

II-524 - PÓS-TRATAMENTO DE FILTRO ANAERÓBIO POR FILTRO DE AREIA PARA TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO DE UMA PEQUENA COMUNIDADE

Bianca Graziella Lento Araujo Gomes⁽¹⁾

Bacharela em Gestão Ambiental pela Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP). Mestranda em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas (FEC/UNICAMP).

Isabel Campos Salles Figueiredo⁽²⁾

Mestra em Ecologia pela Universidade de Brasília. Doutoranda em Engenharia Civil pela FEC/UNICAMP

Adriano Luiz Tonetti⁽³⁾

Professor Doutor da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas (FEC/UNICAMP)

Endereço: Av. Albert Einstein, 951 – Cidade Universitária - Campinas - SP - CEP: 13083-970 - Brasil – Tel: +55 (19) 3521-2373 - e-mail: bianca.graziella@hotmail.com

RESUMO

Para avaliar o pós-tratamento de efluente anaeróbio por filtro de areia foi construído um sistema em escala real, o qual era composto por um tanque séptico, um filtro anaeróbio preenchido com cascas de coco verde (*Cocos nucifera*) e um filtro de areia. O efluente a ser tratado era proveniente de uma pequena comunidade a qual abrigava duas residências e uma fábrica produtora de pisos para calçamento. Acompanhou-se a operação do sistema por um ano, cuja avaliação da eficácia do tratamento se deu pelo monitoramento de parâmetros físicos e químicos, com ênfase para este trabalho dada à remoção de matéria orgânica (medida na forma de DQO), às concentrações de nitrato e oxigênio dissolvido (OD) e valores de turbidez, durante duas etapas (com períodos delimitados segundo o intervalo entre as manutenções do filtro de areia). Os resultados indicaram efetividade no tratamento anaeróbio, reduzindo pela metade a concentração inicial de DQO e de unidades de turbidez (uT), ganhando complementação pelo filtro de areia, com média de remoção global de 83% e 85% de DQO nas Etapas 02 e 03, e de 97% para turbidez em ambas etapas. As concentrações de OD ao final do tratamento foram similares ($> 4,0 \text{ mgOD.L}^{-1}$) nos dois períodos observados, favorecendo os processos de nitrificação e indicando efetividade da altura da camada de areia empregada.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema combinado simplificado, Reatores anaeróbio e aeróbio, Escala real.

INTRODUÇÃO

Estima-se que, atualmente, exista no mundo um bilhão a mais de pessoas sem saneamento básico em áreas rurais do que em áreas urbanas, sendo que nove entre cada dez pessoas que vivem em área rural não possuem qualquer tipo de sanitário (WHO; UNICEF, 2014). Os altos custos pra instalação de redes coletoras de esgoto surgem, neste cenário, como grande empecilho para o atendimento de pequenas comunidades rurais e/ou comunidades isoladas (PLANSAB, 2013), fortalecendo o retardo no provimento de serviços de saneamento em áreas menos povoadas. Esta carência obrigada as pessoas a adotarem medidas não apropriadas para o destino dos esgotos produzidos (ANDREOLI, 2009) que acabam por lançá-los *in natura* em corpos d'água, em valas ou mesmo no arruamento adjacentes às moradias (TONETTI et al., 2010) contribuindo para deterioração ambiental e criando condições favoráveis ao desenvolvimento de vetores transmissores de doenças feco-orais. Diante desta situação, vê-se que os sistemas de tratamento descentralizados de esgoto podem contribuir na remediação do problema, devido à versatilidade dos projetos que se adéquam às diferentes necessidades locais.

Os sistemas simplificados para tratamento de esgoto doméstico permitem diferentes combinações de unidades de operação e processo, dentre elas estão os filtros anaeróbios e os filtros de areia. Os filtros anaeróbios, quando precedidos por tanque séptico, são capazes de remover de 70-80% de DQO e produzirem uma pequena quantidade de lodo (SPERLING, 2005; ABREU; ZAIAT, 2008). Contudo, a escolha do material de recheio é um fator que influencia fortemente o custo do projeto, podendo alcançar a mesma ordem de grandeza do próprio reator (HAANDEL; LETTINGA, 1994).

Buscando avaliar a viabilidade de materiais alternativos e almejando baixo custo de instalação e operação, este estudo avaliou a eficiência de tratamento de um filtro anaeróbio preenchido com cascas de coco verde (*Cocos nucifera*) associado a um filtro de areia, construídos em escala real, para o tratamento de esgoto doméstico de uma pequena comunidade localizada na cidade de Campinas (SP).

MATERIAIS E MÉTODOS

A área onde o sistema de tratamento foi implantado abriga duas residências, um bar e uma pequena fábrica produtora de materiais para calçamento. O local possuía uma população permanente de quatro moradores e outra flutuante (funcionários e clientes do bar) cujo número exato varia durante o tempo. Ressalta-se, também, que há separação entre o efluente sanitário e o das atividades produtivas (que não adentrando ao sistema).

Todo o esgoto gerado foi coletado por uma tubulação de 0,100 m e encaminhado por gravidade até o sistema. As unidades de tratamento foram construídas predominantemente abaixo do nível do terreno, utilizando-se anéis de concreto pré-moldados para estruturação dos reatores, cujas conexões (tubos internos) apresentam leve declividade que permitem a passagem do efluente sem mecanização.

O esgoto bruto era imediatamente direcionado ao tanque séptico, o qual foi projetado de acordo com a norma técnica nacional NBR 7229 (1993). Neste projeto, estimou-se o atendimento de uma população de 20 pessoas (funcionários e moradores) para um período de detenção hidráulica (TDH) de 02 dias, resultando em volume útil de, aproximadamente, 4,40 m³.

Após a passagem pelo tanque séptico o efluente era encaminhado para uma caixa de passagem (também utilizada como ponto de coleta). Esta primeira caixa de passagem se conectava à tubulação de entrada do filtro anaeróbio, a qual penetrava pela lateral do reator até a base e depois avançava 0,76 m sobre a laje inferior em direção ao centro. Buscando promover uma distribuição homogênea, a tubulação de alimentação foi perfurada por toda sua extensão (perfurações de 0,030 m de diâmetro espaçadas a cada 0,060 m) e o afluente distribuído por fluxo ascendente. Já na porção superior, para contenção do material suporte, fixou-se uma placa de concreto perfurada por toda a área superficial, e sobre esta, uma tubulação de coleta igualmente perfurada como a tubulação de entrada.

O dimensionamento do reator anaeróbio foi baseado na NBR 13969 (1997), para TDH de 01 dia, resultando em volume útil de 2,24 m³. Porém, amparando-se em estudos com filtros anaeróbios em escala piloto (Alem Sobrinho e Said, 1991; Tonetti *et al*, 2011; De Oliveira Cruz *et al*, 2013) cujos resultados apontam para significativa remoção de matéria orgânica com a adoção de volumes e TDH inferiores aos recomendados pela referida norma, optou-se por reduzir o TDH para 16,8 horas, resultando em um volume útil de 1,57 m³, o qual foi preenchido com cascas de coco verde (*Cocos nucifera*) fracionadas (Figura 01).

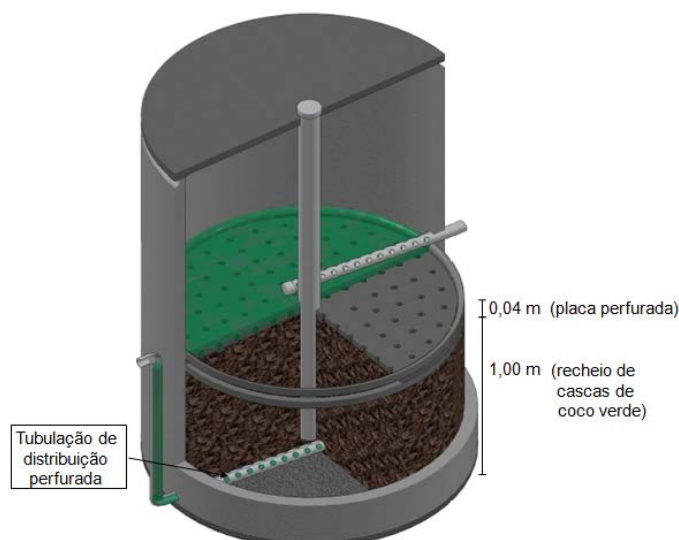


Figura 01 – Esquema ilustrativo do interior do filtro anaeróbio

O líquido que deixava o filtro anaeróbio era direcionado a uma caixa sifonada quadrada com volume útil de 0,032 m³. Buscou-se com este dispositivo promover a manutenção da condição aeróbia do filtro de areia através da aplicação intermitente do líquido, sendo o afluente vertido sobre uma lajota de concreto (diâmetro = 0,25 m) para auxiliar na distribuição do líquido sob a superfície do leito.

O filtro de areia também foi dimensionamento de acordo com estudos anteriores realizados em escala piloto por Tonetti *et al* (2005 e 2010) nos quais foram testadas diferentes alturas para as camadas de areia (0,25; 0,50; 0,75; e 1,00 m) e diferentes cargas de aplicação (20; 40; 60; 80 e 100 L.m⁻²). Os autores relatam bom desempenho dos filtros para remoção de material orgânico, sólidos suspensos e coliformes, obtendo um efluente clarificado e com pouca variação nos valores de pH; estimulando, assim, testes com maiores taxas de aplicação diária e adaptações às orientações construtivas fornecidas pela NBR 13969 (1997). Portanto, aparando-se nestas constatações, calculou-se a área superficial necessária para a aplicação de 500 L.dia⁻¹ de afluente anaeróbio (Tabela 01).

Tabela 01 - Dados para a construção do filtro de areia

Item	Unidade	Valor Adotado
Pessoas Contribuintes	pessoas	20
Contribuição de Despejos	L/pessoas.dia	70
Volume Diário de Contribuição	Litros	1400
Área Superficial para Taxa de 500 L/m ² .dia	m ²	2,80
Área Superficial Adotada	m ²	2,83

Devido à adoção de anéis de concreto para construção do filtro, a área superficial adotada tornou-se um pouco maior do que a área calculada. Para a composição do leito foram empregadas três camadas estratificadas: a primeira (base do filtro) possui 0,20 m de profundidade e é composta por pedaços de entulho da construção civil; a segunda camada possui 0,05 m de Brita 1, e a terceira, 0,40 m de areia média.

Para avaliação da eficácia do tratamento foram realizadas amostras semanais coletadas imediatamente após a saída dos reatores e analisadas no mesmo dia conforme as metodologias descritas pelo *Standard methods for the examination of water and wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2012)

RESULTADOS

A combinação tanque séptico e filtro de areia já estava sendo monitorada há cerca de um ano antes da partida do filtro anaeróbio. A partir disto, o monitoramento foi dividido em etapas delimitadas segundo o intervalo entre as manutenções do filtro de areia. Neste trabalho serão abordados os resultados obtidos durante as Etapas 02 (18/07/2013 a 24/09/2013) e 03 (11/10/2014 a 04/02/2014).

O pH efluente dos reatores anaeróbios apresentaram pequenas variações durante ambas as etapas revelando valores sempre próximos a 7,0. O mesmo não ocorreu com o efluente proveniente do filtro de areia, onde, durante a Etapa 02, verificaram-se valores sempre superiores às unidades anaeróbias e, ainda que consumida a alcalinidade durante a nitrificação, um possível tamponamento químico foi capaz de manter o pH sempre acima de 7,0. Já na Etapa 03 observou-se maiores variações do pH no efluente final. Pode-se supor que os recorrentes picos de nitrificação (Figura 02) verificados nesta etapa tenham consumido o tampão e interferido na estabilidade do pH.

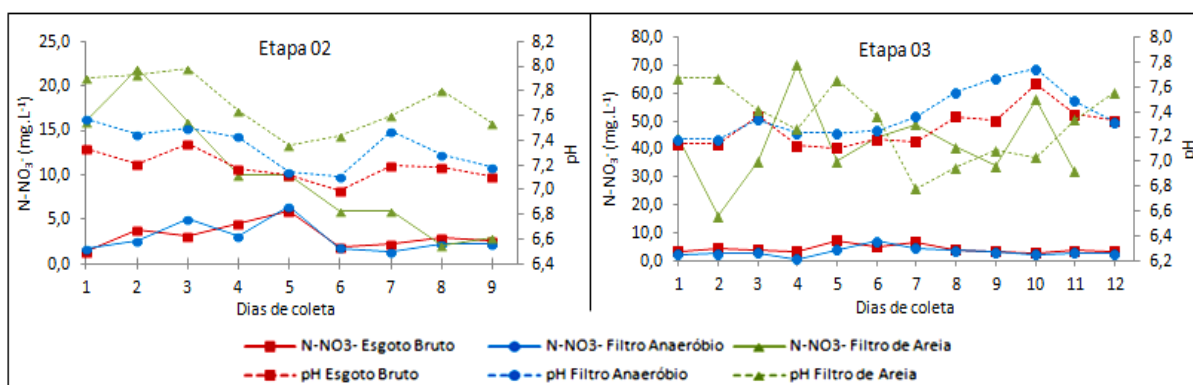


Figura 02 – Variação de pH e nitrificação pelo filtro de areia

Percebe-se que os picos na concentração de nitrato foram observados sempre em períodos próximos à troca de areia. Notam-se quedas subsequentes e contínuas na Etapa 02 revelando perda da capacidade de nitrificação conforme a colmatagem do filtro. Já na Etapa 03, o comportamento difere. A concentração de nitrato, ainda que tenha variado durante todo o período, permaneceu, predominantemente, superior ao pico verificado durante a Etapa 02 ($> 22 \text{ mg.L}^{-1}$). Este fato pode estar associado ao rápido estabelecimento de bactérias nitrificantes após a manutenção do filtro e à aeração do mesmo, dado que o Oxigênio Dissolvido (OD) medido no efluente anaeróbico variou de $0,2$ a $0,9 \text{ mgOD.L}^{-1}$ alcançando concentrações superiores a $4,0 \text{ mgOD.L}^{-1}$ após a passagem pelo filtro de areia. Contudo, ainda que o tratamento tenha aumentado a taxa de OD no efluente final, esta ainda estaria baixa, equiparando o líquido às concentrações encontradas em corpos d'água Classe 3 (CONAMA nº 357, 2005).

A concentração de DQO no esgoto bruto (proveniente do tanque séptico) apresentou maior variação durante a Etapa 03. Este comportamento pode estar relacionado à flutuação no número de funcionários na fábrica e a, consequente, variação no consumo de água. O valor médio obtido para a DQO do filtro anaeróbico foi de 256 ± 33 e $206 \pm 37 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$ para as Etapas 01 e 02, respectivamente, enquanto que para o efluente aeróbico a média alcançada foi de 87 ± 37 e $63 \pm 18 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$, também para as respectivas etapas; representando estatisticamente valores significativos (Kruskal-Wallis 5%) quanto às eficiências de remoção nos dois momentos (66% durante a Etapa 01 e 69% durante a Etapa 02). Ao considerar a concentração inicial (esgoto bruto), a remoção média global obtida em ambas as etapas foi superior a 83%, adequando o efluente aos padrões de emissão de $150 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$ estabelecido pela Legislação Alagoana (ALAGOAS, 1985) e ao limite de $125 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$ estabelecido pela legislação europeia (Directive 91/271/CEE) para lançamento de efluentes (Figura 03).

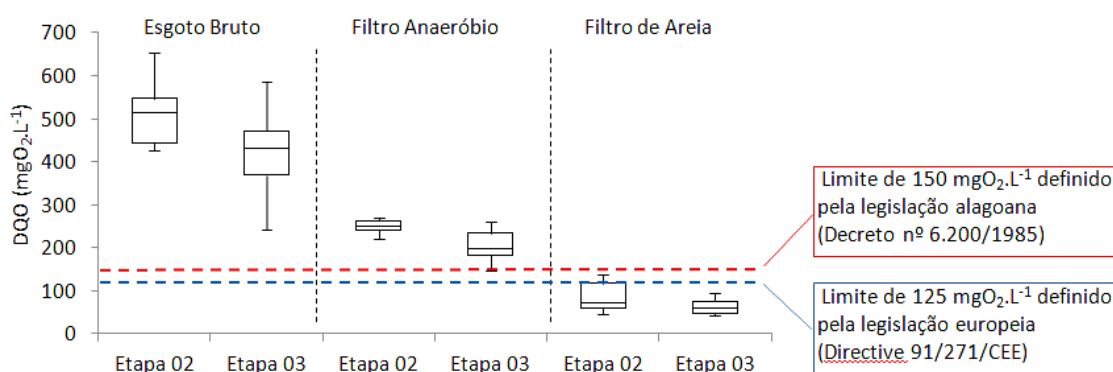


Figura 03 – Concentração de DQO efluente nas Etapas 02 e 03

Como pode ser observado por meio da Tabela 02, o filtro anaeróbico foi capaz de tornar o efluente mais clarificado, reduzindo os valores de turbidez pela metade se comparado aos valores iniciais. Contudo, após a passagem pelo filtro de areia, esses valores caem expressivamente, adequando o líquido ao padrão de turbidez designado a um corpo d'água Classe I ($\leq 40 \text{ uT}$) (CONAMA nº 357, 2005) e indicando a eficiência do

processo de tratamento quanto à remoção de sólidos suspensos que melhora o aspecto do efluente final e contribui para posterior desinfecção.

Tabela 02 – Tabela síntese dos valores e concentrações médias obtidas

Parâmetro	Esgoto Bruto		Filtro Anaeróbio		Filtro de Areia	
	Etapas		Etapas		Etapas	
	02	03	02	03	02	03
pH (faixa)	7,0 - 7,4	7,1 - 7,6	7,1 - 7,6	7,2 - 7,8	7,4 - 8,0	6,8 - 7,7
DQO (mgO ₂ .L ⁻¹)	527 ± 110	422 ± 95	256 ± 33	206 ± 37	87 ± 37	63 ± 18
Turbidez (uT)	339 ± 110	185 ± 95	164 ± 37	70 ± 20	8,5 ± 3,7	4,2 ± 3,2
OD (mg.L ⁻¹)	0,6 ± 0,2	0,4 ± 0,06	0,6 ± 0,2	0,4 ± 0,11	4,1 ± 0,9	4,6 ± 0,9
N-NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	3,2 ± 1,4	4,2 ± 1,4	2,9 ± 1,7	3,1 ± 1,6	10,1 ± 6,7	38,8 ± 17,1

CONCLUSÕES

A operação do sistema se deu de forma simplificada, exigindo apenas a substituição da camada superficial de areia quando verificada a colmatção. Ainda que constatadas oscilações no número de usuários e no consumo de água na área atendida pelo sistema, notou-se certa robustez no tratamento, sendo as altas concentrações de matéria orgânica absorvidas pelos processos de tratamento anaeróbio, resultando em menores cargas para o filtro de areia, e baixa variação das mesmas, proporcionando remoção global sempre superior a 74%, adequando o efluente a padrões de emissão nacional e internacional. O pH sofreu pequenas alterações, aumentando no efluente final, mas ainda mantendo-se próximo à neutralidade. O oxigênio dissolvido no tanque séptico e no filtro anaeróbio foi baixo, com valores predominantemente inferiores a 1 mgOD.L⁻¹, apresentando aumento no efluente do filtro de areia, indicando a efetividade da aeração nesta unidade. A eficiência na remoção de sólidos e matéria orgânica também pode ser expressa pela redução nos valores de turbidez, sendo verificado grande clarificação do líquido com turbidez final em ambas as etapas predominantemente inferior a 10 uT. Pode-se salientar que, para os parâmetros abordados neste trabalho, houve pouca diferença na eficiência alcançada em cada etapa, revelando certa estabilidade no tratamento e indicando que a associação de filtro anaeróbio preenchido com cascas de coco verde e filtro de areia é uma alternativa viável para atendimento de pequenas comunidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREU, S. B.; ZAIAT, M. Desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo no tratamento de esgoto sanitário. Revista de Engenharia Sanitária Ambiental. vol.13, nº 2, p. 181-188, 2008.
2. ALAGOAS. Decreto nº 6.200. Medidas de proteção ambiental na área de implantação do pócloroquímico de Alagoas. Diário Oficial do Estado de Alagoas. Maceió, 1985. 5p.
3. ALÉM SOBRINHO, P.; SAID, M. A. Decanto digestor e filtro anaeróbio, experiência de campo. Proposições para alteração do método de dimensionamento do filtro anaeróbio proposto pela NBR 7229. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES), 1991.
4. ANDREOLI, C. V. (Coord.). Lodo de Fossa Séptica. Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES) – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB). Rio de Janeiro, 2009.
5. APHA/AWWA/WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. Ed. 22. Nova Iorque, 2012.
6. CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução Número 357. 2005.
7. DE OLIVEIRA CRUZ, L. M.; STEFANUTTI, R.; FILHO, B. C.; TONETTI, A. L. Coconut shells as filling material for anaerobic filters. SpringerPlus, v. 2, p. 655, 2013.
8. DIRECTIVE 91/271/CEE. Concerning urban waste water treatment. J Off Commun Eur, 1991:L135/40–52.
9. HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. Tratamento anaeróbio de esgotos. Um manual para regiões de clima quente. 1994.
10. NBR 7229 – Projeto, construção e operação de tanques sépticos. São Paulo, ABNT. 1993.
11. NBR 13969 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. São Paulo, ABNT. 1997.

12. PLANSAB. Plano Nacional de Saneamento Básico. Brasília, 2013
13. TONETTI, A. L.; CORAUCCI FILHO, B.; STEFANUTTI, R.; FIGUEIREDO, R. F.; SÃO PEDRO, C. C. O. Remoção de matéria orgânica, coliformes totais e nitrificação no tratamento de esgotos domésticos por filtros de areia. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.10, n.03, p.209-218, 2005.
14. TONETTI, A. L.; CORAUCCI FILHO, B.; BERTONCINI, E. I.; OLIVEIRA, R. A.; STEFANUTTI, R. Avaliação de um sistema simplificado de tratamento de esgotos visando a utilização em áreas rurais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.2, p.227-234, 2010.
15. TONETTI, A. L.; CORAUCCI FILHO, B.; GUIMARÃES, J. R.; CRUZ, L. M. O.; NAKAMURA, M. S. Avaliação da partida e operação de filtros anaeróbios tendo bambu como material de recheio. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.16 n.1, p 11-16. 2011.
16. SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Ed. 3, p. 452. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2005.
17. WHO/UNICEF – World Health Organization and United Nations Children's Fund. Estimates on the use of water sources and sanitation facilities. 2014.