

**BERNARDO BONA VIGO BOSA**

**TRATAMENTO DE EFLUENTE ORIUNDO DA PRODUÇÃO  
DE PROTETOR SOLAR**

Passo Fundo

2022

BERNARDO BONAVIGO BOSA

**TRATAMENTO DE EFLUENTE ORIUNDO DA PRODUÇÃO  
DE PROTETOR SOLAR**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentada ao curso de Engenharia  
Ambiental da Universidade de Passo  
Fundo.

Orientador: Vandré Brião

ORIENTADOR



Prof. Dr Vandré Barbosa Brião - UPF

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Edesnei Barbosa Brião – UPF



Prof. Dr. Marcelo Hemkemeier - UPF

Passo Fundo

2022

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer primeiramente ao meu orientador Vandr  Brião por conduzir de forma magistral as orienta es prestadas a mim para o desenvolvimento deste trabalho, sanando todas as minhas d vidas e dando suporte toda vez que acionado. Agradecer aos funcionários do Laboratório de Opera es Unitárias, em especial a estagiária Taune Lazzari que me acompanhou em inúmeros ensaios laboratoriais, me auxiliando e explicando cada processo necessário, agradecer a Fernanda Oliveira por todo o auxílio quando também foi necessário. Quero também estender um agradecimento especial a Universidade de Passo Fundo por fornecer toda a estrutura necessária para o desenvolvimento do trabalho, por acreditar em seus alunos e por manter a qualidade de ensino.

AUTOR Bernardo Bonavigo Bosa. **Título: Tratamento de Efluente Oriundo da Produção de Protetor Solar.** Ano. 2022 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 2022.

## RESUMO

Efluentes provindos da fabricação de cosméticos possuem duas características peculiares quanto a outros efluentes industriais, além de grandes poluidores devido a alta carga química presente neles os efluentes provindos da fabricação de cosméticos apresentam grande dificuldade de tratamento devido ao seu alto custo. Por ser um mercado em constante expansão, as indústrias estão sempre à procura de novas tecnologias, muitos desses efluentes não possuem um tratamento adequado e assim podem apresentar imprevisibilidades ao serem tratados. A utilização do método de Osmose Inversa para este caso se dá devido a sua alta capacidade de remoção de micropoluentes sem aumentar a quantidade de subprodutos indesejados tornando o processo mais simples e próximo dos resultados almejados, além de remover coloides nos efluentes tornando-o clarificado novamente.

Abordaremos o tratamento de efluente da produção de protetores solares de uma empresa de cosméticos. O efluente possui uma cor esbranquiçada, com alta turbidez, cloretos totais, além de uma DQO extremamente alta. Por tanto, será utilizado o processo de separação por Osmose Inversa ao efluente em duas situações de pressão, a 100 e 150 psi e após coletado seu permeado para então buscar através de tratamentos físico-químicos uma diminuição destes parâmetros enfim poder retorna-lo aos recursos hídricos ou até encaixar em algum tipo de reuso dentro da indústria. Os ensaios praticados de Osmose Inversa apresentaram uma ótima remoção dos parâmetros analisados, enquanto que a coagulação com concentração de 5 mg/L de PAC 18% para o ensaio físico-químico também apresentou ótima redução em alguns dos parâmetros analisados, enquanto que outras não foi tão eficiente, sendo Cor de 365 HZ do bruto reduziu para 5 HZ na pressão de 100 psi, totalizando uma redução de 99% e 10 HZ para a pressão de 150 psi, totalizando 97% de redução nos ensaios de OI enquanto que o físico-químico apresentou um índice de 65 HZ dando uma redução de 82%. A Turbidez de 391 NTU inicial do bruto reduziu para 0 NTU na pressão de 100 psi, totalizando 100% de redução, e para a pressão de 150 psi apresentou um índice de 1,01 NTU, totalizando uma redução de 99%. Já para o físico-químico apresentou um índice de 28 NTU, uma redução de 93%. O parâmetro de Matéria Orgânica (mg/L) para o efluente bruto caracterizado com concentração de 777,03 mg/L, após o ensaio de OI apresentou uma concentração de 77,49 mg/L para ambas as pressões, totalizando uma redução de 90%. O tratamento físico-químico apresentou uma redução para

759,83 mg/L de Matéria Orgânica, totalizando apenas 2% de remoção. O parâmetro de Fenólicos (mg/L) apresentou um índice de 78,83 mg/L para o bruto, e após os ensaio de OI para a pressão de 100 psi obtivemos um valor de 12,96 mg/L, totalizando uma redução de 84%, enquanto que para a pressão de 150 psi obtivemos um valor de 5,4 mg/L totalizando uma redução de 93%. O tratamento físico-químico apresentou uma concentração de 3,24 mg/L, uma eficácia de 96%. Os Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L) do bruto apresentaram uma concentração de 996 mg/L e após o ensaio de OI para a pressão de 100 psi obtivemos 100% de remoção dos sólidos, enquanto que para a pressão de 150 psi obtivemos uma concentração de 20 mg/L, totalizando uma redução de 98%. O ensaio físico-químico apresentou uma concentração de 576 mg/L de Sólidos, uma eficácia de 42%. A Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) do efluente bruto apresentou um índice de 741,79  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e após o feito os ensaios de Osmose Inversa, para a pressão de 100 psi apresentou um valor de 13  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e para a pressão de 150 psi apresentou um valor de 14  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , totalizando uma retenção de sais de 98%. O teste físico-químico apresentou um índice de 628  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , uma baixa eficácia de apenas 15% de redução. Os níveis de pH mantiveram-se uma faixa ótima, uma vez que o efluente bruto apresentou pH de 4,84 onde o físico-químico apresentou pH de 7,99 enquanto que os permeados de OI, para a pressão de 100 psi apresentou pH de 8,52 e para a pressão de 150 psi apresentou pH de 6,85, deste modo, não é necessário efetuar correção dos níveis de pH.

**Palavras-chaves: tratamento de efluentes, osmose, crescimento, cor, turbidez, matéria orgânica, fenólicos, remoção, redução.**

Author: Bernardo Bonavigo Bosa. Title: **Tratament of Effluent from the Production of Sunscreen**. Year: 2022. Page numbers 53. Course: Environmental Engineering, University: Univesity of Passo Fundo, 2022.

### **ABSTRACT**

Effluents from cosmetics manufacturing have two peculiar characteristics when compared to other industrial effluents, besides being pollutants due to their high chemical load, effluents from cosmetics manufacturing are very difficult to treat due to their high cost. As it is a market in constant expansion, industries are always looking for new technologies, many of these effluents do not have an adequate treatment and thus can present unpredictable problems when treated. The use of the Reverse Osmosis method for this case is due to its high capacity to remove micropollutants without increasing the amount of unwanted by-products, making the process simpler and closer to the desired results, besides removing colloids in the effluent, making it clearer again.

We will discuss the treatment of the effluent from the production of sunscreens in a cosmetics company. The effluent has a whitish color, with high turbidity, total chlorides, and an extremely high COD. Therefore, it will be used the process of separation by reverse Osmosis to the effluent in two pressure situations, at 100 and 150 psi and after collected its permeate to then seek through physical-chemical treatments a decrease in these parameters in order to be able to return it to water resources or even fit into some kind of reuse within the industry. The tests performed with Reverse Osmosis presented an excellent removal of the parameters analyzed, while the coagulation with a concentration of 5 mg/L of PAC 18% for the physicochemical test also presented an excellent reduction in some of the parameters analyzed, while others were not so efficient, being Cor from 365 HZ of the crude reduced to 5 HZ at the 100 psi pressure, totaling a 99% reduction and 10 HZ for the 150 psi pressure, totaling 97% reduction in the OI trials while the physicochemical showed an index of 65 HZ giving an 82% reduction. The initial 391 NTU turbidity of the crude reduced to 0 NTU at 100 psi pressure, with a 100% reduction, and for the 150 psi pressure it presented an index of 1.01 NTU, with a 99% reduction. As for the physicochemical one, it presented an index of 28 NTU, a reduction of 93%. The Organic Matter parameter (mg/L) for the raw effluent characterized with a concentration of 777.03 mg/L, after the OI test presented a concentration of 77.49 mg/L for both pressures, totaling a reduction of 90%. The physicochemical treatment presented a reduction to 759.83 mg/L of Organic Matter, totalizing only 2% of removal. The Phenolics parameter (mg/L) presented an index of 78.83 mg/L for the crude, and after the OI tests for the 100 psi pressure we obtained a

value of 12.96 mg/L, totaling a reduction of 84%, while for the 150 psi pressure we obtained a value of 5.4 mg/L totaling a reduction of 93%. The physical-chemical treatment presented a concentration of 3.24 mg/L, an efficacy of 96%. The Total Dissolved Solids (mg/L) of the crude presented a concentration of 996 mg/L and after the OI test for the 100 psi pressure we obtained 100% removal of solids, while for the 150 psi pressure we obtained a concentration of 20 mg/L, totaling a 98% reduction. The physicochemical test showed a concentration of 576 mg/L of Solids, an efficiency of 42%. The Electrical Conductivity ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) of the raw effluent showed an index of 741.79  $\mu\text{S}/\text{cm}$  and after the reverse osmosis tests were done, for the pressure of 100 psi it showed a value of 13  $\mu\text{S}/\text{cm}$  and for the pressure of 150 psi it showed a value of 14  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , totaling a salt retention of 98%. The physicochemical test showed an index of 628  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , a low efficiency of only 15% reduction. The pH levels remained in an optimal range, since the raw effluent presented a pH of 4.84 where the physicochemical presented a pH of 7.99 while the OI permeates, for the 100 psi pressure presented a pH of 8.52 and for the 150 psi pressure presented a pH of 6.85, thus, it is not necessary to perform correction of the pH levels.

**Key-words: COD, treatment, effluent, cosmetics, color**

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1: Processo de Filtração por Osmose .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 2: Detalhes da Estrutura de Poliamida .....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 3: Diâmetro de Moléculas / Compostos Encontrados em H<sub>2</sub>O.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 4: Tipos de membranas, tamanho dos poros e dimensões de compostos encontrados na água.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 5: Pressão utilizada e dimensões de partículas removidas por categorias de filtração ....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 6: Configurações comuns dos módulos de membranas .....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 7: Estrutura do módulo de membrana inversa .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 8: Diferença do fluxo tangencial e perpendicular .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 9: Esquema dos principais tipos de membranas sintéticas .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 10: Padrões de Emissão deliberados pela CONAMA 357 .....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 11: Parâmetros Orgânicos CONAMA 430 .....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 12: Padrões de emissão de efluente tratado em corpos receptores segundo a CONSEMA 181 no estado de Santa Catarina.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 13: Fluxograma e Metodologia do Estudo.....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 14: Gráfico da Determinação do Fluxo de Filtração .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 15: Comparativo da redução de cor entre o efluente bruto e os permeados da membrana e coagulação com PAC 18%.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 16: Comparativo da redução de turbidez do efluente bruto com os permeados pela membrana e coagulação com PAC 18% .....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 17: Teor de remoção de Matéria Orgânica entre o efluente bruto e os permeados pela membrana e coagulação com PAC 18% .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 18: Comparativo do teor de remoção de Fenólicos entre o efluente bruto e os permeados pela membrana coagulação com PAC 18% .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 19: Aferições de pH do efluente bruto, dos permeados da membrana e da coagulação com PAC 18%.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 20: Demonstrativo de remoção de Sólidos Dissolvidos Totais entre o efluente bruto e os permeados pela membrana e coagulação com PAC 18%.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 22: Comparativo da Condutividade Elétrica do efluente bruto com os permeados da membrana e da coagulação com PAC 18% .....</b>	<b>47</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1: Tabela das vantagens e desvantagens do formato espiral .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabela 2: Incertezas associadas a cada faixa de leitura de cor .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 3: Incerteza associada a cada faixa de leitura de turbidez.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabela 4: Caracterização do efluente bruto, dos permeados da osmose inversa obtidos nas pressões 100 psi (680 kPa) e 150 psi (1034,2 kPa) e do efluente obtido por tratamento físico-químico .....</b>	<b>39</b>

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
	<b>1.1</b> Objetivo Geral .....	13
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	14
	<b>2.1</b> Tratamento Físico-Químico com PAC 18% .....	14
	<b>2.2</b> Osmose Inversa.....	14
	<b>2.2.1</b> Bases Teóricas.....	16
	<b>2.2.2</b> Composição das membranas .....	18
	<b>2.3</b> Membranas e o Processo de Separação.....	18
	<b>2.4</b> Efluentes da Fabricação de Cosméticos .....	24
	<b>2.5</b> Tratamento dos Efluentes da Indústria de Cosméticos .....	25
	<b>2.6</b> Resolução CONAMA 357, CONAMA 430 e CONSEMA 181 Santa Catarina.....	26
<b>3.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	29
	<b>3.1</b> Metodologia de estudo .....	29
	<b>3.2</b> Local do Estudo .....	29
	<b>3.3</b> Matéria Orgânica .....	29
	<b>3.4</b> Fenólicos.....	31
	<b>3.5</b> Cor e Turbidez.....	33
	<b>3.5.1</b> Cor .....	33
	<b>3.5.2</b> Turbidez .....	34
	<b>3.6</b> Condutividade Elétrica .....	35
	<b>3.7</b> Potencial Hidrogeniônico (pH).....	36
	<b>3.8</b> Sólidos Dissolvidos Totais.....	36
	<b>3.9</b> Tratamento Físico-Químico com Teste de Jar-Teste .....	37
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	39
	<b>4.1</b> Fluxo do Permeado.....	40
	<b>4.2</b> Cor .....	41
	<b>4.3</b> Turbidez .....	42
	<b>4.4</b> Matéria Orgânica .....	42
	<b>4.5</b> Fenólicos.....	43
	<b>4.6</b> Potencial Hidrogeniônico (pH).....	45
	<b>4.7</b> Sólidos Dissolvidos Totais.....	45
	<b>4.9</b> Condutividade Elétrica .....	46
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	48

<b>6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	49
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	50

## 1. INTRODUÇÃO

A da indústria de cosméticos no Brasil tem apresentado um crescimento de aproximadamente 10% anualmente, visto que esse aumento se dá devido à alta gama de procura por novas fórmulas e substâncias que dentro da indústria procuram idealizar produtos que mantenham a aparência jovem ou até mesmo que tragam um rejuvenescimento e beneficiamento de seus usuários (ABIHPEC, 2015). Estas práticas por novas substâncias e fórmulas trás diferentes tipos de efluentes, os quais muitas vezes não possuem uma forma de tratamento totalmente adequada e também um alto custo para a indústria, seja para seu próprio tratamento ou até mesmo o seu descarte correto, uma vez que o descarte inadequado destes produtos também traz danos ao meio ambiente quando despejados em esgoto doméstico após seu uso (TOOLS et al., 2009). O efluente em questão apresenta características peculiares, difíceis de encaixarem em tratamentos simples e de fácil aplicação.

A Osmose Inversa é definida como um processo onde o fenômeno da osmose é invertido pela aplicação de uma pressão superior a sua pressão osmótica do efluente em contato com uma membrana semipermeável (Ramos, 2008).

Este processo com membranas não envolve mudança de fases e nem da adição de aditivos químicos. São de certa forma simples no quesito de operação, esta operação apresenta baixo custo de energia, modesto uso de matéria prima, além de fácil modulação e aplicação em escala (Awadalla, Striez, & Lamb, 1994; Chang, 1996),

O método também possui alguns pontos negativos que devem ser citados, como a fragilidade das membranas e a colmatação na sua superfície. Uso de pressão elevadas, paradas para limpeza do sistema e todas as limitações práticas do nível máximo de concentração atingido também são algumas das desvantagens deste processo.

Além da aplicação da Osmose Inversa preliminarmente sobre o efluente, também foi analisado a aplicação de tratamento físico-químico através de ensaios de jar-testes utilizando PAC 18% para formação de floco e clarificação do efluente e posteriormente a aplicação da Osmose Inversa ao sobrenadante coletado afim de identificar maior remoção de poluentes presentes no efluente.

O método de remoção de compostos químicos utilizando processos de separação por membranas é uma atividade eficaz na remoção de micropoluentes em efluentes (LUO et al., 2014; COUTO et al., 2020; SONG et al., 2020). Desta forma a utilização da Osmose Inversa para o tratamento de efluente oriundo da produção de cosméticos pode ser uma alternativa viável uma vez que os percentuais de remoção demonstrados foram satisfatórios.

## **1.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como objetivo analisar a capacidade de remoção de poluentes em efluente de produção de protetor solar através do método de Osmose Inversa e tratamento físico-químico com Policoreto de Alumínio 18% (PAC) afim de enquadrar na legislação para o seu lançamento em corpos hídricos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Tratamento Físico-Químico com PAC 18%

O policloreto de alumínio, também conhecido por PAC, sua abreviatura, é um coagulante inorgânico polimerizado catiônico de baixo peso molecular e pré-polimerizado, apresentado na forma líquida e de aspecto viscoso, o mesmo possui cadeias de polímeros pré-formadas que contem alta concentração de carga catiônica em sua unidade polimérica. É um composto que apresenta capacidade de formação de flocos com uma velocidade superior aos coagulantes tradicionais, o que garante que os flocos possuam maior densidade e dessa forma haja precipitação de forma mais rápida (CARDOSO, 2006).

O PAC possui geralmente uma fórmula de:  $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$ , com adições de pequenas quantias de outros compostos, basicidade é representada pela relação  $m/3n$ , dessa forma o mesmo libera menor quantidade de ácido em sua hidrólise ao comparado com o sulfato de alumínio ferroso, por consequência disso, ocorre uma menor variação de pH do efluente tratado reduzindo a quantidade de neutralizante em caso de correção de pH. O PAC apresenta vantagens em relação a outros coagulantes devido sua maior concentração de elemento ativo ( $Al_2O_3$ ), trabalhando em uma faixa mais ampla de pH, compreendida entre 6 e 9 (CARDOSO, 2006).

### 2.2 Osmose Inversa

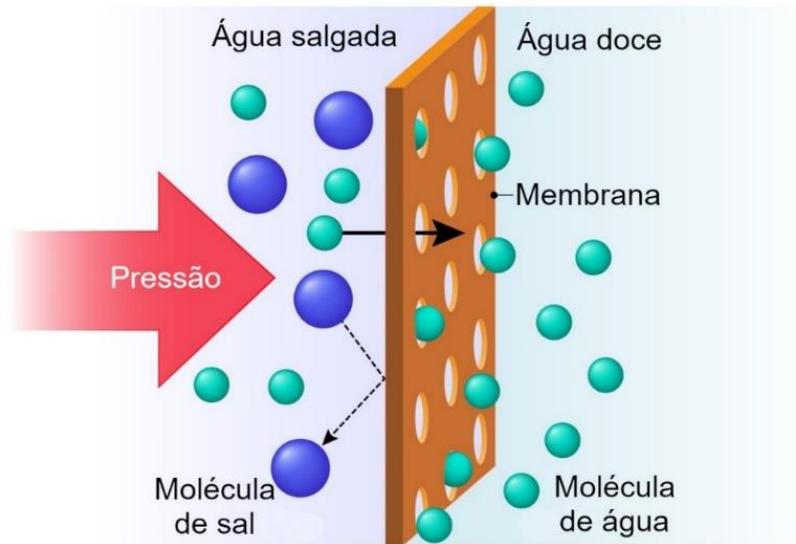
A tecnologia de separação de solutos da água não é uma descoberta recente, no ano de 1931 foi gerada a primeira patente sobre essa tecnologia de membranas, sua primeira aplicação foi na dessalinização de águas, cuja foi denominada Osmose Inversa (A.G Horvath, Water Softening, US Patente 1,825,631 (September, 1931)). Em 1959, Reid e Breton utilizaram membranas de acetato de celulose com uma espessura de 5 até 20  $\mu m$  que reduziram o fluxo para níveis baixos e alcançou uma remoção de 98%. Utilizando novas tecnologias para avançar o desenvolvimento das membranas, Reid e Breton desenvolveram membranas anisotrópicas de acetato de celulose, a utilização desse material aumentou o fluxo em 10 vezes e mantendo a rejeição de 98% (LOEB; SOURIRAJAN, 1963). Alguns anos depois foram instaladas as

primeiras plantas com membranas em chapa que logo em seguida foram substituídas pelas membranas espiraladas (J.C Westmorland, Spirally Wrapped Reverse Osmosis Membrane Cell, US Patente 3,367,504 (February, 1938)).

A revolução na indústria das membranas teve sua iniciativa por Cadotte que desenvolveu membranas compostas baseadas na reação de fenilenodiamina e cloreto de trimesol (LARSON; CADOTTE; PETERSEN, 1981). Essa tecnologia desenvolvida por Cadotte é empregada até hoje na produção de membranas, entretanto as membranas apresentam uma baixa resistência à oxidação devido a presença de cloro livre, por exemplo, composto este que danifica a camada seletiva da membrana devido a baixa resistência da amida nitrogenada que esta presente na camada seletiva da membrana (GOHIL; SURESH, 2017; LI e al., 2015).

Atualmente a tecnologia das membranas de osmose inversa cresceu excepcionalmente, normalmente apresentam poros menores que 0,6 nm (LEE; ARNOT; MATTIA, 2011), assim são capazes de produzir uma maior retenção por parte dos sais. A dessalinização é a tecnologia por membranas mais difundidas no mundo, capaz de rejeitar a maior parte da matéria coloidal ou dissolvida de soluções aquosas e assim produzir um fluxo concentrado e um permeado que consiste em praticamente água pura (FRITZMANN et al., 2007).

Segundo Miorando (2012), a Osmose Inversa é um fenômeno químico no qual ocorre a passagem de uma solução com menor concentração de sais na direção de uma outra solução de maior concentração, ambas separadas por uma membrana impermeável. Este processo tem por objetivo diminuir as cargas nocivas de contaminantes no efluente estudado, possibilitando a remoção desses agentes nocivos a saúde, como por exemplo metais, sais, microrganismos e ente outros diversos compostos orgânicos.



**Figura 1: Processo de Filtração por Osmose**

**Fonte: Mierzwa et al. (2008) adaptado pelo Autor**

### 2.2.1 Bases Teóricas

A definição de fluxo ( $J$ ) é dita como a taxa de fluxo volumétrica em uma determinada área específica, sendo de forma proporcional sob a pressão aplicada no líquido sendo filtrado. É representado na Equação 1:

$$J = K(\Delta P - \Delta \Pi) \quad (1)$$

Desta forma,  $K$  é a permeabilidade da membrana e  $\Delta P$  a diferença de pressão entre os lados da membrana e  $\Delta \Pi$  a pressão osmótica da membrana.

O tamanho dos poros ( $q$ ) é fator determinante na taxa de fluxo volumétrica da membrana, desta forma o fluxo pode ser determinado através da equação de Poiseuille, apresentada na Equação 2:

$$q = \frac{\pi d^4}{128 \mu l} \times \Delta P \quad (2)$$

Deste modo temos o diâmetro do poro e a viscosidade do líquido ( $\mu$ ),  $l$  o comprimento do poro e  $\Delta P$  a diferença de pressão entre ambos os lados da membrana.

Para determinar a taxa de fluxo volumétrica ( $J$ ) a partir da equação de Poiseuille é preciso multiplicar a equação pelo número de poros por área, como mostra a Equação 3:

$$J = N \times \frac{\pi d^4}{128 \mu l} \times \Delta P \quad (3)$$

Seguindo nesta lógica,  $N$  é o número de poros por área,  $d$  o diâmetro,  $\mu$  a viscosidade do líquido,  $l$  o comprimento do poro e  $\Delta P$  a diferença de pressão entre os lados da membrana.

O coeficiente de rejeição ( $R$ ) é a capacidade da membrana de separar o composto da solução de alimentação. Para determinar o coeficiente de rejeição utilizamos a Equação 4:

$$R = \left( 1 - \frac{C_{jp}}{C_{ja}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Desta forma  $C_{jp}$  é denominada a concentração do composto no fluxo permeado e  $C_{ja}$  a concentração de composto no fluxo de alimentação.

Quando for necessário estimar os poros de uma membrana desconhecida, podemos utilizar a Equação 5, este cálculo é feito a partir dos dados de uma membrana referência, assim podemos determinar o diâmetro dos poros ( $d_p$ ) em nm.

$$d_p = \sqrt{A_p/A_0} \times d_{p0} \quad (5)$$

Analisando a Equação 5,  $A_0$  determina a permeabilidade da membrana referência,  $d_{p0}$  o diâmetro dos poros da membrana referência e  $A_p$  é a permeabilidade da membrana. Para calcular o Corte Molecular de Peso (MWCO) de uma membrana podemos utilizar a de forma empírica a Equação 6 (AIMAR; BACCHIN; MAUREL, 2017).

$$MWCO = \sqrt[0.4]{\frac{d_p}{0,076}} \quad (6)$$

## 2.2.2 Composição das membranas

A camada da barreira seletiva das membranas é, de forma geral, composta por poliamida aromática, que é formada através da polimerização interfacial de 1,3-fenilenodiamina e o cloreto triácido do benzeno (TARBOUSH et al., 2008). Assim assenta-se a camada seletiva em uma camada suporte formada de polissulfona e polietersulfona (HAMINGEROVA; BURONSKY; BECKMANN, 2015). As figuras

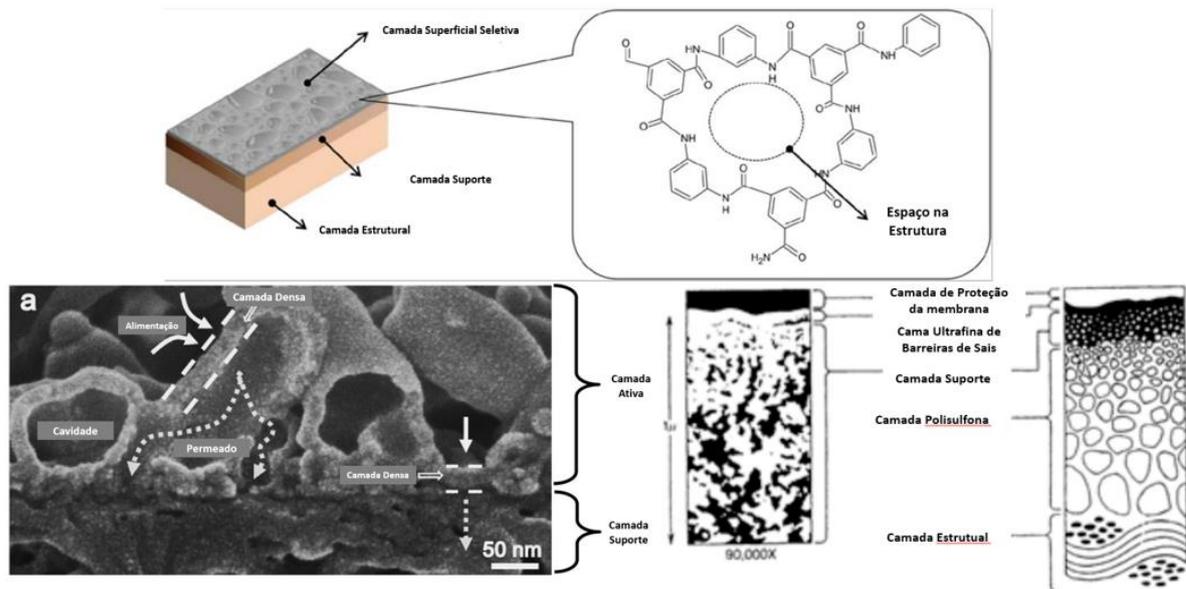


Figura 2: Detalhes da Estrutura de Poliamida

Adaptado de: (WARSINGER et al., 2018)

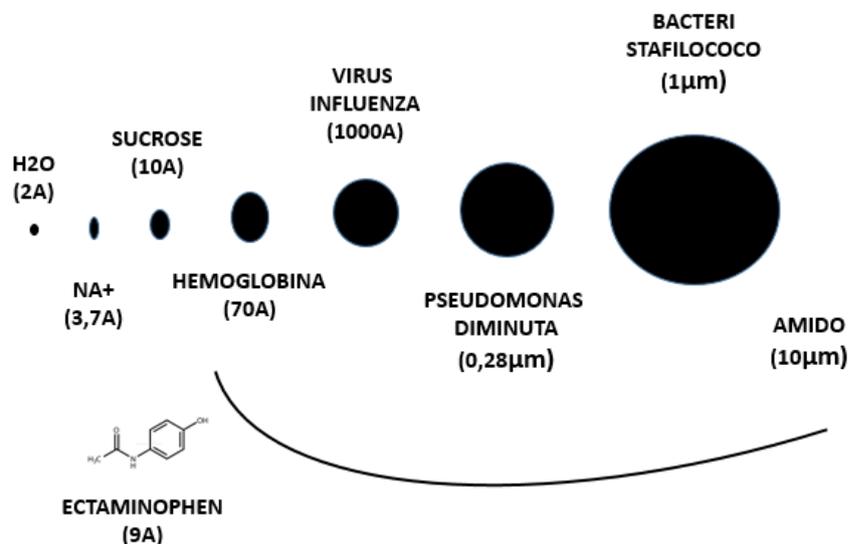
## 2.3 Membranas e o Processo de Separação

O processo de separação por membranas é uma espécie de barreiras que promove a passagem de alguns constituintes enquanto bloqueia outros, esse movimento entre membranas se dá devido a um diferencial de forças motrizes através da membrana (Metealf e Eddy, 2003).

Nos processos que envolvem membranas, sejam eles microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração, osmose inversa e eletrólise, podendo tomar classificação dependendo do material que constitui a membrana, a natureza da força motriz e o mecanismo de separação e também os

tamanhos de partículas a serem segregadas, tamanho esses que dão resultado do tamanho dos poros da membrana e do mecanismo de separação. A pressão se difere de um processo a outro como é no caso da osmose inversa (HAMINGEROVA; BORUNSKY; BECKAMNN, 2015).

Para as membranas que utilizam força motriz por pressão, conforme os poros diminuem o fluxo por consequência também, logo a seletividade aumenta, desse modo o processo necessita de maior força motriz, aumentando o seu gasto energético (WARSINGER ET AL, 2018). Na figura XX temos as ilustrações de alguns compostos que podem ser encontrados em água, junto com suas respectivas dimensões. A figura 3 resume os tipos de membranas conforme a faixa de tamanho dos constituintes comuns encontrados em água e no tamanho efetivo dos poros da membrana (VAN DER BRUGGEN; MÄNTTÄRI; NYSTRÖM, 2008).



**Figura 3: Diâmetro de Moléculas / Compostos Encontrados em H<sub>2</sub>O**

Adaptado de: (ZHANG e al, 2019).

No mecanismo, temos duas linhas de vazão distintas, são elas denominadas como permeado e concentrado. O permeado é a parcela que passa pela membrana enquanto que o concentrado é a parcela que fica retida na membrana. Ao forçar a passagem do solvente (água) através da membrana semipermeável pela aplicação de uma força motriz gerada pela diferença de pressão imposta.

Tecnologias como esta apresentam algumas aplicações relevantes no tratamento de esgotos sanitários e de efluentes industriais, como é o caso neste estudo. A eficiência de cada membrana se dá por dois fatores, o fluxo que é denominado volume que passa pela membrana por uma unidade de área, de tempo, e seletividade. Para uma membrana ser ideal em sua

aplicação é necessário possuir uma alta seletividade e permeabilidade, porém é importante saber que quanto maior a seletividade menor a permeabilidade (Constanzi, 2007). A figura 4 mostra os tipos de membrana e seus respectivos poros e dimensões para cada composto presente na água.

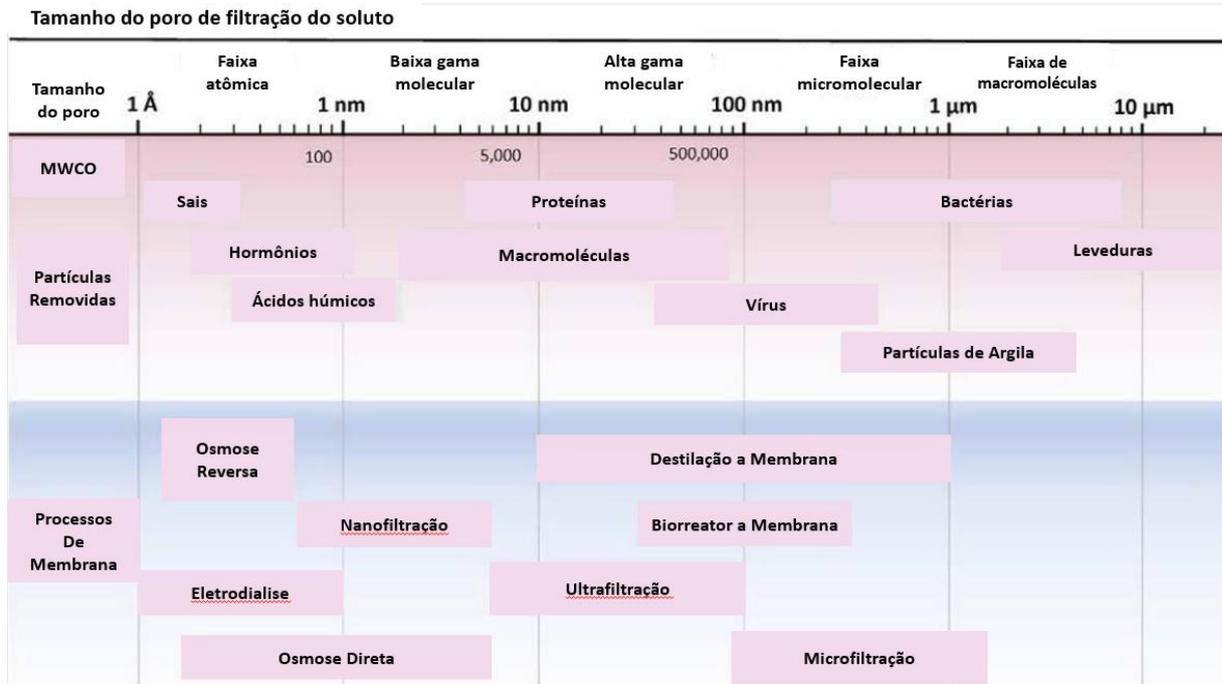
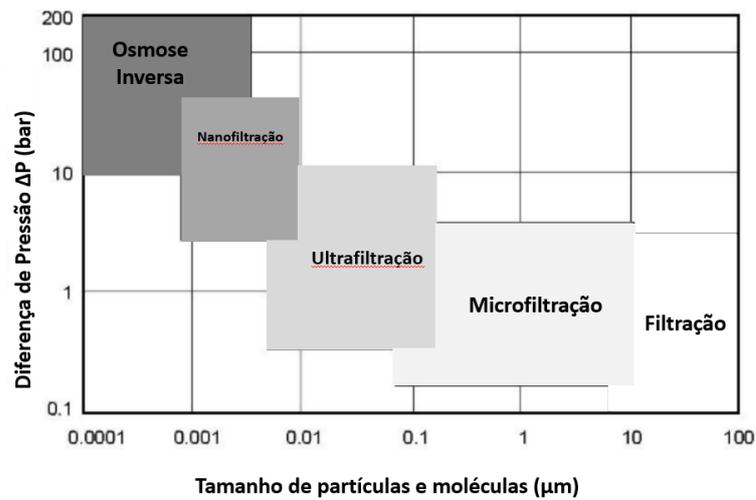


Figura 4: Tipos de membranas, tamanho dos poros e dimensões de compostos encontrados na água.

Adaptado de: (WARSINGER et al., 2018).

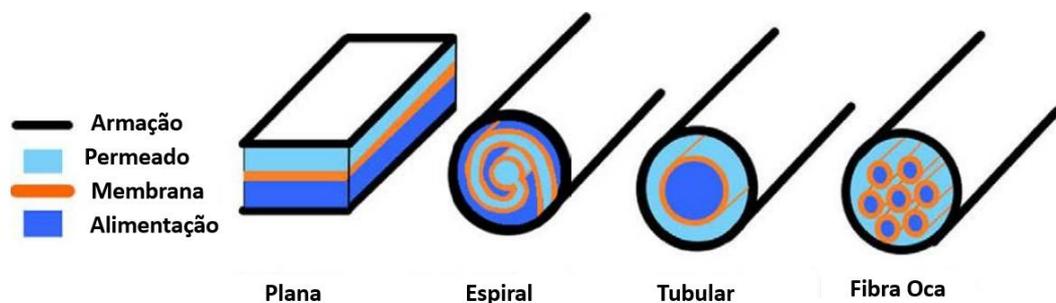
Frequentemente as tecnologias são classificadas como baixa pressão (filtração convencional, microfiltração e ultrafiltração) e alta pressão (nanofiltração e osmose inversa). Na figura 5 temos o resumo das faixa de pressão utilizadas para cada categoria.



**Figura 5: Pressão utilizada e dimensões de partículas removidas por categorias de filtração**

Adaptado de: (MELIN; RAUTENBACH, 2006)

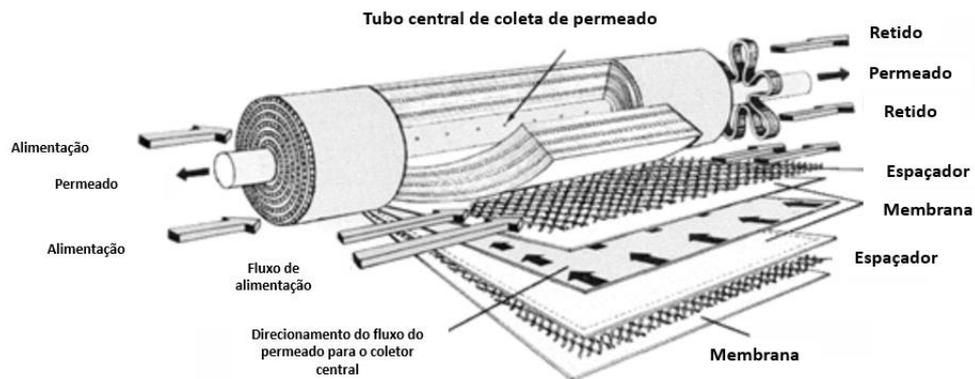
Nas tecnologias de filtração por membranas não se desenvolveu apenas o material que é utilizado nelas, mas também a forma com que a membrana é envolta e organizada. Geralmente seus módulos são organizados em diferentes configurações, a Figura 6 representa quatro configurações de fácil busca e acesso no mercado.



**Figura 6: Configurações comuns dos módulos de membranas**

Adaptado de: (WARSINGER et al., 2018).

A membrana mais utilizada é a espiralada devido aos benefícios propostos. A Figura 7 representa todo o detalhamento de módulos espiralados após sua montagem e na Tabela 1 estão listados as vantagens e desvantagens do uso deste recurso.



**Figura 7: Estrutura do módulo de membrana inversa**

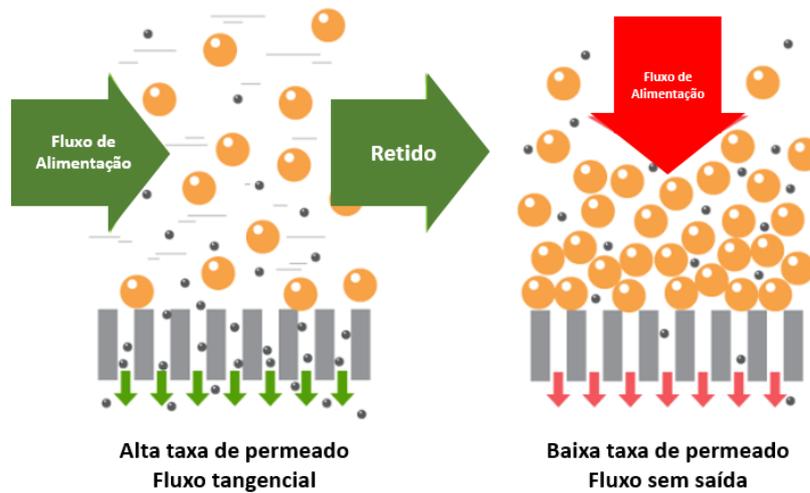
Adaptado de: (FRITZMANN et al., 2007).

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Baixo custo de produção	Perda de pressão alta
Densidade Alta de Embalagens (<math><1000\text{ m}^2/\text{m}^3</math>)	Podem ocorrer incrustações
Transferência de massa é alta em virtude dos espaçadores	Dificuldade de limpeza

**Tabela 1: Tabela das vantagens e desvantagens do formato espiral**

Adaptado de: (FRITZMANN et al., 2007).

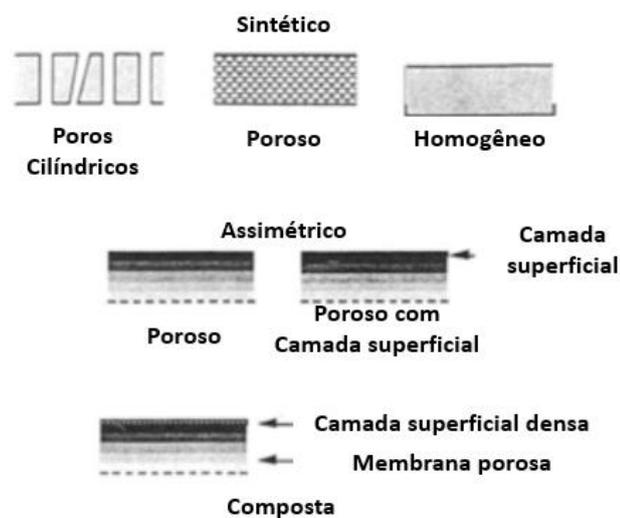
Uma outra característica importante que deve ser lembrada é a configuração do fluxo, este fluxo pode ser denominado tangencial (Cross Flow Filtration) ou perpendicular (Dead End Filtration). A Figura 8 demonstra a diferença dentre os fluxos. No tangencial temos um fluxo do permeado ocorrendo de forma paralela à membrana de filtração, ocasionando uma fácil remoção de possíveis incrustações da membrana devido ao fluxo. Já na perpendicular, como o nome já diz, o fluxo é perpendicular, assim favorece o acúmulo de incrustações (WARSINGER et al., 2018).



**Figura 8: Diferença do fluxo tangencial e perpendicular**

Formulatrix (2019).

Não podemos esquecer que o material que faz a composição da membrana também é um fator de relevância, este podendo ser molecularmente homogêneo, totalmente uniforme em composição e estrutura quanto quimicamente ou fisicamente heterogênea, possuindo orifícios ou poros. Também há os formados em camadas (BAKER, 2012). A Figura 9 demonstra de forma esquemática os principais tipos de membranas sintéticas.



**Figura 9: Esquema dos principais tipos de membranas sintéticas**

(SCOTT, 1995)

Quando falamos em seletividade da membrana, a principal característica responsável para este processo é a camada superficial das membranas compostas. A diferença entre as dimensões e concentrações dos poros afeta diretamente na permeabilidade e a seletividade das membranas a modo que o aumento dos poros acarreta não só o aumento do fluxo de permeado mas também as dimensões dos compostos que permeiam pela membrana.

## **2.4 Efluentes da Fabricação de Cosméticos**

A tecnologia por trás da produção de cosméticos baseia-se em operações unitárias de homogeneização, aquecimento e ou resfriamento, sendo a produção realizada em reatores em batelada normalmente, ou seja, de forma descontínua. Apesar dos processos apresentarem uma certa simplicidade, os efluentes gerados apresentam uma grande problemática mesmo que oriundos de indústrias de pequeno porte (MELO, 2012).

As matérias-primas empregadas em sua produção variam confirma a função e o tipo do produto, assim, destacam-se os emulsificantes, ésteres de ácidos graxos, sais quaternários de amônio, corantes, solventes orgânicos, fragrâncias, polímeros, conservantes (derivados do fenól geralmente), misturas tensoativas e óleos essências (ABIHPEC, 2010; PERDIGÓN-MELÓN et al., 2010). A maioria dessas substâncias citadas apresentam propriedades tóxicas, causadores de irritabilidade e até mesmo corrosivas, sendo que os efluentes provindos do processo de fabricação de cosméticos apresentam elevadas concentrações de compostos orgânicos e de baixa biodegradabilidade (BAUTISTA et al., 2007; EL-GOHARY et al., 2010).

Os efluentes gerados na fabricação da indústria de cosméticos se dá, basicamente, pela frequência de lavagem dos equipamentos. Ao avaliarmos os resultados analíticos dos diferentes processos, podemos identificar os seguintes poluentes e efeitos adversos associados a eles (ABIHPEC, 2010):

- **Óleos e Graxas:** a baixa solubilidade dos óleos e graxas em água prejudica a sua degradação nas estações de tratamento de efluente por processos biológicos e, quando presentes em mananciais que fornecem abastecimento público, causam grandes problemas no tratamento da água e também impedem a transferência de oxigênio da atmosfera para o meio hídrico o que ocasiona problemas a vida aquática.

- Sulfetos: provindos geralmente de processos de produção de tinturas, os sulfetos apresentam mal odor e toxicidade.
- Despejos amoniacais: tem toxicidade elevada e tendem a prover alcalinização do meio líquido e assim necessitando de neutralização antes de seu lançamento em um corpo receptor.
- Tensoativos: mesmo não apresentando alta toxicidade os tensoativos apresentam alta resistência à biodegradação, além das suas propriedades lipossolventes conferirem a este um efeito bactericida, prejudicando os processos biológicos de mais importâncias e o bom funcionamento dos ecossistemas aquáticos.
- Fosfatos e Polifosfatos: estes compostos quando presentes em altas concentrações acarretam na proliferação de algas e plantas aquáticas que provocam o fenômeno de eutrofização dos corpos hídricos, ocasionando desequilíbrio no pH do recurso hídrico e também ocasionando oscilações nas concentrações de oxigênio dissolvido com maiores concentrações nos períodos de luminosidade constante e valores quase próximo de zero durante a noite.

Os produtos de beleza e cuidados com a pele estão entre os compostos com maior detecção em águas superficiais em todo o mundo, porém é dada pouca atenção aos seus riscos devido a liberação dos mesmos em ambientes aquáticos (BRAUSCH; RAND, 2011). Devido a grande problemática do despejo e adjunto do interesse no reaproveitamento e reuso desse efluente tratado para suprir a necessidade de água em alguns processos industriais faz aumentar a demanda de novas tecnologias para o seu tratamento.

## **2.5 Tratamento dos Efluentes da Indústria de Cosméticos**

Os sistemas de tratamento de efluentes tem por objetivo primordial tratar os efluentes líquidos para que os mesmos atendam à legislação ambiental e em alguns casos o reuso de águas. Para a definição de um processo de tratamento dos efluentes industriais são testados diversas formas de operações unitárias, assim, os processos podem ser classificados como físicos, químicos e biológicos, depende da natureza em função dos poluentes e até mesmo das opções unitárias utilizadas (GIORDANO, 2004).

Esses efluentes oriundos da fabricação de cosméticos são efluentes que possuem grandes quantidades de material inorgânico (componentes inorgânicos, corantes) e também

orgânicos (essências, óleos e graxas), assim é comum utilizar tratamentos físico-químicos para a retirada desses compostos. Basicamente adiciona-se coagulantes/floculantes e feito correção do pH, seguido de separação por flocos através da decantação e posterior feito uma filtração. Após essas operações, o efluente industrial junta-se ao efluente sanitário onde passam por um tratamento biológico, sendo os sistemas anaeróbios os mais utilizados (ALVEZ, 2009).

Em literaturas encontramos várias menções sobre a redução de carga orgânica por processos biológicos convencionais não são a melhor opção viável, uma vez que as baixas relações de DBO/DQO são observadas. Além disso, com a presença de surfactantes, óleos e graxas nesses efluentes aumenta a formação de organismos filamentosos e de espumas nos tanques de aeração do sistema de lodos ativados, e essas substâncias ainda podem ser adsorvidas na superfície do lodo, ocasionando uma limitação de transferência dos substratos solúveis e de oxigênio para a biomassa (MELO, 2012).

Com as maiores restrições impostas pelas leis ambientais e o crescente empenho da indústria de cosméticos no reaproveitamento e reuso do efluente tratado fomenta o estudo de novas tecnologias como por exemplo os processos oxidativos avançados elaborado por Borski e al. (2009) e Bautista e al. (2007, 2010), os quais alcançaram níveis significativos de redução de carbono orgânico total e demanda química de oxigênio. El-Gohary et al. (2010) visando prover redução nos custos dos processos oxidativos, sugeriram sistemas de pré-tratamento aos efluentes da indústria de cosméticos baseados em coagulação e precipitação ou flotação por ar dissolvido.

## **2.6 Resolução CONAMA 357, CONAMA 430 e CONSEMA 181 Santa Catarina**

No Brasil, os padrões ambientais para lançamento de efluentes nos corpos hídricos são definidos pela CONAMA 357/05 que dispõe das diretrizes de qualidade da água e é complementada pela CONAMA 430 que dispõe das diretrizes de lançamento de efluentes em corpos receptores. A Figura 10 nos mostra as demandas para os parâmetros gerais regidos pela CONAMA 357 para águas doces.

Parâmetros gerais	Condições					
	Portaria 05/89 do RS - Lançamento de efluentes	Portaria M.S 518/2004 - Potabilidade	Resolução CONAMA 357/05 – Classificação – Águas Doces:			
			1	2	3	4
Temperatura (°C)	< 40					
Cor (mg Pt/l)		15 (uH)	-	75	75	
Odor	Livre de odor desagradável	Não objetável	A	A	A	NO
Espuma	Ausente		A	A	A	A
Materiais flutuantes	Ausentes		A	A	A	A
Sólidos sedimentáveis (mg/l)	≤ 1,0					
Sólidos suspensos (mg/l)	≤ 200 (para Q ≤ 20 m <sup>3</sup> /dia)					
Sólidos dissolvidos totais (mg/l)			500	500	500	
Contagem bacteriológica (UFC/ml)		≤ 500				
pH	Entre 6,0 e 8,6	Entre 6,0 e 9,5	6-9	6-9	6-9	6-9
Dureza (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	≤ 200	500				
Óleos e graxas (mg/l)	Vegetal ou animal: ≤ 30; Mineral: ≤ 10		A	A	A	I
Coliformes fecais (NMP/100ml)	≤ 300	0	200	1000	4000	
Coliformes totais (NMP/100ml)			1000	5000	20000	
Fósforo total (mg/l)	1,0					
Surfactantes	2,0	0,5				
Alcalinidade						
OD (mg/l O <sub>2</sub> )			> 6	> 5	> 4	> 2
Cloretos (mg/l)		250	250	250	250	
Nitrato (mg/l)		10	10	10	10	
Nitrito (mg/l)		1	1	1	1	
Nitrogênio total (mg/l)	10,0					
Turbidez (UNT)		5	40	100	100	
DBO (mg/l)	≤ 200 (para Q ≤ 20 m <sup>3</sup> /dia)		3	5	10	
DQO (mg/l)	≤ 450 (para Q ≤ 20 m <sup>3</sup> /dia)	..				

Onde: A: Virtualmente Ausente, NO: Não Objetáveis e I: toleram-se Iridescências, ou um residual.

Figura 10: Padrões de Emissão deliberados pela CONAMA 357

Adaptado de Portaria 518/04 do MS e Resolução CONAMA 357/05

A figura 11 a seguir nos mostra os parâmetros orgânicos ditados pela CONAMA 430.

PARÂMETROS ORGÂNICOS	Valor máximo
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroetano	1,0 mg/L
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Tetracloroeto de Carbono	1,0 mg/L
Tricloroetano	1,0 mg/L

Figura 11: Parâmetros Orgânicos CONAMA 430

Adaptado de Resolução CONAMA 430

Para o estado de Santa Catarina, a Resolução CONSEMA 181 de 02/08/2021 dispõe dos padrões de emissão de efluente tratado em corpos receptores. Neste caso, observamos apenas o parâmetro de Fenóis que segundo a resolução é permitido uma concentração de até 0,2 mg/L. A figura 12 a seguir demonstra os padrões regidos pela CONSEMA 181 para o estado de Santa Catarina.

Parâmetro	CONAMA 430/2011 Art. 16	CONSEMA Nº 181 Art. 5
pH	5,0 – 9,0	6,0 - 9,0
Óleos vegetais e gorduras animais (mg/L)	Até 50,0	30,0
DBO 5 dias a 20°C	Remoção mínima de 60%	60,0 mg/L ou remoção mínima de 80%
Cobre (mg/L)	1,0	0,5
Cádmio (mg/L)	0,2	0,1
Mercúrio (mg/L)	0,01	0,005
Níquel (mg/L)	2,0	1,0
Zinco (mg/L)	5,0	1,0
Arsênio (mg/L)	0,5	0,1
Prata (mg/L)	0,1	0,02
Selênio (mg/L)	0,30	0,02
Fenóis (mg/L)	0,5	0,2

**Figura 12: Padrões de emissão de efluente tratado em corpos receptores segundo a CONSEMA 181 no estado de Santa Catarina**

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Metodologia de estudo

A figura 13 representada à seguir ilustra o cronograma de trabalho entre a coleta e as análises separadas por etapas.

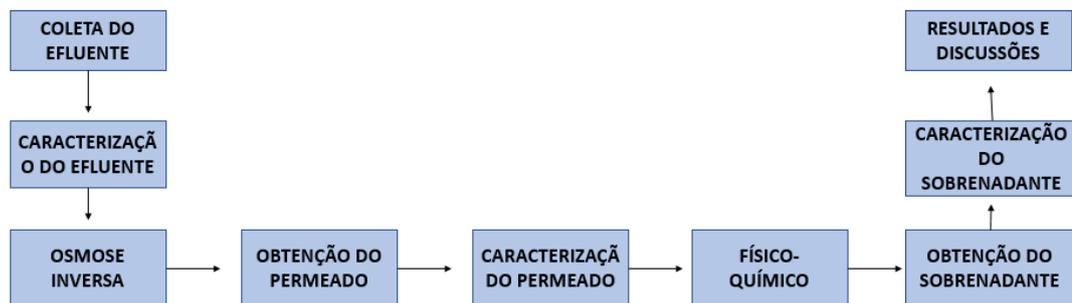


Figura 13: Fluxograma e Metodologia do Estudo

#### 3.2 Local do Estudo

A indústria em questão, é uma indústria de cosméticos, localizada em uma cidade de Santa Catarina. Dentro de suas dependências são feitos inúmeros tipos de cosméticos, dentro deles está a produção de protetor solar, que dá origem ao nosso efluente em estudo.

Iniciamos com a coleta de efluente bruto *in loco*, o qual foi transportado até a Universidade de Passo Fundo. E em um próximo momento foi realizada a caracterização do efluente bruto de Cor, Turbidez, Matéria Orgânica, Sólidos Dissolvidos Totais, Fenólicos e pH para posteriormente iniciar o processo de osmose inversa, coleta do permeado, caracteriza-lo e então discutir os próximos passos.

#### 3.3 Matéria Orgânica

O método de determinação de matéria orgânica está relacionado às constatações e características do efluente ou da água (cor, odor, sabor, etc), desta maneira podemos identificar

se a água é adequada ou não para o consumo humano e se o efluente é prejudicial aos recursos hídricos.

Este método também é conhecido como determinação de matéria orgânica carbonada, ou determinação de oxidabilidade com propósito de medir a capacidade que uma água ou efluente tem de consumir oxidantes químicos.

Para este método foram utilizados 10 erlemeyers de 250 ml, sendo 2 deles com 100ml de amostras de efluente diluído 10 vezes, 2 com 100 ml sobrenadante retirado do jar-test, 2 com 100 ml de amostra do efluente passados na Osmose Inversa a 100 PSI, 2 com 100 ml de amostra passados na Osmose Inversa a 150 PSI e por fim 2 com 100 ml de água destilada para ser o branco. Em cada erlemeyer foram pipetados 10 ml de solução permanganato de potássio (KMnO) a 0,0025 ml/L. Em seguida também foram pipetados 5 ml de solução ácido sulfúrico 1:3 e agitado para homogeneização. Os recipientes foram fechados com papel alumínio e levados a uma bandeja aquecedora a 70° por 30 minutos.

O método nos diz que caso a amostra atinja uma coloração rosa-palha, é necessário adicionar mais 10 ml da solução de permanganato 0,0025 mol/L. Neste caso, foram adicionados apenas nas amostras de diluído 10 vezes e sobrenadante. Seguindo a metodologia, ao ser adicionado mais 10 ml de solução oxalato, também foram adicionados 20 ml de oxalato em cada um das respectivas amostras com coloração rosa-palha, postas novamente na mesa aquecedora por 3 minutos e tituladas ainda quentes com a solução de permanganato de potássio 0,0025 mol/L até o ponto de viragem rosa, que persistiu por 30 segundos.

Para realizar a determinação de matéria orgânica foram utilizados:

- 10 erlemeyer de 250 ml;
- 6 pipetas de 10 ml;
- 1 bureta de 50 ml;
- 1 suporte para bureta;
- 1 mesa aquecedora;
- Solução permanganato de potássio 0,0025 mol/L;
- Oxalato de sódio 0,00625 mol/L;
- Ácido sulfúrico 1:3 mol;
- Papel alumínio;

O cálculo de concentração de matéria orgânica se dá pela Equação 8:

$$\frac{mgO_2}{L} = \frac{\{1,25 * [(V_p * F_c - V_o) - (V_b * F_c - V_{ob})] * 0,0025 * 32 * 1000\}}{V} \quad (7)$$

Onde:

$V_p$  = Volume de permanganato total na amostra ( DIGESTÃO + TITULAÇÃO);

$F_c$  = Fator de correção da solução de permanganato;

$V_o$  = Volume de oxalato total na amostra;

$V_b$  = Volume de permanganato total utilizado no branco ( DIGESTÃO + TITULAÇÃO)

$V_{ob}$  = Volume de oxalato utilizado no branco;

$V$  = Volume da amostra;

### 3.4 Fenólicos

Os fenólicos são compostos pertencentes a classe de compostos orgânicos que possuem ao menos uma hidroxila diretamente ligada a um ou mais anéis aromáticos (benzênicos). O primeiro membro pertencente a esta categoria de compostos orgânicos é denominado fenol, também chamado de ácido carbólico, benzenol ou hidroxibenzeno. Este composto possui fórmula química  $C_6H_5OH$ .

Os compostos fenólicos podem ser encontrados em alimentos, material orgânico em decomposição, tais como fezes e urina de animais, inclusive do ser humano, ou seja, podem ser produzidos naturalmente ou por processos antropológicos. Ao longo dos anos foram desenvolvidas diversas metodologias para a síntese industrial do fenol, sendo a oxidação do cumeno e tolueno (hidrocarbonetos) as principais rotas sintéticas (OLIVEIRA, 2015). A descarga de efluentes industriais em recursos hídricos é a principal fonte geradora de presença de compostos fenólicos nos mesmos. Exemplos de atividades industriais que provam a contaminação por fenóis em recursos hídricos são a produção de plásticos, antioxidantes, tintas, polímeros sintéticos, resinas, detergentes, e até mesmo o despejo de efluentes domésticos.

A maior parte desses compostos fenólicos possui grande toxicidade em seres humanos e animais, esses penetram na pele e membrana celulares causando graves efeitos de curto e longo prazo, devido também a sua alta persistência no ambiente, os fenólicos são denominados como poluentes de preocupação prioritária. A Resolução CONAMA 430 de 2011 alterou e complementou a Resolução 357 que dispõe dos padrões de lançamento de efluentes em corpos de água receptores, estabeleçam um limite de no máximo 0,5 mg/L de C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH totais em efluentes.

O método de determinação de fenólicos consiste em pipetar 1000 µL de amostra em um tubo de ensaio. Em seguida, adicionado também 1000 µL de etanol 96°, 5000 µL de água destilada. Em um bequer revestido por papel alumínio, transferir a solução-estoque de Folin 50% e pipetar 500 µL da solução em cada tubo de ensaio e agitar no vórtex agitador por 5 segundos. Após o agitação, foi adicionado 1000 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e agitado novamente por 3 segundos e guardado em uma grade em local fechado sem presença de luminosidade por 60 minutos. O mesmo foi feito para as provas de Branco. Com o espectrofotômetro zerado com água destilada e calibrado em comprimento de onda de 450 nanômetros, após exatamente os 60 minutos, é retirado um tubo de ensaio de cada vez do local onde foram acomodados e transferido as amostras para uma cubeta de vidro, homogeneizada com a amostra e higienizada com papel técnico e feito a leitura no comprimento de onda designado. Os valores são anotados e posteriormente adicionados a curva padrão de fenólicos para termos os resultados em mg/L. Para o método citado acima, foram feitas as análises do bruto diluído dez vezes, do efluente passado pela Osmose Inversa a 100 PSI e 150 PSI e do sobrenadante do jar-test com PAC 18%.

Para a realização do método de Fenólicos foram utilizados:

- 10 tubos de ensaio sem tampa;
- 1 micropipeta de 5000 µL;
- 2 pipetas de 1000 µL;
- 1 pipeta de 500 µL
- 1 grade;
- 1 espectrofotômetro;
- 1 béquer de 50 ml;

- Solução-estoque Folin;
- Solução  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ;
- Água destilada;
- Ponteiros de pipetas esterilizadas;
- Papel alumínio;

### 3.5 Cor e Turbidez

#### 3.5.1 Cor

Os parâmetros de cor e turbidez são os primeiros indicadores que podemos notar quando analisamos águas e efluentes. Esses dois parâmetros já de início nos dão ideia da qualidade do mesmo.

A cor geralmente nos indica a presença de metias (Fe, Mn) húmus (matéria orgânica provinda de degradação de matéria vegetal), plâncton (conjunto de plantas e seres microscópicos suspensos na água) dentre outras substâncias dissolvidas.

Costuma-se definir por cor aparente e cor verdadeira:

- A cor verdadeira é aquela que se refere a determinação de cor em amostras sem turbidez. A exemplo de amostras após filtração ou centrifugação.
- A cor aparente refere-se à determinação de cor em amostras com turbidez. A exemplo de amostras com material coloidal ou em suspensão.

Para compararmos a eficiência de diferentes tratamentos que envolvam remoção de cor é necessário levar em consideração a incerteza associada para cada faixa de leitura. Essas incertezas estão demonstradas na Tabela 2.

Cor (Hz)	Incerteza
----------	-----------

1 – 50	$\pm 1$
51 – 100	$\pm 5$
101 – 250	$\pm 10$
251 - 500	$\pm 20$

A cor produzida pela concentração de 1 mgPt/L é adotada como uma unidade de cor.

**Tabela 2: Incertezas associadas a cada faixa de leitura de cor**

**Standar Methods for the Examination of Water and Wasterwater, 20th Edition**

O método de medição de cor consiste em adicionar o efluente de estudo em uma cubeta transparente de tampa com rosta, homogeneizar a mesma e então inseri-la no equipamento colorímetro portátil e clicar no botão de start para iniciar a leitura. Após o processo, anota-se o valor obtido em Hazen (HZ).

Para este processo foram utilizados:

- 1 cubeta transparente com tampa de rosca;
- 1 colorímetro portátil Checker HI727

### **3.5.2 Turbidez**

A turbidez é um indicador obtido a partir do reflexo produzido pela presença de partículas coloidais ou em suspensão em águas e efluentes, é expressa em NTU (Nephelometric Turbidity) usando para calibração três soluções com diferentes concentrações de turbidez, 10 NTU, 100 NTU e 1000 NTU, assim em sequência.

Este parâmetro é um indicador da possível presença de argila, silte, substâncias orgânicas ou inorgânicas finamente divididas, plânctons e algas. A medição deve ser feita sempre de maneira rápida, afim de evitar a alteração de temperatura e pH da amostra pois

mudanças no pH podem alterar a cor ou provocar a coagulação de partículas em suspensão e assim haver mudança nas leituras de turbidez.

Ao compararmos a eficiência de tratamentos de remoção de turbidez, devemos respeitar as incertezas associadas a cada faixa de leitura. A Tabela 3 representa as faixas de turbidez e incertezas.

<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>Incerteza</b>
0 – 1,0	$\pm 0,05$
1,0 – 10	$\pm 0,1$
10 – 40	$\pm 1$
40 – 100	$\pm 5$
100 – 400	$\pm 10$
400 – 1000	$\pm 50$
>1000	$\pm 100$

**Tabela 3: Incerteza associada a cada faixa de leitura de turbidez**

**Standar Methods for the Examination of Water and Wasterwater, 20th Edition**

Para a determinação de turbidez foram utilizados:

- 1 turbidímetro de bancada;
- 1 cubeta transparente com tampa;

### **3.6 Condutividade Elétrica**

A condutividade elétrica de um efluente ou água é uma medição que nos mostra a facilidade com que a água ou efluente permite a passagem de corrente elétrica. A medição da condutividade elétrica é uma maneira simples e indireta de aferir a presença de íons provindos

de substâncias polares, geralmente de sais inorgânicos, dissolvidos, como cloretos, sulfetos, carbonatos, fosfatos. A presença dessas substâncias aumentam a condutividade pois todos esses citados são eletrólitos, capazes de dissolverem-se em íons de águas e efluentes. De maneira contrária, a presença de substâncias apolares, que não ionizam, como por exemplo álcoois, óleos e açúcares acarretam na diminuição da condutividade elétrica.

As medidas de condutividade elétrica em laboratório geralmente são tomadas em temperatura de 25°, esta é a maneira padrão de medir a condutividade, tendo unidade de medida em  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (microS/cm).

Para a obtenção das medidas de condutividade elétrica, foi utilizado um medidor de condutividade elétrica de bancada.

### **3.7 Potencial Hidrogeniônico (pH)**

O potencial hidrogeniônico (pH) é uma medida relacionada às concentrações de íons  $\text{OH}^-$  ou de íons  $\text{H}^+$  presentes nas águas e efluentes. Quanto maior for às concentrações de  $\text{H}^+$  menor será nossa medida de pH enquanto que quanto maior for às concentrações de  $\text{OH}^-$  maior será o pH. Assim temos que o valor sendo 7 é considerado neutro.

O pH em águas e efluentes quando não muito afastado do valor neutro não oferece riscos a saúde humana, mas interfere nas etapas de tratamentos das águas e efluentes. Valores altos de pH favorecem corrosões enquanto que valores baixos favorece incrustações. Quando há alterações severas no pH em relação ao neutro, podem causar riscos ao meio aquático.

Para a determinação dos pH's foi utilizado um phmetro de bancada e um phmetro portátil AK90.

### **3.8 Sólidos Dissolvidos Totais**

Os sólidos dissolvidos totais é o conjunto de todas as substâncias inorgânicas e orgânicas contidas num efluente ou água. Essas substâncias tem formas moleculares ionizadas ou microgranulares (ARAÚJO;SANTOS;OLIVEIRA, 2012/2013). A entrada dessas substâncias

na água pode ocorrer através de forma natural por processos erosivo, organismos e detritos orgânicos ou de forma antropogênica através de lançamentos de efluentes (UFA, UFSC, 2009).

O método consiste em adicionar 50 ml de amostra em cápsulas de porcelanas taradas a 105°C ou 505°C. Levar até a estufa com temperaturas entre 103-105°C e secar. Após perceber que as cápsulas estão secas, foram retiradas da estufas e transferidas para um dissecador por um tempo aproximado de 30-40 minutos. Com o tempo de espera esgotado, é pesado novamente cada cápsula usada onde foram postas as amostras.

Para o cálculo de sólidos dissolvidos totais foi aplicada a Equação 9:

$$SDT = \frac{(m2 - m1).1000}{V} \quad (8)$$

Onde:

ST = sólidos totais em mg/L;

m1 = massa da cápsula com resíduo total (mg);

m2 = massa da cápsula vazia, em mg;

V = volume da amostra em mL;

Os matérias utilizados para esta análise foram:

- 3 cápsulas de porcelana;
- 3 provetas volumétricas de 50 ml;
- 1 mufla;
- 1 dissecador
- 1 balança analítica de precisão;

### **3.9 Tratamento Físico-Químico com Teste de Jar-Teste**

O procedimento de jar-teste é utilizado para simular a floculação e coagulação de diferentes produtos químicos com objetivo de estimar a dose mínima de coagulante e floculante necessária para atingir certos parâmetros de qualidade de água ou efluente.

Para o procedimento feito no Laboratório de Operações Unitárias foi utilizado uma concentração de 5 mg/L de PAC 18% para atingir a coagulação ótima no efluente estudado. Para chegarmos á esta dosagem, foi pesado em balança analítica 1 grama de PAC 18% e em seguida adicionado 1000 ml de água destilada. Assim temos que para cada 1 ml de água, temos 1 mg/L de coagulante.

Foram adicionados 1,5 litros de efluente no recipiente de jar-teste pois apenas 1 litro não era suficiente para submergir totalmente as pás agitadoras do equipamento, logo, foram adicionados 7,5 ml da solução para ter o equivalente de 5 mg/L de concentração de PAC.

Os materiais utilizados foram:

- 1 equipamento de jar-teste;
- PAC 18%;
- 1 proveta de 1000 ml;
- 1 béquer de 1000 ml;
- 1 pipeta de Pasteur;

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

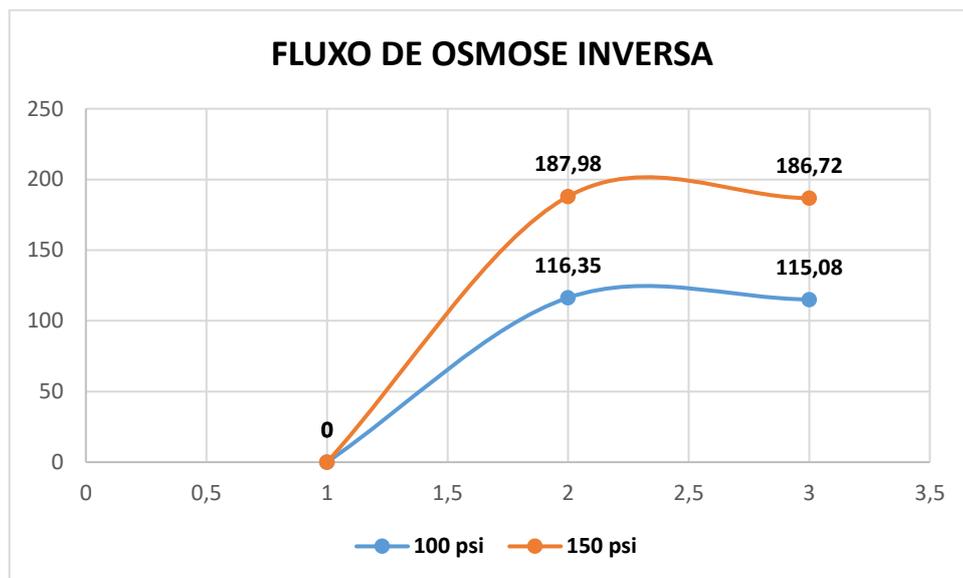
A Tabela 4 nos mostra os resultados obtidos após o efluente bruto ser submetido ao processo de Osmose Inversa e Jar-Teste. Assim é possível observar as reduções das características do efluente bruto quando comparado ao sobrenadante e permeado obtidos respectivamente.

	<b>COR (HZ)</b>	<b>TURBIDEZ (NTU)</b>	<b>COND. ELETRICA (<math>\mu</math>S/cm)</b>	<b>MAT. ORGANICA (mgO<sub>2</sub>/L)</b>	<b>FENÓLICOS (mg/L)</b>	<b>pH</b>	<b>Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)</b>
<b>Bruto</b>	365	391	741,79	777,0375	78,88745	4,84	996
<b>Permeado da O.I obtido à 100 PSI</b>	5	0	13	77,495625	12,9678	8,52	0
<b>Permeado da O.I obtido à 150 PSI</b>	10	1,01	14	77,49	5,40325	6,85	20
<b>Efluente do Tratamento Físico-Químico</b>	65	28	628	759,8375	3,24195	7,99	576

Tabela 4: Caracterização do efluente bruto, dos permeados da osmose inversa obtidos nas pressões 100 psi (680 kPa) e 150 psi (1034,2 kPa) e do efluente obtido por tratamento físico-químico.

#### 4.1 Fluxo do Permeado

A figura 14 a seguir, representa a determinação do fluxo de filtração da membrana de osmose inversa para obtenção do permeado. Nota-se que foram feitos dois ensaios com duas pressões diferentes, 100 PSI e 150 PSI, para uma área filtrante de 1,2 m<sup>2</sup>.



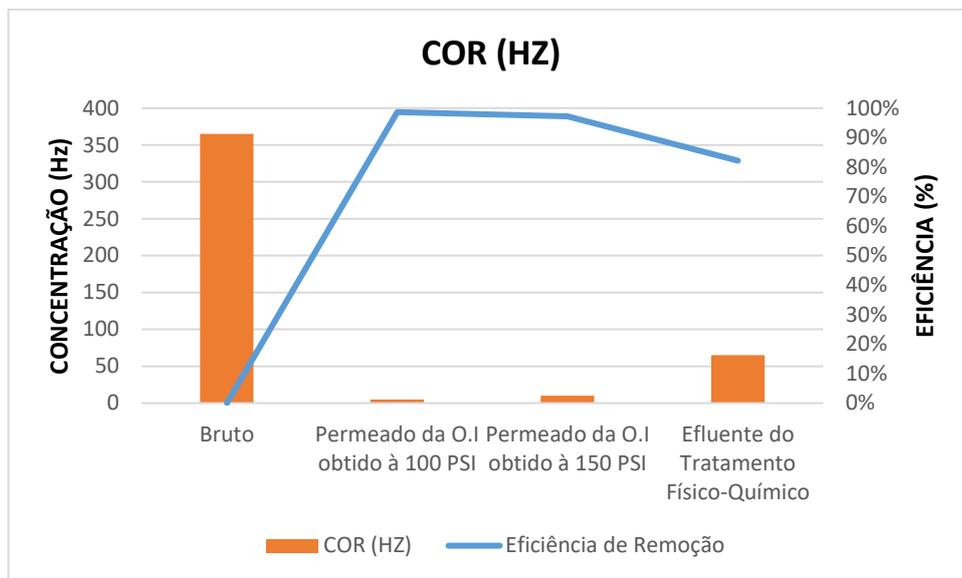
**Figura 14:** Gráfico da Determinação do Fluxo de Filtração para as pressões de 100 psi e 150 psi com área de filtração de 1,2m<sup>2</sup>

A determinação do fluxo é um parâmetro que utilizamos para o dimensionamento do sistema de filtração. A média de filtração ficou em 114,84 L/h e ao dividirmos pela área da membrana temos 95,7 L/m<sup>2</sup>.h de área filtrante para a pressão de 100 psi. Enquanto que para a pressão de 150 psi obtivemos um fluxo médio 186,03 L/h e ao dividirmos pela área da membrana temos 155,03 L/m<sup>2</sup>.h de área filtrante.

Os resultados apresentados demonstram que os fluxos têm valores muito baixos do que se espera para a filtração em larga escala, uma vez que Fouling é identificado como o problema mais grave para membranas de Osmose Inversa por isso é importante prever um bom sistema de pré-tratamento que acarreta diretamente no aumento da vida útil da membrana, deixando de apresentar entupimentos prematuros e por limpeza química frequente, assim diminui-se a perda de capacidade de filtração da membrana (VIGNESWARAN et al., 2012).

## 4.2 Cor

A figura 15 nos apresenta os resultados de cor após a filtração do efluente bruto pelo equipamento de Osmose Inversa e após teste com Jar-Teste.



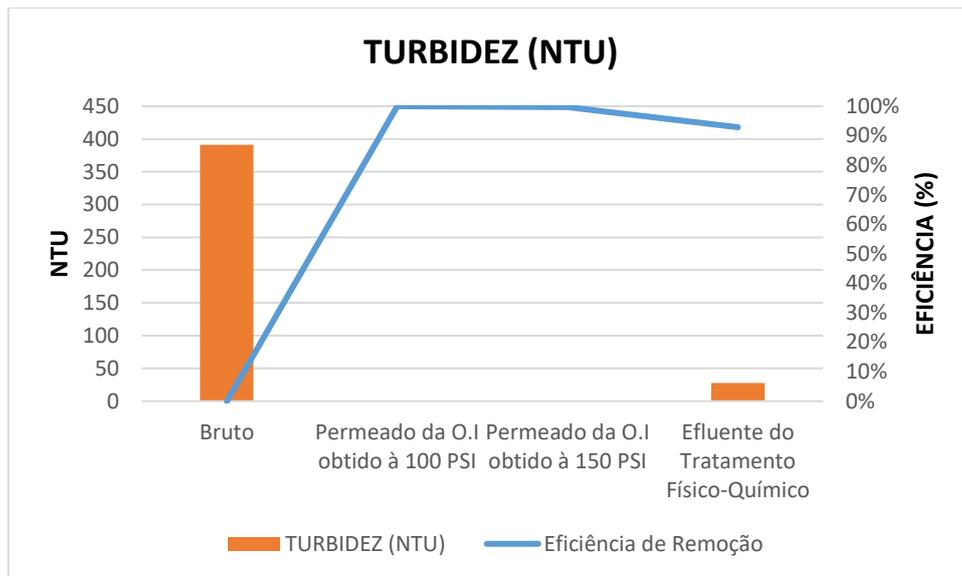
**Figura 15: Comparativo da redução de cor entre o efluente bruto e os permeados da membrana e coagulação com PAC 18%**

Podemos notar que após o efluente bruto ser permeado no equipamento de Osmose Inversa sua cor teve uma redução de 99% sob pressão de 100 psi e de 97% sob pressão de 150 psi. Enquanto que o sobrenadante retirado da coagulação com PAC 18% apresentou uma redução de 82%.

Ou seja, a melhor redução na cor foi sob pressão de 100 psi pois essa pressão não causou arraste das partículas, retendo a maior parte na membrana, enquanto que sob a pressão de 150 psi, por ser uma pressão maior causou arraste de partículas, não tendo uma retenção melhor do que a de 100 psi, porém, não podemos descartar que também houve uma ótima remoção de cor. Mesmo o coagulante apresentando uma ótima redução de cor, e tendo função característica de clarificação o mesmo não apresentou maior eficiência do que a filtração pelas membranas.

### 4.3 Turbidez

A figura 16 nos mostra os resultados de remoção de turbidez do efluente bruto ao ser filtrado pela membrana de Osmose Inversa e teste de Jar-Teste.

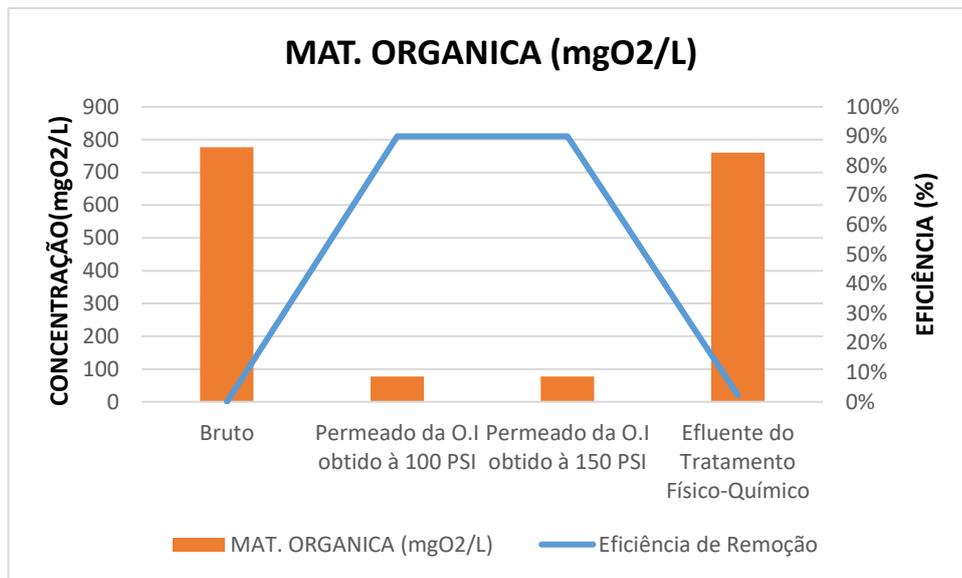


**Figura 16: Comparativo da redução de turbidez do efluente bruto com os permeados pela membrana e coagulação com PAC 18%**

Podemos notar que sob pressão de 100 psi obtivemos 100% de remoção da turbidez do efluente bruto, enquanto que sob pressão de 150 psi tivemos uma remoção de 99%. O mesmo fenômeno visualizado na cor também ocorre sobre a turbidez, uma vez que a pressão de 100 psi removeu 100% da turbidez enquanto que a pressão de 150 psi causou um arraste de partículas, mas, também resultou numa excelente remoção. Já o sobrenadante retirado coagulação com PAC 18% em sua concentração ótima apresentou uma remoção de 93% turbidez, apresentando ótima formação de floco e boa decantação.

### 4.4 Matéria Orgânica

A Figura 17 nos apresenta a taxa de remoção de matéria orgânica do efluente bruto ao ser submetido à Osmose Inversa e Jar-Teste.

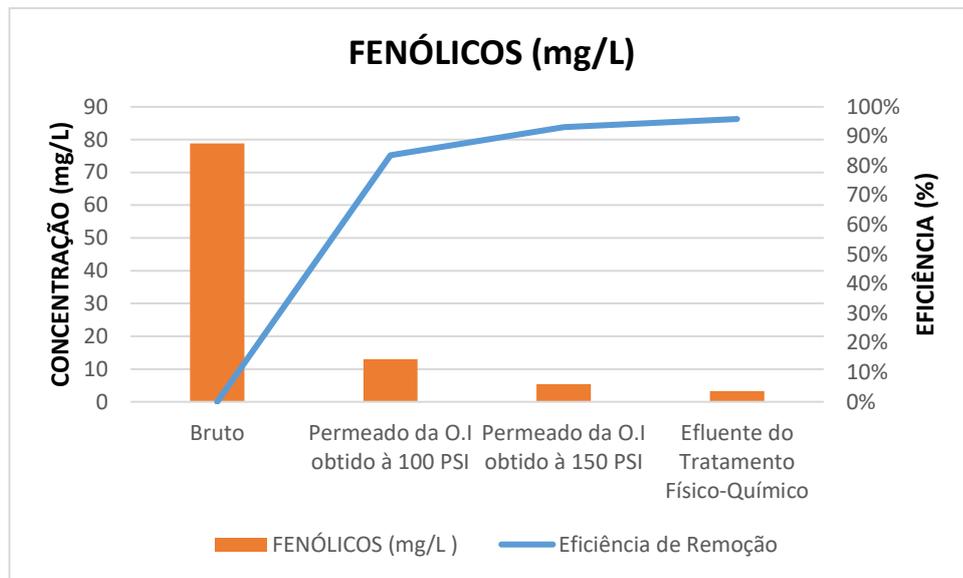


**Figura 17: Teor de remoção de Matéria Orgânica entre o efluente bruto e os permeados pela membrana e coagulação com PAC 18%**

Neste caso podemos observar que houve remoção de 90% para ambas as pressões, ou seja, mesmo com maior pressão, não houve arraste de partículas, e assim, podemos utilizar apenas a pressão de 100 psi como forma de economia energética e tempo de vida da membrana. Essa alta remoção é esperada pois a maioria das membranas presentes no mercado têm a função de remoção de praticamente toda a matéria orgânica presente no efluente. A coagulação com PAC 18% apresentou um baixo índice de redução de matéria orgânica, ou seja, o tratamento físico-químico por si só não é capaz de remover as concentrações, dessa forma, a circulação do efluente bruto no ensaio de osmose inversa é mais eficaz.

#### 4.5 Fenólicos

A Figura 18 nos mostra os percentuais de remoção de fenólicos a partir do processo de Osmose Inversa e Jart-Teste sob o efluente bruto.

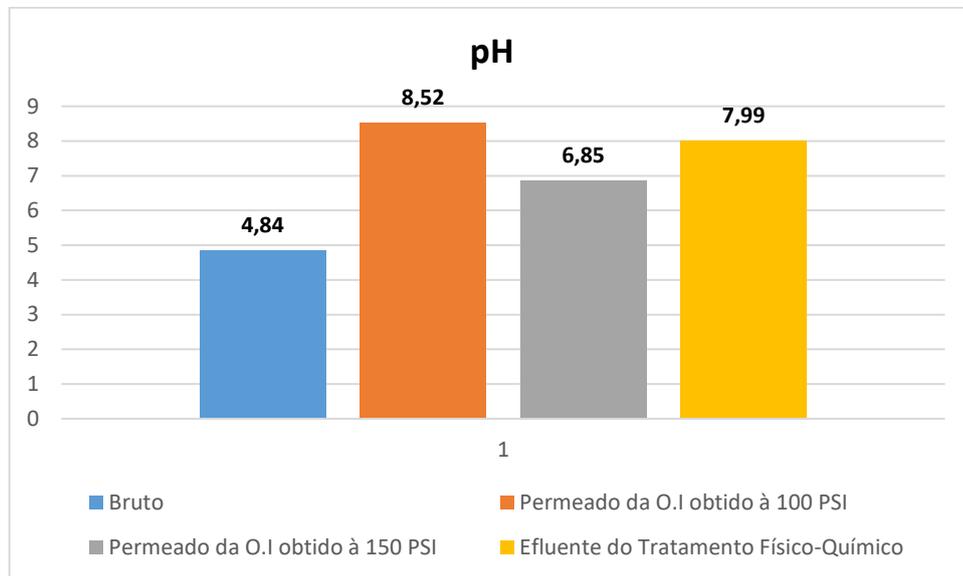


**Figura 18: Comparativo do teor de remoção de Fenólicos entre o efluente bruto e os permeados pela membrana coagulação com PAC 18%**

Podemos observar que houve nítida remoção de fenólicos nos três cenários dispostos na figura 16. Deste modo, sob uma pressão de 100 psi foi obtido uma remoção de 84%, enquanto que sob uma pressão de 150 psi obteve-se uma remoção de 93%, ou seja, quanto maior a pressão maior foi a remoção. Ao observarmos o sobrenadante obtido por jar-teste, é possível ver que se obteve uma remoção de fenólicos de 96% superando os índices apresentados pela osmose uma vez que o polímero tem função de adsorção dos compostos fenólicos que interagem com os demais grupos funcionais através de uma reação simples a partir da estabilidade de uma faixa maior de pH.

#### 4.6 Potencial Hidrogeniônico (pH)

A figura 19 nos mostra os valores obtidos de pH para cada cenário de estudo observado.

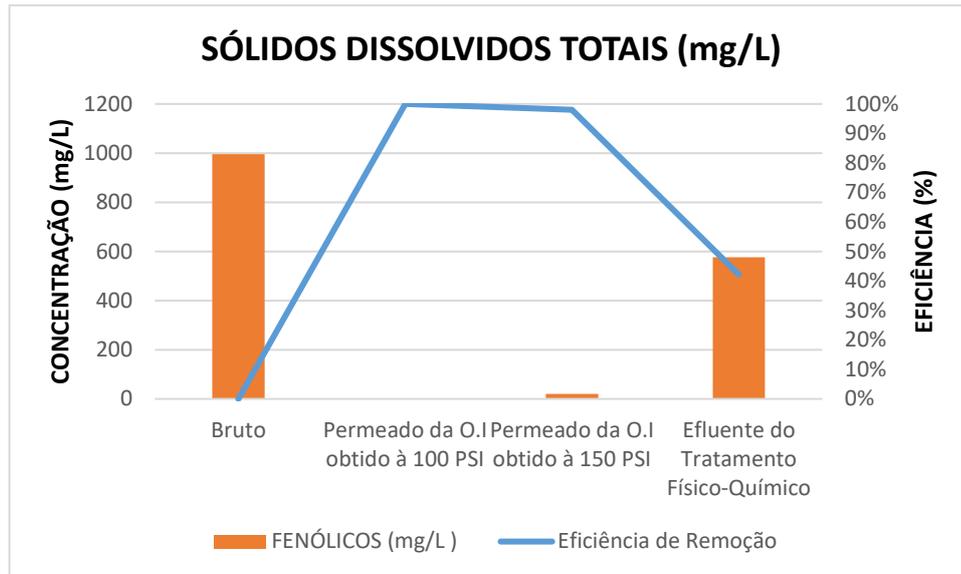


**Figura 19: Aferições de pH do efluente bruto, dos permeados da membrana e da coagulação com PAC 18%**

Para o cenário acima, notamos que o pH passou a ser mais alcalino após ser submetido aos testes de Osmose Inversa. O pH do sobrenadante também teve o mesmo comportamento, porém, é necessário lembrar que o pH do bruto foi corrigido de 4,94 para 9 antes do teste de jar-teste, mesmo adicionando a solução de 5 mg/L de PAC 18%, que é ácido, manteve-se em uma faixa ótima, apresentando 7.99 de aferição.

#### 4.7 Sólidos Dissolvidos Totais

A figura 20 representa a quantificação de sólidos dissolvidos totais presente no efluente bruto e o quanto foi removido após o mesmo sofrer o processo de osmose inversa e coagulação com PAC 18%.

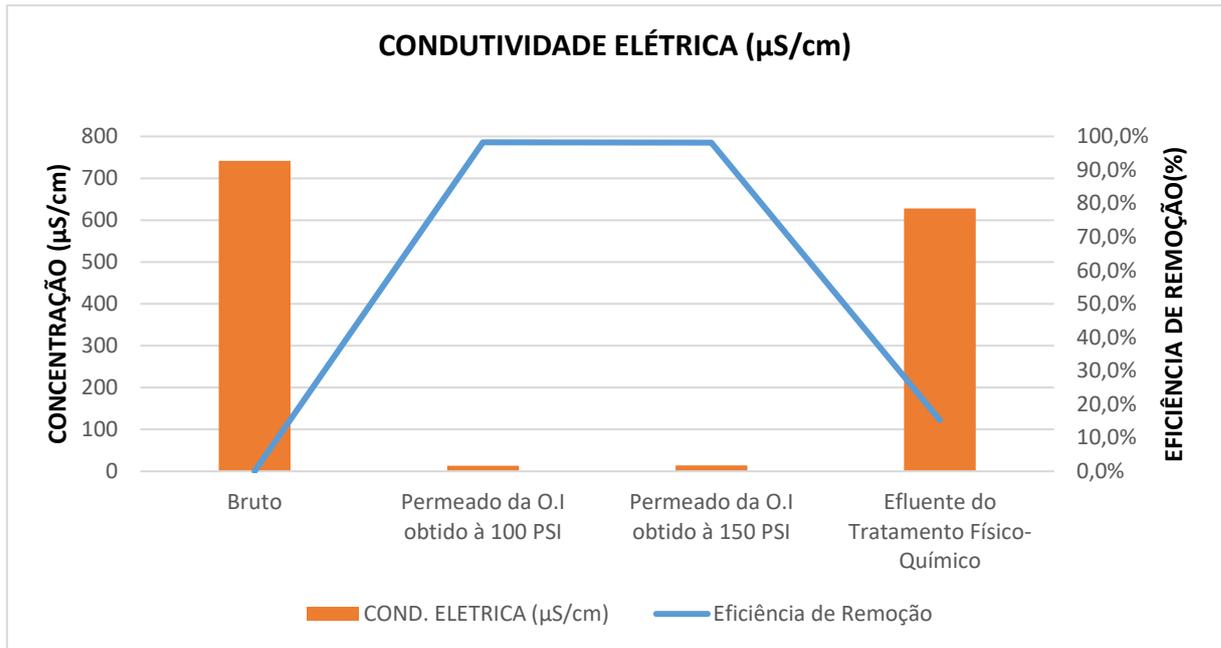


**Figura 20: Demonstrativo de remoção de Sólidos Dissolvidos Totais entre o efluente bruto e os permeados pela membrana e coagulação com PAC 18%**

Podemos notar que houve uma remoção de 100% dos sólidos na passagem pela membrana de 100 psi, enquanto que o permeado de 150 psi apresentou uma remoção de 98%, apresentando um leve arraste de partículas, mas que mesmo assim, apresentou um ótimo índice de remoção. O processo de coagulação do Jar-teste apresentou uma remoção de apenas 42% dos sólidos em seu permeado, ou seja, a osmose inversa denominou melhor eficiência na remoção dos sólidos dissolvidos presente no efluente bruto.

#### 4.9 Condutividade Elétrica

A figura 22 apresenta o comparativo da condutividade elétrica entre o efluente bruto e os permeados da osmose inversa e da coagulação com PAC 18%.



**Figura 21: Comparativo da Condutividade Elétrica do efluente bruto com os permeados da membrana e da coagulação com PAC 18%**

Podemos observar que o ensaio de osmose inversa foi capaz de reduzir 98% da condutividade elétrica para ambas as pressões utilizadas enquanto que a coagulação com PAC 18% apresentou uma redução de apenas 15% na condutividade elétrica, não sendo capaz de prover uma boa remoção de sais dissolvidos do efluente. Estes resultados de remoção apresentados pela membrana são esperados pois as membranas apresentam um elevado teor de retenção salina.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos dos ensaios laboratoriais podemos observar que a Osmose Inversa apresentou uma boa remoção de Cor onde teve um percentual de 99% para 100 psi e 97% para 150 psi, Turbidez apresentou redução de 100% para 100 psi e 99% para 150 psi e Matéria Orgânica obtivemos uma redução de 90% para ambas as pressões. Quando comparado ao processo de coagulação com o PAC 18%, uma vez que o coagulante apresentou melhor eficiência na remoção de fenólicos, nos dando um percentual de 96% de remoção. Podemos observar também que a membrana teve maior eficiência na remoção de sólidos dissolvidos quanto a coagulação com PAC 18%, apresentando uma remoção média de 99% para os dois ensaios de Osmose.

Quando comparamos com a Resolução CONAMA 357 e 430 e a Resolução Consema 181 de Santa Catarina, que dispõe das diretrizes de lançamento de efluentes tratados em recursos hídricos, os parâmetros de cor, turbidez, pH e sólidos dissolvidos totais ficaram dentro dos padrões exigidos para o lançamento do efluente em corpos receptores, porém, a concentração de fenólicos presente no efluente tratado é alta e não atende o padrão de emissão exigido e então, desta forma o efluente não pode ser despejado em corpos receptores sem antes passar por um tratamento que reduza os valores desses parâmetros afim de atender o que a legislação prevê.

Desta forma os resultados obtidos nos ensaios feito em laboratório nos proporciona observar que o efluente se submetido a um tratamento físico-químico com PAC 18% adjunto da circulação do sobrenadante no ensaio de Osmose Inversa será possível obter uma melhor remoção dos poluentes que não atenderam os padrões da legislação, ou que fiquem muito próximos para que esse efluente tratado tenha um possível reuso dentro da empresa. A Osmose Inversa mostrou ser método adequado para trazer de volta as características físicas do efluente, enquanto que o coagulante tem maior eficiência em remover os compostos químicos do efluente.

## **6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Com base nos resultados obtidos e devido aos problemas com equipamentos durante o período de análises que limitou em fazer o processo completo de tratamento, fica a sugestão de prosseguir com os ensaios de forma sequencial, submetendo o efluente bruto a um tratamento físico-químico e após coletar seu sobrenadante e o levar ao ensaio de Osmose Inversa, sendo assim possível melhor tratamento do mesmo, capaz de adequar-se nos padrões de emissões regidos pela legislação.

## 7. REFERÊNCIAS

METCLAF; EDDY. **Wasterwater engineering = tratmen and reuse**. 4 ed. New York: McGraw Hill, 2003.

HPPC (HIGIENE PESSOAL, PERFMUARIA E COSMÉTICOS). **Brazil Beauty News: 28 Junho de 2021**.

MIORANDO, Taizi. **Projeto e análise econômica de um sistema de osmose inversa para recuperação de sólidos lácteos de água de primeiro enxágue de laticínios**. 2012. Trabalho 27 de conclusão de curso (graduação em Engenharia Ambiental). Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2012.

BRIÃO, V.B.. **Water recovery from dairy rinse water by reverse osmosis: Giving value to water and milk solids**. University of Passo Fundo, Passo Fundo, Brazil (2019).

HAMINGEROVA, M.; BORUNSKY, L.; BECKMANN, M. Membrane Technologies for Water and Wastewater Treatment on the European and Indian Market. **Techview membrane**, [s.l.], p. 1-36, 2015.

VAN DER BRUGGEN, B.; MÄNTTÄRI, M.; NYSTRÖM, M. Drawbacks of applying nanofiltration and how to avoid them: A review. **Separation and Purification Technology**, [s.l.], v. 63, n. 2, p. 251-263, 2008.

FRITZMANN, C. et al. State-of-the-art of reverse osmosis desalination. **Desalination**, [s.l.], v. 216, p. 1-76, 2007.

BAKER, Richard W. **Membrane Technology and Applications**. 2. ed. California: John Wiley

and Sons, Ltd., 2012. 538p.

TARBOUSH, B. J. A. et al. Preparation of thin-film-composite polyamide membranes for desalination using novel hydrophilic surface modifying macromolecules. **Journal of Membrane Science**, [s.l.], v. 325, n. 1, p. 166-175, jul. 2008.

LARSON, R. E.; CADOTTE, J. E.; PETERSEN, R. J. The FT-30 Seawater reverse osmosis membrane - Element test results. **Desalination**, Amsterdam, v. 38, p. 473-483, 1981.

LOEB, S.; SOURIRAJAN, S. Sea Water Demineralization by Means of an Osmotic Membrane. **Advances in Chemistry Series**, Washington, p. 117–132, 1963.

POHLING, Rolf **Reações químicas na análise de água**, Rolf Pohling.-Fortaleza: Março, 2009.

Awadalla, F. T., Striez, C., & Lamb, K. (1994). *Sep. Sci. and Technol.*, 29, 483–495.

MÉTODOS PADRÃO PARA EXAME DE ÁGUA E ÁGUAS RESIDUAIS, 20ª edição -  
**Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition**

Agência Nacional de Águas. Portal da Qualidade das Águas: Indicadores de Qualidade da Água – Índice de Qualidade das Águas (IQA). Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx> Acesso em: 20 maio. 2022.

Agência Nacional de Águas. Portal da Qualidade das Águas: Indicadores de Qualidade da Água – Índice de Qualidade das Águas (IQA). Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx> Fonte Original: Resolução CONAMA 357 de 17 de Março de 2005. Disponível em? Acesso em: 20 de maio. 2022

TRENTIN, P.S.; BOSTELMANN, E. **Programa Interlaboratorial. Para Sólidos Totais dissolvidos e em suspensão em amostras de águas.** Dezembro, 2010.

CONAMA Resolução No 357 de 17 de março de 2005, Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfeda\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfeda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf)> . Acesso em: 20 mai. 2022.

VIGNESWARAN, S.; SATHANANTHAN, S.; SHON, H. K.; KANDASAMY, J.; VISVANATHAN, C. Delineation of Membrane Process. p 45-58. In: **Membrane technology and environmental applications.** American Society of Civil Engineers, 2012.

CARDOSO, Patrícia Regina da Silva. Informações sobre o Policloreto de Alumínio. **Resposta Técnica produzida pelo Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas/SBRT06** de junho 2006. Disponível em <http://.sbrt.ibict.br>. Acesso em 08/06/2022.

PAVANELLI G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

MELO, Elias Dias de. **Avaliação e identificação da toxicidade de efluentes líquidos de uma indústria de cosméticos.** 2012. 99 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

PERDIGÓN-MELÓN, J. A.; CARBAJO, J. B.; PETRE, A. L.; ROSAL, R.; GÁRCIACALVO, E. Coagulation–Fenton coupled treatment for ecotoxicity reduction in highly polluted industrial wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. 181, p. 127– 132, 2010.

EL-GOHARY F.; TAWFIK, A.; MAHMOUD, U. Comparative study between chemical Coagulation/Precipitation (C/P) versus Coagulation/Dissolved Air Flotation (C/DAF) for pretreatment of Personal Care Products (PCPs) wastewater. **Desalination**, v. 252, p. 106–112, 2010.

BAUTISTA, P.; MOHEDANO, A. F.; MENÉNDEZ, N.; CASAS J. A.; RODRIGUEZ, J.J. Catalytic wet peroxide oxidation of cosmetic wastewaters with Fe-bearing catalysts. **Catalysis Today**, v. 151, p. 148–152, 2010.

BAUTISTA, P.; MOHEDANO, A. F.; GILARRANZ, M. A.; CASAS J. A.; RODRIGUEZ, J.J. Application of Fenton oxidation to cosmetic wastewaters treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 143, p. 128–134, 2007.

BRAUSCH, J. M.; RAND, G. M. A review of personal care products in the aquatic environment: Environmental concentrations and toxicity. **Chemosphere**, v.82, p. 1518–1532, 2011.