

II-548 – PROTÓTIPO DE BIOFILTRO PERCOLADOR COM USO DE MEIO SUPORTE EM NÃO TECIDO SINTÉTICO

Natalia Cedran Bergamini⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pelas Faculdades Adamantinenses Integradas (FAI). Mestre em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil (FEC/UNICAMP).

Carlos Gomes da Nave Mendes⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), Mestre em Engenharia Civil Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) Doutor em Engenharia Civil Hidráulica e Saneamento (EESC/USP). Professor Associado do Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC/Unicamp)

Endereço⁽¹⁾: Rua José Antônio Marinho, 191 – Santa Genebra II - Campinas - SP - CEP: 13.084-783 - Brasil - Tel: (19) 97123-7920 - e-mail: eng.nataliacedran@hotmail.com.

Endereço⁽²⁾: Rua Saturnino de Brito, 224 - Campinas – SP, Cidade Universitária "Zeferino Vaz", CEP: 13083-889, Caixa Postal 6143, Departamento de Saneamento e Ambiente, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Tel: (19) 3521-2371 - e-mail: cgdanave@fec.unicamp.br

RESUMO

Este trabalho consistiu em desenvolver novo tipo de biofiltro percolador para tratamento de esgoto sanitário para instalações de pequeno porte. A pesquisa foi desenvolvida nas instalações do Laboratório de Protótipos da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, cidade de Campinas, Estado de São Paulo.

A inovação baseou-se no uso de não tecido sintético como suporte da biomassa, tendo-se variado, além de diversos tipos de não tecido, diferentes configurações geométricas para o reator e condições operacionais.

Os resultados médios de remoção de DQO e de DBO nas diferentes fases operacionais variaram de 75 a 86% e de 80 a 86%, respectivamente. As concentrações médias de DQO no efluente final variaram de 81 a 179 mg/L, enquanto as concentrações médias de DBO estiveram entre 47 a 97 mg/L.

O sistema PF/FPNT (Pré-filtro/Filtro Biológico Percolador em Não Tecido) pode se tornar uma alternativa promissora para o tratamento de esgoto sanitário de pequenas instalações do Brasil, uma vez que manifestou relativa eficiência na remoção de DQO e DBO₅ em baixo tempo de detenção hidráulica (cerca de 100 minutos) resultando em uma instalação compacta e de baixo custo operacional.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de esgoto sanitário, Filtro biológico percolador, Não tecido sintético, Estação de tratamento de esgoto compacta.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional de forma desordenada causa inúmeras complicações, uma delas é a grande geração de resíduos líquidos (esgoto) que quando dispostos de forma inadequada afeta o meio ambiente e toda a sociedade.

De acordo com os inúmeros problemas relacionados com os resíduos líquidos, a partir da legislação federal (RESOLUÇÃO CONAMA n° 357, de 17 de abril de 2005) que informa sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e sua recente atualização (Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011), bem como o (Decreto Estadual n° 54.487, de 26 de junho de 2009), sobre os padrões de lançamento de efluentes, os órgãos de controle ambiental tem apresentado uma maior preocupação sobre o controle dos níveis de nutrientes nos mananciais superficiais, principalmente quando relacionados ao abastecimento urbano. Diante da problemática surge necessidade de se utilizar pós-tratamentos (físicos, químicos e/ou biológicos) para mitigar este problema.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a construção e operação de um sistema compacto de tratamento de esgoto, utilizando como alternativa aos meios suportes de biomassa tradicionais, mantas de não tecido sintéticos. Sem contar com referências anteriores similares, o experimento desenvolveu-se inicialmente testando-se algumas configurações geométricas e formas de alimentação dos reatores (fase I). A partir da

escolha da melhor configuração, partiu-se para uma segunda fase onde puderam ser avaliadas as eficiências de remoção de matéria orgânica.

Dos estudos realizados nos laboratórios da UNICAMP o quarto modelo de reator testado obteve eficiência na remoção de DQO e DBO de esgotos sanitários em 86%.

MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento experimental desse projeto foi realizado no Laboratório de Protótipos Aplicados ao Tratamento de Águas e Efluentes (LABPRO), local onde se encontra o sistema de reatores, já as análises físico-químicas e microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Saneamento (LABSAN), ambos pertencentes ao Departamento de Saneamento e Ambiente (DSA) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) da UNICAMP. Localizados na Cidade Universitária Zeferino Vaz, no bairro de Barão Geraldo, cidade de Campinas, Estado de São Paulo.

O esgoto bruto utilizado nesta pesquisa foi gerado em uma região da UNICAMP onde estão situados: Hospital das Clínicas, Creche da Área de Saúde, Escola Estadual “Físico Sérgio Pereira Porto”, Almoxarifado Central, Centro de Engenharia Biomédica, Bancos, Centro de Assistência Integral à Saúde da Mulher (CAISM), Gastrocentro, Hemocentro, Ambulatório de Primeiro Atendimento, Centro Integrado de Pesquisas na Infância e Centro de Saúde da Comunidade (CECOM). A partir da caixa de passagem do esgoto bruto foi feito o recalque por meio de bomba submersa em vazão superior a necessária para a alimentação dos reatores até reservatório intermediário, de onde partem diversas linhas de alimentação para as diversas pesquisas desenvolvidas em paralelo no local. A alimentação dos reatores deste experimento foi feita a partir de novo bombeamento, utilizando-se de bomba peristáltica.

Inicialmente, foram testadas configurações que utilizassem a capacidade de subtração do esgoto bruto pela capilaridade de mantas mergulhadas em reservatório de alimentação elevado, submetido a nível constante. Tais mantas instaladas na vertical fariam com que o escoamento se desse por gravidade até estágios localizados mais abaixo, e, daí em diante. Com o desenvolvimento da biomassa nesse meio suporte e a grande superfície de contato com a atmosfera para trocas gasosas, esperava-se que, a exemplo dos biofiltros percoladores convencionais, tais configurações pudessem constituir-se em alternativa viável. Os resultados mostraram a necessidade de alterações conforme mostram os itens descritos a seguir, até uma quarta configuração, cujos testes puderam passar a uma fase operacional de obtenção de eficiências de remoção de matéria orgânica, turbidez e sólidos.

FASE I - PRIMEIRO MODELO

O sistema constituía-se de três dispositivos básicos, reservatório superior de entrada do afluente provido de extravasor ajustável na altura, meio suporte para formação da biomassa e canaleta inferior para coleta e saída do efluente tratado.

Com a fixação do extravasor de forma a manter a cota do nível de água próximo do transbordamento, foi possível iniciar o escoamento pelas mantas de não tecido por capilaridade (Figura 1). O meio suporte para formação da biomassa constituído na manta não sintética, tipo geotêxtil (acrílica resinada de poliéster 100 g/m², densidade de 20 kg/m³, espessura de 5 mm), com dimensões de 0,3 m na horizontal e 3,5 m na vertical disposto em zigue-zague e canaleta inferior de coleta do esgoto filtrado e tratado biologicamente, que após o sistema seria encaminhado para descarte voltando para a caixa de passagem. A Figura 1 representa o primeiro modelo de reator testado.



Figura 1: Reator modelo 1, alimentado por capilaridade.

RESULTADOS DO PRIMEIRO MODELO PROPOSTO

O sistema foi testado inicialmente com água, o qual operou perfeitamente dentro dos padrões esperados. Após os testes com água foi operado com o esgoto bruto já descrito anteriormente.

Como a proposta era que a alimentação do não tecido sintético (meio suporte) fosse feita através do sifonamento causado propositalmente na canaleta superior e ação da capilaridade, o mesmo quando iniciado o tratamento com esgoto apresentou decréscimo contínuo de vazão pelo acúmulo excessivo de sólidos no meio suporte nos primeiros 10 cm, o que comprometeu a ação da capilaridade na alimentação do reator, como pode ser observado na Figura 2.

A Figura 2 apresenta os valores obtidos pela medição da vazão do sistema ao longo do tempo durante o funcionamento do sistema proposto.

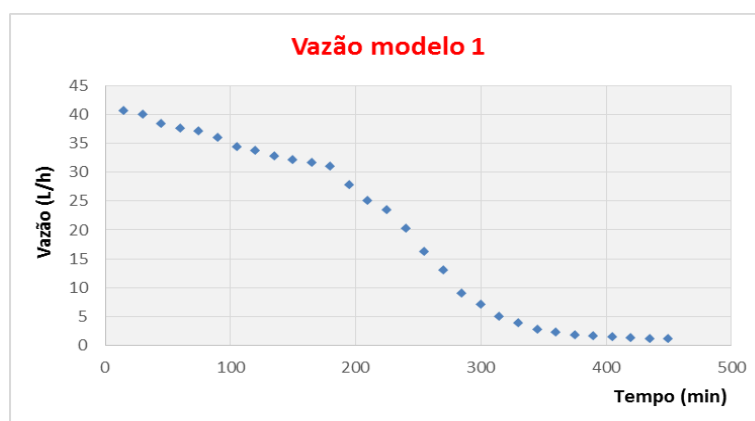


Figura 2: Vazão em relação ao tempo de operação do modelo 1.

De acordo com os resultados encontrados no gráfico acima, a vazão de entrada do esgoto bruto no sistema apresentou uma redução brusca de 40,6 L/h para 7,1 L/h após 5 horas de funcionamento. Desta forma, a vazão e todo processo operacional do sistema foi comprometido, pois não seria possível a realização da limpeza do

não tecido sintético, de acordo com a disposição do reator, nem a formação da biomassa ao longo do meio suporte, sendo assim essa configuração se tornou inviável para a proposta de remoção de matéria carbonácea.

FASE I - SEGUNDO MODELO

Foi testada uma nova configuração do reator partindo do experimento anterior. Como o problema principal do modelo anterior era a alimentação do não tecido sintético por capilaridade foi proposta uma alimentação forçada através de um dispositivo construído de tubo de PVC $\varnothing = 12,7$ mm com 350 mm de comprimento. Foram feitos furos de $\varnothing = 6$ mm por toda a área ao longo dos 250 mm de comprimento útil do tubo. No meio foi inserida uma mangueira de silicone de $\varnothing = 1/32''$, foi feito um furo na canaleta superior para fixar a mangueira que iria alimentar o sistema (Figura 3). Em seguida o tubo foi revestido com manta acrílica resinada de poliéster, gramatura de 100 g/m², densidade de 20 kg/m³, espessura de 5 mm, deixando 2,3 m pendente para que o efluente percolasse pela manta acrílica (Figura 4).



Figura 3 e 4: Reator biológico modelo 2.

RESULTADOS DO SEGUNDO MODELO

O modelo 2 entrou em funcionamento, entretanto mesmo com essas alterações, as quais forçava a passagem do esgoto bruto para o não tecido sintético, ocorreram vários problemas como entupimento diário da mangueira de silicone e pré-filtro, vazamentos, instabilidade operacional dentre outros.

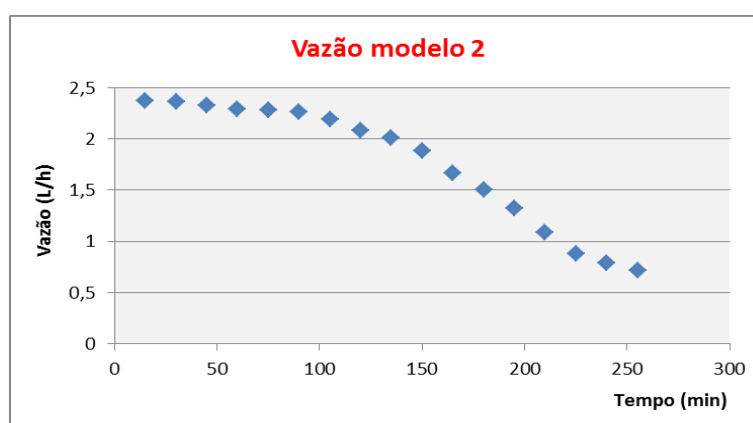


Figura 5: Vazão em relação ao tempo de operação do modelo 2.

Como pode ser visto na Figura 5, a vazão do esgoto bruto foi reduzida em mais de 66% em apenas 3 horas de funcionamento. Desta forma seriam necessárias várias limpezas do manifold de alimentação. Sendo assim foi descartado esse modelo.

FASE I - TERCEIRO MODELO

Após os resultados frustrantes com os dois primeiros modelos, foi proposta a alteração das configurações geométricas do reator que era o uso de uma única peça de não tecido sintético, dando início a criação do modelo 3.

O sistema constituía-se de um pré-filtro (tubo de PVC $\varnothing = 12,7$ mm com 350 mm de comprimento, onde foram feitos furos de $\varnothing = 6$ mm por toda a área ao longo dos 250 mm de comprimento útil do tubo. Revestido de manta acrílica de poliéster expandido de 10 mm de espessura, dando voltas em torno do tubo de PVC amarrado com braçadeiras plásticas. O mesmo foi feito para o revestimento externo com dimensões de 1 x 0,27 m de manta acrílica resinada de poliéster, deixando 0,3 m pendente para que o efluente percole pela manta acrílica.

Foi testada a instalação com três reatores fabricados de caixa plástica transparente, com uma cama feita de isopor e palitos de bambu, usados para sustentar o recheio do reator (manta acrílica de poliéster expandido revestido com manta acrílica resinada de poliéster). Foi feito um corte longitudinal no centro da bandeja para que o não tecido sintético transpassasse para o próximo estágio alimentando o reator subsequente.

Quando proposto esse modelo de reator, foi determinado que a cama suspensa fosse usada para garantir que a manta inferior não ficasse em contato direto com o esgoto que percolasse pelo reator, proporcionando as mesmas características em todo o reator.



Figura 6: Reator biológico modelo 3.

RESULTADOS DO TERCEIRO MODELO

Após alguns dias de operação começaram a aparecer vários problemas decorrentes da configuração geométrica do sistema. O primeiro grande problema foi a colmatação do centro do não tecido sintético devido à alimentação ser feita através de um corte no meio da bandeja. O sistema proporcionou um fluxo preferencial longitudinal no reator, fazendo com que o esgoto não percorresse o restante no meio suporte, reduzindo o TDH total nos reatores, isso pode ser visto na Tabela 1, e em outras situações permanecendo por tempos variáveis, apresentando problemas no controle do TDH dos reatores ao longo do tratamento.

Outro problema encontrado foi à formação de zonas mortas e acúmulo de excesso de líquido no interior das bandejas, bem como, onde o efluente era captado de um estágio para o outro. Sendo assim não era possível calcular com precisão o TDH em cada estágio do reator.

Tabela 1: Resumo TDH modelo 3.

Dias de operação	Tempo de Residência (t)
4	t = 90,7 min
8	t = 66,8 min
12	t = 56,3 min
16	t = 51,7 min
20	t = 38,4 min
24	t = 29,2 min
28	t = 43,9 min
32	t = 69,4 min
36	t = 33,5 min
40	t = 28,1 min
44	t = 37,0 min

Segundo a Tabela 1, após 28 dias de operação do sistema o TDH aumentou pela formação de “lagoas” nos reatores, causadas pelo entupimento da saída de cada estágio do reator. No 36º dia o TDH era mais que 50% menor em relação à última medição. Isso se deve ao processo de cisalhamento do biofilme onde o seu desprendimento liberava novamente a saída do reator, aumentando seu fluxo.

FASE I - QUARTO MODELO

Para a montagem do aparato experimental, foram utilizadas caixas plásticas com 30,7 x 42,5 x 30,5 cm (altura x comprimento x largura) as quais constituíram-se nos três estágios do reator biológico, caixa plástica 21 x 50 x 36 cm (altura x comprimento x largura), tubo de PVC de $\varnothing = 15$ mm, tela galvanizada com malha de 5 mm x 5mm foi utilizada na fabricação das rampas de sustentação que serviram de apoio para o não tecido sintético, manta acrílica resinada de poliéster empregada como recheio do reator, superfície externa do pré-filtro e filtro secundário, manta acrílica de poliéster expandido com 10 mm de espessura e gramatura 100 g/m² usada como recheio do pré-filtro localizado no topo do reator, não tecido sintético (marca: Ober S/A – modelo GF8/150) estrutura do reator biológico, mangueira de silicone de $\varnothing = 12,7$ mm, mangueira flexível PVC cristal de $\varnothing = 26$ mm, bomba peristáltica para alimentar o sistema, timer, prateleira com armação metálica com 31 x 27 cm de base com lances montáveis, escada de alumínio, mão francesa em aço, conexões em PVC, torneiras, braçadeiras metálicas e plásticas (Figura 7) onde é apresentada a configuração da instalação experimental.

Foi determinada a realização de duas descargas de fundo por semana, no tanque de equalização, já que a válvula que liberava o esgoto bruto fica localizada na parte inferior do tanque, essas descargas foram feitas às terças-feiras e quintas-feiras, dias anteriores à realização das coletas das amostras.

Para minimizar os problemas de acúmulo de sólidos e entupimentos na entrada do primeiro estágio do reator biológico foi inserido um pré-filtro fabricado com a manta acrílica resinada revestida internamente com manta acrílica fabricada em poliéster.

Após a montagem dos reatores, realizou-se o teste de estanqueidade e em seguida os ajustes necessários a fim de verificar possíveis vazamentos provenientes do encaixe das conexões e estrutura do reator. As amostras de efluentes foram coletadas nos pontos enumerados de 1 (esgoto bruto), 2 (efluente do pré-filtro), 3, 4 e 5 (efluente dos reatores).

Após o último estágio do reator biológico, determinando como sendo a terceira etapa de tratamento, a passagem do efluente por um novo filtro, denominado de secundário, produzido de não tecido sintético idêntico ao descrito como filtro primário, seguindo para descarte na caixa de passagem dos esgotos brutos. A inclusão do filtro secundário (SF) foi necessária após meses de análises decorrente do desprendimento do biofilme existente no meio suporte em condições de regime estável e permanente, como poderá ser visto nos resultados apresentados. Os resultados obtidos após a instalação do FS são apresentados como representantes da Fase III do estudo.

Para que a bomba de alimentação não tivesse sua capacidade de funcionamento prejudicada, a mesma foi ligada a um timer com 5 ciclos de 12 minutos, onde a cada hora ela passava um ciclo desligada, tendo vazão real média 12,8 Lh⁻¹. Esta vazão foi recalculada para o PF e, a partir deste, por gravidade, para os estágios do reator biológico e deste ao filtro secundário.



1- afluente bruto; 2 - efluente pré-filtro; 3 - efluente reator 1; 4 - efluente reator 2; 5 - efluente reator 3; A - tanque de equalização; B - bomba peristáltica – alimentação; C - pré-filtro; D - reator estágio 1; E - reator estágio 2; F - reator estágio 3; G - efluente tratado.

2-

Figura 7: Reator biológico modelo 4. Detalhes das rampas internas aos estágios.

A instalação piloto foi submetida à operação ininterrupta (24 horas) com monitoramento e ações corretivas diárias, pelo período necessário para a obtenção dos resultados e conclusões almejadas. É importante ressaltar que o sistema de reatores não sofreu alterações em sua estrutura, bem como, nenhuma limpeza foi realizada nos reatores durante os 228 dias de operação. O único estágio que foi substituído foi o pré-filtro que foi trocado por entupimento após 162 dias.

RESULTADOS DO QUARTO MODELO

De acordo com estudos hidrodinâmicos, foi necessário que se descobrisse o tempo médio de detenção hidráulica nos reatores.

Tabela 2: Resumo tempo de detenção hidráulica nos reatores.

Mês	$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot C_i(t) \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n C_i(t) \cdot \Delta t_i}$	Tempo de Residência (t)
Abril*	t = (3911798)/(62449)min	t = 62,6 min
Maio	t = (30568504)/(369116)min	t = 82,8 min
Junho	t = (38186416)/(417889)min	t = 91,3 min
Julho	t = (38084464)/(410686)min	t = 92,7 min
Agosto	t = (37526117)/(392143)min	t = 95,6 min
Setembro	t = (42741222)/(434610)min	t = 98,3 min
Outubro	t = (36373911)/(363722)min	t = 100,0 min
Novembro	t = (40057072)/(397010)min	t = 100,8 min

Os dados foram obtidos através de um traçador do tipo estímulo-resposta para as amostras coletadas na saída do terceiro reator (R3), proporcionando o TDH dos três reatores em conjunto ao longo dos meses de operação do sistema de tratamento. É importante ressaltar que toda remoção de DQO/DBO ocorreu durante esse período. Os resultados de DQO e DBO podem ser vistos nas Figuras 8 e 9.

O conjunto dos resultados de DQO, afluente bruto (B), efluentes do pré-filtro (PF), reatores biológicos percoladores (R1, R2 e R3) e filtro secundário (SF), obtidos durante as fases operacionais, é representado pela Figura 8.

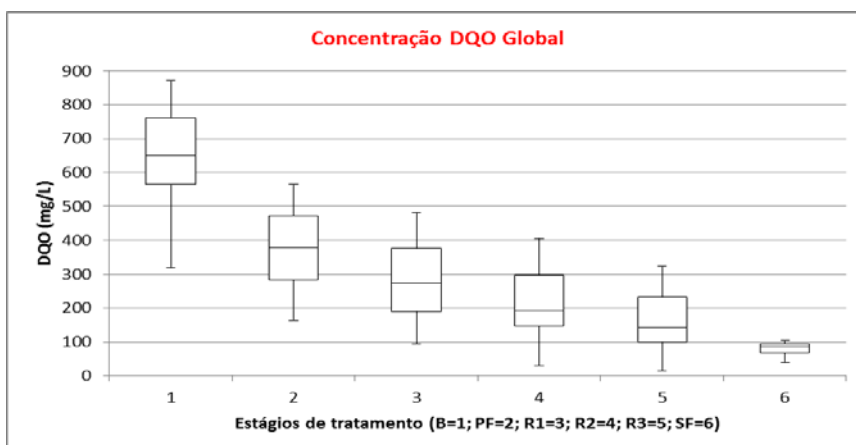


Figura 8: Resultados de DQO global de todos os estágios de tratamento.

O efluente de entrada do sistema apresentava um valor médio de concentração de 673 mgDQO/L, durante o tratamento o pré-filtro foi capaz de produzir um efluente com concentração média de 390 mgDQO/L, enquanto a concentração média do efluente final na saída do filtro secundário (SF) foi de 81 mgDQO/L.

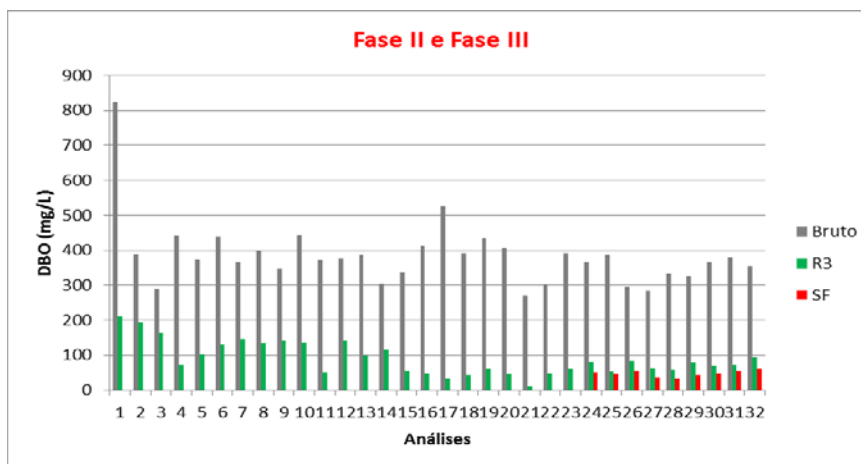


Figura 9: Resultados de DBO na entrada e saídas do sistema.

Como consta na Figura 9, fica clara a eficiência na remoção de DBO com os valores médios obtidos durante o tratamento. O esgoto bruto apresentou concentração média 384 mgDBO/L. Pode-se observar o momento que é inserido o filtro secundário (SF) como fase operacional. A média obtida para o reator 3 foi de 90 mgDBO/L e no efluente final (SF), concentrações médias em torno de 47 mgDBO/L.

A Figura 10 apresenta os resultados de remoção de turbidez nos diversos estágios da instalação piloto. Em termos médios, foram obtidas as seguintes eficiências: 66% no PF; 44% no R1; 39% no R2; 48 % no R3 e 43% no SF, totalizando um eficiência global próxima a 96% durante a fase III dos experimentos. Os resultados indicaram a produção de valores máximos de turbidez após o filtro secundário inferiores a 10 UT.

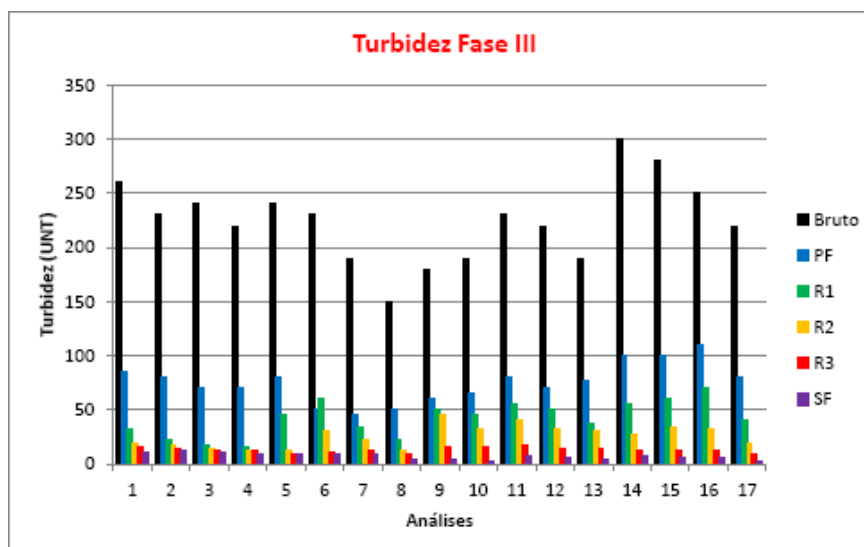


Figura 10 – Valores da turbidez na entrada e saídas do sistema após a introdução do SF.

Desta forma a configuração PF/Reatores/SF apresenta excelentes resultados ao longo do período operacional do sistema de tratamento com eficiência de remoção de 86% da DQO e DBO do afluente bruto, em relação os modelos testados anteriormente.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A configuração adotada no quarto modelo pode constituir-se em alternativa viável para tratamento de esgotos sanitários em instalações de pequeno porte (familiar ou condominial), tendo em vista eficiências de remoção de DQO e DBO superiores a 85%, turbidez e sólidos totais, acima de 95%;

Esse tipo de instalação requer o uso de pré-filtros (PF) e filtros secundários (SF), confeccionados com os mesmos materiais utilizados como meio suporte dos reatores biológicos, constituindo-se em elementos simples e de razoável durabilidade, já que apenas o pré-filtro teve que ser substituído após um período de operação de cerca de 160 dias;

Os resultados demonstram que bons resultados de remoção de matéria orgânica carbonácea, sólidos e turbidez podem ser obtidos em TDH muito baixos (cerca de 100 minutos), o que configura solução com grande economia de área para implantação;

Testes adicionais são necessários para verificar a possibilidade de melhoria na troca de oxigênio com a atmosfera de forma a, talvez, viabilizar a etapa de nitrificação que, nos testes realizados manifestou-se insatisfatória. Isso poderia ser proporcionado com aberturas para ventilação nas paredes dos estágios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, P. G. S. de. Remoção de matéria orgânica e nitrogênio em filtros biológicos percoladores aplicados ao pós-tratamento de efluentes de reatores UASB. 204 f. Tese (Doutorado na área de Saneamento). Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2012.
2. BERGAMINI, N. C. Estudo em protótipo de reator biológico percolador com uso de meio suporte fixo de não tecido sintético. Dissertação de mestrado apresentada a FEC-UNICAMP, área de Saneamento e Ambiente, 2014;
3. CHERNICHARO, C. A. L. Cap. 1: Aplicabilidade da Tecnologia Anaeróbia para o Tratamento de Esgotos Domésticos. p.12 In: Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios – Coletânea de Artigos Técnicos - volume I. Belo Horizonte Projeto PROSAB, 220p, 2000.

4. FERRAZ, C. F. Influência da redução da espessura da camada suporte na eficiência da filtração lenta com uso de mantas sintéticas não tecidas para águas de abastecimento. 199 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Ambiente). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.
5. GASI, T. M. T. Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades. São Paulo: CETESB, 1988.
6. IMHOFF, K.; IMHOFF, K. R.; HESS, M. L. Manual de tratamento de águas residuárias. São Paulo: Edgard Blücher, 301p, 1996.
7. IWAI, S.; KITAO, T. Wastewater treatment with microbial films. Technomic publishing Co, Lancaster, EUA, 184p, 1994.
8. LESSARD, P.; LE BIHAN, Y. Fixed film process. In: MARA, D.; HORAN, N. The handbook of water and wastewater microbiology. Elsevier, 2003.
9. LEWANDOWSKI, Z.; BEYENAL, H.; STOOKEY, D. Reproducibility of biofilm processes and the meaning of steady state in biofilm reactors. Water Science and Technology. v. 49, n. 11-12, p 359-364, 2004.
10. MOTA, S.; VON SPERLING, M. Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP, v. 1, 430 p, 2009.
11. MUÑOZ, C. S. Desempenho de geotêxteis na filtração de solos internamente instáveis. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Jose dos Campos, 2005.
12. SANTOS, A. S. P. Avaliação de desempenho de um filtro biológico percolado em diferentes meios suportes plásticos. 81p. Dissertação (Mestrado em Ciência em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – 2005.
13. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ª ed. Belo Horizonte, DESA – UFMG, Capítulo 2, v. 1, 6ª reimpressão, 2011.