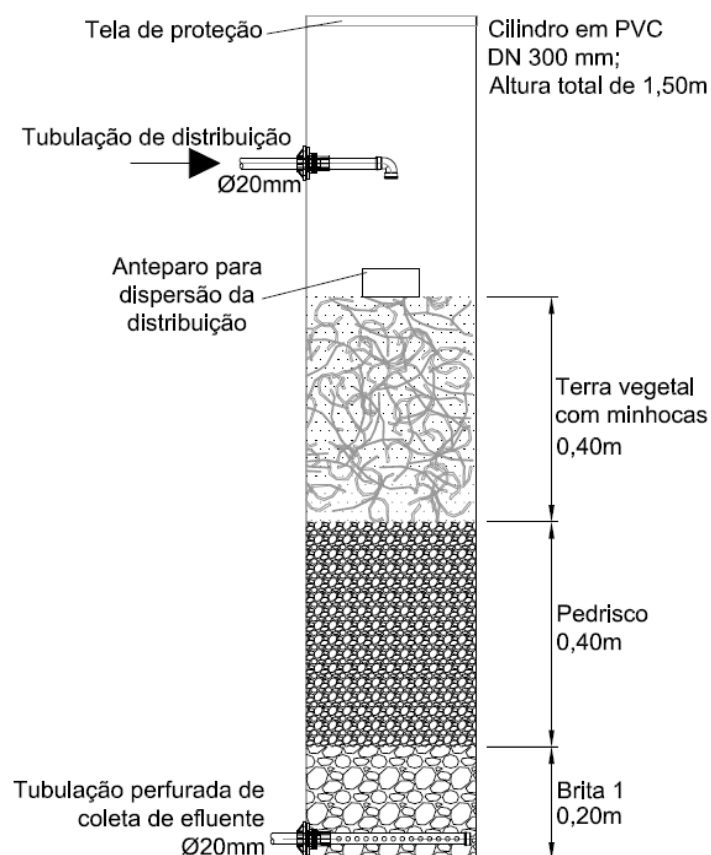
volume de vazios do material suporte de  $62,5\% \pm 2,4\%$  (Cruz et al., 2010), o filtro anaeróbio possui então um volume útil interno de aproximadamente 287 L.

O filtro anaeróbio utilizado no presente projeto opera com um TDH de 24 horas, garantindo uma considerável eficiência na remoção de DQO e DBO. Vale salientar que no estudo de Cruz et al. (2013) foi alcançado um desempenho satisfatório – remoção média de 73% de DQO e 79% de DBO – com um TDH de apenas 9 horas.

Os vermifiltros utilizados são constituídos por uma tubulação em PVC de 300 mm de diâmetro (área superficial de  $0,07 \text{ m}^2$ ), com uma altura total de 1,50 m (**Figura 2**). Seu leito é dividido em camadas com profundidades e características granulométricas baseadas em pesquisas conduzidas por Nie et al. (2014) e Sinha et al. (2008). A parte superior possui uma folga de 0,50 cm e uma camada de 0,40 m de terra vegetal com minhocas em uma densidade populacional inicial de 25.000 minhocas por  $\text{m}^3$  da espécie *Eisenia andrei* que, além de ser facilmente encontrada no comércio regional, é apontada por Sinha et al. (2008) como uma das espécies mais indicadas para processos de vermicompostagem.

A parte inferior de cada vermifiltro é formada por duas camadas de granulometria distinta, uma de 0,40 m de pedrisco ( $\text{Ø} 8.5 \text{ mm}$  a  $4.8 \text{ mm}$ ) seguida por uma de 0,20 m de Brita 1 ( $\text{Ø} 22 \text{ mm}$  a  $12.5 \text{ mm}$ ), tendo nessa última uma tubulação perfurada para a drenagem de efluente tratado. Esses reatores são operados em fluxo intermitente, nos quais a tubulação perfurada de drenagem atua como dispositivo de ventilação natural da unidade.

Para a distribuição do efluente líquido pela tubulação de entrada, há um anteparo (placa quadrada de madeira de 0,10 m de comprimento) sobre o leito superficial que proporciona uma dispersão superficial mais homogênea da distribuição de efluente pela formação de gotículas durante o seu choque com a massa líquida.



**Figura 2: Corte esquemático do vermifiltro.**

O projeto prevê a utilização de uma distinta TAS a cada uma das 4 etapas definidas para o ano de 2015: 500, 1.000, 1.500 e 2.000 L.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>. Para intermitência da alimentação, emprega-se dosagens de 50 L.m<sup>-2</sup> espaçadas em tempos iguais ao longo do dia (Tabela 1).

**Tabela 1: Aplicações hidráulicas de efluente nos vermifiltros (e “brancos”).**

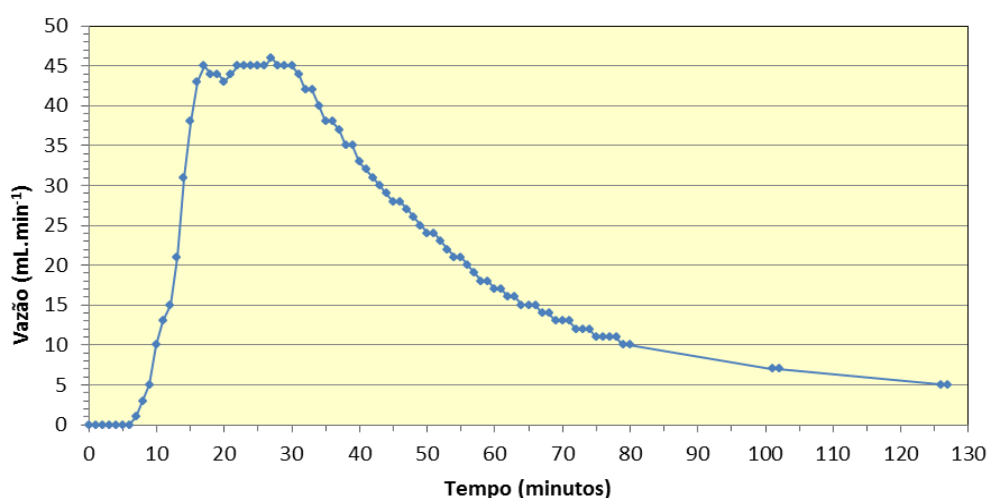
Taxa de Aplicação Superficial (L.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> )	Frequência diária de aplicações de 50 L.m <sup>-2</sup>	Intervalo entre aplicações (minutos)
500	10	144
1.000	20	72
1.500	30	48
2.000	40	36

São efetuadas coletas semanais de amostras de esgoto bruto e efluentes do filtro anaeróbio, vermifiltros e unidades de controle (“brancos”). Para cada amostra são realizadas as análises dos seguintes parâmetros: pH, alcalinidade, oxigênio dissolvido, sólidos totais suspensos, demanda química e bioquímica de oxigênio (DQO e DBO), carbono orgânico total e série de nitrogênio. Os procedimentos são realizados no Laboratório de Saneamento (LabSan) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, seguindo-se os métodos analíticos baseados no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA et al., 2012).

Ao término de cada uma das quatro etapas em que se empregou uma TAS diferente nos vermifiltros, será avaliado o estágio de desenvolvimento populacional das minhocas, removendo-se ¼ da camada superior de terra vegetal para a separação e contagem representativa dos anelídeos em 3 faixas de pesagem baseadas no estudo de Xing et. al (2010): menor que 100 mg (filhotes); de 100 a 300 mg (estágio intermediário); e maior que 300 mg (organismos adultos com presença de clitelo).

## HIDROGRAMA DO VERMIFILTRO

Para obter-se o tempo de permanência do afluente no interior de um dos vermifiltros, foi aplicado um volume de água até a saturação do leito, para então realizar-se o ensaio do hidrograma do reator (Figura 3) 12 horas depois. O ensaio foi iniciado com a aplicação do volume de água correspondente a carga de 50 Lm<sup>-2</sup> sobre a superfície de terra vegetal (sem minhocas). Após o choque do líquido com a superfície do leito, foi iniciada a cronometragem e a coleta de efluente de saída acumulado a cada minuto, permitindo a obtenção da vazão de saída em mL.min<sup>-1</sup>.



**Figura 3: Hidrograma do vermifiltro.**

Nota-se que a partir do oitavo minuto ocorre a rápida saída de efluente do reator, alcançando seu pico de vazão (45 mL.min<sup>-1</sup>) após cerca de 30 minutos do início do ensaio. Percebe-se que nesse intervalo, apenas 23% do



volume havia deixado a unidade (Tabela 2). O restante do líquido permaneceu no interior do leito tendo contato com as partículas dos agregados de terra vegetal. Ao se considerar 80 minutos decorridos do início do ensaio, tem-se a saída de cerca de 55% do volume líquido total, constatando-se que pouco menos da metade deste permanece por um maior intervalo de interação no interior do vermifiltro.

**Tabela 2: Percentual de saída de água em relação ao volume aplicada no vermifiltro.**

Período (min)	Volume saído (mL)	Volume saído em relação ao volume aplicado (%)	Volume acumulado em relação ao volume aplicado (%)
0 - 10	19	0,54	0,54
11 - 20	337	9,63	10,17
21 - 30	450	12,86	23,03
31 - 40	384	10,97	34,00
41 - 50	280	8,00	42,00
51 - 60	203	5,80	47,80
61 - 70	148	4,23	52,03
71 - 80	113	3,23	55,26
81 - 101	179	5,10	60,36
102-127	156	4,46	64,81

## RESULTADOS ESPERADOS

O presente projeto, cuja operação foi recém iniciada (com  $TAS = 500 \text{ L.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ), visa, baseado nos estudos de Nie et al. (2014), alcançar promissores resultados na eficiência de remoção matéria orgânica do efluente bruto oriundo da rede de coleta de esgotos sanitários do campus da UNICAMP.

Os resultados apresentados por Nie et al. (2014), cujo sistema de tratamento é constituído por um tanque séptico, seguido por um filtro anaeróbio e dois vermifiltros em sequência, destinados para o atendimento de 40 famílias chinesas residentes em uma vila de rural de no interior da província de Jiangsu, indicaram surpreendentes valores de remoção de DQO e nitrogênio total a uma TAS constante de  $1.000 \text{ L.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ .

Cada vermifiltro desse sistema era formado por 40 cm de pó de serragem com solo e minhocas da espécie *Eisenia fétida*, seguido por 10 cm de areia ( $\varnothing 0,2$  a 2 mm), 5 cm de brita ( $\varnothing 2$  a 10 mm), 30 cm de agregados ( $\varnothing 20$  a 30 mm) e 15 cm brita ( $\varnothing 20$  a 40 mm). O sistema removeu, na maior parte do tempo, acima de 90% de DQO, tendo uma considerável, porém oscilante, remoção de nitrogênio total (de 30 a 70%).

Dito posto, espera-se alcançar resultados semelhantes com um sistema de configuração mais simplificado (vermifiltro apenas e filtro anaeróbio + vermifiltro), investigando-se o desempenho para TAS crescentes entre os valores de 500 e  $2.000 \text{ L.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , além de avaliar a possibilidade de reúso do efluente tratado. Por fim, almeja-se a publicação dos resultados em periódico científico de ampla divulgação internacional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA/AWWA/WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19a edição. Nova Iorque: American Public Health Association. 2012.
2. AYRES, M. BIOESTAT. Universidade Federal do Pará. Belém, Pará. 2008.
3. ARORA, S. et al. A comparative study for pathogen removal using diferente filter media during vermifiltration. Water Science & Technology. DOI 10.2166/wst.2014.318. 2014
4. CAMARGO, S. A. R.; NOUR, E. A. A. Bamboo as an anaerobic medium: effect of filter column height. Water Science and Technology, v. 44, n.4, p. 63-70. 2001.
5. CRUZ, L.M.O. et al. Remoção da Matéria Orgânica de Efluente Doméstico por Reator Anaeróbio Preenchido com Coco Verde. Revista DAE, v. 184, p. 11-16. 2010.
6. CRUZ, L.M.O. et al. Coconut shells as filling material for anaerobic filters. SpringerPlus. DOI 10.1186/2193-1801-2-655. 2013.

7. 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.
8. 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.
9. LIU, J. et al. Phylogenetic characterization of microbial communities in a full-scale vermifilter treating rural domestic sewage. *Ecological Engineering*, n. 61, p. 100-109. 2013.
10. MARINHO, L.E.O. et al. Evaluation of the Productivity of Irrigated *Eucalyptus grandis* with Reclaimed Wastewater and Effects on Soil. *Water, Air, & Soil Pollution*, DOI 10.1007/s11270-013-1830-8. 2013.
11. MARINHO, L.E.O. et al. Application of Reclaimed Wastewater in the Irrigation of Rosebushes. *Water, Air, & Soil Pollution*, DOI 10.1007/s11270-013-1669-z. 2013b.
12. 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.
13. 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.
14. PAIXÃO FILHO, J.L. et al. Use of stabilization pond sludge in cultivation of roses. *Eng. Agríc. Ambient.*, n. 1, v.18, Campina Grande, jan. 2014.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. TONETTI, A.L. et al. Remoção de matéria orgânica, coliformes totais e nitrificação no tratamento de esgotos domésticos por filtros de areia. *Eng. Sanit. Ambient.*, n. 3, v. 10, Rio de Janeiro, jul./set. 2005.
20. TONETTI, A.L. et al. Avaliação da partida e operação de filtros anaeróbios tendo bambu como material de recheio. *Eng. Sanit. Ambient.*, n. 1, v. 16, Rio de Janeiro, mar. 2011.
21. TONETTI, A.L.; CORAUCCI FILHO, B.; STEFANUTTI, R. Pós-tratamento de efluente de filtros anaeróbios operados com baixo tempo de detenção hidráulica por escoamento superficial no solo. *Eng. Sanit. Ambient.*, n. 1, v. 17, Rio de Janeiro, jan./mar. 2012.
22. TONETTI, A.L. et al. Tratamento de esgoto e produção de água de reúso com o emprego de filtros de areia. *Eng. Sanit. Ambient.*, n. 3, v.17, Rio de Janeiro, jul./set. 2012b.
23. TONETTI, A.L. et al. Denitrification in a simple wastewater treatment system. *Eng. Sanit. Ambient.*, n. 4, v. 18, Rio de Janeiro, out./dez. 2013.
24. TONON, D. D. Tratamento de Efluente Anaeróbio: Condicionamento em Filtros de Areia Visando Lançamento e Reúso. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. 278p. Universidade Estadual de Campinas, 2011.
25. 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.
26. YANG, J. et al. Effect of earthworms on the biochemical characterization of biofilms in vermifiltration treatment of excess sludge. *Bioresource Technology*, n. 143, p. 10-17. 2013.