



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LUÍS HENRIQUE RIBEIRO DE OLIVEIRA JUNIOR**

**USO DO FILTRO DE AREIA NA ADEQUAÇÃO DO EFLUENTE DA ETE**  
**MANGABEIRA PARA ULTRAFILTRAÇÃO**

**JOÃO PESSOA - PB**

**2017**

**LUÍS HENRIQUE RIBEIRO DE OLIVEIRA JUNIOR**

**USO DO FILTRO DE AREIA NA ADEQUAÇÃO DO EFLUENTE DA ETE  
MANGABEIRA PARA ULTRAFILTRÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, como requisito à obtenção do título de Engenheiro Civil, sob a orientação do Professor Dr. Gilson Athayde Barbosa.

**JOÃO PESSOA – PB**

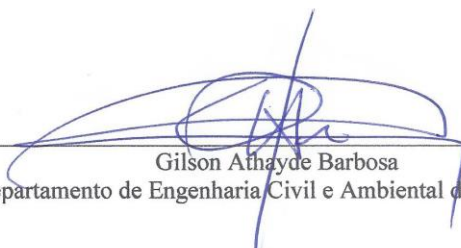

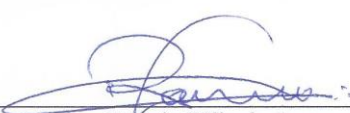
**2017**

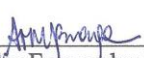
**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**LUÍS HENRIQUE RIBEIRO DE OLIVEIRA JUNIOR**

**USO DO FILTRO DE AREIA NA ADEQUAÇÃO DO EFLUENTE DA ETE  
MANGABEIRA PARA ULTRAFILTRAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso em 07/06/2017 perante a seguinte Comissão Julgadora:

 _____ Gilson Athayde Barbosa Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	<u>APROVADO</u>
 _____ Aline Flávia Nunes Remigio Antunes Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB	<u>APROVADO</u>
 _____ Rennio Félix de Sena Departamento de Engenharia Química do CT/UFPB	<u>Aprovado</u>

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga  
Matrícula Siape: 1668619  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

O141u Oliveira Junior, Luís Henrique Ribeiro de

Uso do filtro de areia na adequação do efluente da ETE mangabeira para ultrafiltração./ Luís Henrique Ribeiro de Oliveira Junior. – João Pessoa, 2017.

57f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Gilson Athayde Barbosa

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Reuso 2. Tratamento 3. Ultrafiltração. 4. Filtro de areia  
I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed. 628.16 (043)

## RESUMO

A escassez dos recursos hídricos, aliada ao grande volume de esgotos produzidos pela população vêm despertando a busca por métodos eficientes e de baixo custo para tratamento de efluentes domésticos, em relação aos convencionais, que apesar de satisfatórios não são suficientes para que o produto final seja aplicado em reuso. Nesse sentido vêm surgindo a ultrafiltração no Brasil, que já tem eficiência comprovada no exterior, na redução de parâmetros potencialmente contaminantes, sendo bastante aplicadas até no tratamento de resíduos industriais. No entanto, essas membranas possuem grande sensibilidade à presença de matéria orgânica, e precisa que o esgoto seja adequado para o seu tratamento, evitando assim o entupimento dos poros e afetando a sua eficiência. Tendo em vista essa necessidade, este trabalho avaliou a implantação de um filtro de areia como pré-tratamento para a ultrafiltração. Para análise do comportamento desse sistema foram feitas análises de temperatura, pH, DBO<sub>5</sub>, DQO e nitrogênio amoniacal. Os resultados não apontaram mudança significativa na qualidade do esgoto que alimentava as membranas, indicando a necessidade de buscar novas técnicas de adequação.

Palavras-chave: reuso; tratamento; ultrafiltração; filtro de areia.

## **ABSTRACT**

The scarcity of water resources, together with the large volume of sewage produced by the population come from arousing the search for efficient and low-cost methods for domestic wastewater treatment, in relation to conventional, despite satisfactory are not enough so that the final product is applied in reuse. In this sense come surging ultrafiltration in Brazil, which already has proven efficiency abroad, reducing potentially contaminants parameters, being fairly applied to the treatment of industrial waste. However, these membranes possess great sensitivity to the presence of organic matter, and need that sewer is suitable for your treatment, thus preventing the clogging of pores and affecting your efficiency. In view of this need, this study assessed the implementation of a sand filter as pre-treatment for ultrafiltration. To analyze the behavior of this system were made analyses of temperature, pH, BOD<sub>5</sub>, COD and ammonia nitrogen. The results showed no significant change in the quality of the sewage that fueled the membranes, indicating the need to seek out new fitness techniques.

Keywords: reuse; treatment; ultrafiltration; sand filter.

Dedico este trabalho a Deus, que é o autor da minha vida e da fé, por me conceder graça e amor incondicional, sendo minha fortaleza na hora das dificuldades.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, primeiramente, por conceder o fôlego da vida e por ser a razão da minha chegada até aqui, me sustentando e proporcionando bênçãos imensuráveis.

Aos meus pais, Luís Henrique e Rosa Maria, e minhas irmãs, por serem a minha base de tudo e espelhos, me fortalecendo e sendo responsáveis pelo meu caráter e desenvolvimento pessoal. Por demonstrarem tanto amor e zelo durante a minha vida.

À minha namorada e companheira, Maria Luiza, por tanto amor, carinho, cumplicidade e compreensão, sempre me apoiando e incentivando a voar em lugares mais altos. Ao lado da minha sogra, Eleyne, que me acolheu e está sempre se preocupando e aconselhando.

A estes por serem a minha base e sustento, vitoriosos ao meu lado, e que palavras não podem definir a importância.

Ao meu orientador, Gilson Barbosa, que me deu a chance de fazer parte desse projeto, sempre me orientando e apoiando na preparação desse trabalho.

Aos amigos que eu adquiri ao longo do curso e que são parte da minha conquista. Em especial: Rafaelle Dantas, Thaís Farias, Igor Rolim, Idilla Kaenna, Luan Cardoso, Vinícius Urquiza, Maria Juliana e Emerson Freitas.

Aos professores do DECA que contribuíram na minha formação e pessoal e profissional. Em especial: Aline Flavia, Ana Cláudia, Andréa Silva, Clóvis Dias e Gilson Barbosa.



## Lista de Figuras

Figura 1- Sólidos nos esgotos.....	16
Figura 2 - Características do esgoto .....	17
Figura 3 - Classificação dos sólidos em função do tamanho.....	18
Figura 4 - Esquema do tratamento preliminar .....	24
Figura 5 - Exemplo de tratamento primário por flotação .....	25
Figura 6 - Esquema de tratamento secundário com lagoa facultativa .....	25
Figura 7 - Tratamento terciário com uso de reator UV .....	26
Figura 8 - Estrutura morfológica das membranas .....	32
Figura 9 - Membrana de Ultrafiltração.....	34
Figura 10 - Representação do fouling em uma membrana de ultrafiltração .....	36
Figura 11 - Formação de biofouling .....	37
Figura 12 – Vista em planta da ETE Mangabeira .....	39
Figura 13 - Vista geral da ETE Mangabeira.....	40
Figura 14 - Vista do tratamento preliminar .....	41
Figura 15 - Sistema de alimentação da ETE .....	41
Figura 16 - Tanque de armazenamento de esgoto da lagoa de filtração.....	44
Figura 17 - Sistema de filtros de areia .....	44
Figura 18 - Tanque de alimentação do sistema (à direita).....	45
Figura 19 - Vista frontal e corte transversal das membranas de ultrafiltração .....	45
Figura 20 - Ligação dos filtros de areia.....	46
Figura 21 - Variações dos valores de pH durante o período de análise.....	49
Figura 22 - Variações dos valores de pH durante o período de análise.....	50
Figura 23 - Variações da DBO ao longo do período de coleta.....	51
Figura 24 - Comparativo da remoção de DBO ao longo do tratamento.....	52
Figura 25 - Variação de DQO ao longo do período de coleta .....	52
Figura 26 - Comparativo de remoção de DQO ao longo do tempo.....	53
Figura 27 - Variação de nitrogênio amoniacal ao longo de todo período de estudos.....	54
Figura 28 - Comparativo de remoção de nitrogênio amoniacal ao longo do tempo .....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais microrganismos presentes na água .....	22
Tabela 2 - Contribuição e concentração de microrganismos no esgoto doméstico.....	23
Tabela 3 - Eficiência dos sistemas de tratamento.....	27
Tabela 4 - Características dos tipos processos de filtração .....	30
Tabela 5 - Custo de instalação de uma planta de ultrafiltração .....	35
Tabela 6 - Custo operacional anual do sistema de tratamento por ultrafiltração .....	35
Tabela 7 - Características dos módulos 1 e 2 da ETE .....	42
Tabela 8 - Caracterização do efluente da ETE Mangabeira nas etapas de tratamento .....	42
Tabela 9 - Indicadores envolvidos na pesquisa e os métodos de análise .....	47
Tabela 10 - Análise estatística dos indicadores das etapas de tratamento.....	48

## LISTA DE SIGLAS

OMS	Organização Mundial da Saúde
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
MF	Microfiltração
UF	Ultrafiltração
NF	Nanofiltração
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
SST	Sólidos Suspensos Totais
SS	Sólidos Suspensos
EB	Esgoto Bruto
LA <sub>1</sub>	Lagoa Anaeróbia 1
LA <sub>2</sub>	Lagoa Anaeróbia 2
LF	Lagoa Facultativa
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO <sub>5,20</sub>	Demanda Bioquímica de Oxigênio em 5 dias, a 20°C
DQO	Demanda Química de Oxigênio
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
NMP	Número mais provável
UV	Ultravioleta
CF	Coliformes Fecais (Termotolerantes)
SABESP	Saneamento Básico do Estado de São Paulo
PSM	Processo de Separação por Membranas
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
PTM	Pressão Transmembrana
COT	Carbono Orgânico Total

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. Objetivo Geral .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2. Objetivo Específico.....</b>	<b>15</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1. Caracterização dos esgotos domésticos .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.1. Sólidos .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1.2. Matéria orgânica.....</b>	<b>19</b>
3.1.2.1. Demanda Bioquímica de Oxigênio .....	19
3.1.2.2. Demanda Química de Oxigênio (DQO) .....	20
<b>3.1.3. Nitrogênio .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.4. Características biológicas.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2. Níveis de tratamento .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.1. Tratamento Preliminar .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2.2. Tratamento Primário .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2.3. Tratamento Secundário.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.4. Tratamento Terciário .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3. Filtros de areia no tratamento de efluentes .....</b>	<b>28</b>
<b>3.3.1. Aplicação.....</b>	<b>28</b>
<b>3.3.2. Funcionamento.....</b>	<b>29</b>
<b>3.4. Processo de separação por membranas.....</b>	<b>29</b>
<b>3.4.1. Classificação das membranas .....</b>	<b>31</b>
3.4.1.1. Quanto à morfologia .....	31
3.4.1.2. Quanto à capacidade de transporte .....	32
<b>3.4.2. Ultrafiltração .....</b>	<b>34</b>
<b>3.4.3. Problemas causados por fouling.....</b>	<b>35</b>
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1. Caracterização da ETE Mangabeira.....</b>	<b>39</b>
<b>4.1.1. Caracterização do efluente da ETE .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2. Descrição da planta de ultrafiltração .....</b>	<b>43</b>
<b>4.3. Características do filtro de areia.....</b>	<b>46</b>
<b>4.4. Amostragem.....</b>	<b>46</b>
<b>4.5. Métodos Analíticos .....</b>	<b>47</b>

<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>48</b>
<b>5.1. Análise estatística dos indicadores.....</b>	<b>48</b>
<b>5.2. Potencial Hidrogeniônico (pH).....</b>	<b>49</b>
<b>5.3. Temperatura .....</b>	<b>50</b>
<b>5.4. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>).....</b>	<b>50</b>
<b>5.5. Demanda Química de Oxigênio (DQO).....</b>	<b>52</b>
<b>5.6. Nitrogênio amoniacal .....</b>	<b>53</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>56</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>57</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o saneamento básico é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico mental e social. Ou seja, o saneamento ambiental não se trata apenas de uma questão estrutural, mas de proporcionar qualidade de vida à população, minimizando os riscos à saúde e criando um ambiente favorável ao desenvolvimento humano. Os serviços principais do saneamento básico são:

- Abastecimento de água;
- Coleta, tratamento e disposição de esgotos sanitários;
- Coleta, tratamento e disposição de resíduos sólidos;
- Coleta e disposição de águas pluviais.

No Brasil ainda existe uma precariedade muito grande na oferta desses serviços, principalmente quando se trata da coleta de esgotos sanitários, segundo dados do Diagnóstico de Serviços de Água e Esgotos do SNIS (2015). A situação nas regiões Norte e Nordeste se encontra ainda pior em comparação com a média nacional, por se tratar de áreas de menor desenvolvimento econômico e social.

Esses dados são alarmantes quando se projeta os impactos futuros que esses resíduos não coletados podem trazer, ao serem lançados diretamente em corpos d'água ou depositados em fossas negras, método muito comum em áreas rurais, trazendo contaminação ao solo e águas subterrâneas.

A falta do tratamento desses efluentes aliada à crescente demanda de água, causada pelo desenvolvimento populacional, traz à tona a necessidade de estudos sobre métodos mais eficazes para a desinfecção dessas águas residuárias, tanto para a disposição final nos rios e mananciais, como para reaproveitamento não-potável da população. Ocorre que, ao se pensar no reuso de esgotos, é necessário um produto final com maior grau de pureza, situação que não é obtida através dos tratamentos convencionais. Devido a esse fato, vem surgindo no Brasil o uso das membranas filtrantes, que possuem grande eficiência na remoção de constituintes físicos, químicos e biológicos.

Segundo VAN DER BRUGGEN *et al.* (2003), citado por SILVA (2014) os tipos de membranas mais comumente utilizados são a de Microfiltração (MF), Ultrafiltração (UF) e Nanofiltração (NF), tendo como principais diferenças a pressão exercida sobre as mesmas e a dimensão dos poros superficiais, o que altera no volume de retenção das partículas. A diferença

de diâmetro dos poros é o que vai determinar o grau de pureza do produto final, pois uma porosidade menor corresponde a uma menor taxa de sólidos passantes.

A tecnologia de filtração por membrana, quando aplicada no tratamento de águas residuárias possui muitas vantagens, como o pequeno espaço necessário para implantação dos equipamentos, qualidade do produto final sem grandes variações, economia no uso de produtos químicos, baixo custo de instalação e fácil operacionalização. No entanto, ainda possui alguns entraves que impedem o método de ser mais difundido, e um deles é o *fouling*, que é o acúmulo de matéria orgânica, formando uma camada de biofilme que impede a passagem do efluente. Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto BRAMAR, que se trata de um projeto de pesquisa de cooperação bilateral Brasil-Alemanha, que tem por objetivo melhorar o a gestão dos recursos hídricos e seus resíduos na região semi-árida do nordeste brasileiro. De maneira específica, na cidade de João Pessoa, foram implantadas novas tecnologias na Estação de Tratamento de Esgoto, que visam um tratamento desse efluente para reuso urbano, industrial e agrícola. Dentre esses novos métodos, uma planta de ultrafiltração está em funcionamento e será o objeto do estudo do presente trabalho.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é caracterizar o efluente da estação de tratamento de esgotos de Mangabeira em João Pessoa, tendo em vista sua adequabilidade para submeter o efluente a tratamento por meio de membranas de ultrafiltração.

### **2.2. Objetivo Específico**

Avaliar a capacidade do filtros de areia e do filtro de tela na remoção de algas na etapa anterior à ultrafiltração.



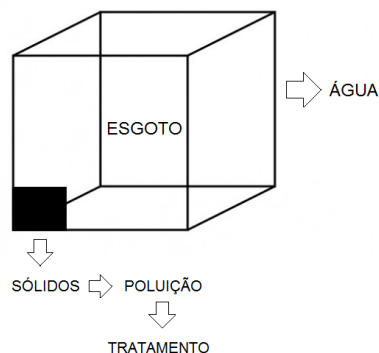
### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Caracterização dos esgotos domésticos

Segundo VON SPERLING (1995), em termos quantitativos, a composição do esgoto doméstico é de aproximadamente 99,9% de água e apenas 0,1% de sólidos, sendo estes separados em orgânicos, inorgânicos, suspensos e dissolvidos, incluindo-se também os microrganismos (Figura 1). Apesar de um valor aparentemente baixo, essa fração é suficiente para comprometer a qualidade da água, fazendo-se necessário o tratamento desse efluente em diferentes níveis.

A composição do esgoto pode variar conforme alguns fatores, como o local de origem, os tipos de atividades existentes no local, o clima e a época do ano (MELO; MARQUES, 2000 *apud* BETTIOL; CAMARGO, 2006, p.27). Esse é um dos fatores pelos quais as ETE's não atingem uma eficiência desejada, já que é de grande complexidade prever a característica do efluente para aplicar o melhor tipo de tratamento, além do alto custo necessário para a realização de constantes análises que seriam combinadas às inúmeras variáveis ambientais, socioeconômicas, climáticas, dentre outras.

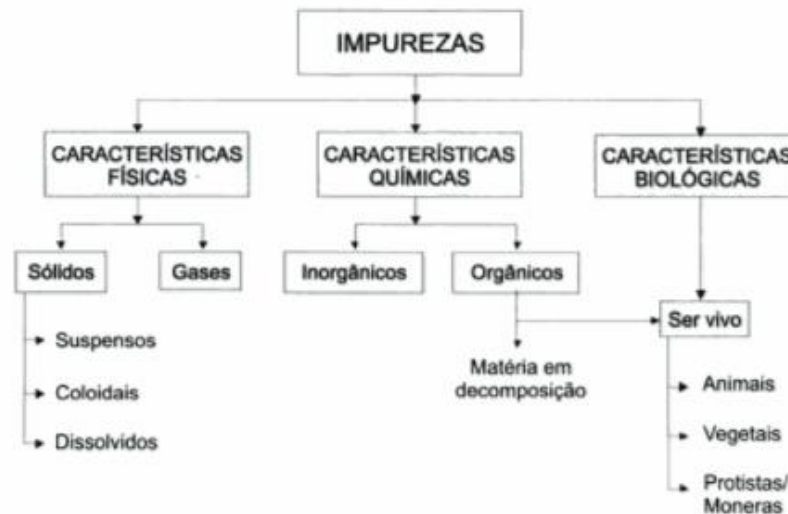
Figura 1- Sólidos nos esgotos



(Fonte: VON SPERLING, 1995, p. 61)

Além da sua composição, os esgotos são caracterizados pelos aspectos físicos, químicos e biológicos. Cada fator possui características particulares e diferentes modos de tratamento, conforme o seu grau de contaminação da água. Essa diferenciação está esquematizada na imagem abaixo.

Figura 2 - Características do esgoto



(Fonte: BARNES *et al*, 1981 *apud* VON SPERLING, 2005)

Segundo VAN HAANDEL *et al.* (1999), dentre todos os tipos de impurezas citados na imagem acima, é importante destacar os sólidos, compostos orgânicos e inorgânicos, e organismos patogênicos, conforme o esquema da Figura 2

### 3.1.1. Sólidos

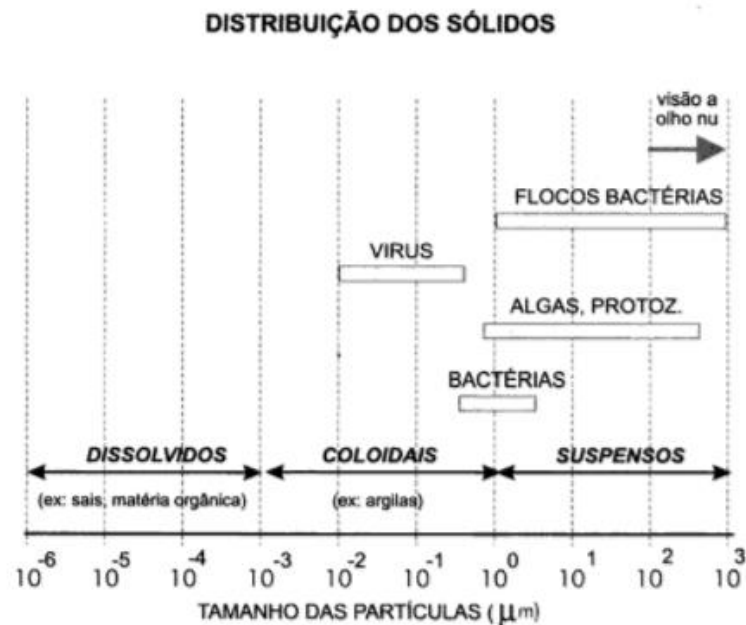
A presença de sólidos é o parâmetro físico mais importante para caracterização dos esgotos domésticos, segundo Metcalf & Eddy Inc (2003). Com exceção dos gases dissolvidos, todos os contaminantes da água contribuem para a carga de sólidos (Von Sperling, 1995).

Através de experimentos práticos, é possível determinar a sua classificação de acordo com o tamanho das partículas:

- a) **dissolvidos (não filtráveis):** substâncias de menor dimensão que não ficaram retidas na filtração e possuem diâmetro inferior a  $10^{-3} \mu\text{m}$ ;
- b) **suspensos (filtráveis):** parcela dos sólidos retida na membrana de filtração, com diâmetro superior a  $10^0 \mu\text{m}$ . Segundo a SABESP, podem ser divididos em fixos e voláteis;
- c) **coloidais:** partículas intermediárias, que normalmente são classificadas como sólidos dissolvidos, devido à dificuldade de identificação pelos métodos simplificados. Suas dimensões estão na ordem de  $10^{-3}$  a  $10^0 \mu\text{m}$ .

**d) sedimentáveis:** correspondem a uma parcela dos sólidos suspensos que sedimenta num intervalo de tempo padrão em um cone Imhoff.

Figura 3 - Classificação dos sólidos em função do tamanho



(Fonte: VON SPERLING, 1995, p.23)

Em um esforço para entender mais sobre a natureza das partículas que compõem os sólidos presentes no esgoto, são realizadas medições quanto às suas dimensões e análises da distribuição geométrica dessas partículas (TCHOBANOGLIOUS, 1995 *apud* METCALF & EDDY Inc., 2003).

É de fundamental importância conhecer os sólidos presentes no esgoto que chega às estações de tratamento, pois assim é possível determinar o melhor mecanismo para remoção dessas partículas (sedimentação) e tratamento do efluente, pois tanto a cloração, como a radiação UV dependem do tamanho das partículas sólidas (METCALF & EDDY Inc, 2003).

Estudos realizados por BARACUHY (2006) mostraram que a ETE Mangabeira alcançou uma eficiência de 62% na remoção de sólidos suspensos totais (SST) e uma média de 75mg/l que, de acordo com a Diretiva 91/271/EEC, está adequado ao limite máximo de 150mg/l. Porém, devido ao intervalo de tempo e grande crescimento da população, e conseqüentemente, do volume de esgoto coletado, são necessários novos estudos sobre a qualidade do efluente final lançado no rio Cuiá.

### 3.1.2. Matéria orgânica

A matéria orgânica é a principal causadora de poluição das águas. Em geral, é formada por uma mistura de carbono, hidrogênio, e oxigênio, juntamente com nitrogênio em alguns casos. O esgoto doméstico corresponde, predominantemente, de proteínas, carboidratos, óleos e gorduras, de acordo com VON SPERLING (1995)

Existem formas de medir a quantidade de matéria orgânica presente no efluente, como os ensaios de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Carbono Orgânico Total (COT), esses usados para concentrações maiores que 1mg/l.

Para este trabalho foram realizados apenas testes de DBO e DQO.

#### 3.1.2.1. Demanda Bioquímica de Oxigênio

É um parâmetro determinante do nível de poluição do efluente, pois quantifica a quantidade de oxigênio dissolvido que é necessária para oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos. Segundo VON SPERLING (1995), o teste de DBO<sub>5</sub>, que analisa o consumo de oxigênio durante um período de 5 dias, a uma temperatura de 20°C, é largamente utilizado, pois permite análises que nenhum outro teste de determinação de matéria orgânica alcança, estas são:

- Indicação aproximada da fração biodegradável do despejo;
- Indicação da taxa de degradação do despejo;
- Indicação da taxa de consumo de oxigênio em função do tempo;

No entanto esse processo também possui algumas limitações (MARAIS e EKAMA, 1976 *apud* VON SPERLING, 1995):

- Pode-se encontrar baixos valores de DBO<sub>5</sub>, caso os microrganismos responsáveis pela decomposição não estejam acostumados com o despejo;
- Os metais pesados e outras substâncias tóxicas podem inibir ou matar os microrganismos;
- Tempo de 5 dias para obtenção dos resultados, o que não se torna eficiente no controle operacional de uma estação de tratamento.

No entanto, a análise de DBO continua sendo usado em larga escala, pois os critérios de dimensionamento das instalações de tratamento, como lagoas aeradas ou facultativas, são adotados de acordo com os seus resultados. Além das legislações sobre lançamento de efluentes em corpos hídricos adotarem os padrões em função desse teste.

Os valores de DBO são variáveis de acordo com o local, o clima e as atividades desenvolvidas na cidade. Em geral, o esgoto doméstico situa-se na faixa de 300mg/l.

Para o lançamento direto nos corpos hídricos, a Resolução CONAMA 430 (2011) estabelece a  $DBO_{5,20}$  de no máximo 120mg/l, só podendo ser ultrapassado caso a eficiência do sistema de tratamento seja igual ou maior que 60%, ou mediante estudos comprovando a capacidade de autodepuração do receptor.

#### 3.1.2.2. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

O teste de DQO é utilizado para medir a quantidade necessária de oxigênio para estabilizar quimicamente a matéria orgânica presente no efluente. É obtida em meio ácido, normalmente utilizando o dicromato de potássio.

Comparativamente, a DQO promove a oxidação química da matéria orgânica por meio de um forte oxidante, enquanto a DBO o faz inteiramente pela ação de microrganismos.

As vantagens que podem ser destacadas da análise de DQO são (Von Sperling, 1995):

- Teste rápido, tendo de 2 a 3h de duração;
- Indicação da quantidade de oxigênio requerida para estabilização da matéria orgânica;
- Ao contrário da DBO, não é afetado pela nitrificação.

Suas principais limitações são:

- Tanto a fração biodegradável como a inerte são oxidadas, superestimando o oxigênio a ser consumido no tratamento biológico dos despejos;
- Não fornece informações sobre a taxa de consumo da matéria orgânica ao longo do tempo;
- Alguns tipos de constituintes inorgânicos podem ser oxidados e interferir no resultado.

Outra consideração é importante é a relação DQO/DBO<sub>5</sub>, que varia em torno de 1,7 a 2,4 para esgotos domésticos. Através dessa análise, é possível tomar conclusões a respeito da biodegradabilidade do efluente e processos de tratamento mais eficientes a serem empregados.

a) alta relação DQO/DBO<sub>5</sub>:

- A fração inerte é elevada;
- Se a fração não biodegradável não for importante em termos de poluição do corpo receptor: possível indicação para o tratamento biológico
- Se a fração não biodegradável for importante em termos de poluição de corpo receptor: possível indicação para o tratamento físico-químico.
- 

b) baixa relação DQO/DBO<sub>5</sub>

- A fração biodegradável é elevada;
- Possível indicação para tratamento biológico.

Outra consideração importante é que essa relação varia de acordo com as etapas do tratamento, cuja tendência é aumentar, devido à redução gradual da fração biodegradável durante o tratamento. Seguindo esse entendimento, o efluente final do tratamento biológico possui a relação DQO/DBO<sub>5</sub> na ordem de 3.

### 3.1.3. Nitrogênio

O nitrogênio é um nutriente bioestimulante, considerado como elemento indispensável para o crescimento de microrganismos no meio, aliado ao fósforo. Por ser uma peça chave na síntese proteica, todos os dados e análises são de fundamental importância para determinar se o efluente é passível de tratamento biológico (METCALF & EDDY Inc, 2003).

O nitrogênio pode ser encontrado em várias formas e estados de oxidação, decorrente de diversos processos bioquímicos. Dentre eles, os principais são:

- Nitrogênio orgânico;
- Amônia livre (NH<sub>3</sub>);
- Nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>);
- Nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

Diferentes formas de manifestação podem representar o tipo e tempo de poluição dos corpos d'água, mas no geral essa poluição é caracterizada pela eutrofização (crescimento excessivo de algas), mortalidade de peixes e aparecimento de doenças em seres humanos.

### 3.1.4. Características biológicas

As características biológicas das águas residuárias são de fundamental importância para o controle de doenças causadas por organismos patogênicos, e também para conhecer mais a fundo o papel das bactérias e microrganismos responsáveis pela decomposição e estabilização da matéria orgânica (METCALF & EDDY Inc, 2003).

Os principais tipos de microrganismos presentes na água estão descritos na Tabela 1:

Tabela 1 - Principais microrganismos presentes na água

Microrganismo	Descrição
<b>Bactérias</b>	-Organismos protistas e unicelulares -Apresentam em várias formas e tamanhos -São os principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica -Algumas bactérias são patogênicas, causando principalmente doenças intestinais.
<b>Fungos</b>	-Organismos aeróbios, multicelulares, não fotossintéticos, heterotróficos. -Também de grande importância na decomposição da matéria orgânica. -Podem crescer em condições de baixo pH.
<b>Protozoários</b>	-Organismos unicelulares sem parede celular -A maioria é aeróbia e facultativa -Alimentam-se de bactérias, algas e outros microrganismos. -São essenciais no tratamento biológico para a manutenção de um equilíbrio entre os diversos grupos. -Alguns são patogênicos
<b>Vírus</b>	-Organismos parasitas, formados pela associação de material genético (DNA ou RNA) e uma carapaça protéica. -Causam doenças e podem ser de difícil remoção no tratamento da água ou do esgoto.
<b>Helmintos</b>	-Animais superiores -Ovos de helmintos presentes nos esgotos podem causar doenças.

(Fonte: VON SPERLING, 1995 *apud* CARMO, notas de aula)

Ao se tratar dos agentes patogênicos, sabe-se que é de grande dificuldade a detecção desses organismos nas águas residuárias, devido ao seu tamanho e baixas concentrações em relação à outras partículas existentes no efluente. Isso demandaria inúmeros testes com grandes volumes de amostra para que fossem detectados os organismos (VON SPERLING, 1995).

Tendo em vista essa dificuldade e a necessidade de conhecer à qualidade da água quanto a esse critério, são utilizadas bactérias do grupo *coliforme* como indicadores de contaminação fecal. Esses organismos não patogênicos indicam o grau de contaminação do efluente com fezes humanas ou de animais.

Os principais tipos de determinação do nível de contaminação fecal são:

- Coliformes totais (CT);
- Coliformes fecais (ou termotolerantes) (CF);
- Estreptococos fecais (EF).

A Tabela 2 ilustra a razão da utilização dessas bactérias como indicadores de poluição. Percebe-se que a contribuição per capita e, conseqüentemente, a concentração presente no esgoto são bastante elevadas, facilitando assim a sua detecção nos testes.

Tabela 2 - Contribuição e concentração de microrganismos no esgoto doméstico

Tipo	Organismo	Contribuição per capita (org/hab.d)	Concentração (NMP/100 mL)
Bactérias	Coliformes totais	$10^9 - 10^{13}$	$10^6 - 10^{10}$
	Coliformes termotolerantes	$10^9 - 10^{12}$	$10^6 - 10^9$
	<i>E. coli</i>	$10^9 - 10^{12}$	$10^6 - 10^9$

(Fonte: VON SPERLING, 1995 *apud* CARMO, notas de aula)

### 3.2. Níveis de tratamento

Ao estudar sobre a composição do esgoto doméstico, conclui-se que ele possui diversas características, sendo físicas, químicas e biológicas, de uma forma geral. Cada característica possui inúmeros parâmetros, que fora dos padrões estabelecidos pela legislação podem trazer prejuízos para a vida. Dessa forma, é preciso tratar cada tipo de contaminação do efluente de uma forma mais específica e eficiente, dividindo o tratamento em diferentes níveis, que serão classificados a seguir.



### 3.2.1. Tratamento Preliminar

O objetivo do tratamento preliminar é a remoção dos sólidos grosseiros e areia, em geral.

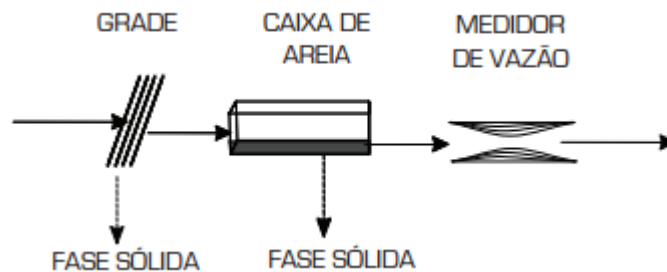
Os sólidos são removidos por meio de grades, que podem ser finas, médias ou grossas, e são dimensionadas de acordo com a taxa de material presente no efluente. A areia é removida através da sedimentação, utilizando uma caixa de areia após o sistema de grades.

Esse tratamento preliminar é de fundamental importância, pois os sólidos podem ser prejudiciais para a bomba e tubulações, e a areia pode causar abrasão e obstrução nos equipamento e tubulações, dificultando o transporte do efluente (OLIVEIRA, 2013).

O tratamento preliminar não remove contaminantes ou microrganismos patogênicos, a sua principal função é preparar o efluente para as seguintes etapas de descontaminação. Ao fim dessa etapa, existe também um mecanismo para medição da vazão, onde o mais comum é a Calha Parshall.

Na Figura 4, é possível observar o esquema do tratamento preliminar.

Figura 4 - Esquema do tratamento preliminar



(Fonte: VON SPERLING, 2005)

### 3.2.2. Tratamento Primário

Após passar pela fase preliminar, o efluente ainda possui uma parcela de sólidos suspensos não grosseiros. O tratamento primário visa a remoção dessa parcela e também da matéria orgânica. Nessa etapa são utilizados decantadores, que mantem o fluxo lento do esgoto, permitindo que os sólidos suspensos, que possuem maior densidade, se depositem no fundo do tanque, e substâncias como óleos e graxas fiquem na superfície (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

O tratamento primário se dá por processos exclusivamente físicos, e não é suficiente para o atendimento dos padrões de lançamento.

Figura 5 - Exemplo de tratamento primário por flotação



(Fonte: EMERY, 2013)

### 3.2.3. Tratamento Secundário

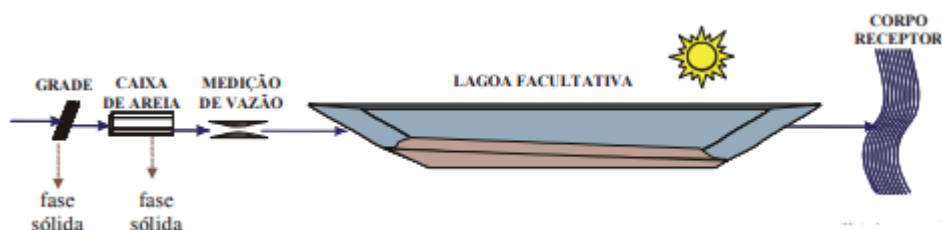
No tratamento secundário, são predominantes os mecanismos biológicos, que tem como objetivo a remoção de matéria orgânica e alguns nutrientes, como nitrogênio e fósforo. Essa descontaminação acontece através de reações bioquímicas realizadas pelos microrganismos.

Os tipos mais comuns de tratamento secundário são:

- Lagoas de estabilização, que podem ser anaeróbias, facultativas e de maturação;
- Lodo ativado;
- Filtro biológico;
- Disposição sobre o solo.

A eficiência do tratamento secundário pode chegar a 95%, onde o efluente apresenta um reduzido nível de poluição por matéria orgânica e, na maioria dos casos, pode ser despejado nos corpos receptores. No Brasil, essa é a forma mais comum de tratamento final.

Figura 6 - Esquema de tratamento secundário com lagoa facultativa



(fonte: CAERN, 2014)

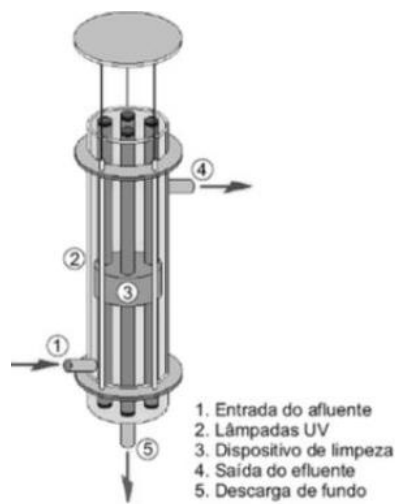
### 3.2.4. Tratamento Terciário

Também chamado de desinfecção, o tratamento terciário visa a remoção de poluentes específicos, como substâncias tóxicas (metais pesados) ou compostos não biodegradáveis e também de contaminantes que não foram removidos no tratamento secundário. Os tipos mais comuns utilizados são:

- Desnitrificação;
- Remoção de fósforo;
- Cloração;
- Ozonização;
- Radiação UV;
- Membranas.

Segundo VON SPERLING (1995), esse tipo de tratamento é bastante raro no Brasil, e o efluente é despejado nos corpos hídricos apenas com o secundário.

Figura 7 - Tratamento terciário com uso de reator UV



(Fonte: GONÇALVES, 2003 *apud* OLIVEIRA, 2016)

Conhecendo-se os diferentes tipos de tratamento, é possível observar que cada um deve ser aplicado de acordo com as características do efluente. Além desse parâmetro, outros devem ser levados em conta fatores técnicos e econômicos, como a aplicabilidade do processo, requisitos de mão de obra, custos de operação e manutenção, dentre outros. Os impactos

ambientais e sociais também devem ser analisados, como odores, ruídos, contaminação do ar, solo, águas superficiais e subterrâneas, e o incômodo à população do entorno. (PROSAB, 2008).

Tabela 3 - Eficiência dos sistemas de tratamento

Sistema	Eficiência média de remoção (%)					
	DBO	DQO	SS	Ntotal	Ptotal	CF
Lagoa facultativa	75-85	65-80	70-80	<60	<35	90-99
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa	75-85	65-80	70-80	<60	<35	90-99
Lagoa aerada facultativa	75-85	65-80	70-80	<30	<35	90-99
Lagoa aerada mistura completa - lagoa sedimentação	75-85	65-80	80-87	<30	<35	90-99
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	80-85	70-83	73-83	50-65	>50	99,9-99,999
Infiltração lenta	90-99	85-95	>93	>75	>85	99,9-99,999
Infiltração rápida	85-98	80-93	>93	>65	>50	99,99-99,999
Escoamento superficial	80-90	75-85	80-93	<65	<35	99-99,9
Wetlands	80-90	75-85	87-93	<60	<35	99,9-99,99
Tanque séptico + filtro anaeróbio	80-85	70-80	80-90	<60	<35	90-99
Reator UASB	60-75	55-70	65-80	<60	<35	≈90
UASB + lodos ativados	83-93	75-88	87-93	<60	<35	90-99
UASB + filtro anaeróbio	75-87	70-80	80-90	<60	<35	90-99
UASB + filtro biológico percolador de alta carga	80-93	73-88	87-93	<60	<35	90-99
UASB + biofiltro aerado submerso	83-93	75-88	87-93	<60	<35	90-99
UASB + flotação por ar dissolvido	83-93	83-90	90-97	<30	75-88	90-99
UASB + lagoa aerada facultativa	75-85	65-80	70-80	<30	<30	90-99
UASB + escoamento superficial	77-90	70-85	80-93	<65	<35	99-99,9
UASB + lagoas de polimento	77-87	70-83	73-83	50-65	>50	99,9-99,999
Lodos ativados convencional	85-93	80-90	87-93	<60	<35	90-99
Lodos ativados - aeração prolongada	90-97	83-93	87-93	<60	<35	90-99
Filtro biológico percolador de baixa carga	85-93	80-90	87-93	<60	<35	90-99
Filtro biológico percolador de alta carga	80-90	70-87	87-93	<60	<35	90-99
Biodisco	88-95	83-90	87-93	<60	<35	90-99

(Fonte: VON SPERLING, 1995 *apud* PROSAB, 2008)

A Tabela 3 faz uma comparação entre os diferentes tipos de tratamento, quanto à eficiência na remoção de alguns dos parâmetros mais importantes. Destaca-se a maior porcentagem de descontaminação de DBO e DQO nos níveis terciários (lodos ativados) do que

na etapa secundária (lagoas facultativas). Esses dados confirmam a literatura estudada, no aspecto da abrangência na desinfecção de águas residuárias pela aplicação métodos mais avançados.

### **3.3. Filtros de areia no tratamento de efluentes**

O filtro de areia é um método de tratamento bastante antigo, inicialmente adotado na remoção de turbidez para potabilização da água. A partir do século XIX, na Europa e nos Estados Unidos, passou a ser aproveitado na depuração de esgotos domésticos, de acordo com MICHELS (1996) *apud* TONETTI (2004).

#### **3.3.1. Aplicação**

De acordo com a norma brasileira que regula o dimensionamento e utilização dos filtros de areia, NBR 13969 (1997), o sistema de filtração se caracteriza por permitir o elevado nível de remoção de poluentes, com operações intermitentes. A Norma também relaciona alguns casos que esse tipo de tratamento pode ser utilizado:

- a) quando o solo ou as condições climáticas do local não recomendam o emprego de vala de infiltração ou canteiro de infiltração ou sua instalação exige uma extensa área não disponível;
- b) a legislação sobre as águas dos corpos receptores exige alta remoção dos poluentes dos efluentes do tanque séptico;
- c) por diversos motivos for considerado vantajoso o aproveitamento do efluente tratado, sendo adotado como unidade de polimento dos efluentes dos processos anteriores.

A falta de necessidade de operadores e simples manutenção são fatores que favorecem a opção por esse método. Outros fatores, de acordo com MICHELS (1996) *apud* TONETTI (2004), são o pequeno espaço requerido para instalação, em comparação a outros métodos de tratamento, como as lagoas de estabilização, e baixo consumo de energia elétrica, por não ser necessário o uso de aeradores, visto que o ar entra pela tubulação de descarte, mantendo um ambiente favorável para a atuação dos microrganismos.

No entanto, dada a necessidade de limpeza do filtro, não é recomendável a frequente utilização da retrolavagem, tendo em vista a possibilidade de desagregação dos grãos do leito de areia, podendo comprometer a qualidade do tratamento.

### **3.3.2. Funcionamento**

O sistema funciona basicamente na aplicação de efluente, de forma intermitente, em uma camada de areia, onde os contaminantes são removidos por processos físicos, químicos e biológicos. O tratamento físico ocorre pela retenção, ou peneiramento, das partículas pela areia, enquanto o químico pela adsorção dos compostos. Porém, a principal etapa desse processo se dá pela oxidação bioquímica pelos microrganismos presentes.

### **3.4. Processo de separação por membranas**

Atualmente, legislações vêm evoluindo, de modo a trazer novas exigências quanto à qualidade da água ofertada e do tratamento dos esgotos para posterior lançamento nos corpos hídricos. O reuso dessas águas residuárias, apesar de não possui legislação específica no Brasil, é uma solução que vem sendo muito estudada e aos poucos posta em prática.

Técnicas já citadas nesse trabalho vêm se mostrando eficientes, porém a busca por soluções mais inovadoras traz à tona o tratamento de separação por membranas. Segundo VAN DER BRUGGEN (2003), esses processos são capazes de remover uma larga gama de componentes, que vão desde sólidos suspensos até matéria orgânica e íons. Os PSM vêm movimentando um mercado de US\$4,4 bilhões/ano no início do século 21, de acordo com HABERT *et al.*, 2006. Isso mostra que tal tecnologia vem se difundindo e a demanda tornando o custo cada vez mais acessível.

As principais vantagens dessa aplicação, segundo SCHNEIDER e TSUTIYA (2001) *apud* BARBOSA (2009), são:

- Redução de custo de instalação e operação, tornando essa tecnologia competitiva em comparação com os métodos convencionais;
- Vem se mostrando eficiente na remoção de microrganismos patogênicos e outros tipos de contaminantes, adequando-se as legislações cada vez mais severas;

- Possibilita o reuso de águas residuárias, podendo ser aplicadas em indústrias e grandes centros comerciais, visando uma menor vazão de retirada de mananciais de água potável.

Nesse processo, o efluente a ser tratado é forçado a atravessar uma membrana por conta de uma diferença de potencial, fazendo com que o líquido seja transportado através dela e separado em duas frações, permeado e concentrado. O primeiro é o resultado do tratamento, ou seja, de acordo com o tipo de membrana escolhido, a água estará parcial ou totalmente livre dos contaminantes. O concentrado é a parcela onde ficaram retidas as substâncias indesejadas, que normalmente é descartada para o sistema de tratamento.

Os principais tipos de membrana utilizadas para esse tratamento são Microfiltração (MF), Ultrafiltração (UF), Nanofiltração (NF) e Osmose Inversa (OI). A principal diferença entre elas está na dimensão dos poros, que determina o nível de purificação da água.

Tabela 4 - Características dos tipos processos de filtração

	Microfiltração MF	Ultrafiltração UF	Nanofiltração NF	Osmose Inversa OI
<b>Permeabilidade (l/h.m<sup>2</sup>.bar)</b>	> 1000	10 - 1000	1,5 - 30	0,05 - 1,5
<b>Pressão (bar)</b>	0,1 - 2	0,1 - 5	3 - 20	5 - 120
<b>Dimensão dos poros (nm)</b>	100 - 10000	2 - 100	0,5 - 2	< 0,5
<b>Rejeição</b>				
- Sólidos	+	+	+	+
- Matéria orgânica	-	-	-/+	+
- Macromoléculas	-	+	+	+
- Íons monovalentes	-	-	-	+
- Íons multivalentes	-	-/+	+	+
<b>Mecanismo de separação</b>	Separação por tamanho	Separação por tamanho	Separação por tamanho Efeito de carga	Solução-Difusão
<b>Aplicações</b>	Clarificação; pretratamento; remoção de bactérias	Remoção de macromoléculas, bactérias e vírus	Remoção de íons multivalentes e microrganismos	Dessalinização; água com alto grau de pureza

(fonte: Adaptado de Van der Bruggen *et al.*, 2003)

### 3.4.1. Classificação das membranas

Nesse estudo adotou-se apenas as membranas sintéticas, compostas por Polissulfona (PSU), que podem ser classificadas quanto à sua morfologia e capacidade de transporte.

#### 3.4.1.1. Quanto à morfologia

A morfologia das membranas diz respeito à sua configuração estrutural, que é dividida em dois grandes grupos:

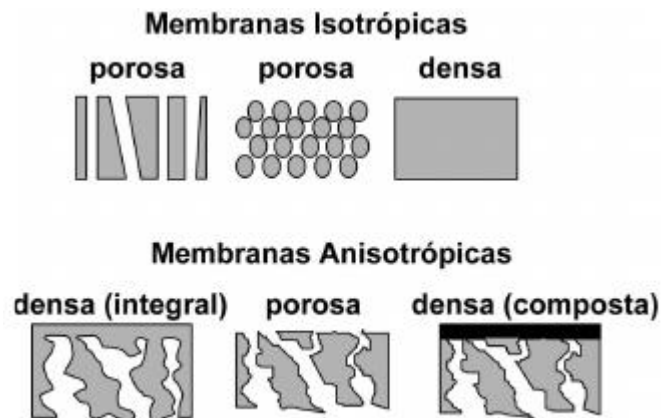
- **Densas:** Consistem em um filme denso, onde o permeado é transportado por difusão devido a uma pressão causada pela diferença de potencial. Dessa forma, as membranas densas podem separar substâncias de mesmas dimensões se a solubilidade diferir de forma significativa. São usadas nos processos de separação gasosa, pervaporação e osmose inversa (BAKER, 2004).
- **Porosas:** Similares em estrutura e funcionamento aos filtros convencionais. Possui uma estrutura rígida e com poros interconectados, distribuídos aleatoriamente. A diferença para os tipos convencionais está na dimensão dos poros, que são da ordem de 0,01 a 10 $\mu$ m de diâmetro (BAKER, 2004).

Dentro dessas duas classificações, as membranas ainda podem ser divididas em isotrópicas, ou simétricas, e anisotrópicas, ou assimétricas.

- **Isotrópicas:** apresentam as mesmas características morfológicas ao longo de toda sua estrutura.
- **Anisotrópicas:** apresentam gradiente de porosidade na direção perpendicular à sua superfície.



Figura 8 - Estrutura morfológica das membranas



(Fonte: HABERT, 2006)

#### 3.4.1.2. Quanto à capacidade de transporte

Segundo PELEGRIN (2004), as características mais importantes das membranas são a espessura, porosidade, seletividade e permeabilidade.

- **Espessura:** A espessura das subcamadas das membranas está relacionada de forma diretamente proporcional à resistência ao fluxo e inversamente a taxa de permeabilidade.
- **Porosidade:** Diz respeito ao número de vazios da estrutura, ou seja, a relação entre a parte sólida e os poros da membrana. A taxa de porosidade é inversamente proporcional à resistência ao fluxo através da membrana.

$$\varepsilon = 1 - DM/DP$$

Onde,

$\varepsilon$ : Porosidade;

DM: Densidade da membrana ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

DP: Densidade dos poros ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

- **Seletividade:** Diz respeito à eficiência de separação da membrana. Depende da distribuição dos poros, que não é feita de maneira constante, mas através de uma variação em torno de um diâmetro médio. A taxa de rejeição do material é dada pela seguinte relação (VAN DER BRUGGEN, 2003):

$$R = 1 - C_p/C_f$$

Onde,

R: Taxa de rejeição;

$C_p$ : Concentração do permeado (g/L);

$C_f$ : Concentração do afluente (g/L).

A taxa pode variar de 0 (permeabilidade total) até 1 (rejeição total).

- **Permeabilidade:** É definido pelo volume que permeia através da membrana por unidade de área e de tempo (SILVA, 2014).

$$J_p = Q_p/A$$

Onde,

$J_p$  = fluxo do permeado (L/h.m<sup>2</sup>);

$Q_p$  = vazão do permeado (L/h);

A = área da membrana (m<sup>2</sup>).

O escoamento de uma solução complexa através de um meio poroso conduz a diferentes fenômenos que alteram a permeabilidade. Além disso a distribuição dos tamanhos médios das partículas que compõem uma suspensão biológica é bastante variada. Assim, as modificações de propriedades de escoamento podem ser divididas de acordo com o tamanho das partículas do meio em relação aos poros da membrana (PROVENZI, 2005 *apud* SILVA, 2014).

### 3.4.2. Ultrafiltração

As membranas de ultrafiltração são, normalmente, estruturas assimétricas criadas pelo processo de Loeb-Sourirajan (BAKER, 2004). Possui um baixo nível de pressão, na ordem de 0,1 – 5 bar, devido à maior dimensão dos poros. Devido a esses valores de PTM, os custos de operação e instalação são reduzidos, tornando assim uma alternativa atrativa, para tratamentos com grau de pureza não muito elevados. Situação que acontece devido à dimensão dos poros permitir a passagem de sais, matéria orgânica e microrganismos patogênicos, como vírus.

Para fins de remoção de matéria orgânica e compostos inorgânicos, é necessário um pré-tratamento, de modo a potencializar a qualidade do efluente tratado pela UF.

Nesse estudo, o efluente a ser tratado pela ultrafiltração passa pela etapa da lagoa facultativa e dois filtros, sendo um de areia e em seguida um telado. Essa sequência tem como objetivo remover principalmente as algas, que são características do tipo de poluição e da região, e não podem ser removidas pela UF. É esperado também um efluente com características melhores, para evitar o entupimento das membranas e processos de retrolavagem e lavagem química, o que diminui a vida útil das mesmas.

Figura 9 - Membrana de Ultrafiltração



(Fonte: RADJENOVIC *et al.*, 2007 *apud* SILVA, 2014)

Em relação ao custo de uma planta de ultrafiltração, sabe-se que o valor de implantação depende de algumas variáveis, como tamanho da instalação, tipo de efluente e o grau de separação esperado. Estudos realizados por MIERZWA *et al.*, 2006, mostram em valores monetários, o capital necessário para instalação e manutenção de um sistema de ultrafiltração, admitindo uma capacidade de 100l/s de água tratada.

Tabela 5 - Custo de instalação de uma planta de ultrafiltração

Componente	Custo (R\$)
Membranas	1.134.000,00
Vasos de pressão	227.430,00
Bombas de alta pressão	129.000,00
Pré-filtros de areia	38.655,00
Estrutura metálica	21.000,00
Instrumentação e controle	159.000,00
Sistema de dosagem de cloro	66.885,00
Sistema de limpeza química	160.062,08
Subtotal	1.936.032,08
Construção e montagem	387.206,42
Custo do terreno (250 m <sup>2</sup> )	50.000,00
<b>Custo Total do Sistema</b>	<b>2.373.238,50</b>

(Fonte: MIERZWA *et al.*, 2006)

Tabela 6 - Custo operacional anual do sistema de tratamento por ultrafiltração

Item	Custo anual (R\$)
Mão de obra	93.381,60
Produtos químicos	54.234,77
Reposição de membranas <sup>(1)</sup>	226.800,00
Custo com energia	463.038,07
Custo de disposição de efluentes <sup>(2)</sup>	60.795,00
<b>Custo total de operação</b>	<b>898.249,44</b>

(Fonte: MIERZWA *et al.*, 2006)

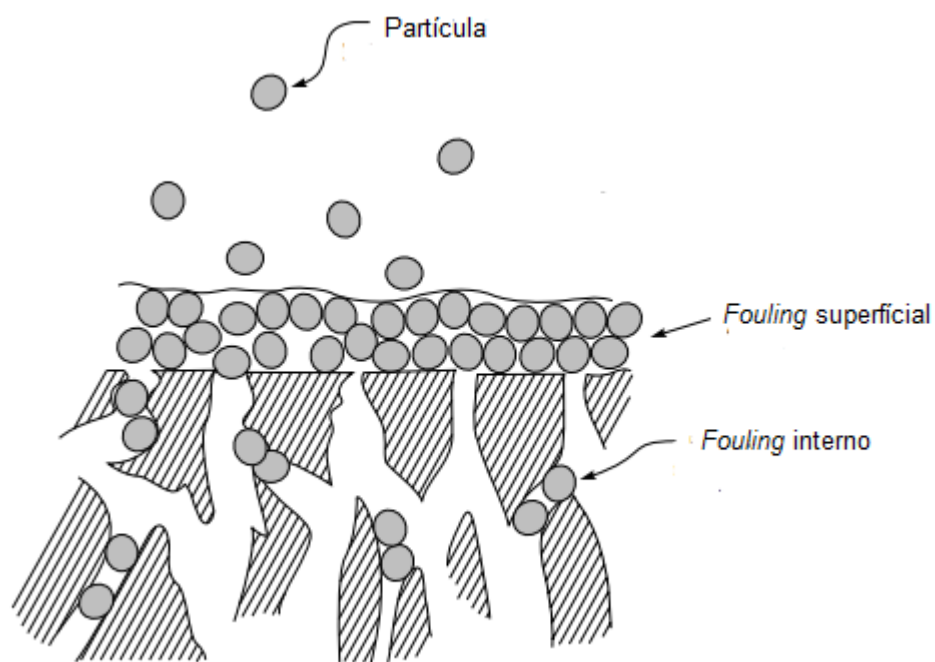
Analisando os custos de instalação e operação de um sistema de ultrafiltração, é possível observar que as membranas custam em torno de 50% e 30% respectivamente, do valor total. Com essa consideração, pode-se entender o porquê da preocupação com a escolha correta do tipo de membrana, de acordo com os parâmetros determinados em projeto, e também do controle do efluente que será tratado, evitando assim uma aceleração na degradação desse material.

### 3.4.3. Problemas causados por fouling

Nesse capítulo foram citadas diversas vantagens e condições que propiciam a utilização do processo e separação por membranas. Porém, existe uma complicação que não permitiu a disseminação completa desse método.

Segundo Motta *et al.* 2010, o *fouling* consiste na deposição e acumulação de sólidos na superfície das membranas e pode ser classificado em causado por sólidos orgânicos (proteínas ou polissacarídeos) ou inorgânicos (coloidais, dissolvidos ou incrustações) ou por microrganismos (biofouling). As principais consequências de sua ocorrência são a redução do fluxo de permeado e a elevação da pressão transmembrana (PTM). A redução do fluxo provoca um aumento na frequência de reposição da membrana, o que, eleva os custos operacionais e de manutenção. Além disso, causa deterioração da qualidade do permeado.

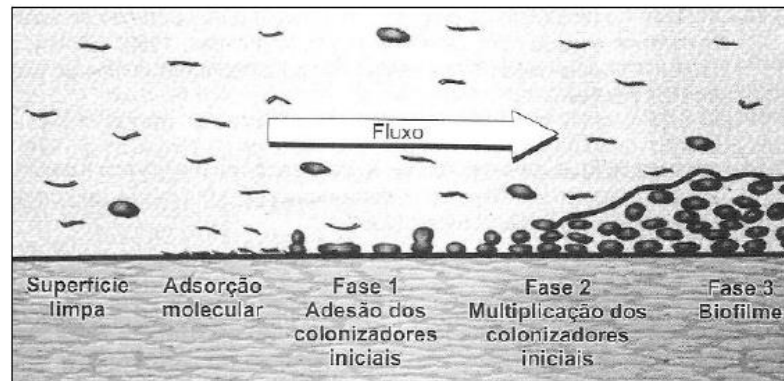
Figura 10 - Representação do *fouling* em uma membrana de ultrafiltração



(Fonte: Adaptado de BAKER, 2004)

A Figura 10 mostra como funciona a deposição de partículas nas camadas da membrana. Quando acontece na superfície é reversível, mas o *fouling* interno causa o entupimento dos poros, que é um processo irreversível na maioria dos casos.

Além do bloqueio dos poros pelas partículas, existem outras situações que propiciam o *fouling*, que são a adsorção de partículas na superfície ou na matriz da membrana, causando redução ou bloqueio total de poro, e adesão de microrganismos na superfície da membrana, produzindo um biofilme (*biofouling*) que é o caso mais comum no tratamento de esgotos. (Baker, 2004).

Figura 11 - Formação de *biofouling*

(Fonte: SCHNEIDER e TSUTIYA, 2001)

A Figura 11 mostra a formação do *biofouling* que, além de prejudicar o funcionamento do sistema e diminuir a vida útil das membranas, também pode contaminar o permeado, por conta do contato com o biofilme.

Atualmente o *fouling* é um problema inevitável nesse tipo de tratamento, mas existem algumas medidas que podem ser tomadas de forma a diminuir a frequência de acontecimento, prolongando a vida útil da membrana.

Segundo VAN DER BRUGGEN *et al.* 2003, existem dois tipos de estratégias utilizadas para redução desse problema: prevenção e remediação. Em relação a prevenção, envolve a alteração na composição das membranas, pois foi constatado em estudos, que quanto menor a rugosidade, menos suscetível ao *fouling* ela será. Porém essa alternativa ainda não pode ser considerada alcançável, pois é necessário um avanço nas pesquisas e maiores investimentos. Outro método sugerido pelo autor é o tratamento de membranas com radiação ultravioleta, que altera sua superfície dando um caráter hidrofílico. Estudos realizados por KAESELEV *et al.* 2001 e KILDUFF *et al.* 2000, mostraram que superfícies hidrofóbicas são mais suscetíveis ao *fouling* do que as hidrofílicas.

Partindo para a remediação, as medidas a serem tomadas são mais simples. A lavagem química é a mais eficiente, onde são aplicadas substâncias químicas que são escolhidas de acordo com as características do efluente. Normalmente o uso de ácidos é recomendado para remoção de sais precipitados, como  $\text{CaCO}_3$ , e bases para remover compostos orgânicos adsorvidos. Apesar da eficiência, esse tipo de lavagem possui um custo mais elevado, devido a necessidade da reposição dos reagentes químicos. Por esse fato, é utilizado o sistema de retrolavagem, onde um jato de água ou ar é lançado da saída do permeado até a entrada do efluente, criando uma pressão interna responsável por desentupir os poros da membrana. Esse

tipo de limpeza nem sempre é eficiente, muitas vezes sendo necessário combinar com a química, que se não for suficiente, o *fouling* é considerado irreversível.

A melhora do pretratamento do efluente também é uma forma eficiente de reduzir a incrustação de partículas na membrana, pois acarreta na diminuição de sólidos e coloides e também da matéria orgânica.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Caracterização da ETE Mangabeira

Este trabalho analisou amostras do efluente da Estação de Tratamento de Esgotos de Mangabeira, pertencente a CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba), e é parte do sistema de esgotamento sanitário da cidade de João Pessoa, localizada no bairro de mesmo nome. A ETE é abastecida com esgoto predominantemente doméstico, coletado dos bairros de Mangabeira, Valentina de Figueiredo e Ernesto Geisel, e tem capacidade de tratamento de uma população de 99.350 habitantes. De acordo com BARACUHY (2006), a vazão média de esgoto que chega na unidade é de 35,52l/s. Os efluentes tratados da ETE Mangabeira são despejados no rio Cuiá. A ETE Mangabeira, juntamente com a que está localizada no bairro do Roger, são responsáveis pelo tratamento de todo efluente da Grande João Pessoa, sendo responsáveis por 30% e 70%, respectivamente, do esgoto coletado. Na Figura 12 pode-se observar a vista em planta da região de lagoas da estação e a Figura 13 ilustra o esquema geral do sistema.

Figura 12 – Vista em planta da ETE Mangabeira



(Fonte: DO AUTOR, 2017)



LA – Lagoa Anaeróbia

LF – Lagoa Facultativa

Figura 13 - Vista geral da ETE Mangabeira



(Fonte: DO AUTOR, 2017)

A estação de tratamento de Mangabeira é composta por um conjunto de 3 módulos, sendo os dois primeiros constituídos por duas lagoas anaeróbias e uma facultativa, em série. O terceiro módulo conta com uma lagoa aerada seguida por uma lagoa de maturação. Precedendo essas etapas existe o tratamento preliminar, composto por grade, desarenador e um sistema de medição de vazão, a calha Parshall.

O sistema de alimentação é formado pelos emissários de recalque, caixa de distribuição, seguido da tubulação que despeja o efluente nas lagoas de cada módulo. As figuras 14 e 15 ilustram o tratamento preliminar e o sistema de alimentação da ETE

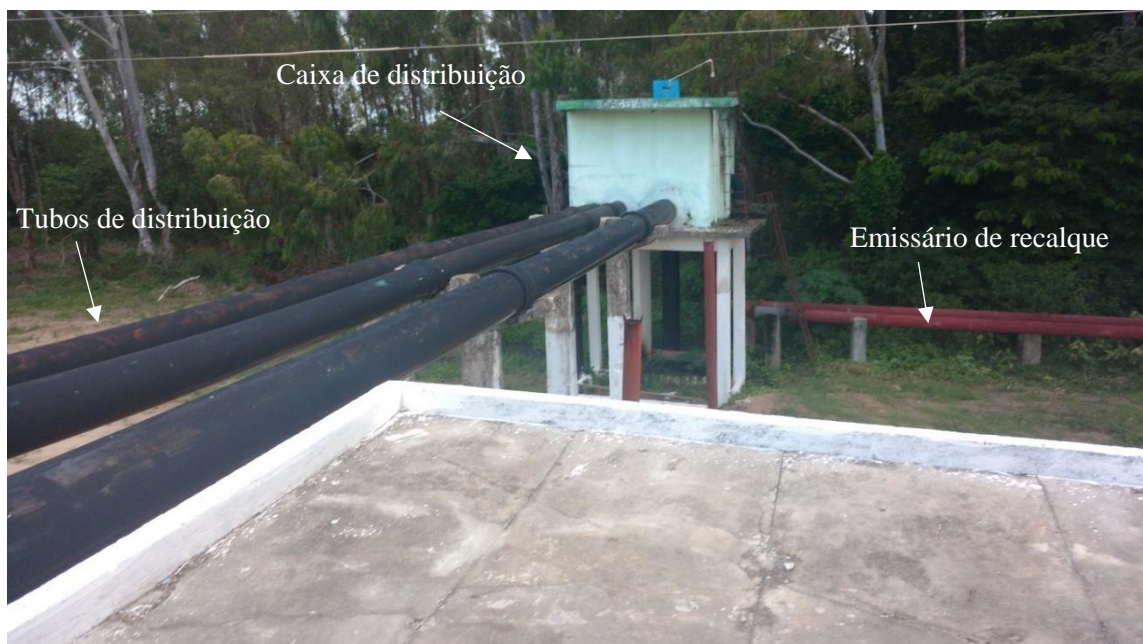
Figura 14 - Vista do tratamento preliminar



(Fonte: DO AUTOR, 2017)

O tratamento preliminar foi dimensionado com um sistema de grades de seção  $3/8 \times 1\frac{1}{2}$ " (0,95 x 3,81cm) e espaçamento de  $1\frac{1}{4}$ " (3,18cm). Posteriormente, o efluente é direcionado para o desarenador, dividido em dois canais paralelos, com dimensões de 8,25 x 1,25m cada, e altura do depósito de areia de 0,30m, considerando um período de limpeza de 15 dias. A calha Parshall tem dimensão nominal de 9" (23cm) e capacidade máxima de 132,4l/s (CAGEPA, 1981).

Figura 15 - Sistema de alimentação da ETE



(Fonte: DO AUTOR, 2017)

A figura 15 ilustra o sistema de distribuição de esgoto, composto pelas tubulações de recalque e despejo nas lagoas, ambos com diâmetro de 350mm e de ferro fundido.

Em relação aos dados construtivos e de capacidade do sistema, a Tabela 7 descreve para esses parâmetros.

Tabela 7 - Características dos módulos 1 e 2 da ETE

Características	Lagoas		
	Anaeróbia 1 (LA1)	Anaeróbia 2 (LA2)	Facultativa (LF)
Comprimento (m)	63,1	63,1	228,5
Largura (m)	63,1	63,1	140,0
Área (há)	0,4	0,4	3,2
Profundidade (m)	3,70	3,70	1,8
Volume (m <sup>3</sup> )	14800	14800	57600
Vazão (m <sup>3</sup> /dia)	8275	8275	8275
TDH (dia)	1,8	1,8	7

(Fonte: adaptado de CAGEPA (1994) *apud* BARACUHY (2006))

#### 4.1.1. Caracterização do efluente da ETE

Estudos realizados por BARACUHY (2006), através de análises estatísticas, caracterizaram o esgoto recebido pela estação de tratamento no período de março a novembro de 2005. A apresenta os dados do Esgoto Bruto (EB), Lagoa Anaeróbia 1 (LA<sub>1</sub>), Lagoa Anaeróbia 2 (LA<sub>2</sub>) e Lagoa Facultativa (LF).

Tabela 8 - Caracterização do efluente da ETE Mangabeira nas etapas de tratamento

Variável	Etapa	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	EB	264	86,2	476	140
	LA <sub>1</sub>	85	22,6	153	54
	LA <sub>2</sub>	46	13,3	74	25
	LF	26	11,2	56	12
DQO (mg/L)	EB	895	216,5	1313	471
	LA <sub>1</sub>	367	131,5	750	147
	LA <sub>2</sub>	320	106,3	618	162
	LF	290	113,4	563	123

(continuação)

Variável	Etapa	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
pH	EB	7,34	0,26	7,68	6,45
	LA <sub>1</sub>	6,82	0,16	7,11	6,27
	LA <sub>2</sub>	7,09	0,18	7,50	6,48
	LF	7,77	0,25	8,50	7,13
Temperatura (°C)	EB	29	1,29	32	27
	LA <sub>1</sub>	29	1,06	31	27
	LA <sub>2</sub>	29	1,07	31	27
	LF	29	1,49	32	27
SST (mg/L)	EB	219	72,9	380	106
	LA <sub>1</sub>	64	25,0	142	28
	LA <sub>2</sub>	62	26,2	176	30
	LF	75	30,3	172	44
SSF (mg/L)	EB	58	60,5	291	7
	LA <sub>1</sub>	15	11,3	47	1
	LA <sub>2</sub>	13	13,6	50	1
	LF	15	17,1	63	1
SSV (mg/L)	EB	163	77,2	325	20
	LA <sub>1</sub>	49	24,3	124	13
	LA <sub>2</sub>	49	27,9	148	3
	LF	61	31,2	150	13

(Fonte: BARACUHY, 2006)

#### 4.2. Descrição da planta de ultrafiltração

A planta de ultrafiltração está localizada nas proximidades do laboratório da ETE, instalada em um container com dimensões aproximadas 6,00 x 2,40m. O efluente utilizado é originário da lagoa facultativa e bombeado até uma caixa d'água próxima ao container, com capacidade de 500 litros, que está representada na Figura 16.

Figura 16 - Tanque de armazenamento de esgoto da lagoa de filtração



(Fonte: DO AUTOR, 2017)

Em seguida o efluente é direcionado para um conjunto de dois filtros de areia em série, que tem por objetivo adequar o efluente para o tratamento nas membranas de ultrafiltração. O esquema está representado na figura seguinte.

Figura 17 - Sistema de filtros de areia



(Fonte: DO AUTOR, 2017)

O efluente tratado pelos filtros de areia é direcionado para um filtro de tela metálica para remoção de partículas sólidas remanescentes. Em seguida, o efluente era armazenado no tanque de alimentação para ser bombeado no sistema de ultrafiltração, conforme a imagem abaixo.

Figura 18 - Tanque de alimentação do sistema (à direita)



(Fonte: DO AUTOR, 2017)

O sistema de ultrafiltração é composto de dois módulos idênticos e completamente independentes, tendo a possibilidade de funcionamento simultâneo para análises com variáveis diferentes. Ao sair do tanque de alimentação, o esgoto é bombeado pela tubulação e passa pela etapa de floculação, onde são adicionados coagulantes e o efluente segue para as membranas de ultrafiltração.

Figura 19 - Vista frontal e corte transversal das membranas de ultrafiltração



(Fonte: DO AUTOR, 2017)

O permeado, que é o produto final do tratamento é despejado em um tanque fora do container para análises e possível reaproveitamento. O concentrado, que é a fração não aproveitável do efluente é encaminhado para tratamento nas lagoas anaeróbias.

### 4.3. Características do filtro de areia

Os filtros de areia utilizados são do modelo Nautilus para piscina F450X e tem capacidade 6,5m<sup>3</sup>/h cada. O uso dos dois equipamentos em série tem por objetivo um efluente de maior qualidade para o tratamento nas membranas de ultrafiltração. Há uma tubulação de esgoto que recolhe a fração não aproveitada do filtro, e também água de lavagem, despejando no tanque de rejeito, como é possível observar na Figura 20. A válvula seletora de comando está sempre na posição ‘Filtrar’.

Figura 20 - Ligação dos filtros de areia



(Fonte: DO AUTOR, 2017)

### 4.4. Amostragem

As amostras foram recolhidas semanalmente, entre 8h e 10h da manhã, durante os meses de abril e maio, totalizando 7 coletas, levadas ao laboratório para análise imediata. Foram utilizadas garrafas PET limpas, com capacidade de 2 litros para recolhimento do efluente. As

amostras foram retiradas do esgoto bruto (EB), Lagoa Facultativa (EF), filtro (F) e membrana de ultrafiltração (U1) para posterior comparação de resultados.

As análises foram feitas em parte no laboratório da ETE Mangabeira e da Universidade Federal da Paraíba, devido a questões de logística com o espaço reduzido e a disponibilidade de horários e técnicos para acompanhar as análises.

As variáveis em estudo foram Temperatura (T), pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO e Nitrogênio amoniacal.

#### 4.5. Métodos Analíticos

Para caracterização dos efluentes gerados em cada etapa do tratamento, foram definidos indicadores (Tabela 9), cujos métodos de análise foram determinados por APHA *et al.* (2005).

Tabela 9 - Indicadores envolvidos na pesquisa e os métodos de análise

<b>Indicador</b>	<b>Método Analítico</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	Termômetro de mercúrio.
<b>pH</b>	Potenciométrico.
<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L)</b>	Diluição com frascos padrões de DBO, com incubação a 20°C por 5 dias.
<b>DQO (mg/L)</b>	Titulométrico
<b>Nitrogênio Amoniacal (mg/L)</b>	Titulométrico – Método de Nessler

(Fonte: APHA *et al.*, 2005)



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Análise estatística dos indicadores

A Tabela 10 apresenta os valores estatísticos das amostras coletadas de esgoto bruto (EB) na Lagoa Facultativa (LF), filtro (F) e membrana de ultrafiltração (U<sub>1</sub>).

Tabela 10 - Análise estatística dos indicadores das etapas de tratamento

Variável	Etapa	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
pH	EB	7,26	0,18	7,39	6,89
	LF	7,80	0,18	8,04	7,55
	F	7,34	0,47	7,72	6,62
	U <sub>1</sub>	6,16	1,07	7,21	4,90
Temperatura (°C)	EB	24	2,33	27,8	21,8
	LF	25	3,46	32	22
	F	24	2,61	29	22
	U <sub>1</sub>	24	2,17	28	21
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	EB	301	121,76	433	155
	LF	69	27,26	120	44
	F	55	15,41	72	37
	U <sub>1</sub>	29	14,34	40	13
DQO (mg/L)	EB	449	246,70	843	172
	LF	138,43	52	205	61
	F	102,50	56,85	183	19
	U <sub>1</sub>	30,00	16,72	85	15
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	EB	49	13,77	65	31
	LF	29	3,42	33,5	25
	F	28	2,88	33,5	25
	U <sub>1</sub>	32	4,06	37	25,50

(Fonte: DO AUTOR, 2017)

Os dados apresentados acima representam as características físico-químicas e biológicas do esgoto doméstico coletado na ETE Mangabeira ao longo de 8 semanas de estudo.

Pode-se observar uma grande alteração nos parâmetros DBO<sub>5</sub>, DQO e Nitrogênio amoniacal. Isso se deve ao fato dessas variáveis possuírem valores flutuantes de acordo com a característica do efluente gerado no momento e ao fator climático, pois nas semanas 3 e 4 foram

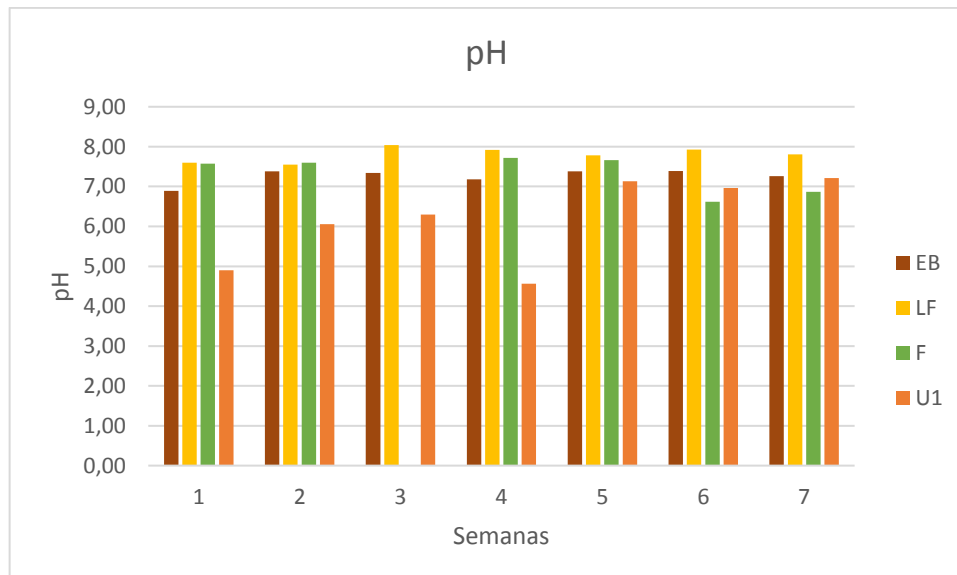
observados altos valores de precipitação na região, tendo em vista a existência de ligações pluviais na rede coletora. Sendo assim, o esgoto despejado na ETE estava bastante diluído.

## 5.2. Potencial Hidrogeniônico (pH)

A Tabela 10 ilustra os valores médios, máximos e mínimos do pH ao longo da pesquisa para as etapas de EB, LF, F, U<sub>1</sub>. Os valores máximos e mínimos foram, respectivamente, 7,39 e 6,89 para EB 8,04 e 7,55 para LF, 7,72 e 6,62 para F e, 7,21 e 4,90 para U<sub>1</sub>. Suas respectivas médias foram 7,26, 7,80, 7,34 e 6,16.

Na Figura 21, estão representadas as variações desse parâmetro ao longo das 7 semanas de amostragem. O que se observa é uma pequena variação no esgoto proveniente do filtro de areia, mantendo-se em uma faixa próxima a neutralidade. No caso do efluente da lagoa facultativa, o pH alcança valores próximos de 8, devido a ação fotossintética de algas e cianobactérias, que consomem o gás carbônico dissolvido, elevando o pH. A explicação para os baixos valores do permeado da membrana de ultrafiltração está no tipo de flocculantes utilizados, que foi o caso do Cloreto de Ferro III, substância com pH altamente ácido.

Figura 21 - Variações dos valores de pH durante o período de análise

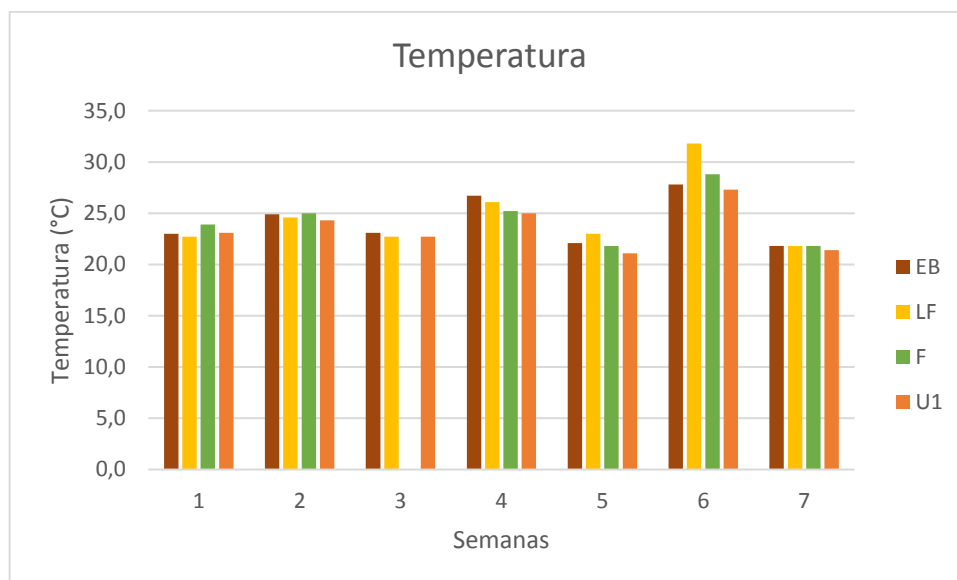


### 5.3. Temperatura

De acordo com a Tabela 10, a temperatura média foi de 24°C para o esgoto bruto, 25°C para LF e 24°C para os efluentes F e U<sub>1</sub>. Esses valores estão um pouco abaixo dos dados de BARACUHY (2006), mas isso se deve ao fato do estudo ser realizado em um período de baixas temperaturas e chuvas na região. Ainda assim, se mantêm na faixa média para regiões de clima tropical.

É de fundamental importância conhecer os valores de temperatura do efluente nas etapas de tratamento, pois é um fator determinante na ação e eficiência na ação de microrganismos e na velocidade dos processos bioquímicos

Figura 22 - Variações dos valores de pH durante o período de análise



### 5.4. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>)

De acordo com a Tabela 10, os valores médios obtidos para DBO<sub>5</sub> foram, 301 no EB, 69mg/L na LF, 55mg/L no F, e 29mg/L na U<sub>1</sub>, com valores máximo e mínimos de 433 e 155mg/L, 120mg/L e 44mg/L, 72mg/L e 37mg/L e, 40mg/L e 13mg/L, para EB LF, F e U<sub>1</sub>, respectivamente.

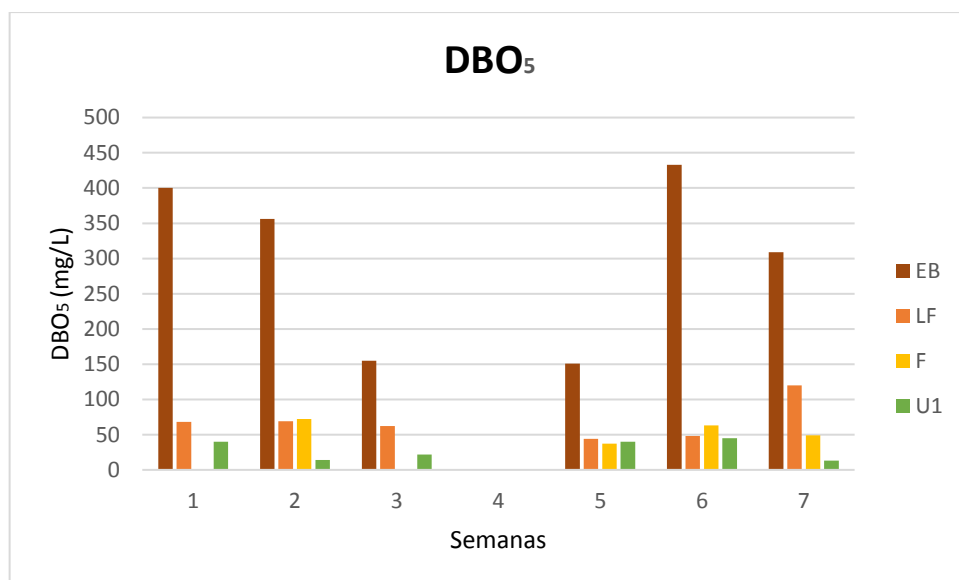
A Figura 23 traz uma análise comparativa dos dados de DBO<sub>5</sub> entre os métodos de tratamento. Observa-se uma concentração muito alta de matéria orgânica no efluente bruto, resultado já esperado. Com relação às amostras da lagoa facultativa, comprova-se a efetividade

desse método na remoção de matéria orgânica, enquanto no filtro de areia não houve variação significativa nos seus resultados, demonstrando uma baixa remoção por parte do filtro.

A ultrafiltração alcançou valores dentro da faixa esperada, mostrando uma grande capacidade por parte das membranas na redução da DBO.

Com relação a coleta 4, não foram apresentados dados, devido a problemas na rede elétrica da UFPB, totalizando 24h sem energia, o que prejudicou no prosseguimento do ensaio, descaracterizando as amostras.

Figura 23 - Variações da DBO ao longo do período de coleta



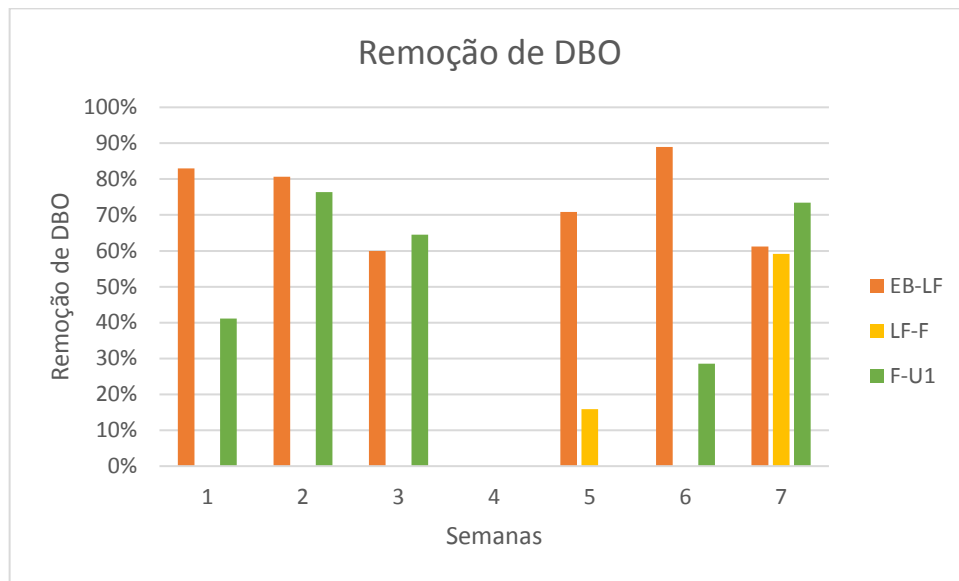
A Figura 24 ilustra os gráficos comparativos de capacidade de remoção de DBO ao longo dos métodos de tratamento. As análises comparativas foram realizadas entre EB-LF, LF-F e F-U<sub>1</sub>.

Os resultados exprimem uma eficiência média de remoção de 77,08% na lagoa facultativa. Porém, nas semanas 3 e 5, o esgoto despejado na ETE já estava com valores baixos de DBO, tendo como causa provável as chuvas na semana de coleta, fato que diminuiu a taxa de remoção nas etapas subsequentes. Esse parâmetro alcançou uma remoção semelhante à encontrada por BARACUHY (2006).

A ausência de dados referentes à remoção pelo filtro de areia nas semanas 1, 2 e 6, significam que a remoção foi insignificante, ou inexistente, nessa etapa. As semanas consideradas não apresentaram taxas satisfatórias.

A remoção por parte da membrana de ultrafiltração obteve bons resultados, com exceção da amostra 6.

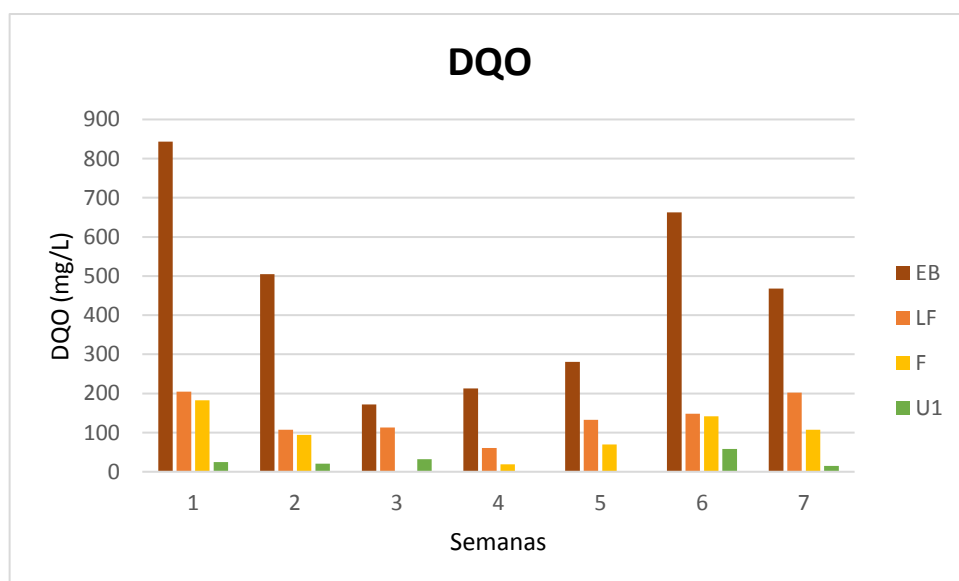
Figura 24 - Comparativo da remoção de DBO ao longo do tratamento



### 5.5. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Os dados apresentados na Tabela 10 descrevem a variação de DQO ao longo período de análises. Os valores médios obtidos para EF, LF, F e U<sub>1</sub>, foram, 449, 138, 103 e 39mg/L, respectivamente. A Figura 25 representa a variação dos níveis de DQO ao longo das semanas de monitoramento.

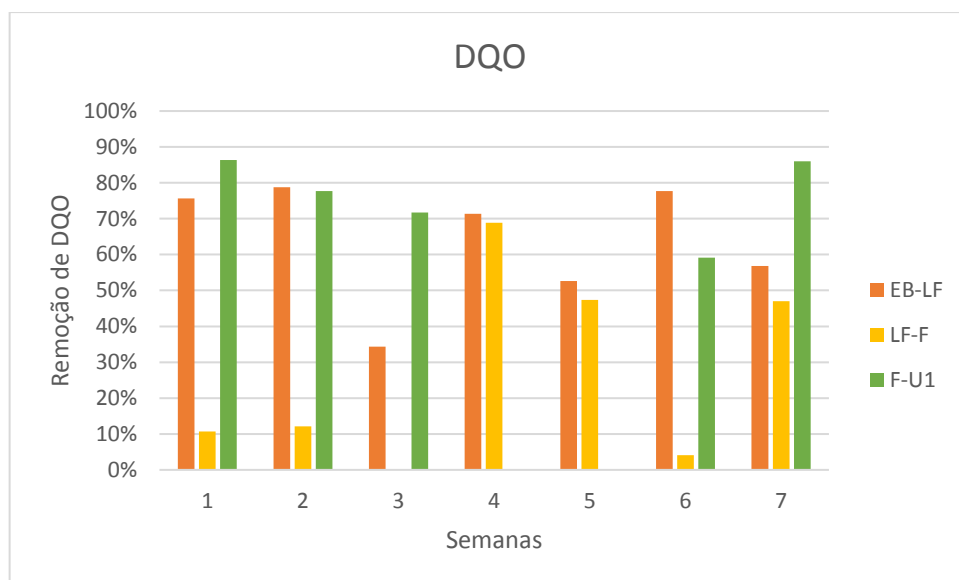
Figura 25 - Variação de DQO ao longo do período de coleta



Analisando comparativamente os valores de DQO obtidos após cada etapa de tratamento, percebe-se que o comportamento foi o esperado, com uma redução gradual do parâmetro ao longo dos níveis do processo. Com exceção das semanas 4 e 5, onde a remoção pela membrana de ultrafiltração foi considerada inexistente, mas esse fato se deve ao efluente

A relação DQO/DBO do esgoto bruto foi de 1,49, evidenciando um elevado valor de matéria orgânica em relação à fração de material inerte, contrastando com o valor de 3,39 obtido por BARACUHY (2006).

Figura 26 - Comparativo de remoção de DQO ao longo do tempo



A lagoa facultativa apresentou uma remoção média de 69,20% da fração química do esgoto bruto. Esse valor é semelhante ao encontrado por Baracuhy (2006), confirmando a literatura quanto à eficiência das lagoas anaeróbias e facultativas.

O filtro não apresentou um comportamento definido na remoção de DQO, devido às variações bruscas nos valores em um pequeno número de amostras.

No entanto, a membrana ultrafiltrante apresentou uma média de 70,74% de eficiência nesse parâmetro, sendo considerada uma taxa satisfatória.

## 5.6. Nitrogênio amoniacal

A Tabela 10 apresenta os parâmetros estatísticos dos dados de nitrogênio amoniacal nas amostras. Os valores médio, máximo e mínimo de EB, LF, F e U<sub>1</sub> são, respectivamente, 49; 65

e 31mg/l, 29; 33,5 e 25mg/l, 28; 33,5 e 25mg/l e, 32; 37 e 25,5mg/l. Na Figura 27, é possível analisar a variação de nitrogênio no efluente, ao longo das etapas de tratamento.

A Figura 27 mostra a concentração de nitrogênio amoniacal após cada processo de descontaminação. A lagoa facultativa foi a única etapa capaz de tratar o efluente na remoção desse parâmetro, devido à ação das algas, assimilando a amônia e, provocando elevação do pH do líquido, tornando o ambiente favorável para volatilização desse composto. Nas semanas 3, 4 e 5 os valores não tiveram grande alteração devido ao esgoto bruto já apresentar valores reduzidos.

Figura 27 - Variação de nitrogênio amoniacal ao longo de todo período de estudos

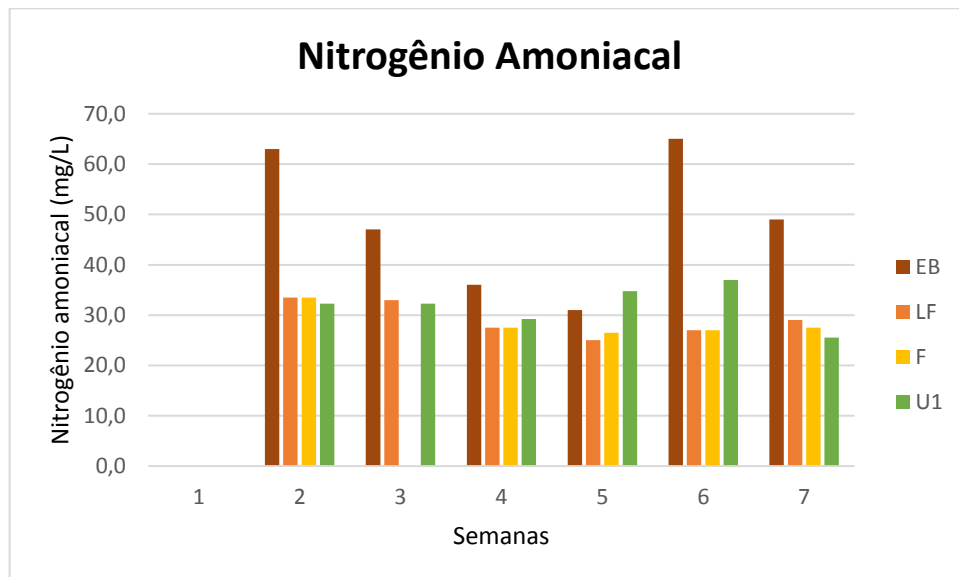
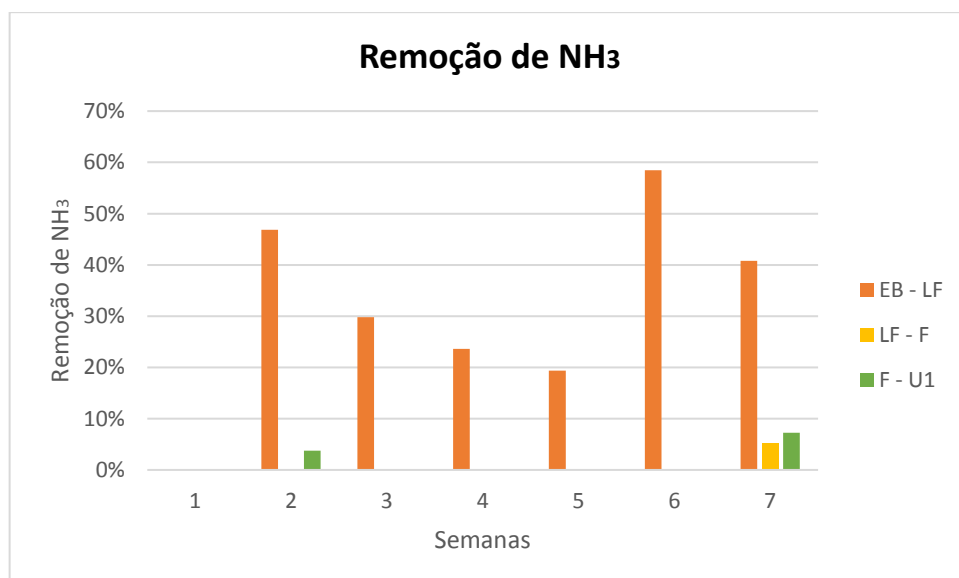


Figura 28 - Comparativo de remoção de nitrogênio amoniacal ao longo do tempo



A Figura 28 ilustra a efetividade das lagoas de estabilização na remoção de alguns tipos de nutrientes, como o nitrogênio, fato que não pode ser constatado pelas etapas subsequentes, confirmando a literatura sobre esse tipo de tratamento.

Os resultados da membrana de ultrafiltração foram semelhantes ao valor de 30,3mg/l encontrado por Ravazzini (2005), comprovando o fato da ultrafiltração não ser capaz de remover nutrientes e íons.

O filtro mais uma vez não apresentou resultados satisfatórios, tendo em vista que nas semanas 1, 2, 3, 5 e 6 a remoção foi considerada nula e apenas 2% na última coleta.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As lagoas de estabilização confirmaram a boa efetividade na remoção de matéria orgânica e nutrientes do esgoto doméstico despejado na ETE Mangabeira. Bem como a membrana de ultrafiltração também obteve resultados satisfatórios na remoção de DBO e DQO, mostrando ser uma alternativa de pós-tratamento de efluentes.

No entanto, o filtro de areia, que é o objeto de estudo, não se mostrou eficiente no sentido de adequar o efluente das lagoas de estabilização para a ultrafiltração, de modo a evitar a formação de biofilme e entupimento dos poros da membrana. Nos testes de DQO, foram obtidos valores satisfatórios em 2 análises, porém não se pode adotar como confiáveis. Para os parâmetros de DBO e Nitrogênio amoniacal, a remoção foi considerada insignificante.

Outros ensaios, como os de ST, SST e COT são importantes para uma melhor caracterização do produto final do filtro, mas devido à problemas de disponibilidade dos laboratórios e o curto período de tempo de coleta não foi possível realizá-los.

Em relação ao número de amostras, é necessário um número maior, para que haja uma determinação ainda mais confiável do comportamento do filtro de areia para o tratamento desse tipo de efluente. Isso não foi possível por conta de problemas de logística e instalação da planta de ultrafiltração na ETE Mangabeira, o que postergou o início das análises.

Durante o tempo de estudo foi necessário realizar uma limpeza na membrana de ultrafiltração, mostrando que em um curto período de funcionamento as membranas foram sobrecarregadas, ressaltando a importância de outro tipo de tratamento para adequar o efluente para a planta.

Ao final de todas as análises, observa-se que o esgoto tratado na ETE ainda possui uma grande concentração de contaminantes, como matéria orgânica e nutrientes, como o nitrogênio. Para que haja uma melhora na qualidade do produto final, pode-se recomendar a implantação de uma lagoa de maturação, que possui eficiência comprovada na redução desses parâmetros, ou a instalação de outro tipo de membrana (microfiltração), como barreira para os compostos prejudiciais na ultrafiltração.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

\_\_\_\_\_. **NBR 13969**: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 6023**: Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

ACERO, J, L; BENITEZ, J, B; LEAL, A, I; REAL, F, J; TEVA, F. **Membrane filtration technologies applied do municipal secondary effluents for potential reuse**. Journal of Hazardous Materials, Spain, 9 p, 2009.

AQUINO, A de. **As diferenças entre nanofiltração, ultrafiltração, microfiltração e osmose reversa**. [Editorial]. Revista MF, n° 53, novembro/dezembro, 2011.

ASSIS, L, R de. **Avaliação do impacto em corpos d'água devido ao lançamento de resíduos uma estação de tratamento de água de Juiz de Fora – MG**. 2014.61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária) – Faculdade de Engenharia da Universidade Federal Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

BAKER, R, W. **Membrane Technologies and applications**. John Wiley and Sons, Ltd, 2004. 545 p.

BARACUHY, M, P. **Desempenho operacional do módulo 2 da estação de tratamento de esgotos de mangabeira na grande João Pessoa**. 2006. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

BETTIOL, W; CAMARGO, O, A de. **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 347 p.

CASSANO, A; MOLINARI, R; ROMANO, M; DRIOLI, E. **Treatment of aqueous effluents of the leather industry by membrane processes**. Journal of Membrane Science, Italy, 16 p, 2000.

COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE – CAERN. **Tratamento de esgoto**. Disponível em <  
<http://www.caern.com.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=12037&ACT=null&PAGE=0&PARM=null&LBL=null>>. Acesso em 21 de maio de 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em 20 de maio de 2017.

FREITAS, L, A de. **Avaliação das concentrações de nutrientes (N e P) no módulo II da estação de tratamento de esgotos de mangabeira na grande João Pessoa - PB.** 2006. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

GHIGGI, F, F. **Tratamento de águas para consumo doméstico com membranas de ultrafiltração.** 2011.39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

HABERT, A, C; BORGES, C, P; NÓBREGA, R. **Processos de separação por membranas.** E-Papers Serviços Editoriais, 2006, 181 p.

HESPANHOL, I **Potencial Reúso da água no Brasil. Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos.** São Paulo, v. 7, n. 4, 21 f, 2002

JARUSUTTHIRAK, C; AMY, G; CROUÉ, J-P. **Fouling characteristics of wastewater effluent organic matter (EfOM) isolates on NF and UF Membranes.** Toulouse, France. 9 p, 2002.

MARCUCCI, M; NOSENZO, G; CAPANNELLI, G; CORRIERI, D; CIARDELLI, G. **Treatment and reuse of textile effluents based on new ultrafiltration and other membrane technologies.** Journal of Membrane Science, Italy. 8 p, 2001.

MOTTA, A, R, P da; MORAIS, J, T, G; OLIVEIRA-ESQUERRE, K, P; KIPERSTOK, A. **O fouling no tratamento de águas e efluentes através de processos de membranas: o estado da arte em estudos do fenômeno e tecnologias e estratégias para superação do problema.** Salvador, 5 p, 2010.

OLIVEIRA, B, C de. **Tratamento de Esgotos: Proposta de projeto mais sustentável,** 2013.94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

PELEGRIN, D, C. **Microfiltração tangencial de efluente sanitário após tratamento biológico**. 2004.131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO – PROSAB. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro, 1999.

PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO – PROSAB. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. Rio de Janeiro: Editora Rima, 2003. 498 p.

PROJETO BRAMAR. **Objetivos Específicos**. Disponível em <<http://www.bramar.net/pt/projeto/objetivos-especificos>>. Acesso em 19 de maio de 2017.

RAVAZZINI, A, M. *et al.* **Direct ultrafiltration of municipal wastewater: comparison between filtration of raw sewage and primary clarifier effluent**. Desalination, v. 178, p. 51-62, 2005.

REDE DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO AMBIENTAL – RECESA. **Processos de tratamento de esgoto: Guia do profissional em treinamento**. Brasília, 2008.

RODRIGUES, J; CHIAPPETTA, J, M, M; MENDONÇA, C, E, G. **Eficiência do tratamento biológico de efluentes domésticos, através da remoção parcial da matéria orgânica na forma de DBO, na CNAAA**. São Luís, 1 p, 2011.

SABESP. **Sólidos: métodos de ensaio, NTS 013**. São Paulo, 1999. 12 p.

SELLA, B, C. **Reuso de águas cinzas: avaliação da viabilidade da implantação do sistema em residências**, 2011.87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SILVA, L, P de, A. **Utilização de membranas no pós-tratamento de esgoto para reuso do permeado e aproveitamento do concentrado**. 2014.128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

TCHOBANOGLIOUS; G, BURTON, F, L; STENSEL, H, D. **Wastewater Engineering: Treatment and reuse**. McGraw-Hill Education, 2003. 2018 p.

TONETTI, A, D. **Pós-tratamento de efluente anaeróbio por filtros de areia.** 2004.140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

VAN DER BRUGGEN, B; VANDECASTEELE, C; VAN GESTEL, T, LEYSEN, R. **A review of pressure-driven membrane processes in wastewater treatment and drinking water production.** v. 22, n. 1, 11 p, 2003.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias:** Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 1995. 243 p.