

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

PÂMELA NUNES NETO

**ESTUDO DO REÚSO DE EFLUENTE TRATADO NO PROCESSO DE PINTURA E-
COAT COM O USO DE CARVÃO ATIVADO E MEMBRANA DE OSMOSE
INVERSA**

CAXIAS DO SUL

2019

PÂMELA NUNES NETO

ESTUDO DO REÚSO DE EFLUENTE TRATADO NO PROCESSO DE PINTURA E-COAT COM O USO DE CARVÃO ATIVADO E MEMBRANA DE OSMOSE INVERSA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador Prof. Me. Tomás Augusto Polidoro

CAXIAS DO SUL

2019

PÂMELA NUNES NETO

ESTUDO DO REÚSO DE EFLUENTE TRATADO NO PROCESSO DE PINTURA E-COAT COM O USO DE CARVÃO ATIVADO E MEMBRANA DE OSMOSE INVERSA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado em 11/07/2019

Banca Examinadora

Orientador
Prof. Me. Tomás Augusto Polidoro
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dra. Camila Baldasso
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Me. Luis Rafael Bonetto
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Aos meus pais, Luciano e Regiane, e a minha irmã, Rosângela, por todo apoio e carinho ao longo da graduação.

“Não existem sonhos impossíveis para aqueles que realmente acreditam que o poder realizador reside no interior de cada ser humano, sempre que alguém descobre esse poder algo antes considerado impossível se torna realidade”

Albert Einstein

RESUMO

O reúso de efluentes tem sido cada vez mais aplicado nas indústrias em virtude da economia de água e da redução dos impactos ambientais causados nos recursos naturais. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi avaliar a viabilidade técnica de uma membrana de osmose de inversa e adsorção por carvão ativado como um pós-tratamento, visando o reúso de efluente em um processo de pintura *e-coat*. As amostras de efluente foram coletadas em uma empresa do setor metal-mecânico e separadas conforme as etapas de tratamento pelas quais foram submetidas: filtração a vácuo, carvão ativado e membrana de osmose inversa. Foram realizadas análises dos parâmetros físico-químicos: condutividade elétrica, pH, alcalinidade, dureza, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, alumínio, cloreto, cobre, cor verdadeira, ferro total, fósforo total, nitrogênio total kjeldahl, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais e zinco, para avaliação nos tratamentos. A condutividade elétrica medida antes dos tratamentos foi de 1046 $\mu\text{S}/\text{cm}$ após o tratamento com a membrana de osmose inversa, a condutividade foi medida em 25,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e com a combinação de osmose inversa e carvão ativado de 1027 $\mu\text{S}/\text{cm}$, também foram medidos 20 mg/L de sólidos dissolvidos totais para o tratamento com a membrana, representando uma redução de 97,2%. Em relação a alcalinidade foram estimadas reduções de 96,7% para o tratamento com a membrana e 93% para a combinação de osmose inversa com o carvão ativado. O sistema de membrana de osmose inversa foi o mais eficiente para os parâmetros físico-químicos de condutividade elétrica, alcalinidade total, alumínio, cloreto, demanda bioquímica e química de oxigênio, dureza, fósforo, nitrogênio e sólidos dissolvidos totais, apresentando concentrações próximas ao necessário, porém não foram suficientes para o reúso no caso do processo de pintura desta empresa. Portanto, para que o reúso aconteça devem ser aprofundados os estudos para redução de alcalinidade total, alumínio total, cloreto, condutividade elétrica, cor verdadeira, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e nitrogênio total kjeldahl.

Palavras-chave: efluente, reúso, separação por membranas, parâmetros, estudo comparativo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma simplificado do tratamento de efluentes.....	16
Figura 2 – Ilustração do processo de separação por membranas convencional e tangencial.....	19
Figura 3 - Esquema de funcionamento do processo de osmose inversa.	20
Figura 4 - Fluxograma do processo de pré-tratamento da empresa.	23
Figura 5 - Chassi sendo deslocado do tanque do desengraxante para o tanque do enxágue.	24
Figura 6 - Exemplo de granalha de aço	25
Figura 7 - Sistema anolítico.....	27
Figura 8 – Sistema de ultrafiltração da pintura e-coat.....	28
Figura 9 - Sistema de membrana de osmose inversa.....	30
Figura 10 - Fluxograma simplificado da metodologia utilizada.....	32
Figura 11 - Gráfico pressão versus fluxo de permeado.....	36
Figura 12 – Gráfico da variação de fluxo de permeado em função da pressão	37
Figura 13 - Curva da variação do fluxo de permeado ao longo do tempo para o tratamento com osmose inversa.	37
Figura 14 - Variação do fluxo de permeado com a pressão após a primeira limpeza.	38
Figura 15 - Variação do fluxo de permeado com o tempo para a combinação dos tratamentos de osmose inversa e carvão ativado.	39
Figura 16 – Curva da variação de fluxo de permeado após a segunda limpeza.	39
Figura 17 – Valores de alcalinidade para as amostras.....	41
Figura 18 – Comparação dos resultados do pH das amostras.....	43
Figura 19 – Comparação dos resultados de condutividade elétrica para as amostras.	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características dos principais processos de separação por membrana. 19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrões para lançamento de efluente tratado em águas superficiais.	16
Tabela 2 – Valores estabelecidos pela empresa para o uso de água do processo de pintura e-coat.	29
Tabela 3 – Resultados das análises físico-químicas da amostra inicial.	40
Tabela 4 – Comparação dos resultados obtidos para os sólidos suspensos totais...	46
Tabela 5 – Comparação dos resultados com os valores para uso de água no pré-tratamento e e-coat estabelecidos pela empresa.	50

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Fluxograma da estação de tratamento de efluentes da empresa. 57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO GERAL	13
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	A ÁGUA	14
2.1.1	Efluentes	14
2.1.1.1	Tratamento de efluentes	15
2.1.2	Reúso de água	17
2.2	ADSORÇÃO POR CARVÃO ATIVADO	18
2.3	PROCESSO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS	18
2.3.1	Osmose inversa	19
2.4	REÚSO DE ÁGUA COM MEMBRANA DE OSMOSE INVERSA E CARVÃO ATIVADO	21
3	ESTUDO DE CASO	23
3.1	PROCESSO DE PINTURA INDUSTRIAL	24
3.1.1	Pré-tratamento de superfícies	24
3.1.1.1	Jateamento por granalha	24
3.1.2	Tanques de pré-tratamento	25
3.1.3	Pintura e-coat	26
4	MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1	MATERIAIS	30
4.2	MÉTODOS	30
4.2.1	Caracterização da membrana	31
4.2.2	Tratamento com membrana de Osmose Inversa (OI) e carvão ativado	32
4.2.3	Limpeza da membrana	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA MEMBRANA	36
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE	40
5.3	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	41
5.3.1	Alcalinidade total	41
5.3.2	Potencial Hidrogeniônico (pH)	42

5.3.3	Condutividade elétrica	43
5.3.4	Sólidos Totais Dissolvidos (SDT).....	44
5.3.5	Sólidos Suspensos Totais (SST).....	45
5.3.6	Cor.....	46
5.3.7	Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	47
5.3.8	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)	48
5.4	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	49
6	CONCLUSÃO.....	51
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	52
	REFERÊNCIAS.....	53
	ANEXOS	57

1 INTRODUÇÃO

O reúso de água vem se tornando um processo indispensável para as indústrias, visando à preservação do meio ambiente e economia nos processos produtivos. A água é utilizada no preparo de alimentos, limpezas domésticas, higiene pessoal, consumo, entre outros. As atividades humanas e o consumo exagerado têm contribuído para a escassez. O consumo de água pelas indústrias, seja como matéria prima ou em seus processos, assim como a geração de efluentes e seu respectivo lançamento nos corpos hídricos, ainda é um dos motivos que causam contaminação e outros impactos negativos ao meio ambiente.

As normas e legislações ambientais para o uso de água potável e lançamento de efluentes vêm se tornando cada vez mais rígidas, além do custo de extração e tratamento de água. Diante da iminente escassez de água e visando reduzir os impactos ambientais, a reutilização de água não potável vem sendo uma prática constante. Nas indústrias é considerada muito vantajosa, pois além de reduzir os impactos ambientais, diminui a quantidade de efluente lançado. Também reduz consideravelmente os custos com os processos produtivos, uma vez que reduz o consumo de água. O tratamento que o efluente líquido sofrerá estará de acordo com a finalidade de seu reúso, os padrões exigidos para sistemas de refrigeração, por exemplo, são menos rigorosos do que os parâmetros para seu reúso no processo de pintura *e-coat*.

Neste contexto, este estudo buscou verificar a eficiência do uso de um módulo com membranas de osmose inversa combinado ou não com a adsorção por carvão ativado, como um processo de pós tratamento de efluente, atendendo os padrões necessários para ser reutilizado no processo de pintura *e-coat*.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade técnica do reúso de efluente tratado de uma indústria do setor metal-mecânico com o uso de membranas de osmose inversa e carvão ativado.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Do objetivo geral derivam-se os específicos como sendo:

- a) avaliar o protocolo de limpeza para a membrana, comparando os coeficientes de permeabilidade antes e depois da limpeza;
- b) comparar a eficiência do sistema de osmose inversa com o carvão ativado para a redução dos parâmetros de alcalinidade total, condutividade elétrica, cor verdadeira, demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), demanda química de oxigênio (DQO), pH, sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos totais;
- c) verificar se o efluente tratado se enquadra nos parâmetros especificados para o reúso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A ÁGUA

A água é um recurso indispensável à vida, mas deve ser utilizada de forma consciente, pois é um bem finito e vem sofrendo com a poluição ao longo dos anos. Por muito tempo, foi considerada um recurso infinito devido a sua disponibilidade na natureza. As indústrias são grandes causadoras de impactos ambientais negativos devido ao lançamento de efluentes nos corpos hídricos. De acordo com Bittencourt e Paula (2014), para melhorar a qualidade da água é necessária a aplicação de técnicas de tratamento adequadas a sua aplicação e de acordo com a qualidade desejada.

São diversos os fatores que estão ocasionando a escassez de água doce, a maioria deles causados pelo homem. O desmatamento, poluição, o desperdício, impactos ambientais que acabam gerando mudanças nos recursos naturais e no meio ambiente, entre muitos outros. Em 2002 a agricultura era a atividade que exercia o maior consumo de água, cerca de 73%, enquanto 21% eram destinados as atividades industriais e 6% referiam-se ao uso doméstico (CORSAN, 2002).

Para Mierzwa (2002), a expansão da população mundial ocorre dia após dia, e, com isso, vêm atrelados uma crescente demanda por alimentos, um exacerbado uso dos recursos naturais, essencialmente a água, além do aumento das indústrias com atividades químicas com potencial poluidor, são fatores elementares para a escassez de água. Os problemas de poluição mais críticos estão interligados aos efluentes industriais, pois em virtude da diversidade de atividades químicas exercidas por milhares de empresas, apresenta entre seus constituintes diferentes substâncias nocivas (MIERZWA, 2002).

2.1.1 Efluentes

O efluente é um resíduo líquido oriundo dos processos produtivos de uma indústria e o termo também se aplica aos efluentes domésticos, além disso, obtém algumas características próprias em virtude das atividades industriais e os produtos químicos aplicados durante o processo (BITTENCOURT, 2014). O uso de água nos processos de pré-tratamento de pintura, gera um efluente carregado de sólidos e alguns metais. (SANTOS, 2016).

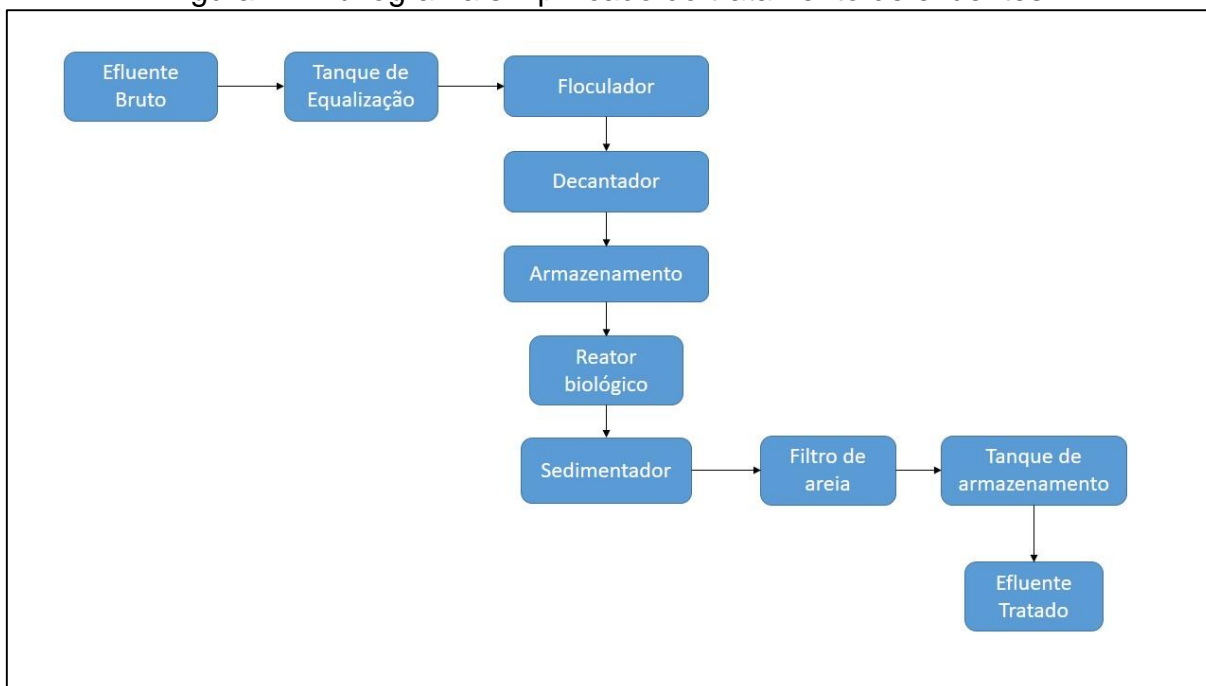
2.1.1.1 Tratamento de efluentes

O efluente adquire características de acordo com o processo do qual é oriundo e, normalmente, obtém impurezas compostas por substâncias minerais e orgânicas. Dentre essas substâncias tem-se materiais em suspensão, os não sedimentáveis, bem como bactérias que promovem odores desagradáveis (BIAZE, 2004). O principal objetivo do tratamento é o retorno do efluente ao corpo hídrico de modo que não modifique as características químicas, físicas e biológicas deste (IBRAHIN, 2014).

De acordo com a Resolução nº 355 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2005), pode-se classificar o tratamento de efluentes como avançado, no qual a água pode adquirir características como cor, odor, sabor, atividade tóxica ou patogênica. Também pode ser classificado como simplificado, que se dá por meio de filtração, desinfecção e uma correção do pH se for necessário. A última classificação e comumente a mais aplicada, é o tratamento do tipo convencional, este compõe-se das etapas de equalização, floculação, decantação, sedimentação, reatores biológicos entre outros. Na Figura 1 é apresentado um fluxograma simplificado do tratamento de efluente industrial.

Conforme Livinalli et al. (2018), o sistema convencional de tratamento nem sempre consegue eliminar completamente os contaminantes do efluente, portanto, para a melhoria da qualidade da água e até mesmo visando o seu reúso são utilizados diversos processos além do convencional, dentre eles, a separação por membranas.

Figura 1 - Fluxograma simplificado do tratamento de efluentes.



Fonte: o autor (2018)

Outra legislação fundamental para o tratamento de efluentes é a Resolução CONSEMA nº 355/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017). Nesta, são apresentados os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para seu respectivo lançamento em águas superficiais no estado do Rio Grande do Sul. No Quadro 1 é apresentada a tabela dos valores padrão de emissão de efluentes.

Tabela 1 – Padrões para lançamento de efluente tratado em águas superficiais.

Parâmetros	Padrão de emissão
Alumínio Total	10 mg/L
Cobre total	0,5 mg/L
Cor	Não deve conferir mudança de coloração (cor verdadeira) ao corpo hídrico receptor
Demanda bioquímica de oxigênio	80 mg/L
Demanda química de oxigênio	300 mg/L
Ferro total	10 mg/L
Fósforo total	3,0 mg/L
Materiais Flutuantes	Ausentes
pH	Entre 6,0 e 9,0
Sólidos suspensos totais	100 mg/L
Temperatura	40°C
Zinco total	2,0 mg/L

Fonte: Adaptado de Resolução CONSEMA nº 355/2017 (2017).

2.1.2 Reúso de água

Diante da crescente demanda do uso de recursos hídricos, o risco de escassez da água vem se tornando iminente. Por isso, o reúso de água está se tornando uma técnica muito cogitada, pois apresenta um grande potencial de utilização em atividades diversas, como por exemplo, reúso na agricultura, nas atividades domésticas e também nas indústrias. O reúso de água pode ser dividido em três categorias: direto, indireto ou por reciclagem interna. Conforme Bittencourt (2014), o reúso direto é o uso sem devolução a um corpo hídrico. No reúso indireto, a água é utilizada e devolvida a um corpo hídrico superficial ou subterrâneo, enquanto que a reciclagem interna ocorre internamente às instalações industriais, como por exemplo, o reúso para descarga nos sanitários.

Segundo Marinowski (2007), o reaproveitamento de água da chuva para fins não potáveis vem sendo amplamente aplicado em usos domésticos, tais como limpeza de calçadas, lavagem de automóveis, uso nas máquinas de lavar roupa, assim como também pode ser aplicado nas atividades agrícolas, como por exemplo na irrigação. Com o aumento dos impactos negativos causados ao meio ambiente, cada vez mais as indústrias realizam o tratamento de efluente visando a sua reutilização. A água de reúso é uma alternativa cada vez mais aplicada nas empresas, principalmente nas atividades em que não é necessário o uso de água potável (POHL; LENZ, 2017).

Frequentemente, não se encontram informações sobre o padrão de qualidade da água para determinado processo industrial, o que pode atrapalhar o reconhecimento de possibilidades de reúso. Por conseguinte, é primordial que seja realizado um estudo detalhado do processo, para então evidenciar a qualidade da água almejada após seu tratamento (HESPANHOL et al., 2006).

A redução de custo é um dos principais atrativos para o reúso de efluentes nas indústrias, pois reduzindo ou extinguindo o excessivo consumo de água no decorrer dos processos industriais, tem-se uma redução das despesas da empresa. Além do que o reúso total de efluente tratado na indústria evita a contaminação ao meio ambiente e, também, proporciona um engajamento social e ambiental da empresa, demonstrando seu comprometimento com os impactos negativos que suas atividades podem exercer no meio ambiente (MIERZWA, 2002).

Normalmente é necessário um tratamento antecedente ao reúso do efluente, a escolha deste tratamento vai de acordo com a qualidade desejada e as características

da água. Quando é preciso é qualidade superior de reúso, o processo mais indicado é o de separação por membranas (FAPPI, 2015).

2.2 ADSORÇÃO POR CARVÃO ATIVADO

O carvão ativado é um dos adsorventes com maior aplicabilidade e, geralmente, é utilizado para a adsorção de componentes oriundos de soluções aquosas ou de gases úmidos (TADINI e al., 2016). Além disso, é um material carbonáceo composto de uma grande quantidade de poros.

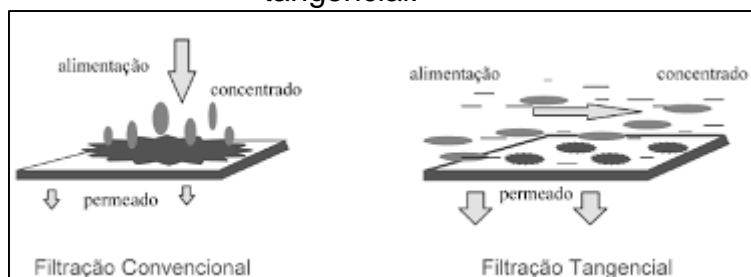
Este adsorvente é o carvão tratado, o que acaba ocasionando uma maior área superficial, além de ser poroso e oriundo de diferentes materiais orgânicos por meio de reações de carbonização ou pirólise e ativação, que pode ser realizada por processo químico ou físico. Alguns dos materiais comumente empregados na sua fabricação são o carvão mineral, o açúcar, madeiras, a casca do coco, entre outros (MATOS, 2015).

2.3 PROCESSO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS

Membranas podem ser descritas como barreiras semipermeáveis utilizadas no processo de separação entre duas fases. O emprego dos processos de separação por membranas nas indústrias vem sendo muito cogitado, pois apresenta a vantagem do baixo custo operacional, pois a separação, normalmente, ocorre a temperatura ambiente. No entanto, o *fouling* da membrana é um problema inevitável, que ocasiona uma elevada pressão de operação, leva a diminuição do fluxo, além da necessidade de uma limpeza química frequente. Conseqüentemente, a membrana terá um menor tempo de vida. (JIANG; LI; LADEWIG, 2017).

Para Chamon (2011), os processos de separação por membranas são caracterizados pela entrada de uma corrente de alimentação, a qual irá se decompor em duas novas correntes, a de permeado que consiste na fração que atravessa a membrana, e a corrente do concentrado que é equivalente a porção que ficou retida pela superfície da mesma. Além disso o fluxo pode acontecer de forma convencional ou tangencial, conforme representado na Figura 2.

Figura 2 – Ilustração do processo de separação por membranas convencional e tangencial.



Fonte: Adaptado de Nóbrega (2016).

Os processos de filtração por membranas podem incluir a microfiltração (MF), a ultrafiltração (UF), a nanofiltração (NF), a osmose inversa (OI) e a eletrodialise (ED). No último processo, a passagem dos íons pela membrana ocorre em virtude da diferença de potencial de uma corrente elétrica contínua aplicada ao sistema (IBRAHIN, 2014). No Quadro 1 são apresentadas as características dos principais processos de separação por membranas.

Quadro 1 – Características dos principais processos de separação por membrana.

Processos	Força motriz	Diâmetro de poros (nm)	Concentrado	Permeado
Microfiltração (UF)	Diferença de pressão	10000 – 100	SST e turbidez	Águas, solutos dissolvidos
Ultrafiltração (UF)	Diferença de pressão	100 – 10	Macromoléculas e coloides	Água, açúcares
Nanofiltração (UF)	Diferença de pressão	10 – 1	Açúcares, ácidos dissociados	Água, ácidos não dissociados
Osmose Inversa (OI)	Diferença de pressão	< 1	Todos os solutos	Água
Eletrodialise (ED)	Diferença de potencial elétrico	< 2	Solutos não iônicos	Água e íons

Fonte: Adaptado de Lovatel (2011).

2.3.1 Osmose inversa

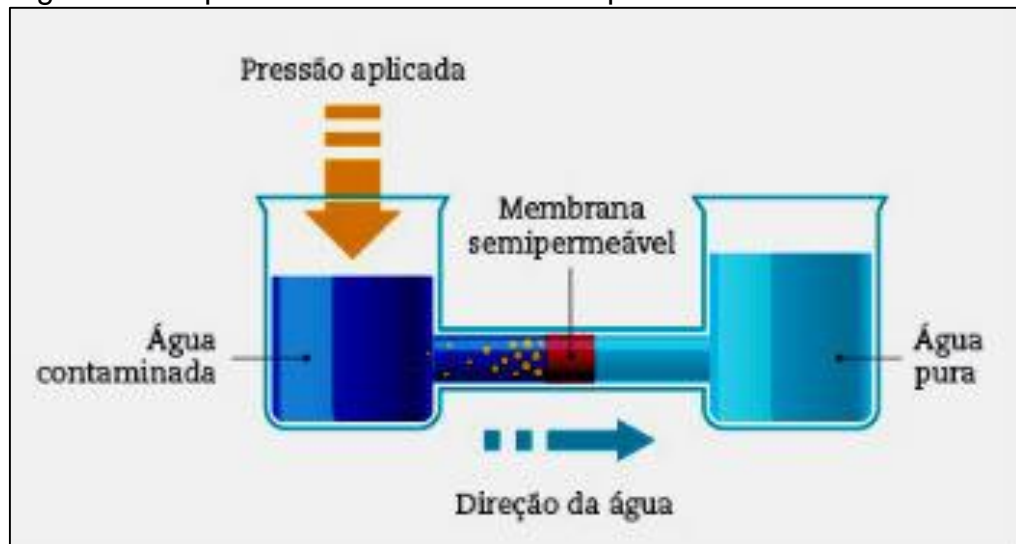
A osmose inversa é um processo de dessalinização da água com o emprego de membranas permeáveis a água, porém impermeáveis ao sal (BAKER, 2004). De

acordo com Metcalf e Eddy (2016), o processo de osmose inversa abrange aspectos ligados aos fluxos de solutos e água que passam pela membrana, a taxa de recuperação de água e também a análise do balanço de massa equivalente.

Conforme Moreira (2017), o processo de osmose inversa gera um permeado com alta pureza e isso ocorre devido a característica da membrana que é como uma barreira para as partículas sólidas, íons, entre outros. Nas usinas de dessalinização este método é comumente utilizado.

A separação se dá pelo uso da pressão que é aplicada com a finalidade de forçar a passagem de uma solução pela membrana, a qual mantém o soluto de um lado e permite a passagem do solvente (IBRAHIN, 2014). Na Figura 3 é apresentado o esquema de funcionamento do processo de osmose inversa.

Figura 3 - Esquema de funcionamento do processo de osmose inversa.



Fonte: Vale (2014)

O *fouling* é considerado o problema mais crítico na operação de sistemas com membranas de osmose inversa, é decorrente da incrustação, que consiste em uma camada que acaba obstruindo os poros da membrana, esta é formada em virtude do material que fica retido na superfície da mesma. A prevenção deste processo é realizada com limpezas químicas (NÓBREGA, 2016).

2.4 REÚSO DE ÁGUA COM MEMBRANA DE OSMOSE INVERSA E CARVÃO ATIVADO

As membranas de osmose inversa são muito utilizadas para reúso de água em virtude da sua eficiência para remoção de condutividade elétrica, sólidos, entre outros parâmetros. Cianci et al. (2005) avaliaram a clarificação e a concentração do suco de caju por processos de separação por membranas. A membrana de osmose inversa apresentou resultados satisfatórios, os quais mostraram que é possível a obtenção de suco de caju concentrado e clarificado.

Nóbrega (2016) avaliou a eficiência de membranas de osmose inversa como um pós-tratamento ao esgoto doméstico. Neste estudo relatou uma eficiência da membrana de 99,5%, mostrando-se eficiente e atendo aos valores para o reúso em torres de resfriamento.

Marrara (2005) propôs o uso da adsorção por carvão ativado combinada a outras tratamentos como um pós-tratamento de efluentes domésticos visando a sua reutilização. O autor encontrou reduções satisfatórias e esperadas para os parâmetros de cor e turbidez, quando o carvão foi combinado a um sistema de pré-filtro e areia.

Scapini (2007) estudou o desempenho de uma membrana de osmose inversa para o reúso de efluente de curtume. Os resultados demonstraram uma redução próxima a 100% para parâmetros como demanda bioquímica de oxigênio, sólidos suspensos e cromo, enquanto para outros parâmetros e eficiência de remoção foi maior que 70%.

Schmitt (2011) apresentou o estudo do tratamento de águas residuárias da indústria de laticínios com a combinação dos processos de adsorção, floculação, coagulação e ultrafiltração. Para a adsorção a autora atingiu reduções de 82,1% para o parâmetro de cor e 98,5% para a turbidez, quando o pH era de 6,00.

Rosa (2012) avaliou a eficiência do tratamento com membrana de osmose inversa para o reúso da purga de torres de resfriamento. O resultado relatado para o parâmetro de condutividade elétrica apresentou de uma redução de 92,8%, enquanto para a alcalinidade total foi de 90,3% e para a dureza a redução foi próxima aos 100%. A autora concluiu que os resultados alcançados são aceitáveis para uso na torre de resfriamento.

Souza (2014) analisou e caracterizou o concentrado obtido de uma membrana de osmose inversa no tratamento de água industrial. A autora concluiu que a eficiência deste tratamento varia conforme a qualidade da água bruta que é alimentada na membrana.

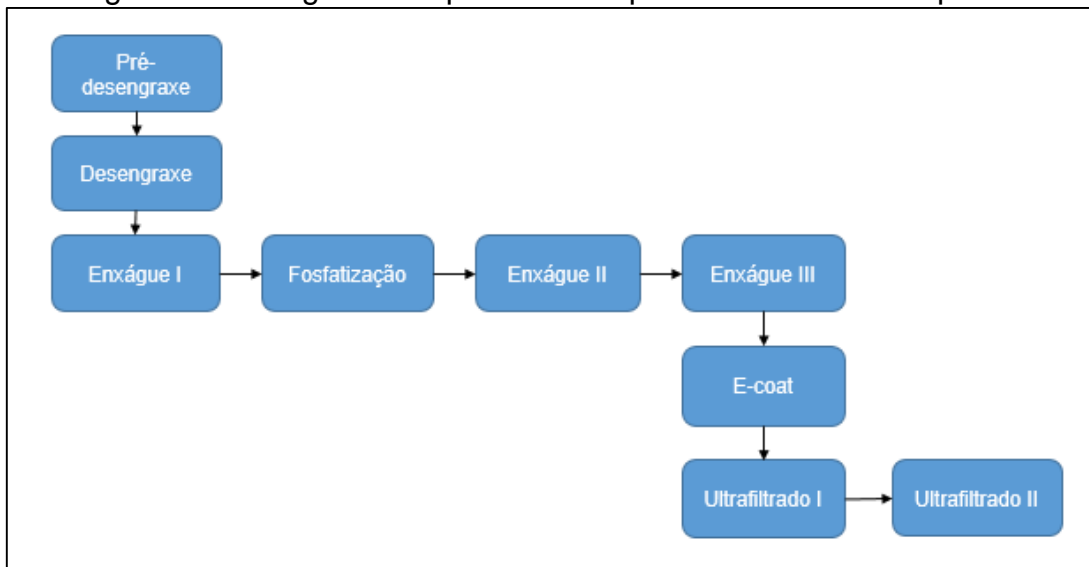
Para Moreira (2017), o tratamento com osmose inversa combinado com a precipitação pode ser utilizado para o reúso de efluente em uma refinaria. O autor alcançou redução de 90% de íons como, por exemplo, cálcio e magnésio. Com este e outro resultados o autor concluiu que a qualidade da água obtida possibilita a sua reutilização em torres de resfriamento e caldeiras.

Dessa forma, o uso de membranas de osmose inversa como um pós-tratamento para o reúso de efluente mostrou ser eficiente. O uso das membranas combinado com outro tratamento apresentou resultados satisfatórios para o trabalho de Moreira (2017) e, além disso, alcançou reduções expressivas na maior parte da literatura estudada.

3 ESTUDO DE CASO

O estudo para avaliação da viabilidade da proposta de reúso total do efluente industrial tratado está sendo desenvolvido em uma indústria do setor metal-mecânico localizada na cidade de Caxias do Sul (RS). Conforme será apresentado, o sistema de pré-tratamento e pintura *e-coat* é composto por diversos estágios. O processo da empresa é composto pelas etapas de pré-desengraxe, desengraxe, enxágues, fosfatização, *e-coat* e ultrafiltrados, conforme representado o fluxograma da Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma do processo de pré-tratamento da empresa.



Fonte: A autora (2018).

A principal peça que passa por todo este processo é o chassi de carreta, por isso os tanques são de grandes dimensões. Antes de chegar a estas etapas o chassi deve ser conduzido para o jateamento por granalha, que acontece conforme será explicado no item 3.1. O efluente que será utilizado neste estudo é gerado nas etapas de pré-desengraxe, desengraxe e enxágues. Na Figura 5 é apresentado o deslocamento de um chassi do tanque do desengraxe para o tanque do enxágue.

Figura 5 - Chassi sendo deslocado do tanque do desengraxe para o tanque do enxágue.



Fonte: Empresa (2018).

Neste deslocamento acaba acontecendo o arraste de um banho para o outro, apesar de o chassi ficar suspenso por cerca de 2 minutos antes de ser levado até o próximo banho.

3.1 PROCESSO DE PINTURA INDUSTRIAL

A pintura industrial é um método amplamente utilizado para a proteção anticorrosiva que, além disso, proporciona um aspecto estético mais agradável, impede a incrustação de alguns microrganismos e também reduz a rugosidade da superfície (MAGNAN, 2011).

3.1.1 Pré-tratamento de superfícies

3.1.1.1 Jateamento por granalha

O jateamento é um processo amplamente utilizado na indústria para o tratamento superficial de componentes com o propósito de eliminar óxidos e outras sujidades das superfícies metálicas. Neste processo são usadas pequenas partículas de elevada dureza, que são aceleradas por meio de jatos de ar ou rotação, sendo assim projetadas em direção à superfície da peça (SOARES, 2013; MENEGHEL, 2017). É apresentada na Figura 6 um exemplo de granalha de aço.

Figura 6 - Exemplo de granalha de aço



Fonte: Deumex do Brasil (2018).

De acordo com Soares (2013) o jateamento proporciona aumento na aderência da tinta e também na sua resistência à corrosão. A limpeza que ocorre em virtude deste processo é considerada mais rápida, o que difere de limpezas manuais ou da decapagem (MENEGHEL, 2017).

A granalha utilizada neste processo vai se desgastando gradativamente devido ao seu uso contínuo e, por conseguinte, ocorre a redução de suas partículas. Segundo Meneghel (2017), as menores partículas precisam ser retiradas do processo, pois devido ao desgaste não possuem a mesma eficiência. Portanto essa granalha pequena não irá retirar as sujidades da superfície do componente metálico, além de não propiciar um tratamento superficial de qualidade.

3.1.2 Tanques de pré-tratamento

O pré-tratamento das peças antes de acontecer a pintura, é uma etapa importante para a qualidade do processo, pois proporciona a limpeza das peças metálicas, ocasionando uma maior aderência da tinta na superfície das peças, além de aumentar a resistência à corrosão e, também, ao empoamento (SOARES, 2013). O processo normalmente é composto por etapas como o desengraxe, enxágues, fosfatização e outro enxágue em água deionizada.

O desengraxe é uma das etapas iniciais do pré-tratamento e possui como principal função retirar óleos e graxas presentes na superfície das peças, visto que a limpeza é indispensável para a obtenção de uma boa aderência (VILLAS, 2006).

O enxágue, normalmente acontece com uso de água industrial a temperatura ambiente. O objetivo desta etapa é remover os resíduos do desengraxe que permaneceram sobre a superfície metálica, impedindo a contaminação das próximas etapas do pré-tratamento (SANTOS, 2016).

A fosfatização consiste em solução que é preparada a partir de um fosfato tricatiônico, composto por zinco, níquel e manganês, que ao serem depositados na superfície metálica, formam uma camada protetiva melhorando a aderência da tinta e aumentando consideravelmente sua resistência a corrosão (SILVA, 2012).

De acordo com Santos (2016), após a etapa de fosfatização é realizado outro enxágue com água industrial visando remover os resíduos e a acidez oriunda da etapa anterior, evitando assim a contaminação dos próximos estágios.

Ao final de todo processo é efetuado um enxágue com água desmineralizada (DI) por imersão e à temperatura ambiente, pois tem-se a necessidade de uma água com condutividade elétrica $\leq 10 \mu\text{S}/\text{cm}$ em virtude da eficiência de remoção da acidez excessiva e os sais residuais oriundos do estágio anterior (SANTOS, 2016). A água desmineralizada ou deionizada é a mais adequada para processos industriais, pois não contém em sua composição sais minerais (MIERZWA, 2002).

3.1.3 Pintura e-coat

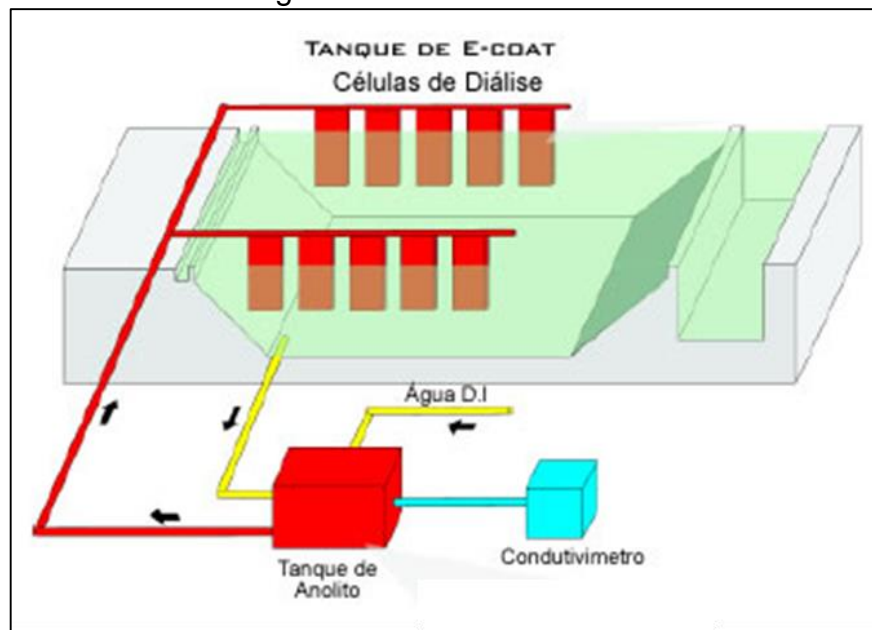
A pintura *e-coat*, também conhecida por KTL (*Kathodische Tauchlackierung*), consiste em um processo de pintura por eletrodeposição. Neste ocorre a eletrólise, processo no qual o metal a ser revestido tem a função de cátodo e é imerso numa solução que contenha o sal do metal que irá revesti-lo (TOLENTINO, 2015). Este método é muito aplicado quando se trata de chapas de aço carbono ou galvanizado, carrocerias de caminhões e automóveis, além de poder ser utilizado em alumínio e ferro fundido (THEODORO, 2014). Para Santos (2016), a eletrodeposição é o método mais eficiente para revestir componentes metálicos que possuem geometria complexa, com a finalidade de assegurar propriedades anticorrosivas à peça.

O banho de tinta *e-coat* é constituído por 80 a 90% de água desmineralizada (DI), 0 a 5% de pigmento, 10 a 20% de pasta e resina polimérica e 0 a 5% de solventes orgânicos (SOARES, 2013; SANTOS, 2016). Na eletrodeposição catódica a peça obtém cargas negativas e as partículas sólidas que encontram-se suspensas no

banho possuem cargas positivas. Portanto acontece a atração das mesmas pela peça, e este processo só é finalizado no momento em que toda a superfície estiver revestida pela camada de tinta (SOARES, 2013).

Para que o pH do banho seja mantido é necessário o uso de células de diálise e um sistema anolítico. Este é composto por uma membrana seletiva que propicia a passagem do ácido liberado constantemente no banho de tinta para o anolito. De acordo com Santos (2016) a função destas células é controlar o nível de acidez do tanque de tinta mantendo os valores o pH e condutividade elétrica constantes. O sistema é abastecido por água desmineralizada e, para que seja realizada a renovação do mesmo, é necessário o uso de uma célula solenoide, a qual garante seu abastecimento automático. O sistema de água DI utilizado no processo de pintura tem como princípio abastecer os tanques de enxágue, o anolito e também o tanque de tinta (SILVA, 2012). A Figura 7 apresenta o funcionamento do sistema de anolítico.

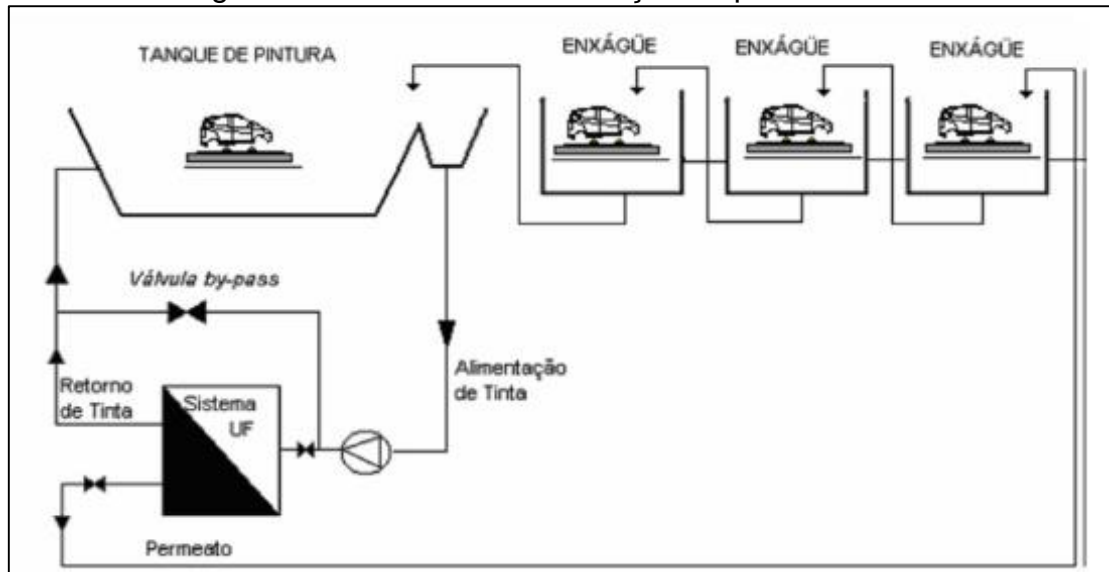
Figura 7 - Sistema anolítico.



Fonte: Silva (2012).

A ultrafiltração é um sistema utilizado com a finalidade de originar o permeado que será empregado no enxágue das peças após a pintura, o qual permite a regeneração da tinta que foi sendo arrastada pela peça, ao invés de ser aderida a superfície da mesma. (SILVA, 2012). Na Figura 8 está representado o desenho esquemático do sistema de ultrafiltração do processo de pintura *e-coat*.

Figura 8 – Sistema de ultrafiltração da pintura e-coat.



Fonte: Villas (2006).

Subsequente a etapa de eletrodeposição, pode ser adotada a pintura de acabamento, sendo esta realizada com tinta líquida ou tinta pó, por meio de aplicação automatizada ou manual. O emprego da pintura a pó é mais comum devido sua eficiência e vantagens apresentadas em relação a tinta líquida (SOARES, 2013).

Ainda para Soares (2013), após o *e-coat* é realizado o estágio de secagem em estufa para que aconteça a cura da pintura. Nesta etapa os componentes metálicos devem, indispensavelmente, receber o calor até suceder reações químicas da pintura a pó para que a mesma obtenha as características desejadas.

Atualmente, esta indústria possui uma demanda de tratamento de cerca de 200 m³ por dia e já realiza o reúso parcial de cerca de 70% do efluente tratado para fins não potáveis. O efluente bruto que chega a estação de tratamento é decorrente dos mais várias processos químicos desta indústria. A intenção do reúso total é minimizar os impactos, reutilizando esta água em algumas das etapas do sistema de pré-tratamento. O Anexo 1 apresenta o fluxograma da estação de tratamento de efluentes da empresa.

Portanto, a proposta deste estudo é de avaliar a viabilidade técnica do reúso de efluente tratado no processo de pintura e-coat desta empresa com o uso de membrana de osmose inversa e a adsorção por carvão ativado, realizando a comparação dos resultados obtidos com os valores estabelecidos para o uso de água no processo de pintura e-coat que são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores estabelecidos pela empresa para o uso de água do processo de pintura e-coat.

Parâmetros	Unidade	Valores
Alcalinidade total	mg/L	1,00
Alumínio	mg/L	0,50
Cloreto	mg/L	0,50
Cobre total	mg/L	1,00
Condutividade elétrica	µS/cm	< 10
Cor verdadeira	U.C.	5,00
DBO	mg/L	1,00
DQO	mg/L	10,00
Dureza total	mg/L	< 10
Ferro total	mg/L	1,00
Fósforo total	mg/L	1,00
Nitrogênio total kjeldahl	mg/L	1,00
pH	n.a	6,0 – 8,0
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	20,0
Sólidos suspensos totais	mg/L	20,0
Zinco total	mg/L	1,00

Fonte: A empresa (2018).

Os valores apresentados na Tabela 2 foram disponibilizados pela indústria do setor metal-mecânico onde o estudo está sendo realizado.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

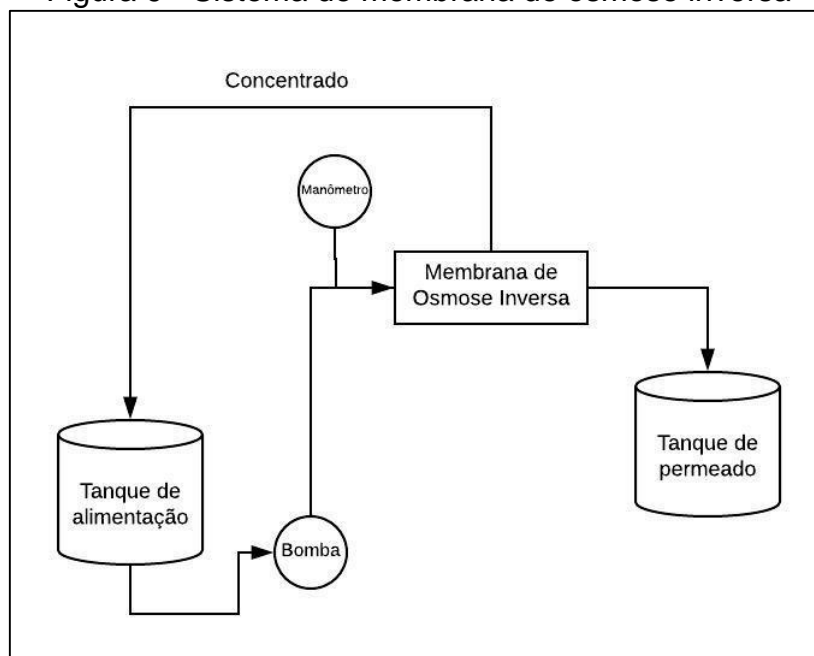
4.1 MATERIAIS

O material utilizado neste estudo foi a amostra de efluente coletada na empresa e enviada para o laboratório de engenharia química da Universidade de Caxias do Sul. Foram coletadas duas bombonas de 25L de efluente tratado, o qual o tratamento foi no mesmo dia da coleta.

4.2 MÉTODOS

A obtenção de dados para este estudo aconteceu através do uso de um sistema de membranas de osmose inversa localizado no laboratório de engenharia química da Universidade de Caxias do Sul. O módulo fornecido pela Didática SP Equipamentos para Laboratório é representado no esquema da Figura 9.

Figura 9 - Sistema de membrana de osmose inversa



Fonte: A autora (2018).

Para os testes desejados, também foram utilizados na filtração a vácuo o papel filtro, bomba a vácuo, kitassato e o funil de bunchner e as amostras foram realizadas conforme apresentado na Figura 10. Enquanto para a adsorção, foi utilizada a concentração de 2 g/L de carvão ativado comercial da marca simoquímica.

As amostras de efluente tratado foram coletadas diretamente na empresa e direcionadas ao laboratório da Universidade de Caxias do Sul, onde os testes se realizaram e após foram enviadas para o Laboratório de Análises e Pesquisas Ambientais – LAPAM, onde as análises físico-químicas de alcalinidade, alumínio, condutividade, cloretos, cobre, cor, dureza, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, ferro, fósforo, nitrogênio total kjeldahl, pH, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais e zinco total foram realizadas.

4.2.1 Caracterização da membrana

A membrana de osmose inversa que foi utilizada para filtração do efluente tratado é do modelo 17358 e possui as seguintes características:

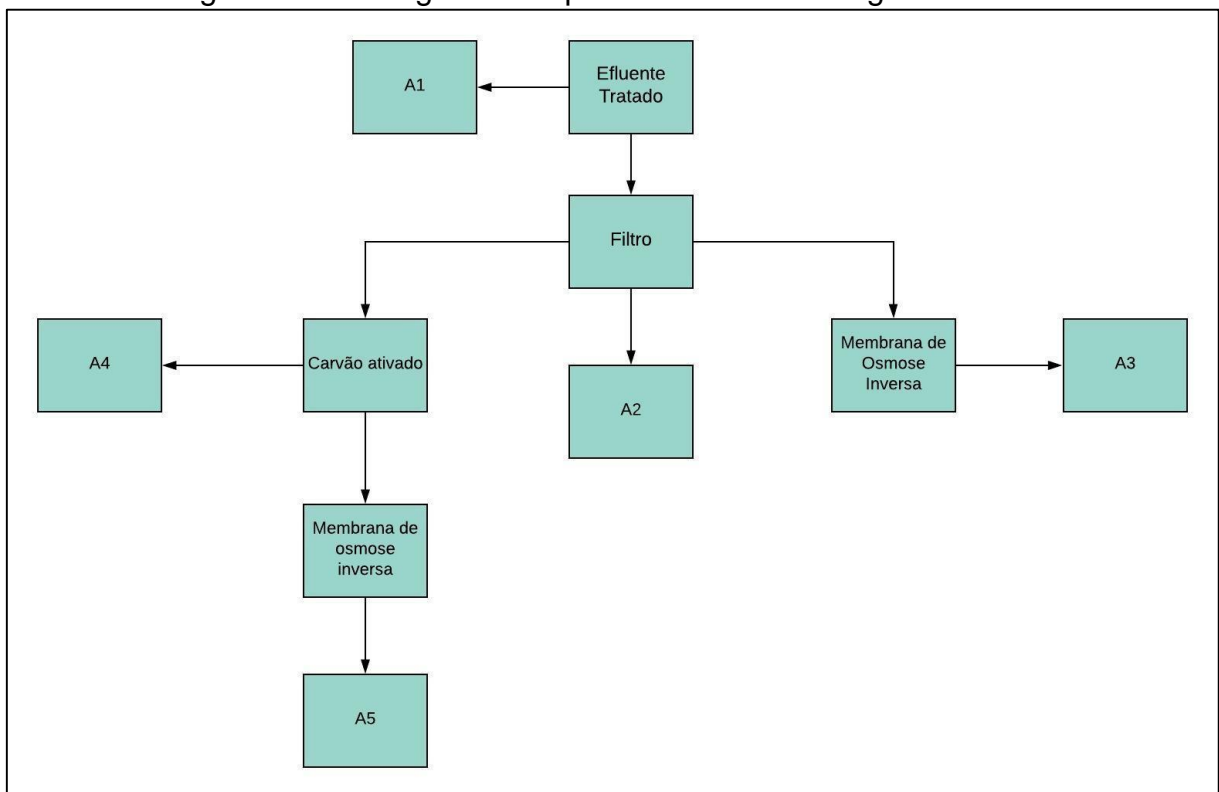
- a) tensão de funcionamento de 110 V;
- b) material de poliamida;
- c) vazão operacional de 50 GPD (8 L/h);
- d) pressão máxima de 200 PSI (14 kgf/cm²);
- e) temperatura máxima de 45°C;
- f) faixa de operação do pH de 3,0 a 10,0;
- g) cloro livre < 0,10 (mg/L);
- h) diâmetro de 4,57 cm e comprimento de 30,5 cm;
- i) área total de 480,7 cm².

Primeiramente a água destilada passou pelo sistema de membrana de osmose inversa para que fosse levantada a curva do fluxo de permeado em função da pressão. Para obtenção destes dados trabalhou-se com pressões de 1 a 6 kgf/cm², anotando as informações de condutividade elétrica, pressão e tempo, a cada 0,1L de permeado obtido e sendo as medidas realizadas em triplicata para cada uma das pressões. Com o volume de permeado, a área da membrana e os valores do tempo foram calculados os fluxos de permeado em L/m².h, com essa informação e os valores de tempo foi possível calcular o coeficiente de permeabilidade da membrana.

4.2.2 Tratamento com membrana de Osmose Inversa (OI) e carvão ativado

A membrana de osmose inversa foi a opção mais viável para a realização deste estudo porque retira a salinidade presente na água, diminuindo consideravelmente a condutividade elétrica, que é um fator crucial para o bom funcionamento do processo, além disso o carvão ativado reduz a cor do efluente, por isso a escolha da combinação dos dois tratamentos. O fluxograma da metodologia que foi utilizada neste estudo é apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma simplificado da metodologia utilizada.



Fonte: A autora (2018).

Conforme a Figura 10, foram realizadas cinco análises, a primeira somente do efluente tratado (A1), a segunda após a passagem por filtração a vácuo (A2), a terceira amostra passou pelo filtro de papel e após pela membrana de osmose inversa (A3), a quarta passou pelo filtro e pelo carvão ativado (A4) e a última amostra a ser analisada foi o efluente que após os dois filtros, papel e carvão, passou pela membrana (A5). A realização da análise em cada etapa é fundamental para verificar a eficiência de cada etapa do tratamento e avaliar a formação de *fouling* nas etapas em que foi utilizada a membrana.

O efluente tratado que foi a corrente de alimentação sofreu um pré-tratamento antes da sua passagem pela membrana. Em um primeiro momento ele passou por uma filtração a vácuo com o uso de filtro de papel, em virtude da quantidade de sólidos suspensos presentes na amostra de efluente. Em um segundo momento, após a filtração a vácuo a amostra permaneceu em contato com o carvão ativado durante 30 min, sobre um agitador magnético, para que fosse realizada a comparação de suas eficiências e assim garantir por mais tempo a vida útil da membrana e diminuir a formação do *fouling*.

Os filtros foram utilizados para que o efluente ao chegar à membrana tivesse a mínima quantidade de interferentes possível, como por exemplo os sólidos em suspensão. Conforme Tadini et al. (2016) o desempenho da membrana é caracterizado pelo fluxo de permeado e pode ser com o auxílio da Equação 1.

$$J_p = \frac{V_p}{A \cdot t} \quad (1)$$

Onde:

J_p – fluxo de permeado ($L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$);

V_p – volume do permeado (L);

A – área (m^2);

t – tempo (h).

Para o reúso em questão, foram necessárias as análises de condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, alcalinidade total, cor, dureza, pH, DQO, DBO, entre outros metais. Os resultados destes testes devem estar dentro dos parâmetros especificados para o processo de pintura, conforme apresentados Tabela 3 do Capítulo 5. Para o cálculo do coeficiente de permeabilidade hidráulica da membrana, são necessários os dados de fluxo de permeado e pressão, e com estes valores é construído um gráfico e a partir dele é realizada a regressão linear obtendo uma equação de primeiro grau, onde o coeficiente de permeabilidade hidráulica é encontrado.

4.2.3 Limpeza da membrana

Entre as filtrações das amostras e quando a formação do *fouling* aconteceu, foi realizada a limpeza química. Subsequente a ela, foi filtrada água pelo sistema para garantir que não houvesse qualquer resquício de produtos químicos na membrana. Como verificação da efetividade desta limpeza, será calculada e levantada uma nova curva e seus resultados comparados à primeira.

A realização de limpezas químicas do sistema de membrana garantiu o seu desempenho. Conforme Tadini et al. (2016), existe a necessidade de realizar limpezas periódicas no sistema de membranas. Normalmente esta limpeza acontece de acordo com recomendações do fabricante e as mais aplicadas são com uso de soluções alcalinas, como por exemplo o hidróxido de sódio. Dependendo de qual foi o agente causador do *fouling*, poderá ser utilizada uma solução de ácido sulfúrico. Além disso, também deverá ser realizado enxágue com água limpa para a remoção de sujeiras e resíduos da solução aplicada na limpeza.

O procedimento de limpeza realizado ao término da filtração de cada amostra consistiu nas seguintes etapas:

- a) enxágue com água destilada: para remoção de qualquer resíduo de amostra foi utilizada água destilada a uma pressão de 0,5 bar, a qual manteve-se circulando no sistema durante 30 minutos;
- b) limpeza alcalina: nesta etapa também foi utilizada água destilada, porém seu pH foi ajustado a uma faixa entre 10 e 10,5 com uso de hidróxido de sódio (NaOH), esta solução foi passada pelo sistema durante 20 minutos e sob a ausência de pressão;
- c) enxágue com água destilada: água destilada é circulada pelo sistema de membrana durante para 20 minutos, sob a ausência de pressão, com o objetivo de remover resíduos da etapa anterior;
- d) limpeza ácida: Adicionou-se ácido cítrico a água destilada até atingir o pH 3, esta solução foi circulada no sistema durante 10 minutos numa faixa de pressão entre 0,5 e 1,5 bar.
- e) enxágue com água destilada: na etapa final da limpeza química, foi novamente circulada água destilada pelo sistema, novamente sob a ausência de pressão, até o permeado atingir o pH 7,0.

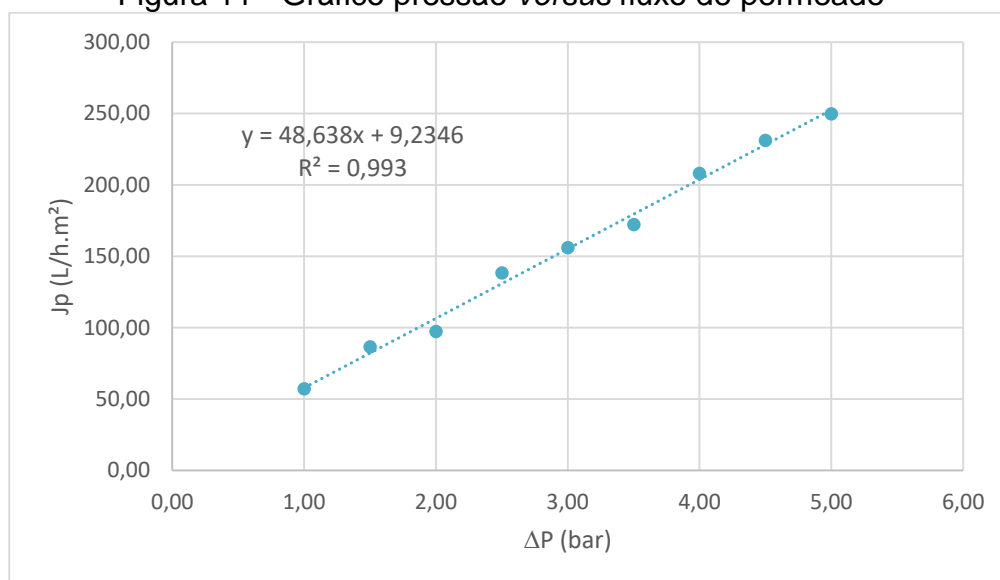
As etapas citadas anteriormente seguem conforme o que foi apresentado por Baldasso (2008) devendo serem respeitados pH e temperatura indicados pelo fabricante.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA MEMBRANA

A caracterização da membrana de osmose inversa antes da filtração das amostras e após a limpeza química é necessária para a identificação da formação de *fouling*. Antes de iniciar os experimentos foi levantada a curva de fluxo de permeado *versus* a pressão utilizando água destilada, conforme é apresentada na Figura 11.

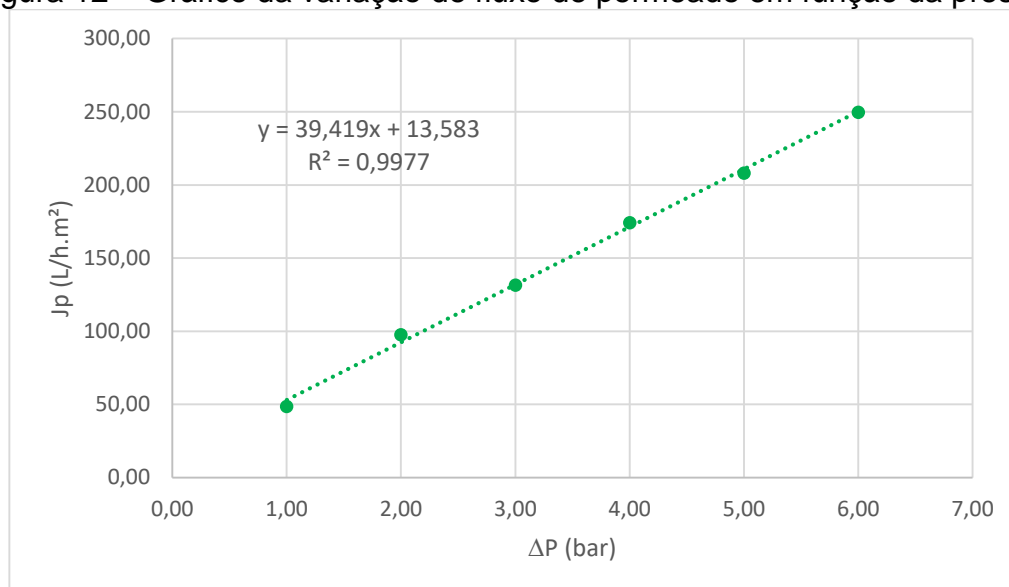
Figura 11 - Gráfico pressão *versus* fluxo de permeado



Fonte: A autora (2019).

Pode-se observar que com o aumento da pressão de trabalho o fluxo de permeado também aumentou, conforme demonstrando na Figura 11, apresentando um coeficiente de permeabilidade de 48,64 L/h.m².bar. Antes do início dos meus testes a membrana foi utilizada, por isso foi realizado o levantamento de uma nova curva de caracterização que é apresentada na Figura 12.

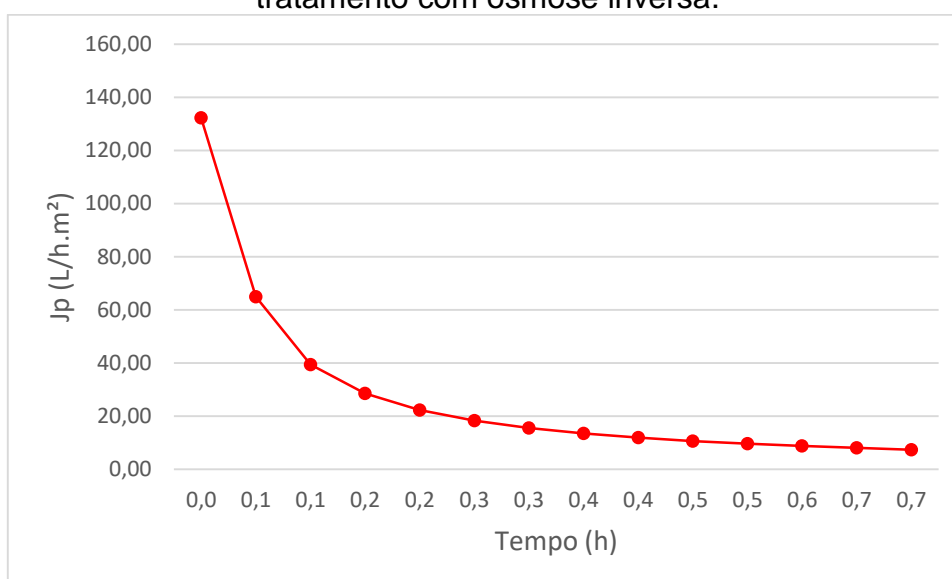
Figura 12 – Gráfico da variação de fluxo de permeado em função da pressão



Fonte: A autora (2019).

Na Figura 12, foi possível verificar que aconteceu uma redução no valor do coeficiente de permeabilidade hidráulica em relação à Figura 11, o valor encontrado foi de 39,42 L/h.m².bar. A curva da variação do fluxo permeado com o tempo foi construída de acordo com os dados obtidos durante o tratamento com filtro de papel e membrana de osmose inversa (A3) e é apresentada na Figura 13.

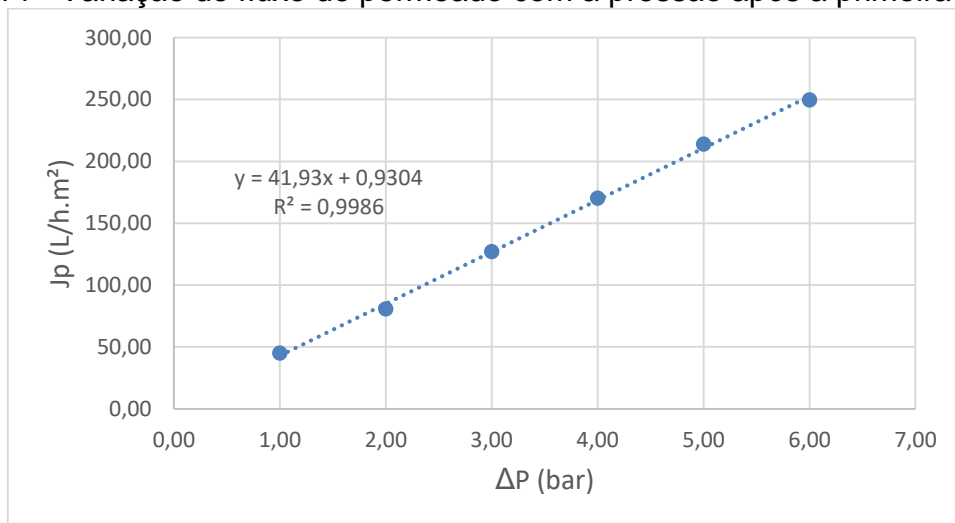
Figura 13 - Curva da variação do fluxo de permeado ao longo do tempo para o tratamento com osmose inversa.



Fonte: A autora (2019).

O fluxo de permeado inicial da filtração apresentou uma queda de cerca de 50%. De acordo com Cianci et al. (2005) esta queda inicial representa um perfil clássico entre os processos de separação com membrana e se dá em virtude da polarização de concentração, além de provocar a queda ainda ocasiona o acúmulo da retenção de materiais na superfície da membrana. Com os dados apresentados na Figura 13 é possível verificar uma queda de 94,4% no fluxo desde o início da filtração, esta queda pode indicar a formação de *fouling*. Na Figura 14 é exibido o gráfico da variação de fluxo de permeado com a pressão de operação após a primeira limpeza química na qual foi possível reverter o *fouling*.

Figura 14 - Variação do fluxo de permeado com a pressão após a primeira limpeza.

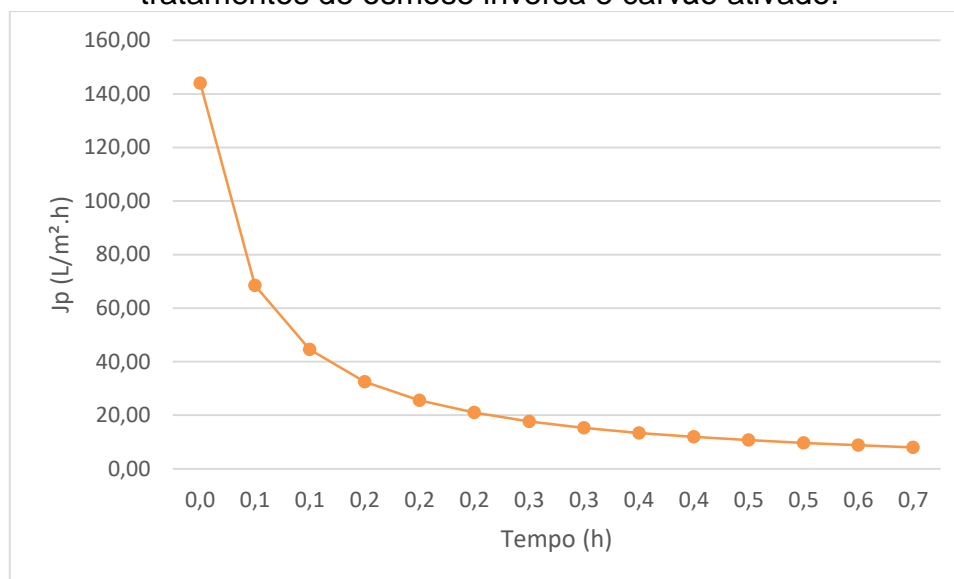


Fonte: A autora (2019).

A análise da Figura 14 sugere valores de fluxo de permeado próximos aos exibidos na Figura 12, a qual representa a variação de fluxo de permeado com a pressão antes de iniciar os experimentos. Comparando os resultados obtidos em ambas percebe-se que a limpeza química foi eficiente, pois na Figura 14 o coeficiente de permeabilidade encontrado é de 41,93 L/h.m².bar, enquanto na Figura 12 o coeficiente é de 39,42 L/h.m².bar.

A curva da variação do fluxo permeado com o tempo foi levantada de acordo com os dados obtidos durante o tratamento com a membrana combinada com o carvão ativado (A5) e é apresentada na Figura 14.

Figura 15 - Variação do fluxo de permeado com o tempo para a combinação dos tratamentos de osmose inversa e carvão ativado.

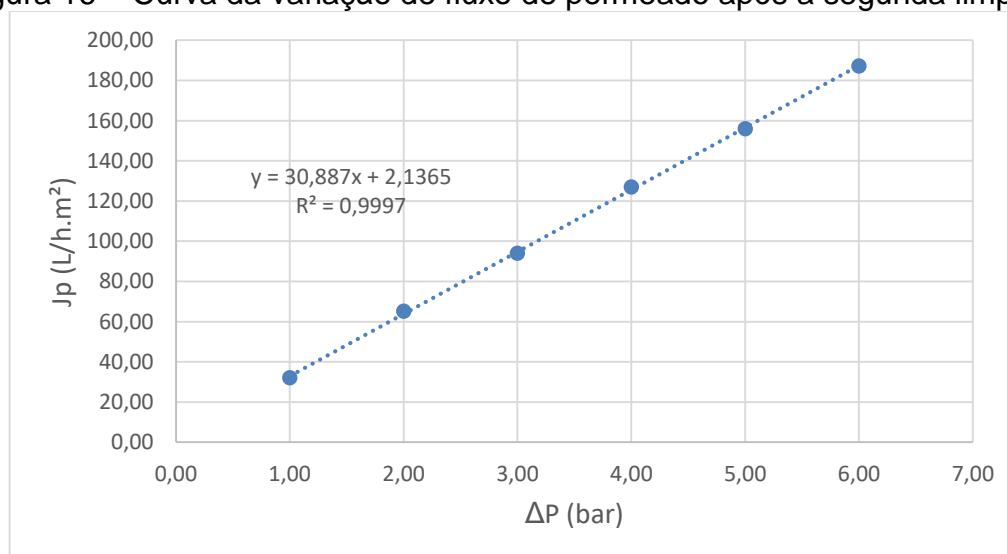


Fonte: A autora (2019).

Ao analisar os valores expostos na Figura 15 é possível verificar um comportamento semelhante ao da Figura 14. Também houve uma queda maior que 50% no fluxo inicial e uma redução de fluxo de 94,5% ao longo da filtração. O perfil encontrado na Figura 15 demonstra que ocorreu a obstrução dos poros da membrana e pode indicar a formação de *fouling* na superfície da membrana.

Na Figura 16 é apresentado o gráfico da variação de fluxo de permeado com a pressão de operação do sistema após a segunda limpeza química.

Figura 16 – Curva da variação de fluxo de permeado após a segunda limpeza.



Fonte: A autora (2019).

De acordo com os valores apresentados na Figura 16, foi possível identificar um coeficiente de permeabilidade de 30,89 L/h.m².bar após a segunda limpeza, este valor apresentou uma redução de 21,6% em relação a Figura 12 e de 26,3% quando comparado ao resultado após a primeira limpeza, apresentado na Figura 14. Isso indica que a segunda limpeza não foi eficiente, pois o valor encontrado foi inferior ao valor inicial antes da realização dos experimentos, ou seja, conforme apresentado por Rosa (2012) a redução do valor de permeabilidade pode ter sido devido a falha na limpeza química, assim como também pode indicar a formação de *fouling* irreversível na membrana de osmose inversa.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

O efluente tratado (A1) foi a primeira amostra deste estudo conforme apresentado na Figura 10 do capítulo 4. A caracterização do efluente é necessária para que seja realizada a comparação dos resultados com as amostras posteriores para verificar a eficiência dos tratamentos.

Tabela 3 – Resultados das análises físico-químicas da amostra inicial.

PARÂMETRO	UNIDADE	AMOSTRA INICIAL (A1)
Alcalinidade total	mg/L	207,2
Alumínio	mg/L	0,642
Cloreto	mg/L	168,7
Cobre total	mg/L	< 0,069
Condutividade elétrica	µS/cm	1046
Cor verdadeira	U.C.	250
DBO ₅	mg/L	88,9
DQO	mg/L	182
Dureza total	mg/L	130
Ferro total	mg/L	0,198
Fósforo total	mg/L	9,26
Nitrogênio total kjeldahl	mg/L	8,16
pH	n.a	7,55
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	703
Sólidos suspensos totais	mg/L	58
Zinco total	mg/L	0,365

Fonte: A autora (2019).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 3, é possível verificar que o efluente desta empresa atende aos valores especificados para lançamento,

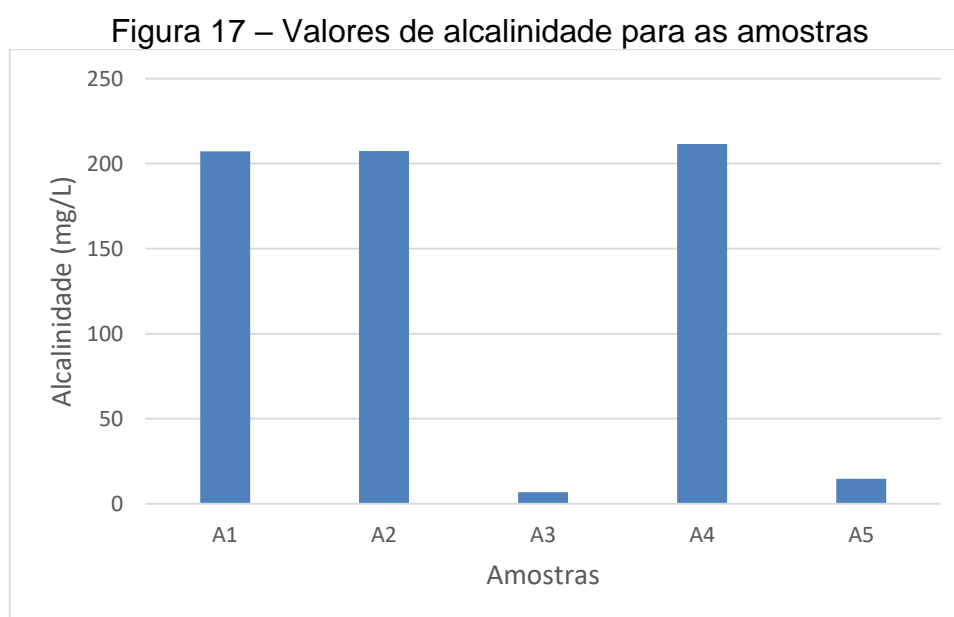
porém necessita de um pós-tratamento para que seja realizado o seu reuso no processo de pintura. Além disso, foi observado que a amostra inicial possui uma grande quantidade de sólidos dissolvidos e uma elevada condutividade elétrica.

5.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Neste item serão apresentados graficamente os resultados obtidos nas análises físico-químicas conforme parâmetros estabelecidos no item 4.2 do capítulo 4.

5.3.1 Alcalinidade total

Os resultados encontrados para a análise de alcalinidade total são indicados na Figura 17. É possível observar valores semelhantes para o efluente tratado (A1), a amostra que passou pelo filtro de papel (A2) e a que passou pelo tratamento com carvão ativado (A4), e uma redução expressiva na amostra tratada com osmose inversa (A3) e na combinação dos tratamentos da membrana com o carvão ativado (A5).



Fonte: A autora (2019).

(A1) Efluente tratado; (A2) Efluente tratado + filtro de papel; (A3) Efluente tratado + filtro de papel + membrana de osmose inversa; (A4) efluente tratado + filtro de papel + carvão ativado e (A5) efluente tratado + filtro de papel + carvão ativado + membrana de osmose inversa.

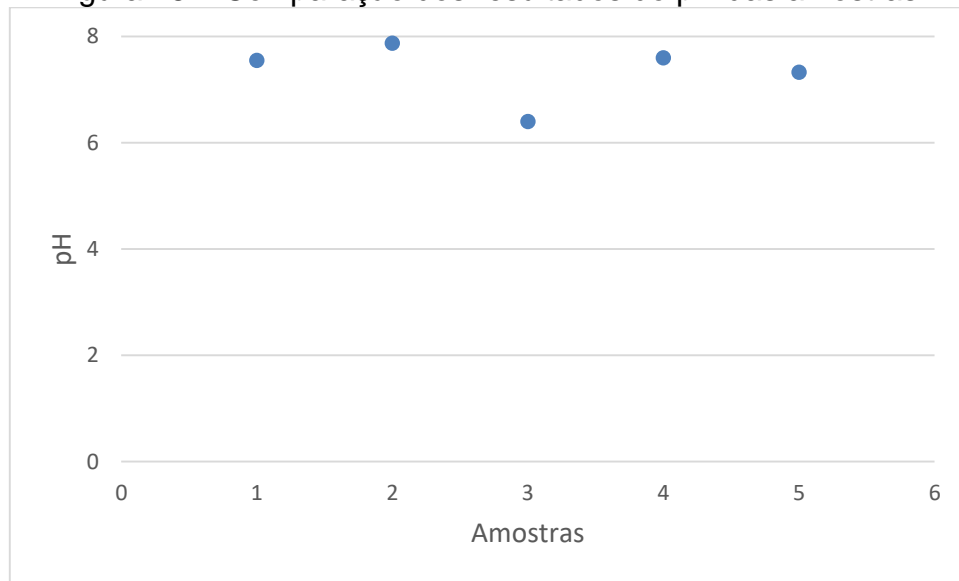
Realizando a comparação dos resultados exibidos na Figura 17 percebe-se redução insignificativa da amostra de efluente tratado (A1) para a que foi utilizado filtro de papel (A2) e um leve aumento para a tratada com o filtro combinado com o carvão ativado (A4), o que indica que o filtro de papel e o carvão ativado não são eficientes para reduzir os valores da alcalinidade total presentes no efluente.

A remoção de alcalinidade na amostra tratada com a membrana (A3) atingiu 96,7% apresentando a melhor eficiência entre os tratamentos. Para o tratamento com a membrana combinado com o carvão ativado (A5) este percentual chegou a 93%, sendo a segunda maior eficiência em relação ao efluente tratado (A1). Estas reduções do tratamento com a membrana (A3) e da osmose inversa combinada com o carvão ativado (A5) são superiores ao percentual de 88,8% encontrado por Almeida (2017). As amostras que passaram pelo filtro de papel (A2) e pelo carvão ativado (A4) apresentaram os piores resultados, estando a filtração a vácuo (A2) com 207,2 mg/L, o mesmo valor determinado no efluente tratado (A1). Enquanto a amostra de carvão ativado ficou com percentual de remoção negativo, ao invés de diminuir a alcalinidade acabou sofrendo um aumento de 2,1%. Este resultado deixa explícito que ocorreu um problema com este carvão, pois ao invés de diminuir o parâmetro ele acabou levando ao seu aumento, o que indica que provavelmente este carvão estava saturado.

5.3.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os valores obtidos de pH para cada amostra são exibidos na Figura 18.

Figura 18 – Comparação dos resultados do pH das amostras.



Fonte: A autora (2019).

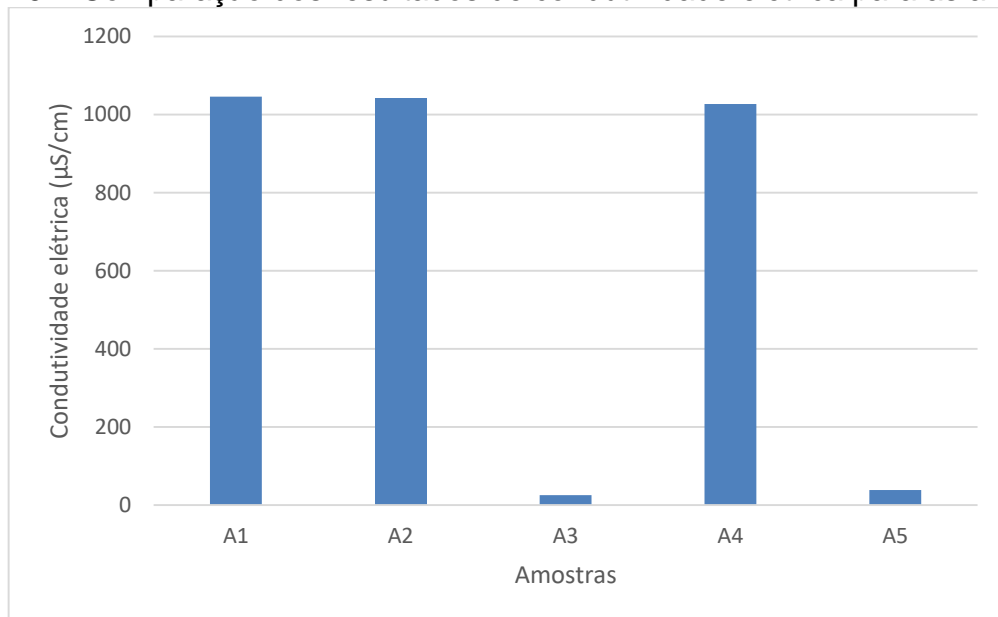
(1) Efluente tratado; (2) Efluente tratado + filtro de papel; (3) Efluente tratado + filtro de papel + membrana de osmose inversa; (4) efluente tratado + filtro de papel + carvão ativado e (5) efluente tratado + filtro de papel + carvão ativado + membrana de osmose inversa.

Os resultados encontrados para o pH encontram-se dentro do especificado para o reúso de efluente em todas as amostras, estando na faixa de 6,00 a 8,00 que foi estabelecida na Tabela 2. Para a amostra que passou pela filtração à vácuo (A2) o valor encontrado está próximo ao limite máximo apresentando um aumento em relação ao efluente tratado (A1) de 7,55 para 7,87, já o valor de pH obtido para a membrana (A3) foi o menor entre todos sendo de 6,4. O valor de pH próximo a 6,00, encontrado na amostra filtrada pela membrana de osmose inversa obteve esta redução em virtude ao valor dos sólidos dissolvidos também apresentarem uma queda (ALMEIDA, 2017). Os valores de pH estão relacionados com os resultados encontrados para o parâmetro de alcalinidade total, como o menor valor para este parâmetro foi atingido na amostra que passou pelo tratamento com a membrana (A3), consequentemente também obteve o menor valor para o pH.

5.3.3 Condutividade elétrica

A figura 19 apresenta a comparação dos resultados obtidos para o parâmetro de condutividade elétrica.

Figura 19 – Comparação dos resultados de condutividade elétrica para as amostras.



Fonte: A autora (2019).

(A1) Efluente tratado; (A2) Efluente tratado + filtro de papel; (A3) Efluente tratado + filtro de papel + membrana de osmose inversa; (A4) efluente tratado + filtro de papel + carvão ativado e (A5) efluente tratado + filtro de papel + carvão ativado + membrana de osmose inversa.

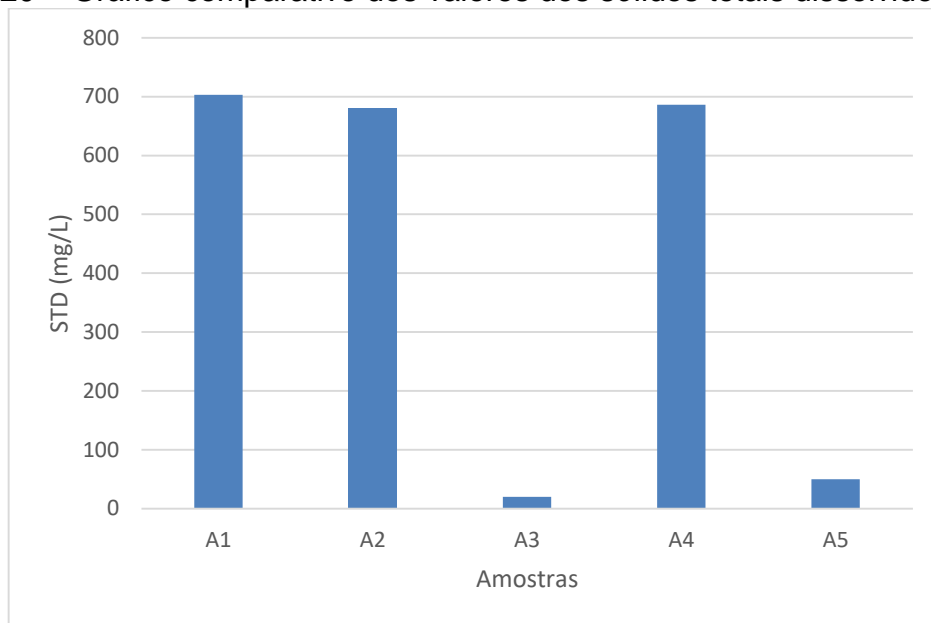
O resultado de 1046 $\mu\text{S}/\text{cm}$ obtido na amostra de efluente tratado (A1) demonstra a alta condutividade elétrica do efluente e apresenta uma pequena redução para as amostras que passaram pelo filtro de papel (A2) e pelo filtro combinado com o carvão ativado (A4), deixando claro que a filtração a vácuo e a adsorção por carvão ativado não são eficientes para redução de condutividade elétrica no caso do efluente gerado no processo de pintura. Enquanto que as amostras que passaram pela filtração à vácuo combinada com a membrana (A3) e pelo tratamento de osmose inversa combinado com o carvão ativado (A5) apresentaram uma queda expressiva no valor de 97,6% para a membrana de osmose inversa e 96,3% para o carvão ativado combinado com a filtração na membrana de osmose.

O percentual de redução da membrana de osmose inversa está de acordo com os resultado encontrados por Souza (2014) que apresentou redução superior a 97% no resultado dos experimentos realizados, que ainda relaciona o percentual próximo a 100% a excelente capacidade de remoção de sais deste tipo de membrana.

5.3.4 Sólidos Totais Dissolvidos (SDT)

Na Figura 20 é apresentado um gráfico comparativo dos valores dos sólidos totais dissolvidos encontradas nas amostras.

Figura 20 – Gráfico comparativo dos valores dos sólidos totais dissolvidos (STD).



Fonte: A autora (2019).

(A1) Efluente tratado; (A2) Efluente tratado + filtro de papel; (A3) Efluente tratado + filtro de papel + membrana de osmose inversa; (A4) efluente tratado + filtro de papel + carvão ativado e (A5) efluente tratado + filtro de papel + carvão ativado + membrana de osmose inversa.

De acordo com os valores apresentados graficamente os valores de sólidos totais dissolvidos (STD) apresentaram pequena redução na amostra que passaram pelo filtro de papel (A2) e na tratada com a membrana combinada com o carvão ativado (A5) quando comparadas ao resultado de 703 mg/L encontrado amostra de efluente tratado (A1). As quedas mais significativas dos resultados foram encontradas nas amostras tratada pelo membrana (A3) e na combinação do tratamento da osmose inversa com o carvão ativado (A5), sendo 20 mg/L para a primeira amostra citada e 50 mg/L para segunda, o que indica uma redução de 97,2% para membrana (A3) e 92,9% na membrana combinada com o carvão (A5), estes resultados corroboram com os encontrados por Scapini (2007) onde os sólidos apresentaram redução significativa estando próxima aos 100%.

5.3.5 Sólidos Suspensos Totais (SST)

A Tabela 4 apresenta a comparação dos resultados encontrados para o parâmetro de sólidos suspensos totais.

Tabela 4 – Comparação dos resultados obtidos para os sólidos suspensos totais

Amostras	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
A1	58,0
A2	< 12,0
A3	< 12,0
A4	< 12,0
A5	< 12,0

Fonte: A autora (2019).

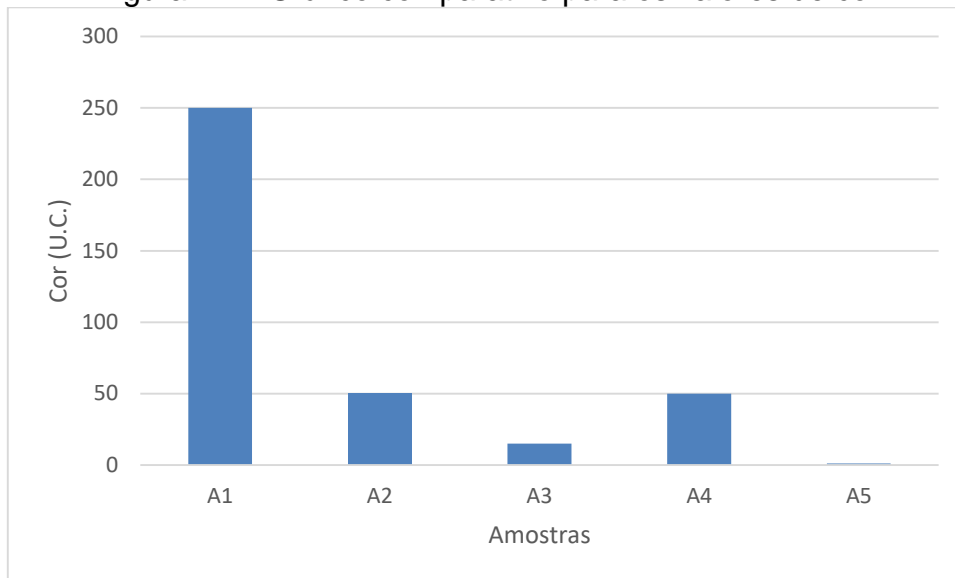
(A1) Efluente tratado; (A2) Efluente tratado + filtro de papel; (A3) Efluente tratado + filtro de papel + membrana de osmose inversa; (A4) efluente tratado + filtro de papel + carvão ativado e (A5) efluente tratado + filtro de papel + carvão ativado + membrana de osmose inversa.

Os valores dos sólidos suspensos totais (SST) encontrados na amostra de efluente tratado (A1) foram de 58 mg/L e apresentaram a mesma eficiência quanto a redução de valores nas amostras que passaram pelo filtro de papel (A2), tratamento com a membrana (A3), com o carvão ativado (A4) e a tratada com osmose inversa combinada com o carvão ativado (A5), estando todos em < 12 mg/L, ou seja, abaixo do limite de quantificação (LQ) do laboratório onde foram realizados. Estes resultados eram esperados e indicam que a filtração à vácuo cumpriu perfeitamente o seu papel na remoção dos sólidos em suspensão.

5.3.6 Cor

Os resultados da determinação de cor para as amostras podem ser visualizados no gráfico apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Gráfico comparativo para os valores de cor



Fonte: A autora (2019).

(A1) Efluente tratado; (A2) Efluente tratado + filtro de papel; (A3) Efluente tratado + filtro de papel + membrana de osmose inversa; (A4) efluente tratado + filtro de papel + carvão ativado e (A5) efluente tratado + filtro de papel + carvão ativado + membrana de osmose inversa.

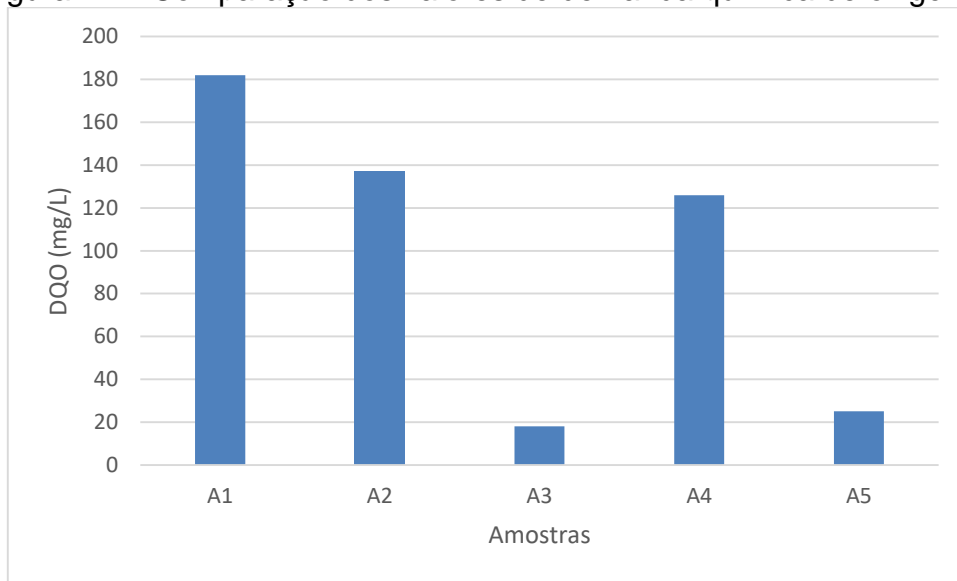
De acordo com o apresentado na Figura 21, o valor de cor para o efluente tratado (A1) foi de 250 U.C. e obteve uma redução expressiva no restante das amostras, sendo a maior remoção do parâmetro apresentada na amostra que passou pelo tratamento na membrana combinada com o carvão ativado (A5), onde ficou próxima aos 100% e o valor determinado ficou < 1 U.C., estando dentro do padrão estipulado para o processo de pintura. Conforme Marrara (2005), a eficiência na redução do parâmetro de cor para a combinação dos tratamentos da membrana com o carvão era esperada devido às características de adsorção de matéria orgânica do carvão ativado. A filtração a vácuo e o carvão ativado apresentaram os mesmos valores.

Na amostra que passou pelo tratamento na membrana (A3) a cor avaliada foi de 15 U.C. mostrando uma remoção de 94% quando comparada à amostra de efluente (A1). Este valor está próximo à redução de 95% encontrada por Souza (2014).

5.3.7 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

No gráfico apresentado na figura 22, é possível ver a variação dos valores de DQO para as amostras analisadas.

Figura 22 – Comparação dos valores de demanda química de oxigênio.



Fonte: A autora (2019).

(A1) Efluente tratado; (A2) Efluente tratado + filtro de papel; (A3) Efluente tratado + filtro de papel + membrana de osmose inversa; (A4) efluente tratado + filtro de papel + carvão ativado e (A5) efluente tratado + filtro de papel + carvão ativado + membrana de osmose inversa.

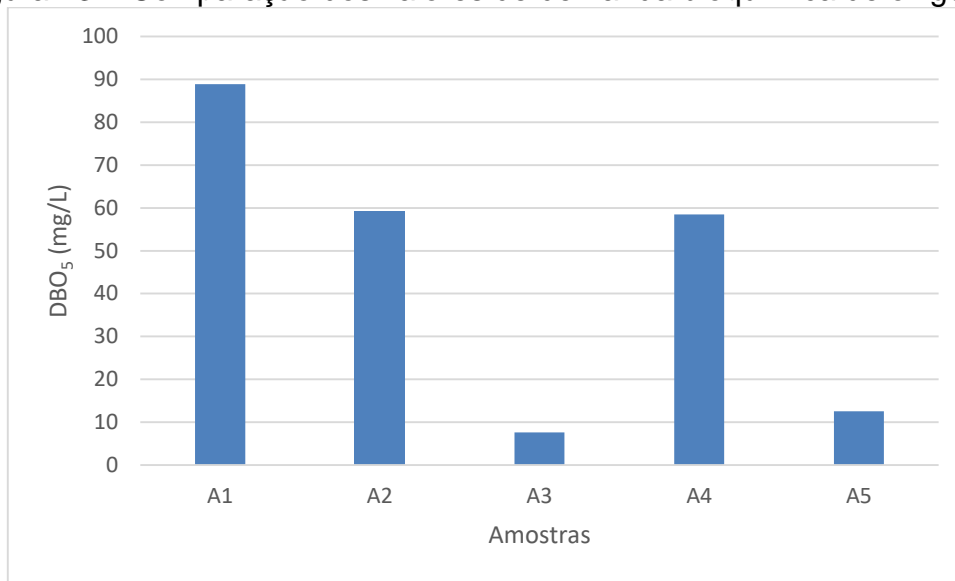
O valor de DQO na amostra de efluente é de 182 mg/L e demonstrou uma queda de valores em todas as outras amostras, sendo as mais significativas no tratamento com a membrana (A3) e da osmose inversa combinada com o carvão ativado (A5). A redução na membrana (A3) foi de 90,1% enquanto na combinação da membrana com o carvão (A5) verificou-se 86,3%, valores que também se mostraram coerentes quando comparados aos encontrados por Scapini (2007), que relatou uma redução maior que 70% para os valores da DQO.

Os experimentos que foram realizados somente com o filtro de papel (A2) e o carvão ativado (A4) apresentaram os resultados menos efetivos em comparação ao efluente tratado (A1) e, novamente, a filtração com a membrana de osmose inversa (A3) exibiu a redução mais relevante de valores, de 182 mg/L para 18 mg/L.

5.3.8 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

Os valores de DBO₅ encontrados para cada amostra são apresentados na Figura 23.

Figura 23 – Comparação dos valores de demanda bioquímica de oxigênio.



Fonte: A autora (2019).

(A1) Efluente tratado; (A2) Efluente tratado + filtro de papel; (A3) Efluente tratado + filtro de papel + membrana de osmose inversa; (A4) efluente tratado + filtro de papel + carvão ativado e (A5) efluente tratado + filtro de papel + carvão ativado + membrana de osmose inversa.

O valor máximo de DBO₅ encontrado na amostra de efluente tratado (A1) é de 88,9 mg/L, mostrando a redução mais expressiva de 91,5% no tratamento com a membrana (A3). Enquanto a amostra que passou pelo tratamento na osmose inversa combinada com o carvão ativado (A5) apresentou 85,9% de remoção deste parâmetro e a que passou pelo filtro de papel (A2) apresentou 33,4% sendo o menor percentual entre as amostras analisadas, ficando próximo ao valor encontrando na amostra que passou pelo tratamento com o carvão ativado (A4), que é de 58,5 mg/L. O valor determinado na análise de DBO₅ para a membrana (A3) foi levemente inferior ao alcançado por Scapini (2007), que relatou 96% de redução da demanda bioquímica.

5.4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Comparando os resultados alcançados com os valores apresentados na Tabela 5, foi possível verificar que a combinação do tratamento da membrana de osmose inversa com o carvão ativado apresentou < 1 U.C para o parâmetro de cor verdadeira, enquanto a especificação indica 5,00 U.C. A Tabela 5 ainda indica valores de 20 mg/L para os sólidos dissolvidos totais e os sólidos suspensos totais, o tratamento com a membrana atingiu valores de < 12,0 mg/L para os sólidos suspensos

totais e 20 mg/L para os sólidos dissolvidos totais. Para a condutividade elétrica o valor atingido foi de 25,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto a alcalinidade total chegou a 6,8 mg/L.

Tabela 5 – Comparação dos resultados com os valores para uso de água no pré-tratamento e *e-coat* estabelecidos pela empresa.

Parâmetros	Unidade	Valores estabelecidos	Amostra inicial (A1)	Osmose inversa (A3)
Alcalinidade total	mg/L	1,00	207,2	6,8
Condutividade elétrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$	< 10	1046	25,4
Cor verdadeira	U.C.	5,00	250	15
DBO	mg/L	1,00	88,9	7,6
DQO	mg/L	10,00	182	18
pH	n.a	6,0 – 8,0	7,55	6,4
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	20,0	703	20
Sólidos suspensos totais	mg/L	20,0	58	< 12,0

Fonte: Adaptado da empresa (2018).

Com os resultados alcançados, esta água poderia ser reutilizada na torre de resfriamento da empresa, em atividades como limpeza de pisos e outros processos que não exijam parâmetros tão baixos quanto o processo de pintura *e-coat*. Para que os resultados atendam aos valores estipulados pela Tabela 5 será necessário um tratamento complementar a membrana de osmose inversa, o qual pode ser utilizar duas membranas de osmose inversa para obter uma maior redução dos parâmetros.

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos no desenvolvimento deste estudo foi possível verificar que a membrana de osmose inversa apresentou um bom desempenho. A partir das curvas de fluxo de permeado em função do tempo foi possível verificar que houve uma redução de fluxo semelhante para as duas amostras que passaram pela membrana. Comparando os valores dos coeficientes de permeabilidade encontrados na curvas, foi possível verificar um valor de aproximadamente 48,64 L/h.m².bar para caracterização da membrana, 39,42 L/h.m².bar antes dos experimentos, 41,93 L/h.m².bar após a primeira limpeza e de 30,9 L/h.m².bar após a segunda limpeza. Esses resultados indicam que a segunda limpeza química não foi tão eficiente quanto a primeira, o que pode indicar falha na sua realização.

Quando comparado o processo de passagem somente pela membrana e o combinado com o carvão ativado, constatou-se que o sistema de osmose inversa sem passar pelo carvão apresentou os melhores resultados nas análises físico-químicas, tendo as maiores reduções nos parâmetros críticos para o processo de pintura, 97,6% na condutividade elétrica, 96,7% na alcalinidade total, 97,2% nos sólidos dissolvidos totais e mais de 90% na demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), portanto a membrana de osmose inversa é o método mais eficiente. Porém, o carvão ativado não apresentou a eficiência esperada no tratamento deste efluente, devido a um problema que pode ter sido sua saturação, ao uso de uma quantidade insuficiente, dentre outros fatores.

Comparando os resultados obtidos neste estudo com os valores que deveriam ser alcançados, o efluente após o tratamento somente com a membrana de osmose inversa não se enquadrava nos parâmetros especificados para o uso de água no processo de pintura *e-coat*. A partir disso, conclui-se que não é possível o reúso do efluente tratado no caso da pintura *e-coat* e utilizando somente uma membrana de osmose inversa. Porém, a partir dos resultados alcançados este efluente tratado pode ser reutilizado em outros processos desta indústria do setor metal-mecânico, assim como poderia ser reutilizado no processo de pintura *e-coat* com o uso de duas membranas em série.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Através dos resultados obtidos e outras informações apresentadas neste estudo, sugere-se para trabalhos futuros a troca do carvão ativado por outro ou uso de uma quantidade maior de carvão e até mesmo um ajuste do pH da amostra, pois acarreta na melhora da etapa do tratamento com carvão.

Além disso, sugere-se também avaliar e caracterizar a formação de *fouling* sobre a membrana de osmose inversa em função da redução de vazão ao longo do tempo de filtração. Além disso, também é sugerido realizar a análise financeira deste projeto, levantando os custos do módulo de membrana e demais demandas necessárias para sua instalação na empresa, assim como calcular de quanto seria a economia em relação aos gastos com água, os gastos com a manutenção do sistema de membranas e em quanto tempo este projeto se pagaria.

Em virtude dos resultados obtidos nesse estudo, também é sugerido que ocorra mais uma passagem pela membrana de osmose inversa ou então a busca por etapas complementares à membrana para que ocorra a redução dos parâmetros que não se enquadraram nos especificados pela empresa.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Juliano Penteado de. **Eficiência de um sistema de dessalinização de água salobra utilizando ultrafiltração e osmose reversa**. 2017. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.
- ATKINS, Peter; PAULA, Julio de. **Físico-química: fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- BAKER, R. W. **Membrane technology and applications**. 2nd ed. California: Wiley, 2004.
- BALDASSO, Camila. **Concentração, purificação e fracionamento das proteínas do soro lácteo através da tecnologia de separação por membranas**. 2008. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- BIAZE, Nádia Dóris de. **Avaliação técnica da possibilidade de reciclo do efluente tratado de uma indústria de alimentos**. 2004, 185 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, 2004.
- BITTENCOURT, Claudia; PAULA, Maria Aparecida de. **Tratamento de água e efluentes: fundamentos de saneamento ambiental e gestão de recursos hídricos**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014. 177 p.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, 17 de mar. de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 18 de mar. de 2005.
- CHAMON, Roberta Petry. **Pós tratamento de lixiviado de aterro industrial pelo processo de osmose reversa: estudo de caso**. 2011. 243 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Colegiado do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- CIANCI, Fernando C et al. Clarificação e concentração de suco de caju por processos com membranas. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 25, n. 3, p.579-583, jul. 2005. Trimestral.
- CORSAN, W.H, **Manual global de ecologia**. São Paulo: ago, 2002. 163 p.
- DEUMEX DO BRASIL (São Paulo). **Granalha de aço para jateamento**. Disponível em: <<http://www.deumexdobrasil.com.br/granalha-aco-jateamento>>. Acesso em: 15 out. 2018
- FAPPI, Devanir André. **Micro e Ultrafiltração como pós-tratamento para reúso de efluentes de abatedouro e frigorífico de suínos**. 2015. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias Ambientais, Programa de Pós-graduação em

Tecnologias Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.

HESPANHOL, Ivanildo. et al. **Manual de conservação e reúso da água na indústria**. 1 ed. Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro – FIRJAN. Rio de Janeiro, 2006

IBRAHIN, Francini Imene Dias. **Introdução ao geoprocessamento ambiental**. São Paulo: Érica, 2014.

JIANG, Shanxue; LI, Yuening; P. LADEWIG, Bradley. A review of reverse osmosis membrane fouling and control strategies. **Science of The Total Environment**, v. 595, n. 1, p. 567-583, october 2017.

LIVINALLI, N. F. et al. Estudo do emprego de uma membrana de osmose inversa na substituição de um trocador iônico em uma estação de tratamento de efluentes galvânicos. In **CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE**, Bento Gonçalves, 2018.

LOVATEL, André Alberto. **Geração de EPS no tratamento de água residuária de refinaria de petróleo em MBR e sua influência em micro e ultrafiltração**. 2011. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Programa de Mestrado em Materiais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2011.

MARRARA, Danilo Aparecido Faveri. **Filtração lenta em areia, manta não tecida e carvão ativado como pós-tratamento de efluentes domésticos e reúso**. 2005. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MARINOSKI, Ana Kelly. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis - SC**. 2007. 118 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MATOS, Simone P. de. **Operações unitárias: transformações e aplicações dos fenômenos físicos e químicos**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2015.

MENEGHEL, Leonardo. **Aproveitamento de resíduos de granalha de aço-carbono por metalurgia do pó**. 2017. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências dos Materiais, Programa de Pós-graduação em Materiais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2017.

METCALF; EDDY. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 2008 p.

MIERZWA, José Carlos. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria: estudo de caso da Kodak Brasileira**. 2002. 399 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MOREIRA, Ramon H. **Desenvolvimento de um processo de reúso do efluente de refinaria baseado em sistema de osmose reversa combinado com precipitação**.

2017, 112 p. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, departamento de engenharia química, São Paulo, 2017.

MURANAKA, Cíntia T. **Combinação de adsorção por carvão ativado com processo oxidativo avançado (POA) para tratamento de efluentes contendo fenol.** 2010, 165 p. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Química, São Paulo, 2010.

NÓBREGA, Romerito Morais da. **Eficiência de membranas filtrantes de nanofiltração e osmose inversa no pós-tratamento de esgoto doméstico.** 2016. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

POHL, Sandro Carlos; LENZ, Denise Maria. Utilização de efluente tratado em complexo industrial automotivo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, mai/jun. 2017.

RANDON (Caxias do Sul). **Pintura duratech.** Disponível em: <<http://www.randon.com.br/pt/duratech>>. Acesso em: 17 out. 2018.

RIO GRANDE DO SUL. **Resolução CONSEMA nº 355, de 13 de julho de 2017.** Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2017.

ROSA, Débora Francesch da. **Aproveitamento de membranas de osmose inversa descartadas da indústria para reúso da purga de torres de resfriamento.** 2012. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012

SANTOS, Samuel Audi R. dos. **Proposta de reúso não potável de efluente industrial na indústria automobilística: estudo de caso para fábrica de cabines de caminhões.** 2016. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SCAPINI, Luciana. **Avaliação do desempenho da osmose reversa e da troca iônica para tratamento de efluente de curtume (Aimoré Couros Ltda - Encantado) visando a reutilização da água.** 2007. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas e Processos Industriais, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2007.

SCHIMITT, Dalila Maria Formentini. **Tratamento de águas residuárias da indústria de laticínios pelos processos combinados coagulação/floculação/adsorção/ultrafiltração utilizando semente de Moringa oleífera como coagulante.** 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2011.

SCHIMMEL, Daiana. **Adsorção dos corantes reativos azul 5G e azul turquesa QG em carvão ativado comercial.** 2008. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

SILVA, Luis Fernando Junqueira. **Utilização do método KTL em pinturas industriais.** 2012. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SOARES, Bernardo B. **A utilização do modelo de simulação computacional para análise e modificação de um sistema de produção de pinturas automotivas.** 2013, 130 p. Dissertação (Mestrado), Universidade de Caxias do Sul, programa de pós-graduação em engenharia mecânica, Caxias do Sul, 2013.

SOUZA, Mariana Espíndola de. **Estudo físico-químico do concentrado proveniente do processo de osmose reversa no tratamento de água para uso industrial.** 2014. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014

TADINI, Carmen Cecília et. al. **Operações unitárias na indústria de alimentos.** 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

THEODORO, Giovanna Loisa. **Tecnologia de eletrodeposição catiônica (KTL) e a ação do intemperismo acelerado.** 2014. 27 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Universidade Federal do Abc, Santo André, 2014.

TOLENTINO, N. M. de C. **Processos químicos industriais:** matérias-primas, técnicas de produção e métodos de controle de corrosão. 1 ed. São Paulo: Érica, 2015.

VILLAS, Marcia Regina Alves. **Processo de deposição de tintas catódicas por eletroforese e suas correlações com a qualidade.** 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas de Gestão, Organização e Estratégia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

VALE (Rio de Janeiro). **Terminal de Nacala-à-Velha, em Moçambique, torna a água do mar própria para consumo.** 2014. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/pt/aboutvale/news/paginas/terminal-nacala-velha-mocambique-agua-mar-propria-consumo.aspx>>. Acesso em: 11 jul. 2019.

