

978 - PÓS-TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS UTILIZANDO REATOR UASB SEGUIDO DE FILTRO PERCOLADOR (FBP)

Israel Nunes Henrique⁽¹⁾

Químico Industrial (UEPB). Mestre em Ambiente e Desenvolvimento (PRODEMA-UFPB). Doutor em Recursos Naturais (PPGRN-UFCG). Professor na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Iomar Manoel Pereira Sousa

Engenheiro Sanitarista e Ambiental (UFOPA). Mestre em Sociedade Ambiente e Qualidade de Vida (PPGSAQ-UFOPA).

Raiane Rodrigues Galvão

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA).

Vanderson Luiz de Sousa Carvalho

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA).

Joelison Brendo Oliveira de Araujo

Graduando em Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Endereço⁽¹⁾: Rua Jairo Vieira Feitosa, 1770 - Pereiros, Pombal - PB, 58840-000 e-mail: israelnunes@yahoo.com.br

RESUMO

Os processos de remoção de matéria orgânica biodegradável através de sistemas de tratamento específicos são a alternativa mais viável para a redução dos nutrientes presentes no esgoto sanitário, pois esses processos têm histórico de utilização e eficiência elevada. A combinação de sistemas anaeróbio-aeróbio apresenta-se como uma alternativa muito promissora para a remoção de material orgânico e nutrientes, e em condições favoráveis, essa combinação oferece grandes vantagens quando comparados aos sistemas de lodos ativados convencionais, pois produzem efluentes de boa qualidade e custos de implantação e de operação consideravelmente reduzidos. Diante disso, a presente pesquisa busca tratar esgotos sanitários através da combinação do reator UASB seguido de filtro biológico percolador, com a finalidade de remover constituintes físicos e químicos poluidores e produzir efluentes com condições adequadas de lançamento e reuso, bem como a minimização de resíduos gerados no tratamento. Os sistemas experimentais foram construídos em escala de bancada, para o reator UASB o volume útil foi de 3,357L, com fluxo ascendente, operando em regime de batelada com TDH de 8 horas, tratando aproximadamente 10L de esgoto por dia. Já o FBP possuiu um volume útil de 6,34L, disposto com 3 camadas distintas, sendo duas de brita e uma de areia lavada, tratando aproximadamente 6L de esgoto por dia. Verificou-se que o tratamento de águas residuárias utilizando reatores UASB seguidos de filtros biológicos percoladores mostrou-se satisfatório, pois de acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa, o filtro biológico percolador pode promover remoções adicionais de matéria orgânica assim como dos compostos nitrogenados. Desta forma, os sistemas podem ser justificados com uma alternativa muito promissora para o processo de tratamento de águas residuárias, pois atingiram os objetivos propostos no presente estudo além de resultarem em unidades de tratamento compactas e de baixo custo de implantação e de operação.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento anaeróbio; remoção de sólidos; taxa de aplicação superficial.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o Brasil vem buscando melhorar sua relação ao tratamento dos esgotos sanitários gerados por sua população, evitando principalmente a degradação do meio ambiente, pois seus recursos hídricos estão cada vez mais deteriorados, dificultando o uso para fins de recreação, ou, o mais grave, para o abastecimento público e irrigação das plantações que servem de alimento para a população (COSTA et al., 2014).

Nesse contexto, Santarém um dos municípios localizados no Estado do Pará, que apesar de ser uma referência turística, está entre as dez piores cidades no que se refere à coleta e tratamento de esgoto, de acordo com o ranking apresentado pelo Instituto Trata Brasil (2021), baseado em dados de saneamento de 2021, na qual constam pouco mais de 8% de tratamento do esgoto em relação ao efluente gerado. Baseado nisso, existem tecnologias que já realizam tal procedimento quanto aos efluentes gerados, que podem ser aplicadas, buscando modificar o panorama atual.

Segundo Florencio et al. (2006), as tecnologias de tratamento de esgotos são desenvolvidas a partir da grande necessidade de redução de matéria orgânica, sólidos em suspensão e de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio. Dessa forma, para que sejam lançados ao corpo hídrico é necessária a remoção da DQO biodegradável através de sistemas de tratamento específicos, as quais são alternativas mais viáveis para a redução dos nutrientes presentes no esgoto sanitário.

Com isso, a aplicação de reatores anaeróbios tornou-se uma realidade no Brasil, dentre estes está o reator UASB (BORGES & SANTOS, 2017). Este apresenta Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) baixo e elevado tempo de retenção celular (GRADY et al., 1999). Bastante utilizado devido necessitar de áreas pequenas, baixo custo operacional e de implantação, baixa produção de lodo e eficiência na remoção de DBO e DQO, equivalente a cerca de 70%, simples operação, sendo opção para o déficit de tratamento de esgoto. No entanto, há necessidade de pós-tratamento por não remover nutrientes e patógenos (CHERNICHARO, 2016).

Pesquisas utilizando Filtros Biológicos Percoladores (FBPs) vêm demonstrando que este tipo de tratamento, associado a reatores UASB, tem eficiências aceitáveis e conseguem atender as normas de lançamentos de poluentes como DQO, sólidos em suspensão e nutrientes, determinados pelas resoluções do CONAMA nº 430/2011.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é tratar esgotos domésticos em reator UASB seguido de pós-tratamento em Filtro Biológico Percolador (FBP), no município de Santarém, Oeste do Estado do Pará.

METODOLOGIA UTILIZADA

O estudo foi realizado no município de Santarém (PA), onde foram coletados esgotos brutos semanalmente em vias públicas próximas ao laboratório que se encontrava os sistemas, sendo estes com características de águas cinza. O material coletado era disposto em um reservatório de polietileno de 500L, sendo homogeneizado por meio de uma bomba centrifuga controlada por um temporizador com intervalos de 15 minutos, devido o baixo teor de matéria orgânica sanitária presente no esgoto coletado. Posteriormente, esse afluente foi bombeado para o reator UASB, por meio de uma bomba peristáltica que também era controlada por um temporizador digital, sendo ativos a 20 bateladas de cinco minutos cada (Figura 1A).

O reator UASB utilizado tem a capacidade de 3,356 L e foi construído em PVC, sob vazão de 10L.d-1 de esgoto, tempo de retenção celular de 240 dias e tempo de detenção hidráulica (TDH) de 8h, com reservatório de coleta do efluente ao reator de 30L. Para realizar a filtração, foi construído um Filtro Biológico Percolador (FBP) de bancada com as seguintes dimensões 14,3cm x 14,3cm x 45cm, com um volume total de 9,2L (Figura 1B), sendo este compostos por uma camada de areia lavada, cerca de 31cm de extensão, e duas camadas de brita nº 3 de aproximadamente 3cm de lâmina. Do volume útil de areia utilizado (6,34L), 68% foram ocupados pela areia e 32% representam o volume de vazio.

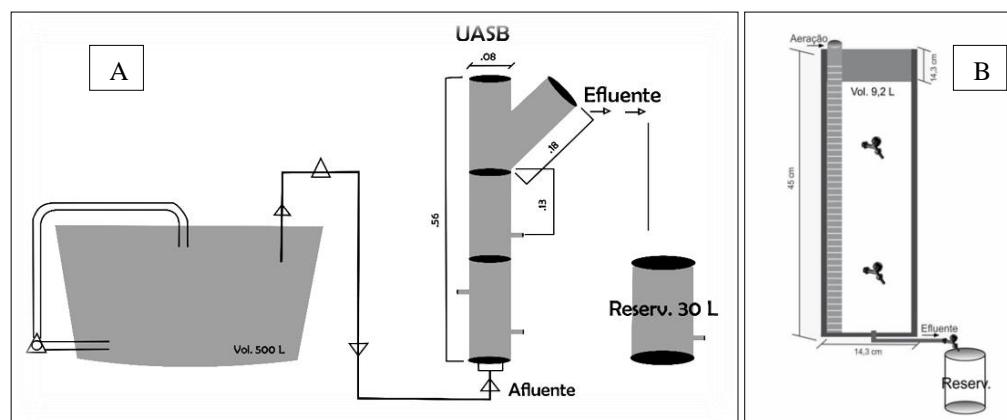


Figura 1. A: Esquema do reator UASB, B: Esquema do FBP.

O processo de filtração foi realizado manualmente, por fluxo descendente, sendo diariamente filtrados 6L divididos em duas vezes com intervalos de 4 horas entre as filtrações. A taxa de aplicação superficial (TAS) foi calculada com base na norma brasileira NBR13.969 (1997).

Procedimento Analítico e análises estatísticas

A avaliação do sistema operado foi realizada por meio de análises físicas e químicas. Para isso, foram coletadas amostras do reservatório de armazenamento do esgoto bruto (EB), do reator UASB e FBP. As determinações químicas efetuadas durante o período experimental seguiram as recomendações do APHA (2012), e os ácidos graxos voláteis e alcalinidade foram determinados com base no método Kapp descrito por Buchauer (1998). Foram analisados os resultados de forma descritiva, com auxílio do software Microsoft Excel (2016), onde foram tabulados os dados coletados, para geração de gráficos e tabelas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este tópico irá abordar os resultados referentes aos 4 meses de pesquisa ao qual se avaliou os parâmetros como pH, alcalinidade, ácidos graxos voláteis, DQO, amônia, nitrito, nitrato, fosfato, sólidos e suas frações. Vale ressaltar que nesse período de 4 meses de pesquisa, dois meses se diferenciam pelo fato de serem acrescentados cargas orgânicas no esgoto bruto (devido a característica de baixa carga orgânica do mesmo), e por esse motivo os resultados sofrem alterações a partir da metade do período experimental.

Potencial hidrogeniônico (pH)

Analizando os resultados de pH nos sistemas, os valores obtidos durante o período de monitoramento foram em média de 7,26 para o esgoto bruto, 7,39 para o reator UASB e 7,45 para o filtro biológico percolador. O comportamento dos valores de pH durante a avaliação experimental está representado na Figura 2.

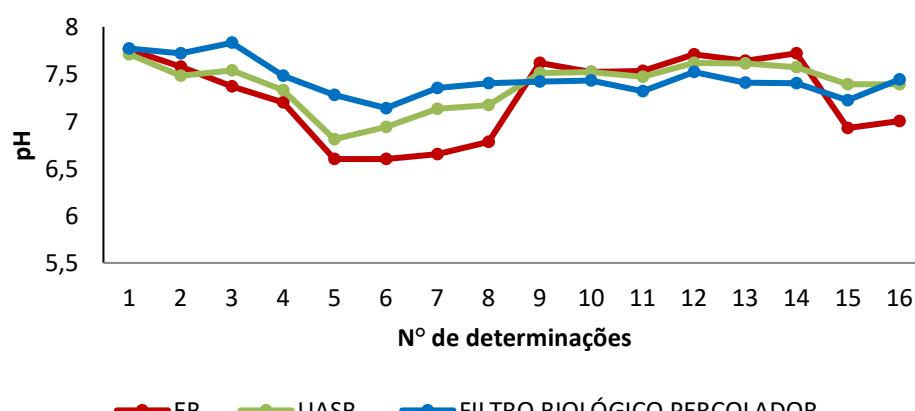


Figura 2 - Comportamento do potencial hidrogeniônico – pH no esgoto bruto-EB, reator UASB e filtro biológico percolador-FBP.



Alcalinidade Total

Com relação aos resultados obtidos para o parâmetro de alcalinidade total, os valores médios encontrados foram de 201,47 ppmCaCO₃ para o esgoto bruto, 208,58 ppmCaCO₃ para o reator UASB, e 170,11 ppmCaCO₃ para o FBP. O comportamento das concentrações de alcalinidade total durante a avaliação experimental está representado na Figura 3.

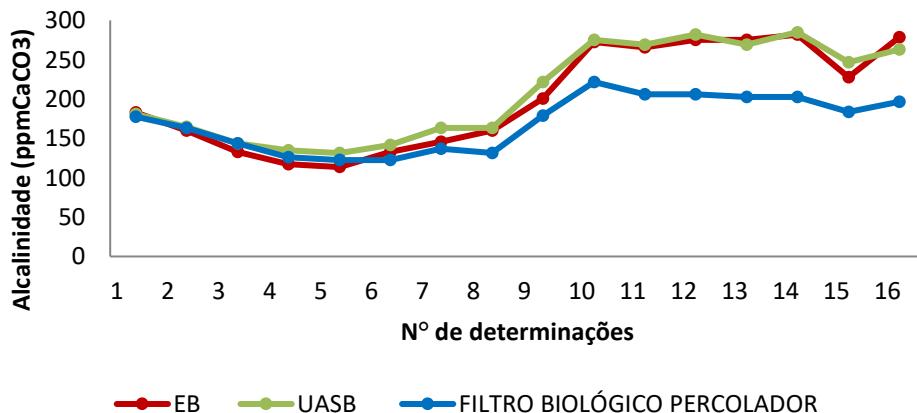


Figura 3 -Comportamento da alcalinidade total no esgoto bruto-EB, reator UASB e filtro biológico percolador-FBP.

Ácidos Graxos Voláteis (AGV)

Para o parâmetro de ácidos graxos voláteis as concentrações médias obtidas foram de 37,99 mgHAc/L para o esgoto bruto, 8,44 mgHAc/L para o reator UASB e 1,27 mgHAc/L para o filtro biológico percolador. O comportamento das concentrações de AGV durante a avaliação experimental está representado na Figura 4.

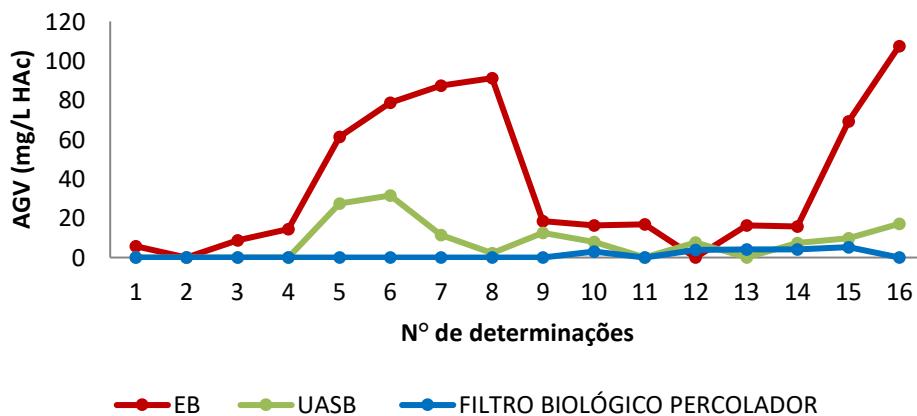


Figura 4 - Comportamento dos ácidos graxos voláteis no EB, reator UASB e FBP.

Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Com relação à remoção de matéria orgânica, obteve-se valores médios de 278 mgO₂/L no esgoto bruto, 93 mgO₂/L para o reator UASB e 62 mgO₂/L para o FBP. O comportamento das concentrações de DQO durante a avaliação experimental está representado na Figura 5.

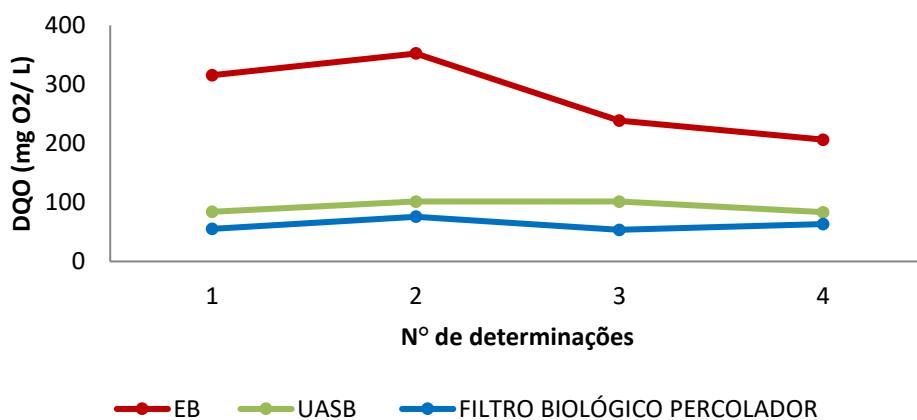


Figura 5 - Comportamento de DQO no EB, Reator UASB e FBP.

Nitrogênio Amoniacal (NH_4^+)

Em relação à concentração de íon amônio, os resultados médios obtidos foram de 45,78 mg/L para o esgoto bruto, 47,36 mg/L para o reator UASB e 37,83 mg/L para o filtro biológico percolador. O comportamento das concentrações de nitrogênio amoniacal durante a avaliação experimental está representado na Figura 6.

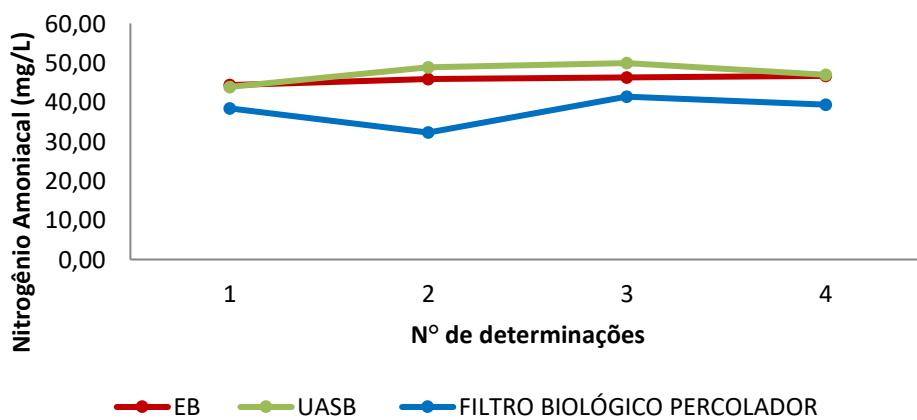


Figura 6- Comportamento de nitrogênio amoniacal no EB, Reator UASB e FBP.

Nitrito (NO_2^-)

Para o parâmetro de íons nitrito, os resultados médios obtidos foram de 0,03 mg/L para o esgoto bruto, 0,02 mg/L para o reator UASB e 0,92 mg/L para o filtro biológico percolador. O comportamento das concentrações de nitrito durante a avaliação experimental está representado na Figura 7.

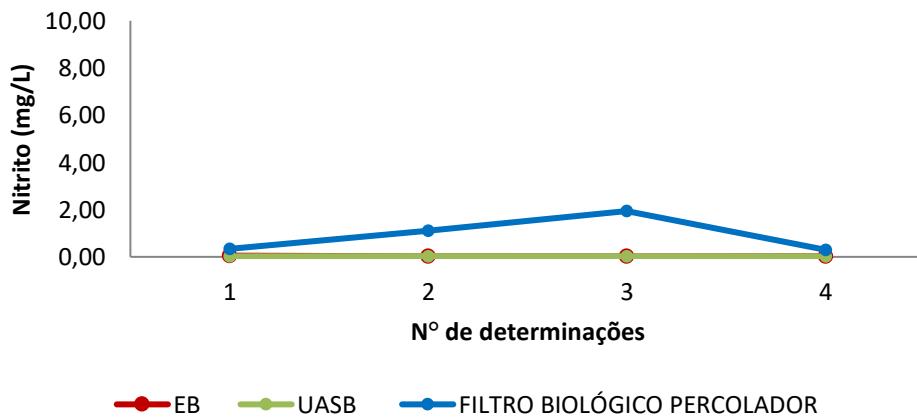


Figura 7 - Comportamento de nitrito no EB, reator UASB e FBP.

Nitrito (NO_3^-)

Em relação ao nitrito, os resultados médios obtidos foram de 0,55 mg/L para o esgoto bruto, 0,51 mg/L para o reator UASB e 34,61 mg/L para o filtro biológico percolador. O comportamento das concentrações de nitrito durante a avaliação experimental está representado na Figura 8.

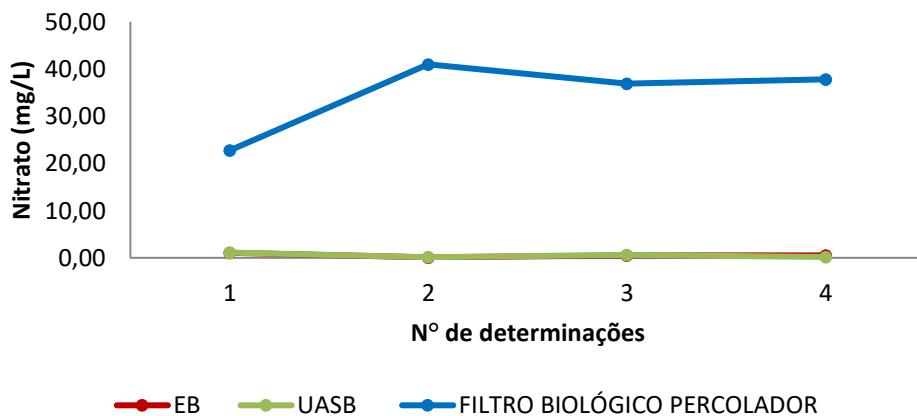


Figura 8 - Comportamento de nitrito no EB, reator UASB e FBP.

Fosfato (PO_4^{3-})

Para o parâmetro de fosfato, os resultados médios obtidos foram de 2,84 mg/L para o esgoto bruto, 2,51 mg/L para o reator UASB e 2,37 mg/L para o filtro biológico percolador. O comportamento das concentrações de fosfato durante a avaliação experimental está representado na Figura 9.

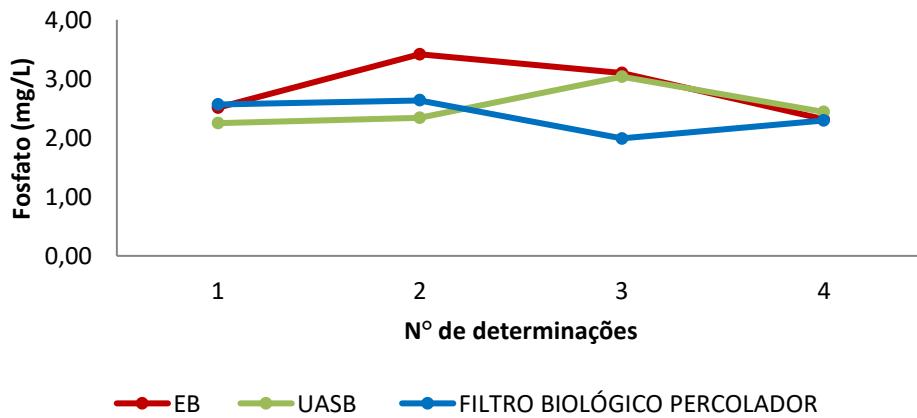


Figura 9 -Comportamento de fosfato no EB, reator UASB e FBP.

Na Tabela 1 estão expostos os valores médios para os parâmetros de sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV) do EB, do reator UASB e FBP.

Tabela 1. Valores de sólidos do esgoto bruto e dos efluentes do reator UASB e FBP.

Parâmetro	Sistema	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
ST (mg. L^{-1})	EB	707,33	78,03	784	628
	UASB	642,67	71,45	790	656
	FBP	723,33	95,44	790	614
STV (mg. L^{-1})	EB	302,67	118,56	414	178
	UASB	210	52,46	266	162
	FBP	309,33	96,8	390	202
SST (mg. L^{-1})	EB	78	40,15	120	40
	UASB	12	12,17	26	4



	FBP	17,33	23,44	44	0
SSV (mg. L⁻¹)	EB	57,33	40,41	94	14
	UASB	10,67	13,32	26	2
	FBP	8,67	9,02	18	0

Em relação aos ST, as concentrações médias obtidas foram de 707,33 mg.L⁻¹ no EB, 642,67 mg.L⁻¹ no efluente do reator UASB, e de 723,33 mg.L⁻¹ no efluente do FBP, observando uma eficiência de remoção de 9,2% no reator UASB em relação ao EB. Para o parâmetro de STV, o sistema anaeróbio apresentou concentração média de 210 mg.L⁻¹, destacando assim uma eficiência de remoção de aproximadamente 31% em relação ao EB. Já o FBP apresentou concentração média de 309,33 mg.L⁻¹, ou seja, houve aumento de sólidos no sistema, devido a retenção das partículas a cada filtração, além deste ser um filtro com meio suporte de areia.

Processo de filtração no FBP

O processo de filtração no FBP se resume em um volume de entrada de efluente de 3L, com intervalo mínimo de 4 horas entre as filtrações, duas vezes por dia, sendo que os resultados médios obtidos para esse processo de filtração, foram de 2,76L de volume de efluente filtrado com um tempo médio de 4,77 minutos (04:46), resultando em uma vazão de percolação de 0,58L por minuto. O comportamento dos valores obtidos durante o processo de filtração experimental está representado na Figura 10.

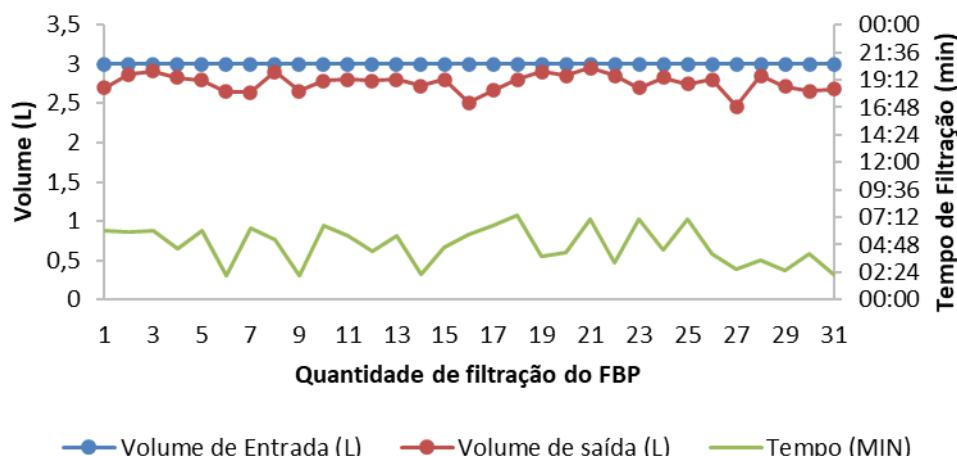


Figura 10- Processo de filtração no FBP

Análise dos resultados

Em relação ao pH tanto para o sistema anaeróbio (UASB), quanto para o FBP está de acordo com a literatura. Segundo Campos et al. (2006), a maioria das bactérias anaeróbias atuam em pH de 6,5 a 7,5, sendo assim o presente trabalho também demonstra tal processo. Quanto ao FBP, com o valor médio de 7,45 demonstra um bom funcionamento do sistema, sendo a faixa de pH ótima para nitrificação está entre 7,5 a 8,0 apresentado pela literatura, sendo que abaixo de pH=7 há a formação de ácido nitroso (HNO₂) inibindo a etapa de nitrificação (METCALF & EDDY, 2003; ALMEIDA, 2012). Em relação à alcalinidade, esta demonstrou uma funcionalidade de tamponamento do pH no reator UASB, originando um melhor funcionamento do sistema.

O reator anaeróbio apresentou uma remoção de matéria orgânica de 66,55%, comprovando um bom funcionamento no processo de digestão anaeróbia, corroborando com resultados de Van Haandel e Lettinga (1994), que encontrou uma remoção entre a 65 a 75%. Para o FBP a eficiência na remoção foi de 34%, que pode ser explicado pelo consumo OD para oxidação de DQO (METCALF & EDDY, 2016). Resultados abaixo de 100 mgO₂.L⁻¹ também foram encontrados em estudos de Almeida, Oliveira e Chernicharo (2011).

Valores de nitrito e nitrato foram quase nulos no EB e UASB, porém no FBP houve um aumento, que pode ser explicado pela ocorrência do processo de nitrificação (nitratação +nitrificação). De acordo com a resolução do CONAMA nº 357/2005, a concentração máxima de nitrito permitida para lançamento de efluente é de 1,0 mg.L⁻¹.

1, portanto, o sistema produziu efluente dentro dos valores permitidos pela legislação. O que não ocorreu com o nitrato que ficou acima do permitido pela resolução do CONAMA 357/2005.

Em relação a remoção de sólidos e frações, comparados ao estudo de Andrade (2012), demonstra-se uma eficiência ótima para remoção de SST e SSV, com ocorrência de 85% e 81,4%, sendo praticamente 10% eficiente a mais que o autor citado.

Em relação ao TAS no FBP, o resultado encontrado foi de 293,41 L.m⁻² apresentando um valor superior ao estipulado pela NBR13.696 (1997) para sistemas aeróbios. E para o processo de filtração o resultado médio obtidos para esse processo de filtração, foi de 2,76L de volume de efluente filtrado com um tempo médio de 4,77 minutos, resultando em uma vazão de percolação de 0,58L por minuto.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- O tratamento de águas residuárias utilizando reator UASB seguido de filtro biológico percolador, de acordo com o presente estudo, mostrou-se satisfatório, pois de acordo com os resultados obtidos nesta pesquisa, o reator UASB removeu matéria orgânica e sólidos em suspensão conforme os padrões de tratamento consolidados. O filtro biológico percolador removeu matéria orgânica e nitrogênio amoniacal. Contudo, o efluente final carece de melhorias para otimizar a remoção de sólidos.
- O filtro biológico percolador obteve um bom desempenho no processo de nitrificação, produzindo efluentes com qualidade de reuso relacionado ao parâmetro nitrato. Com relação ao parâmetro nitrito, o efluente final mostrou-se dentro do valor limite recomendado nos padrões de lançamento (CONAMA 357/2005).
- A taxa de aplicação superficial aplicada proporcionou produzir maior quantidade de efluentes com nitrificação elevada, visto que, o sistema operou com aplicação de carga superficial volumétrica acima do recomendado na norma ABNT 13.969 de 1997 (quase 300%).
- Desta forma, os sistemas podem ser justificados como uma alternativa promissora para o processo de tratamento de águas residuárias, pois atingiram os objetivos propostos no presente estudo além de resultarem em unidades de tratamento compactas e de baixo custo de implantação e de operação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, P. G. S., OLIVEIRA, C. S., CHERNICHARO, C. A. L. Operação de filtros biológicos percoladores pós-reatores UASB sem a etapa de decantação secundária. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*. 16(3), jul/set, 271-280. 2011.
- APHA – American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22th. Washington: Public Health Association. 2012.
- BORGES, Erickson Alexandre Marques Aguiar; SANTOS, Ana Silvia Pereira dos. Desenvolvimento da Aplicação dos Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo (UASB) no Brasil. *Revista Internacional de Ciências*, v. 7, n. 2, p. 247-264, 2017.
- BUCHAUER, K. A. A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in effluentes to waste – water and sludge treatment processes. *Water S. A.* 1(24), 49-56. 1998.
- COSTA, E. D. S., FILHO, O. B., GIORDANO, G. Reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB): Uma abordagem concisa. *Coletânea em Saneamento Ambiental. Série temática tecnologias ambientais*. 5(1), ed. Rio de Janeiro – RJ, 2014.
- CHERNICHARO, CA de L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, v. 5, p. 379. 2016.
- CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 9 pp.
- FLORÊNCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. Reúso das Águas de Esgoto Sanitário, Inclusive Desenvolvimento de Tecnologias de Tratamento Para Esse Fim. Projeto PROSAB, 2006.
- GRADY, L., DAIGGER, G. T., LIM, H. C. *Biological wastewater treatment: theory and applications*. Marcel Dekker, New York, 1999.
- INSTITUTO TRATA BRASIL. Ranking do Saneamento 2021. São Paulo. Disponível em: http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/Ranking_saneamento_2021/Relat%C3%B3rio_-Ranking_Trata_Brasil_2021_v2.pdf Acesso em: 15/03/2021.
- JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 6^a edição. Rio de Janeiro: Fundo Editorial ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014. 969 p.
- METCALF, L.; EDDY, H. P. *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. Tradução de Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. 5. ed. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2016.