

Estudo da perda de carga em filtros de areias usados no pós-tratamento de esgoto doméstico: estudo de caso ETE Mangueira (Pernambuco)

Geovane Gregório de Mesquita Junior ^{1*}

¹Graduado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. (*Autor correspondente: gmesquitaj@gmail.com)

Histórico do Artigo: Submetido em: 03/03/2020 – Revisado em: 12/04/2020 – Aceito em: 06/06/2020

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a perda de carga, turbidez, tempo da carreira de filtração e operação de retrolavagem ocorridos no pós-tratamento de esgoto domésticos realizado por filtros de areia descendentes, operando em paralelo com taxas de filtração de 60m³/m².dia e 90m³/m².dia. A pesquisa foi realizada na estação piloto do Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da UFPE, localizada na ETE Mangueira em Recife-PE. O filtro que operou com taxa de filtração de 60 m³/m².dia obteve tempo de duração máxima da carreira de filtração de 45 horas. Enquanto que para o filtro com taxa de filtração de 90 m³/m².dia, a carreira de filtração alcançou 39h. Em todas as carreiras de filtração a interrupção se deu por atingir toda a carga hidráulica disponível. Os resultados de monitoramento dos filtros sugerem que a aplicação de uma taxa de filtração mais elevada resulta em menor duração da carreira de filtração, menor eficiência de remoção e maior volume de efluente tratado. Os dados de turbidez dos filtros mostram que o sistema foi capaz de atender os níveis de lançamento em corpos d'água, atendendo ainda padrões de reúso urbano não potável, em relação à turbidez. O volume necessário de água limpa para a retrolavagem dos filtros de areia correspondeu aproximadamente a 12 % do volume total do efluente tratado pelo filtro, porcentagem considerada elevada.

Palavras-Chaves: Comportamento da turbidez. Filtro de granular. Esgoto. Filtros rápidos

Study of the pressure drop in sand filters used in domestic sewage treatment: case study ETE Mangueira

ABSTRACT

The aim of the present work was to evaluate the load loss, turbidity, filtration time and backwashing during the post-treatment of domestic sewage by descending sand filters, operating in parallel with filtration rates of 60m³/m². day and 90m³/m². day. The research was carried out at the pilot station of the Environmental Sanitation Laboratory (LSA) of UFPE, located at ETE Mangueira in Recife-PE. The filter operating at a filtration rate of 60 m³/m². day yielded a maximum run time of 45 hours, while the time for 90 m³/m². day reached 39h. In all filtration trials the interruption step followed the available hydraulic load. The monitoring of the filters suggests that the application of a higher filtration rate results in a shorter filtering step, lower removal efficiency and higher volume of treated effluent. The turbidity data of the filters showed that the system is able to meet the levels of discharge, also meeting non-potable urban reuse standards. The required volume of clean water for the sand filters backwashing accounted 12% of the total effluent treated by the filter.

Keywords: Turbidity. Granular filter. Sewage. Quick filters

1. Introdução

O uso dos recursos hídricos é essencial para o desenvolvimento social e econômico da humanidade. Essa necessidade aumenta progressivamente devido ao constante crescimento populacional, o aumento da demanda por produção industrial, agrícola e energética, desde a revolução industrial em meados do século XIX até os dias atuais. A água é um recurso renovável que pode ser não renovável devido a poluição, e seu uso indevido gera um modelo de desenvolvimento insustentável (BRAGA et al, 2005; WWAP-UNESCO,2015).

Segundo o relatório mundial de recursos hídricos publicado em 2015 pela ONU (Organização das Nações Unidas) há uma previsão que até o ano 2050, a necessidade hídrica no planeta seja 55% maior que atualmente, juntando-se a isso a desigualdade social, a pobreza e a distribuição desigual dos recursos hídricos que implica ainda no aumento de conflitos locais por água potável. Os estudos desse relatório indicam ainda que a cada dólar investido na área de captação, até 200 dólares podem ser economizados no tratamento de água. Estes fatos evidenciam a necessidade de expansão e utilização de sistemas de tratamento de esgoto cada vez mais eficientes, adequados à realidade brasileira.

De acordo com o Programa de Saneamento Ambiental (PROSAB), apesar de nenhum sistema atender a todas as necessidades de tratamento de esgoto, o reator de fluxo ascendente de manta de lodo (UASB) apresenta grande aplicabilidade especialmente devido ao baixo custo operacional e de implantação, menor formação de sólidos e às elevadas temperaturas do clima brasileiro. Porém para atender os padrões de lançamento de efluentes estabelecidos pela legislação ambiental brasileira, os reatores de manta de lodo raramente são capazes de satisfazê-los por completo, exigindo-se um pós-tratamento. Entre as alternativas existentes, o pós-tratamento em sistemas de filtração será discutido nesse trabalho através das análises da perda de carga e das carreiras de filtração inerentes ao sistema (CHERNICHARO et al, 2001).

O uso de filtros de pedra para o pós-tratamento de efluentes de reatores UASB representa uma alternativa de polimento do efluente anaeróbico o qual pode apresentar qualidade compatível à diferentes formas de reúso. O esgoto doméstico bruto que ora representa uma potencial ameaça de contaminação aos solos e corpos d'água, pode a partir desta combinação tecnológica se tornar uma fonte de recursos (umidade, nutrientes, micro-organismos, etc.) para diferentes serviços ambientais (agricultura, irrigação de jardins, reúso doméstico, etc.), aplicáveis sobretudo em comunidades e cidades de pequeno porte parcial ou integralmente desprovidas de sistemas de esgotamento sanitário.

Este trabalho, portanto, agrega-se à linha de pesquisa científica do projeto Rede Nacional de Tratamento de Esgotos Descentralizados – RENTED, que visa discutir sobre as experiências recentes de tratamento de esgoto descentralizado, avaliando a consistência e viabilidade de novas concepções, estratégias e instrumentos que vêm sendo utilizados e propagados no tratamento de esgoto descentralizado.

2. Material e Métodos

A pesquisa experimental deste estudo foi desenvolvida no pátio de instalações piloto do Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) instalado nas dependências da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Mangueira, zona oeste de Recife – PE.

O dispositivo de saída de efluente do reator UASB foi ligado ao sistema de filtração; assim, o efluente do UASB alimentava sequencialmente o Filtro Ascendente de Pedra (FAP), os Filtros Descendentes de Areia (FDA) e os Filtros Descendentes de Carvão Ativado (FCA). Caixas de distribuição instaladas entre o reator UASB e o FAP e entre o FAP e o FDA proporcionaram o controle da vazão afluente aos filtros. Reator UASB (a), filtro ascendente de pedra (b), filtros descendentes de areia (c, d), filtros de carvão ativado (e, f) (Figura 1).

Figura 1 - A instalação piloto para realização dos experimentos.



Fonte: Autor (2017).

O FAP foi constituído em material PVC apresentando diâmetro interno de 200 mm e altura útil de 2,5m. Este filtro foi preenchido com pedregulho de diâmetro médio 20 mm, com granulometria de acordo com a Tabela 1, ocupando 60 % da altura útil do filtro. O efluente do reator UASB alimentava o FAP por gravidade após o controle da vazão afluyente (0,042 m³/s) em caixa de distribuição.

Tabela 1: Granulometria do meio filtrante FAP

Camada	Espessura (cm)	Tamanho (mm)
Quinta	30	6-2
Quarta	30	12-6
Terceira	30	19-12
Segunda	15	15-19
Primeira	15	38-25
Suporte	30	60-38

Fonte: Autor (2017).

Os filtros descendentes de areia (FDA) foram construídos em material PVC apresentando diâmetro interno de 150 mm e 3,5 metros de altura. A Figura 2 representa os filtros de areia FDA1(c) e FDA2(d). Os filtros FDA1 e FDA2 foram preenchidos com granulometria de acordo com a Tabela 2, ocupando 40% da altura útil dos filtros.

Tabela 2: Granulometria do meio filtrante FDA1 e FDA2

Camada	Espessura(cm)	Tamanho (mm)
Areia	100	1,62-0,59
4ª Suporte	10	6-2
3ª Suporte	10	19-6
2ª Suporte	10	25-19
1ª Suporte	10	38-25

Fonte: Autor (2017).

Os filtros trabalharam com vazão afluyente constante de 44 L/h e 66L/h no FDA1 e no FDA2, respectivamente. As vazões foram controladas e ajustadas através de registros de esfera instalados em uma caixa de passagem. Os filtros apresentavam ainda a mesma área de superfície filtrante (0,0176 m²). Através da Equação 1 é possível obter a taxa de aplicação superficial ou taxa de filtração (TF) aplicada ao sistema, cujos valores obtidos foram 60 e 90 m³/m².dia para o FDA1 e o FDA2, respectivamente.

$$T_F = \frac{Q}{A_s} \quad (1)$$

Onde: Q = vazão (m³/s); A_s = área de superfície filtrante.

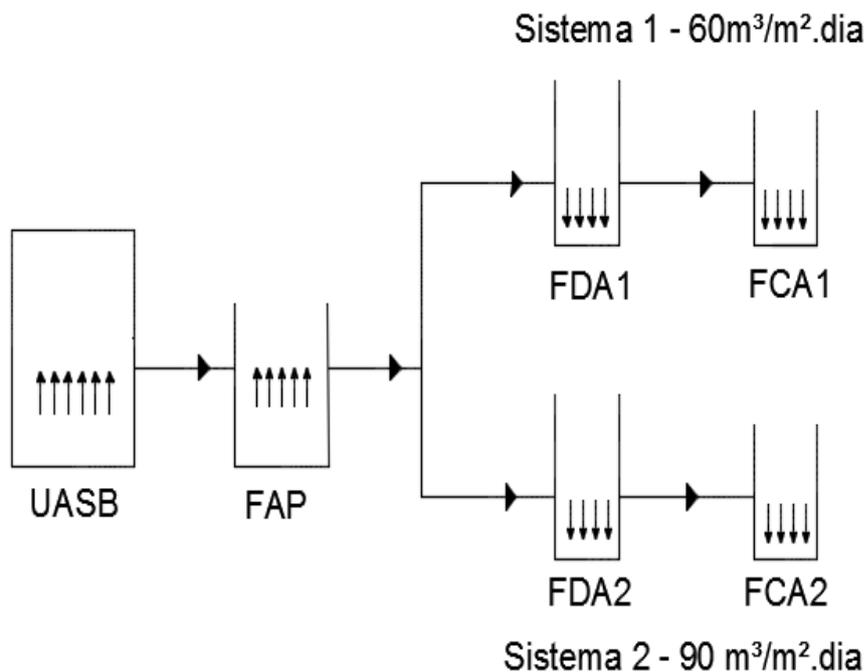
Foram utilizados dois filtros de carvão ativado (FCA), FCA1 e FCA2, os quais foram conectados em série com o FDA1 e FDA2 respectivamente. Os FCA foram construídos em material PVC apresentando diâmetro interno de 150 mm e 1,90 m de altura. As taxas de aplicação obtidas em FCA1 e FCA2 foram 60 m³/m².dia e 90 m³/m².dia, respectivamente. O meio filtrante é composto por carvão ativado granular (CAG), preenchidos com granulometria apresentada na Tabela 3, com densidade 0,5g/cm³, ocupou 63 % da altura útil dos filtros. Ilustrado na Figura 9, por (e) e (f), recebem o efluente dos FDA1 e FDA2, respectivamente. Na Figura 2, setas indicam o sentido do fluxo, é descrito o fluxograma da instalação para pesquisa. Para cada equação deve haver uma enumeração com algarismos arábicos entre parênteses no lado direito da página (igual as tabelas e figuras, as equações também devem ser chamadas no corpo do texto). Eles também devem ser separados do texto circundante por um espaço, como exemplo as fórmulas abaixo (Equação 1, 2).

Tabela 3: Granulometria do meio filtrante FCA

Camada	Espessura(cm)	Tamanho (mm)
CAG	1,68-0,71	80
4ª Suporte	6-2	10
3ª Suporte	19-6	10
2ª Suporte	25-19	10
1ª Suporte	38-25	10

Fonte: Autor (2017).

Figura 2 - Fluxograma da instalação piloto de pós-tratamento do efluente de reator UASB



Fonte: Autor (2017).

2.1 Sistema de Limpeza dos Filtros

A água utilizada para lavagem dos filtros foi proveniente do sistema de abastecimento público, armazenada previamente em um reservatório elevado a 6 m de altura. O reservatório alimentava os filtros por gravidade, por meio de uma tubulação em material PVC de diâmetro interno de 32mm, controlada por registro de esfera na entrada de cada filtro. Durante a limpeza dos filtros, a água de lavagem era descartada no sistema de drenagem da área experimental.

2.2 Controle operacional dos filtros

A análise da qualidade do efluente foi realizada através do parâmetro de turbidez, feito por turbidímetro portátil HACH modelo 2100P. A turbidez do efluente foi verificada in situ, em amostras coletadas na entrada e saída de todos os filtros. Cada ponto de coleta foi amostrado duas vezes, em intervalos de uma hora durante a carreira de filtração no intuito de elevar a representatividade da operação do filtro ao longo da carreira de filtração.

O monitoramento da vazão do efluente filtrado no sistema foi avaliado utilizando-se uma proveta graduada (Figura 3) e um cronômetro. Foi monitorada a vazão do efluente do FCA1 e FCA2. Foram realizadas três medições em um mesmo ponto de monitoramento, a cada hora, durante toda a carreira de filtração.

Figura 3 - Proveta graduada utilizada na medição da vazão



Fonte: Autor (2017).

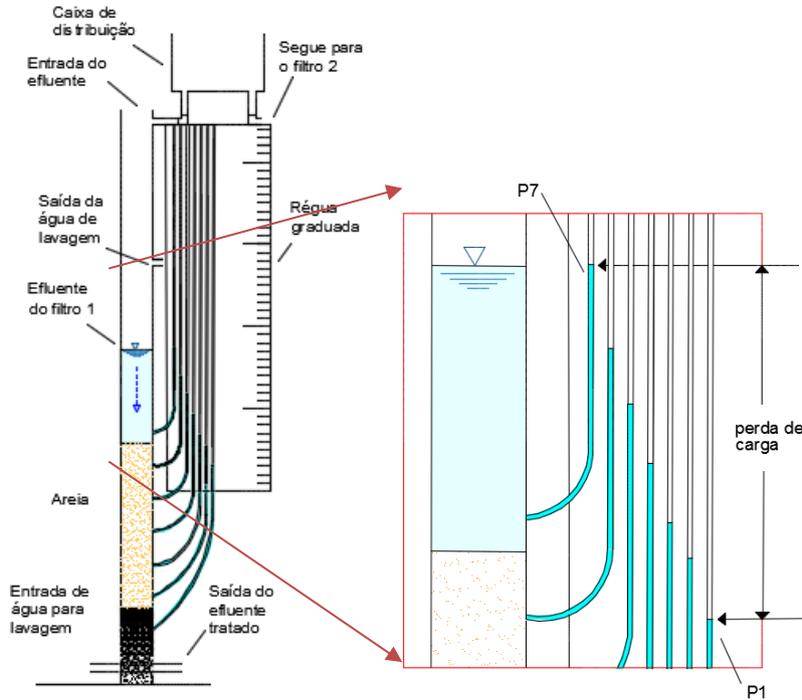
O monitoramento da perda de carga localizada nos filtros de areia (FDA1 e FDA2) ocorreu com o uso de piezômetros. Sete piezômetros foram instalados em cada filtro de areia, espaçados a cada 20 cm ao longo da altura dos filtros, onde o piezômetro P7 registrou a perda de carga na região da entrada do afluente no filtro enquanto que o piezômetro P1 registrou a perda de carga localizada na região de acúmulo de efluente filtrado (saída do filtro) (Figura 4).

A estimativa da perda de carga considerou a diferença do nível entre os piezômetros e foi calculada conforme a Equação 2:

$$\Delta H \text{ total} = \Delta H(P7) - \Delta H(P1) \quad (2)$$

Onde: $\Delta H \text{ total}$ = Perda de carga total (mm); $\Delta H(P7)$ = Perda de carga no piezômetro P7(mm); $\Delta H(P1)$: Perda de carga no piezômetro P1(mm).

Figura 4 - Esquema do FDA e os respectivos piezômetros



Fonte: Autor (2017).

Foram realizados três monitoramentos da carreira de filtração (CF1 – 11/11/2016; CF2 – 17/01/2017; CF3 – 19/01/2017). Todas as carreiras de filtração apresentaram tempo de duração semelhante para o FDA1 (45h) e FDA2 (39h). A coleta de amostras durante a CF1, para perda de carga e turbidez, ocorreu a cada 60 minutos e os dados foram adquiridos partir de uma hora de funcionamento dos filtros. Os dados referentes à perda de carga em CF2 e CF3 foram adquiridos no início do funcionamento do filtro e em intervalos de 60 minutos. Os dados da turbidez na CF2 foram adquiridos em intervalos de 10 minutos nas três horas iniciais, e na CF3 em intervalos de 20 minutos nas duas primeiras horas com objetivo de obter o comportamento detalhado até o “amadurecimento”, após esse período foi feito em intervalos de uma hora em ambas carreiras de filtração.

Durante a CF2 foi realizada a descarga de fundo intermediária no FAP, interrompendo por um curto intervalo de tempo (aproximadamente um minuto) o seu funcionamento. Este procedimento foi realizado para promover a limpeza hidráulica no FAP através da introdução de água limpa no sentido ascensional, e posterior descarte pelo fundo do filtro.

Os filtros descendentes de areia deveriam ter a operação interrompida sempre que atingisse o transpasse da turbidez ou limite da perda de carga. Em todas as carreiras de filtração monitoradas, a interrupção aconteceu por ter atingido o limite da perda de carga de 1300 mm. Este era, experimentalmente, o limite hidráulico do FDA.

Após a interrupção do funcionamento do filtro de areia foi aberto o registro de esfera na parte inferior do FDA, com o intuito de originar a passagem reversa da água limpa pela camada do meio filtrante, com uma vazão de cerca de 1,5 m³/h, que corresponde a uma taxa de lavagem de, aproximadamente, 2000 m³/m².dia. Os filtros eram retrolavados individualmente. Foi necessário um período de 10 a 12 minutos para o efluente

do FDA apresentar turbidez semelhante ou igual ao da água utilizada para lavagem, sendo esse o ponto de interrupção da retrolavagem, verificado por inspeção visual e por meio do turbidímetro.

3. Resultados e Discussão

3.1 Monitoramento da turbidez

Na coleta de dados do CF1, o valor elevado da turbidez do FAP, 55 ± 3 NTU, aproximadamente 144% e 130% maior em relação ao CF2 e CF3, respectivamente, provavelmente deve-se ao lodo, ainda, pouco estabilizado do reator UASB descrito na tese de mestrado de Linhares (2017). Durante o funcionamento do FAP, nos dados obtidos na CF2, foi observado aumento de turbidez de 23,20 NTU para 31,90 NTU, um aumento de 37,5%. No intuito de recuperar a capacidade de filtração e a qualidade da água tratada, foi realizada a descarga de fundo intermediária no FAP imediatamente após a coleta do dado de 31,90 NTU, sucedido às 23h do andamento da CF2, o qual subsequentemente apresentou turbidez praticamente constante de $20,9 \pm 2$. Os valores da turbidez do FAP na CF3 foi $23,9 \pm 7$, semelhante a CF2 $22,5 \pm 5,3$.

Nas primeiras horas do funcionamento do FDA1 o valor da turbidez foi mais alta 66,0 NTU, 36,0 NTU, 38,3 NTU na CF1, CF2, CF3, respectivamente. 6,0 horas depois o valor da turbidez reduziu para 34,6 NTU, 22,3 NTU, 17,8 NTU que corresponde a uma redução de 48 %, 38 %, 53 % na turbidez. Nas horas consecutivas a água do efluente do FDA1 apresentou média de $32,4 \pm 0,7$ NTU, $15,6 \pm 1,3$ NTU, $16,7 \pm 0,7$ NTU na CF1, CF2, CF3, nessa ordem. De modo semelhante, o FDA2 no começo do funcionamento apresentou valor da turbidez mais elevada 67,9 NTU, 44,4 NTU, 48,9 NTU na CF1, CF2, CF3, respectivamente. 6,0 horas depois o valor da turbidez reduziu para 42,4 NTU, 21,9 NTU, 21,3 NTU que corresponde a uma redução de 38 %, 51 %, 56 % na turbidez. Nas horas sucessivas a água do efluente do FDA2 apresentou média de $41,4 \pm 0,9$ NTU, $17,0 \pm 1,6$ NTU, $19,2 \pm 1,3$ NTU na CF1, CF2, CF3, nessa sequência. O trabalho de Melo (2014) apresentou em filtros de areia, com taxas de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e $160 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ uma remoção média de turbidez, de 30,88% e 41,45%, respectivamente. Enquanto na pesquisa feita por Linhares (2017) com taxas de filtração de 90, 120, $160 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, em filtros de areia, obteve remoção de 57,85 %, 54,52 %, 50,75 % na turbidez, respectivamente.

Em todos os ensaios, a carreira de filtração dos filtros FDA1 e FDA2, foram interrompidos pela utilização de toda carga hidráulica disponível, portanto não foi observada nenhum transpasse da turbidez e o “amadurecimento” se deu após aproximadamente 7 horas de funcionamento. A Tabela 4 apresenta dados descritivos para o monitoramento da turbidez durante o período de avaliação da carreira de filtração.

Tabela 4: Valores de turbidez para o sistema de filtração (NTU).

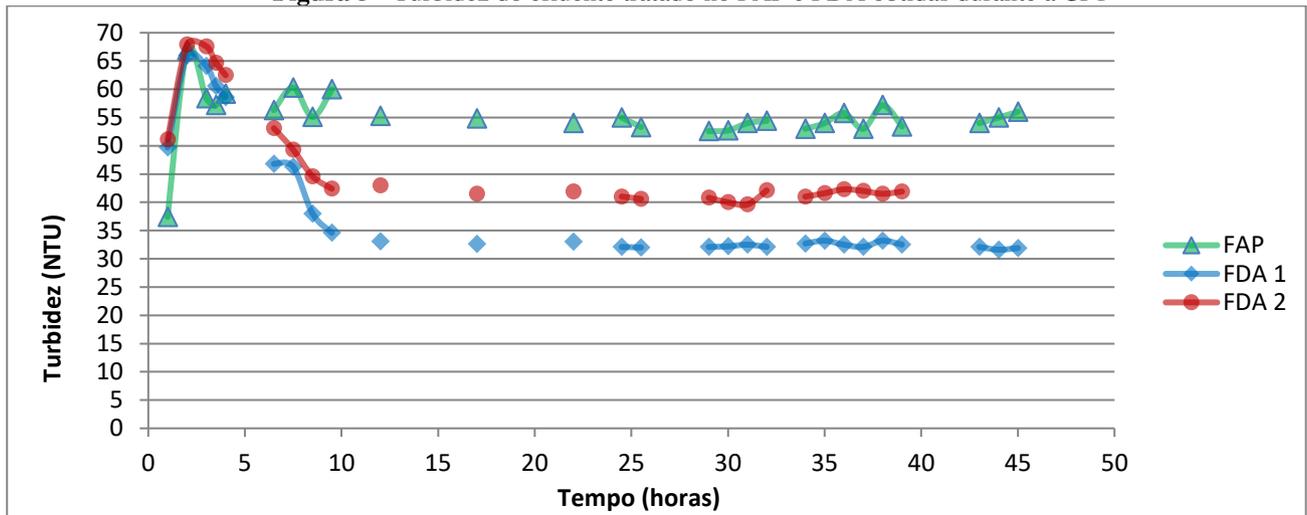
	FAP			FDA1			FDA2		
	CF1	CF2	CF3	CF1	CF2	CF3	CF1	CF2	CF3
Nº de amostras	24	28	29	24	28	29	24	28	29
Mínimo	37,40	2,33	21,20	32,00	1,17	3,19	39,60	1,50	3,08
Máximo	66,90	37,00	54,60	66,00	36,00	38,30	67,90	44,40	48,90
Média	55,07	22,52	23,92	35,00	16,60	16,68	43,64	18,53	19,32
Desvio padrão	3,13	5,29	7,84	11,02	5,26	4,77	9,45	8,28	6,80
Remoção				36,45	26,29	30,25	20,76	17,71	19,23

Fonte: Autor (2017)

Os resultados indicam, excetuando os picos iniciais ocorridos antes do “amadurecimento”, que o efluente do filtro FDA2 resultou em turbidez mais elevada em todos os ensaios em relação ao filtro FDA1. Mais alta 24%, 12%, 16% na CF1, CF2, CF3, respectivamente. Filtro FDA1, no qual, foi aplicada uma taxa de filtração de 60 m³/m². dia, 33% menor em comparação a taxa de 90 m³/m². dia, aplicada ao filtro FDA2.

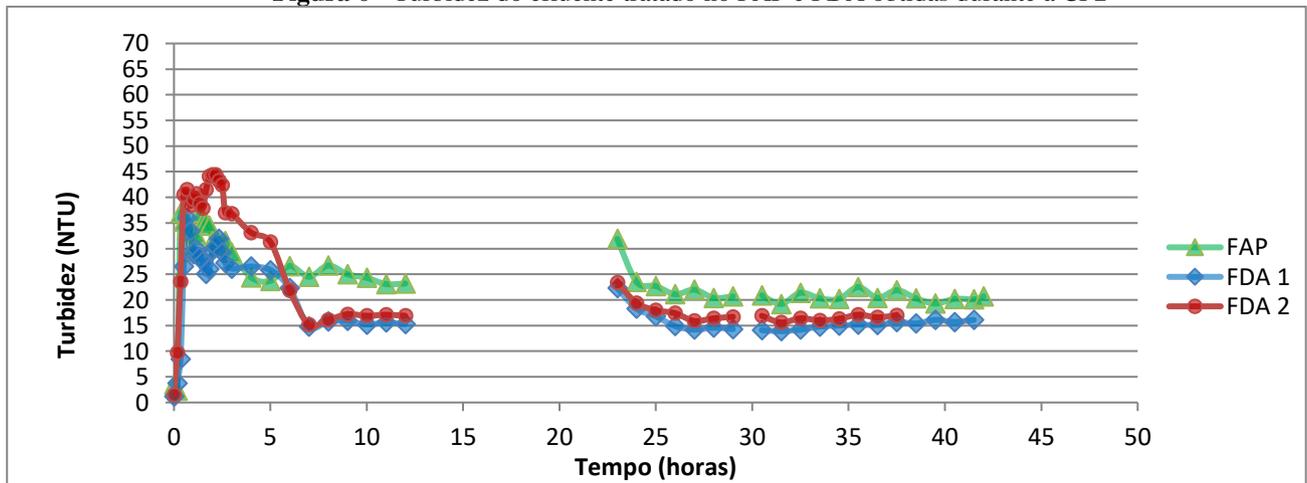
O valor máximo para a turbidez de corpos d’água classe 1, segundo a resolução do CONAMA 357/2005 é 40 NTU. Nos dados obtidos, observados na Figura 5, 6, 7, apenas a turbidez do filtro FDA 2 da CF1 teve valores acima de 40 NTU, no entanto a capacidade de remoção foi semelhante a de outras carreiras de filtração, devendo-se a turbidez superior a 40 NTU do FDA 2 creditar-se ao maior valor de turbidez do FAP nessa carreira de filtração.

Figura 5 - Turbidez do efluente tratado no FAP e FDA obtidas durante a CF1



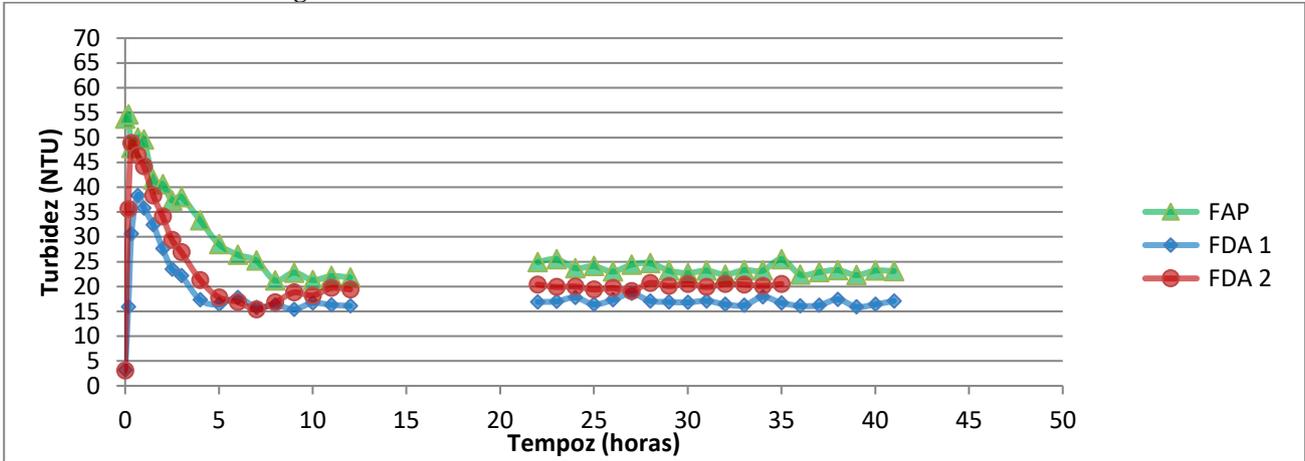
Fonte: Autor (2017).

Figura 6 - Turbidez do efluente tratado no FAP e FDA obtidas durante a CF2



Fonte: Autor (2017).

Figura 7 - Turbidez do efluente tratado no FAP e FDA obtidas durante a CF3



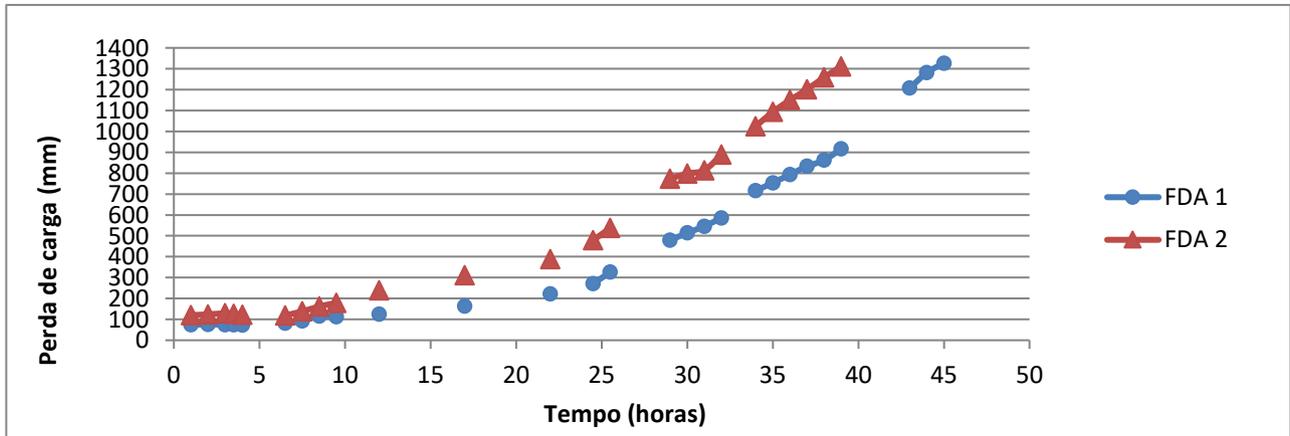
Fonte: Autor (2017).

Os dados da turbidez do FDA1 e FDA2 são concomitantes com os indicados nos estudos de Amirtharajah & Wetstein (1980), que indicam o que ocorre nos primeiros momentos de funcionamento do filtro de areia, após a retrolavagem. A primeira parte sai do filtro com qualidade satisfatória, denominado o primeiro estágio, causada pelas frações remanescentes da água de lavagem limpa, em seguida, ocorre uma fase de deterioração, no qual a qualidade do efluente se degrada rapidamente, podendo atingir a turbidez máxima. Na sequência acontece o “amadurecimento”, definido como a melhora na qualidade do efluente, o qual de acordo com Ahsan (1995) ocorre porque partículas já capturadas passam a reter, posteriormente, as partículas do afluente no meio filtrante.

3.2 Avaliação da perda de carga nos filtros descendentes

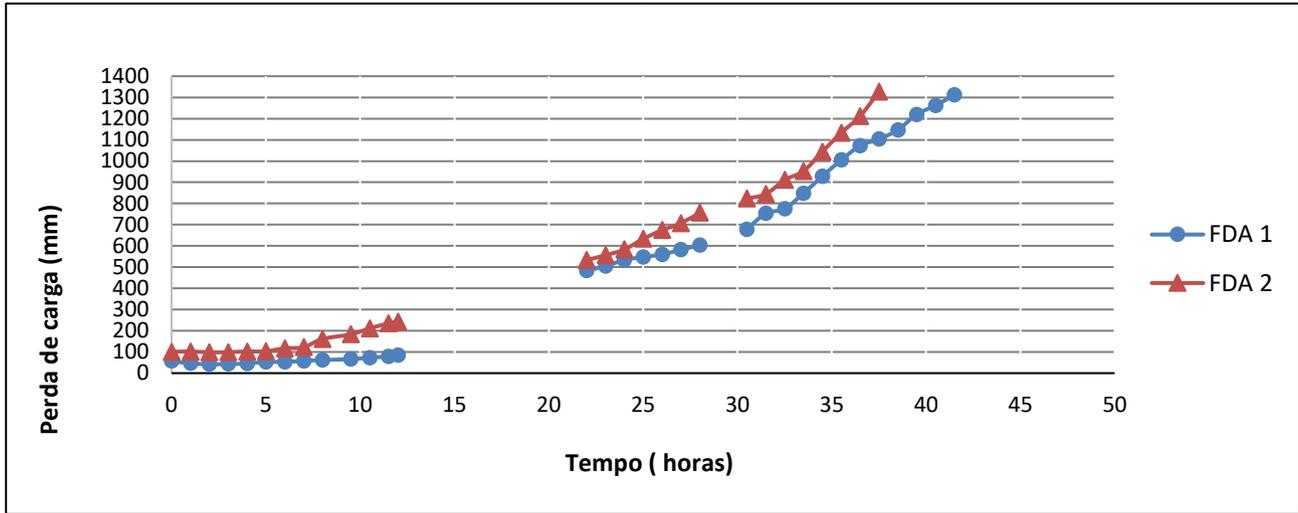
Foram obtidos os dados de três carreiras de filtração, apresentadas nas Figuras 8, 9 e 10.

Figura 8 - Perda de carga no FDA obtida durante a CF1



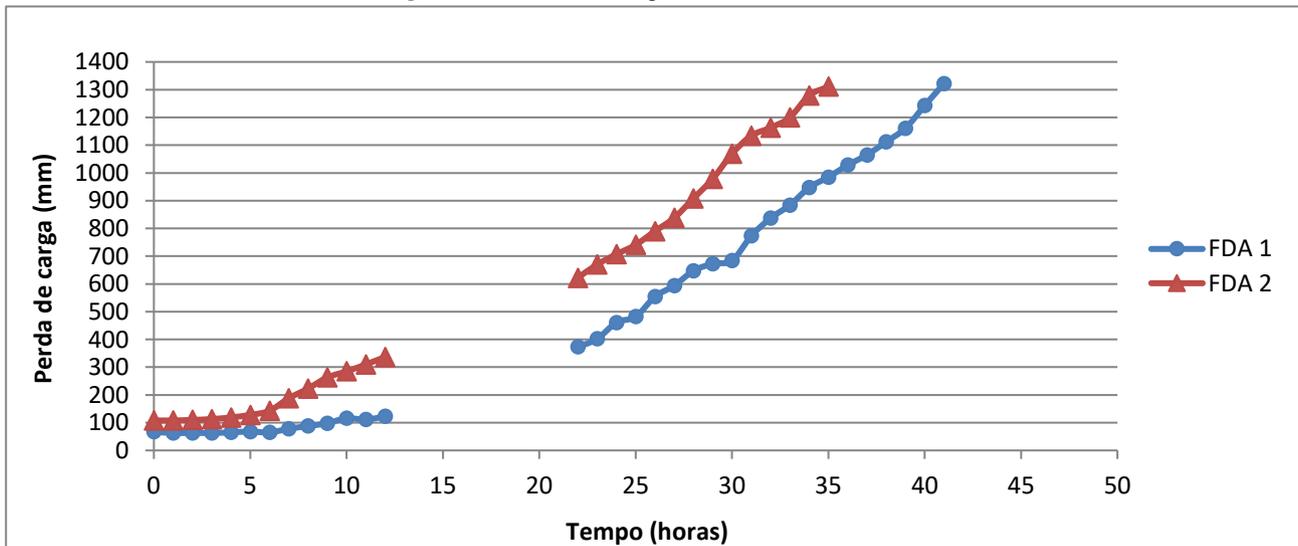
Fonte: Autor (2017).

Figura 9 - Perda de carga no FDA obtida durante a CF2



Fonte: Autor (2017).

Figura 10 - Perda de carga no FDA obtida durante a CF3



Fonte: Autor (2017).

Em todos os ensaios realizados, as carreiras de filtração dos filtros FDA 1 e FDA2 foram interrompidos pelo uso de toda carga hidráulica disponível, estabelecido em 1300 mm.

Os resultados da perda de carga obtidos nos filtros de área, mostraram que o FDA1 funcionando com taxa de filtração de $60 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, apresentou maior duração em todos os ensaios realizados, com o tempo de 45,0 h, 41,5 h, 41,0 h, sendo 15 %, 11 %, 17% maior que a duração do FDA2 na CF1,CF2, CF3, respectivamente. Esses resultados sugerem que quanto maior a taxa de filtração aplicada ao filtro, maior o crescimento da perda de carga em seu meio filtrante e menor a duração da sua carreira de filtração.

Nos filtros FDA 1 e FDA 2, em todos os experimentos, foi observado o crescimento significativo da perda de carga apenas na camada superior do meio filtrante, aproximadamente 20 cm de altura, entre os piezômetros P6 e P7. Nas camadas inferiores do meio filtrante não foi notado crescimento significativo da perda de carga, indicando pouca penetração de impurezas nessa região.

Os resultados obtidos nos trabalhos de Melo (2014) com filtros descendentes de areia com características semelhantes (tamanho efetivo dos grãos de 0,45 mm, altura da camada filtrante 70 cm, coeficiente de uniformidade de 1,60) apresentaram para uma taxa de filtração de 120 m³/m² perda de carga de 1200 mm totalizando 29h de carreira de filtração. Por outro lado, o autor ressalta que a taxa de filtração de 160 m³/m².dia em aproximadamente 26h apresentou, em média, 1300 mm de perda de carga.

Neste trabalho o FDA 1 e o FDA 2 tiveram duração máxima da carreira de filtração, de 45h e 39h, respectivamente ao atingir uma perda de carga de 1300 mm. No experimento de Linhares (2017) com filtros descendentes de areia, na mesma instalação experimental deste trabalho, utilizou parâmetros de taxa de filtração de 60, 90,120,160 m³/m².dia, obteve 45h, 40h, 31h, 24h para atingir a perda de carga de 1300mm, respectivamente.

A vazão foi monitorada e obteve valores de 46 ± 3 L/h e 67 ± 4 L/h nos filtros FDA1 e FDA2, respectivamente. Em campo houve dificuldade de manter as vazões constantes devido ao registro de esfera ser impreciso, sendo ajustada sempre que se distanciava dos valores definidos.

Segundo Metcalf & Eddy (2015) a porcentagem de volume de água limpa demandada para a retrolavagem em relação ao volume de água tratada pelo filtro descendente de areia tem valores, normalmente, variando entre 4% e 8%. Esta relação pode ser um parâmetro para definir a escolha do filtro a ser utilizado. A demanda de água na retrolavagem está diretamente relacionada à área do filtro, ao fator de expansão do leito, ao tamanho das partículas do meio filtrante e a temperatura da água.

Ao utilizar uma vazão de cerca de 1,5 m³/h, correspondente a uma taxa de lavagem de aproximadamente 2000 m³/m². dia, em cada um dos filtros de areia, foi possível observar em CF1, CF2 e CF3 a relação entre água utilizada para lavagem e água filtrada, indicada nas Tabelas 5.

Tabela 5: Valores de turbidez para o sistema de filtração (NTU).

	FDA1			FDA2		
	CF1	CF2	CF3	CF1	CF2	CF3
Volume de efluente tratado (m ³) [Vt]	2,156	1,964	1,937	2,634	2,478	2,460
Volume de água utilizada na retrolavagem (m ³) [Vr]	0,275	0,250	0,250	0,300	0,275	0,275
Relação [Vr/Vt] dos Filtros (%)	12,7	12,7	12,9	11,4	11,1	11,2

Fonte: Autor (2017).

Os valores, nas três carreiras de filtração analisadas, ficaram acima da porcentagem estimada na relação entre volume de água utilizada na retrolavagem e o volume de efluente tratado para filtros descendentes de areia, considerando o indicado por Metcalf & Eddy (2015).

No trabalho realizado por Linhares (2017) em filtros de areia descendentes, a maior relação entre volume de água consumida e volume de efluente filtrado foi 7,4 %, no filtro com taxa de filtração de 60 m³/m².dia e taxa de lavagem de 1200 m³/m².dia.

Segundo os autores Rodgers et al.(2005) e Vermerein & Jobling (1984), a profundidade do meio filtrante não é útil na retenção de impurezas e na remoção da turbidez, mas interfere negativamente no volume de água utilizada na retrolavagem, para Metcalf & Eddy (2015) pode contribuir na retenção de uma maior quantidade de sólidos no meio filtrante, porém afeta a capacidade de executar a retrolavagem. De acordo com Di Bernardo et al. (2003) o volume de efluente tratado produzido em um certo período de tempo e de água utilizada na retrolavagem, fazem parte dos principais parâmetros operacionais de um filtro.

4. Conclusão

O FDA1 e o FDA2 tiveram duração máxima da carreira de filtração, de 45h e 39h respectivamente, em todas as carreiras de filtração, por atingir toda carga hidráulica disponível. Em ambos os filtros o comportamento da turbidez corroborou com a literatura, apresentando picos de turbidez no início e o “amadurecimento” aproximadamente 7 horas após o início do funcionamento do filtro. A capacidade de remoção e os dados obtidos da turbidez indicam que os filtros descendentes de areia estão aptos, em relação à turbidez, para atender aos padrões de lançamento em curso d’água ou recreação de contato primário, segundo resolução do CONAMA 357/2005.

O FDA2, com taxa de filtração mais elevada, apresentou maior volume de efluente tratado, menor duração da carreira de filtração e menor eficiência na remoção da turbidez em comparação ao FDA1. Esses resultados sugerem que a aplicação de uma maior taxa de filtração induz a uma menor eficiência na remoção da turbidez, duração menor da carreira de filtração atingida pela perda de carga limite, entretanto resulta em um maior volume de efluente tratado.

Nos filtros de areia FDA1 e FDA2, o crescimento expressivo da perda de carga apenas na camada superior do meio filtrante, entre os piezômetros P6 e P7, sugere que houve pouca retenção de impurezas no restante do meio filtrante. A porcentagem de água usada na retrolavagem em relação à produção de efluente tratado nos filtros de areia foi de, aproximadamente, 12 %, valor elevado de acordo com a literatura. Baseado em alguns autores citados nesse trabalho, é possível acreditar que uma menor camada do meio filtrante levaria a uma redução de volume de água necessário para a retrolavagem sem, no entanto comprometer negativamente os valores da perda de carga e remoção da turbidez.

4.1 Recomendações

Substituir o material PVC, utilizado na construção do FDA1 e FDA2, por acrílico, no mínimo parcialmente, de modo a permitir a visualização da camada granular e expansão do leito durante a lavagem dos filtros. Esta troca é importante para que em campo seja possível utilizar com mais eficiência a vazão de retrolavagem e dessa maneira aplicar uma limpeza mais efetiva e econômica aos filtros.

Diminuir a altura da camada do leito filtrante nos filtros descendentes de areia, visando diminuir o volume de água limpa utilizada para a retrolavagem dos filtros, mantendo a qualidade na remoção da turbidez e o tempo de carreira de filtração. Obtendo filtros mais econômicos na operação.

Substituir os registros de esfera utilizados para o controle de vazão na entrada dos FDA1 e FDA2, por registros de pressão por serem mais aptos para trabalharem no ajuste da vazão, por sua sensibilidade na regulagem e capacidade de manter a vazão ou ainda trocar por rotâmetros, indicadores de vazão instantânea.

5. Agradecimentos

O autor agradece a oportunidade de pesquisa ao LSA (Laboratório de Saneamento Ambiental) da UFPE, ao Prof Dr Wanderli Leite, aos funcionários da ETE Mangueira, a COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento) e Odebrecht Ambiental pelo auxílio na pesquisa realizada.

6. Referências

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995). Rochas e solos – Análise granulométrica conjunta. **NBR 6502**.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). Solo – Análise granulométrica: método de ensaio. **NBR 7181**.

Ahsan, T. (1995). **Process Analysis and Optimization of Direct Horizontal-Flow Roughing Filtration**. Doctoral dissertation, Hydraulic and Environmental Engineering, Delft University of Technology of International Institute for Infrastructural, Delft, Netherlands.

Amirtharajah, A.; Wetstein, D. P. (1980). Initial degradation of effluent quality during filtration. **Journal American Water Works Association - JAWWA**, USA, 72, 9, 518.

Aceivala, S. J.; Asolekar, S. R. (2008). **Wastewater treatment for pollution control and reuse**. Shyam R Publisher: Tata McGraw-Hill Education.

Bezerra, S.M.C., Cavalcanti, P.F.F. E Van Haandel, A.C. (1999). Influência do tempo de detenção hidráulica sobre a auto-inoculação de um reator UASB tratando esgoto sanitário. **20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES**, Rio de Janeiro, RJ.

Braga, B.; Hespanhol, I.; Conejo, J. G. L.; Mierzwa, J. C.; Barros, M. T. L.; Spencer, M.; Porto, M.; Nucci, N.; Juliano, N.; Eiger, S. (2005). **Introdução à engenharia ambiental**. (2. ed.). São Paulo: Pearson Prentice Hall.

Brinck, N.C.P. (2009). **Avaliação do tipo de material filtrante no comportamento hidráulico de filtros rápidos de camada profunda no tratamento de águas de abastecimento**. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo

Caputo, Homero Pinto. (1988). **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. (6ª ed.). Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos.

Chernicharo, C.A.L, Haandel, A.C.V, Foresti, E, Cybis, L.F. Cap 1: Introdução. In Chernicharo, C.A.L. (coordenador). (2001). **Pós-tratamento de efluentes reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Prosab.

Clark, R.; Rossman L.A. Wyner L. J. (1995) Modeling distribution system water quality: Regulatory implications. **Journal of the water resources planning and the management**. 121.

Cleasby, J.L., Logsdon, G.S. (1999). Granular bed and precoat filtration. **American Public Health Association Letteman, R.D. Water quality and treatment. A handbook of community water supplies**. Estados Unidos da America.

Freire, V.H., Von Sperling, M., Chernicharo, C.A.L. (1999). Avaliação do desempenho de um sistema combinado UASB - Lodos Ativados no tratamento de efluentes sanitários. **20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais**. Rio de Janeiro.

Gonçalves R.F. & Rogalla, F. (1994). Biofiltros aerados para remoção de nitrogênio de águas residuárias sob diversas temperaturas. **Anais eletrônicos do XXIV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Buenos Aires, Argentina.

Healy, M.G.; Rodgers, M.; Mulqueen, J. (2007). Treatment of dairy wastewater using constructed wetland sand intermittent sand filters. **Bioresource Technology**, 98, Ireland.

Jordão, E. P.; Pessoa, C. A. (2009). **Tratamento de esgotos domésticos**. (5. ed.). Rio de Janeiro: ABES.

Jürgensen, D. & Richter, C. A. (1994). Tratamento de esgotos por digestão anaeróbia – Coagulação e flotação. **SANEPAR**, Curitiba, 1.

Kawamura, S. (2000). **Integrated design and operation of water treatment facilities**. (2ª edition) New York: Jhon wiley&Sons, 621.

Libânio, M. (2008). **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. (2ª Ed.). Campinas: Editora Átomo.

Lima, J.A.P.; Capelo Neto, J. (2015). Dupla filtração modificada utilizando filtro de pressão a montante de filtro ascendente no tratamento de águas eutrofizadas. **Eng. Sanitária Ambiental**, 20, Rio de Janeiro.

Linhares, B.D. (2017). **Filtros granulares (areia e carvão ativado) para pós-tratamento de efluente anaeróbio**. Dissertação de mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.

Maia, J. C. C. & Bezerra, J. F. M. (1981). Aplicação de flotação por ar dissolvido no tratamento de despejos líquidos industriais. **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Fortaleza, 11.

Mara, D.D., Pearson, H.W. (1987) .Waste Stabilization Ponds – Design Manual for Mediterranean Europe. **World Health Organization**, Copenhagen.

Melo, A.R.B.(2014). **Pós-tratamento de efluente de reator Uasb por filtração em areia e carvão ativado**. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.

Richter, C. A.; Azevedo Netto, J. M. (1991). **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: E. Blücher.

Rodgers, M.; Healy, M. G.; Mulqueen, J. (2005). Organic carbon removal and nitrification of high strength wastewaters using stratified sand filters. **Water Research**. 39.

ROGALLA, F., ROUDON, G., SIBONY, J. E BLONDEAU, F. (1992) - Minimizing nuisances by covering compact sewage plants. **Water Sci. & Technol**, 25, 363 – 374.

Silva, S.S.(2017). **Aplicação de radiação UV para desinfecção de efluente da associação de reator UASB e Biofiltro Aerado Submerso**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.

Spellman, F.R. (2008). **Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations**. (Second Edition). SRC Press.

Sutherland, k.s.; Chase, G. (2008). **Filters and Filtration Handbook**. (Fifth Edition). Elsevier Copyright.

Testezlaf, R. (2008). Filtros de areia usados na irrigação localizada: teoria e prática. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 28, 3.

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (2015). Encarando os Desafios: Estudos de Caso e Indicadores. **WWAP - Programa Mundial de Avaliação da Água das Nações Unidas**.

Valencia, J. A. (1981). Filtracion Lenta: Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua.: **Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente**, Lima.

Vermeiren, L.; Jobling, G.A. (1984). Localized irrigation. **FAO Irrigation and Drainage**, Rome, 203.

Von Sperling, M. (2002). **Lagoas de estabilização: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. (vol. 3). Belo Horizonte: UFMG.

Von Sperling, M.; Haandel, A.C.V.; Jordão, E.P.; Campos J.R.; Cybus, L.F.; Aisse, M.M.; Sobrinho, P.A. (2001). Cap 5: Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por lodos ativados. In Chernicharo, C.A.L. (coordenador). **Pós tratamento de efluentes de reatoras anaeróbios**. Belo Horizonte: Prosab.

Wiecheteck, G. K. ; Benini, B. D. S. ; Bernardo, L. (2004) . Remoção de substâncias húmicas utilizando dupla filtração com filtro ascendente de areia grossa ou de pedregulho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. 9, 2.