

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
URI ERECHIM
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

Décio Antônio Andres Junior

**TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DE INDÚSTRIAS DE
BEBIDAS UTILIZANDO TRATAMENTO CONVENCIONAL E
PROCESSOS DE SEPARAÇÃO COM MEMBRANAS**

ERECHIM - RS - BRASIL
MAIO DE 2015.

Décio Antônio Andres Junior

TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DE INDÚSTRIAS DE BEBIDAS UTILIZANDO TRATAMENTO CONVENCIONAL E PROCESSOS DE SEPARAÇÃO COM MEMBRANAS

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos: Área de Concentração – Engenharia de Alimentos, Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim.

Orientadores: Prof. Dr. Marcus Vinícius Tres

Prof. Dr. Rogério Marcos Dallago

ERECHIM - RS – BRASIL
MAIO DE 2015.

Décio Antônio Andres Junior

**TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DE INDÚSTRIAS DE BEBIDAS
UTILIZANDO TRATAMENTO CONVENCIONAL E PROCESSOS DE SEPARAÇÃO
COM MEMBRANAS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos: Área de Concentração – Engenharia de Alimentos, Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcus Vinícius Tres - Orientador

Prof. Dr. Rogério Marcos Dallago - Orientador

Prof. Dr. João Paulo Bender
UFFS

Prof^a. Dr^a. Juliana Steffens
URI – Campus Erechim

Dedico este trabalho: A minha mãe emprestada, Marcia Zani Botton (Mamá), pois sem ela este trabalho não seria concluído.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores Professor Doutor Rogério Marcos Dallago e Professor Doutor Marcus Vinicius Tres por todo o apoio e paciência que tiveram comigo ao longo destes anos.

Toma conselhos com o vinho, mas toma
decisões com a água.
Benjamin Franklin

RESUMO

Um assunto que pode ser considerado unânime em todas as nações é a conservação da água, necessária para a preservação da vida no planeta terra. A matéria-prima mais utilizada nas indústrias de bebidas é também uma necessidade básica da comunidade e dos ecossistemas. Sendo assim, é de vital importância a realização de estudos e projetos que visem uma forma de reutilizar a água e diminuir o impacto negativo sobre o ecossistema. Pesquisas realizadas desde a década de 60 mostram a importância do tratamento de águas residuais proveniente das indústrias de bebidas. O presente trabalho objetiva investigar processos combinados (físico-químicos e processos de separação com membranas) para tratamento de águas residuárias de indústria de bebidas. A metodologia adotada buscou viabilizar o reuso da água purificada advinda do efluente gerado pela indústria de bebidas. Para isso, apresentou-se o diagnóstico com a descrição dos processos internos da indústria e identificação das etapas geradoras de efluentes, o monitoramento e a caracterização do efluente e a realização dos ensaios de bancada visando uma tecnologia eficaz para o tratamento terciário do efluente para reuso. Para os experimentos foram utilizadas membranas poliméricas do tipo fibra oca para os processos de MF e UF, fornecidas pela empresa PAM Membranas Seletivas Ltda., ambas compostas por uma mistura de poli(éter sulfona)/poli(vinil pirrolidona) (PES/PVP), com diâmetro de poro de 0,20 μm e corte de 50 kDa, respectivamente. Uma das conclusões apresentada neste estudo demonstra que o tratamento associado (TANFLOC+carvão ativado+membrana de UF) apresentou os melhores resultados para os parâmetros avaliados, mostrando uma redução de mais de 60% na DBO. A lei vigente permite o seu descarte em córregos receptores, ou em alguns casos reaproveitado na própria indústria, além de que o lodo gerado em função das suas características orgânicas pode ser seco e queimado para a geração de energia para a fábrica.

Palavras-chave: Reuso. Indústria de bebidas. Tratamento físico-químico. Membranas.

ABSTRACT

A subject that can be considered unanimous in every nation is in relation to water conservation, necessary for the preservation of life on planet Earth. The raw material used in the drink, it is also a basic need of the community and the ecosystem. So it is vitally important to studies and projects intended for reuse of water, and reduce the negative impact on the ecosystem. Research conducted since the 60s, shows the importance of wastewater treatment from various industries. This work aims to investigate combined processes (physical, chemical and separation processes with membranes) for the treatment of waste water beverage industries. The methodology is designed to allow reuse of the purified effluent water resulting from the beverage industry, with the diagnosis describing the internal processes of the industry and identify the stages of waste generation, monitoring and characterizing the effluents and Bank testing to an effective technology for the tertiary treatment of wastewater for reuse. For the experiments were repeated membranes of polymeric hollow fibers of the type for MF and UF processes, supplied by the company PAM selective membranes Ltda. Both consist of a mixture of poly (ether sulphone) / poly (vinyl pyrrolidone) (PES / PVP) with pore diameter of 0.20 μ m cut 50 kDa, respectively. One conclusion that has been reached is that the combined treatment (Tanfloc + activated carbon + UF membrane) showed the best results for the evaluated parameters, a decrease of over 60% in BOD. The current law allows elimination in streams receivers, or in some cases re-used in the industry itself, and that the sludge generated in accordance with their organic characteristics can be dried and burned to generate power for the plant.

Keywords Reuse:Beverage industry. Physico-chemical treatment. Membranes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação esquemática do processo de separação com membrana.....	30
Figura 2	Representação esquemática da seção transversal dos diferentes tipos de morfologia de membranas sintéticas.....	30
Figura 3	Representação esquemática do sistema de separação de fases em uma membrana.....	31
Figura 4	Representação de filtração via membrana e acúmulo de sujeisidade (<i>fouling</i>).....	36
Figura 5	Fluxograma do resumo da metodologia para o processo de estudo...	39
Figura 6	Diagrama esquemático do aparato experimental.....	42
Figura 7	Foto do sistema de bancada utilizado para os experimentos.....	42
Figura 8	Comparação entre permeabilidade da membrana de MF e UF.....	51
Figura 9	Fluxo do efluente tratado (permeado) em razão do tempo.....	53
Figura 10	Comparativo entre o fluxo de água destilada antes do ensaio e após o ensaio com o efluente bruto.....	53
Figura 11	Comparação entra a formação de flocos nas diferentes concentrações de TANFLOC.....	58
Figura 12	Resultados de DQO e COT das amostras filtradas.....	59
Figura 13	Variação da DQO e do COT em função do tempo de contato.....	60
Figura 14	Fluxo do efluente tratado (permeado) com sulfato de alumínio + carvão ativado em razão do tempo.....	62
Figura 15	Medida de fluxo após limpeza da membrana de UF.....	63
Figura 16	Fluxo do efluente tratado (permeado) em razão do tempo.....	64
Figura 17	Fluxo da membrana após filtragem do efluente tratado com cloreto férrico e absorvido em carvão ativado.....	65
Figura 18	Fluxo do efluente tratado (permeado) em razão do tempo.....	66
Figura 19	Fluxo de água destilada na membrana de UF após tratamento com TANFLOC e Carvão ativado.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Especificação e características das membranas utilizadas.....	41
Tabela 2	Balanço hídrico da empresa.....	49
Tabela 3	Resultados preliminares do efluente bruto.....	50
Tabela 4	Resultados do ensaio com membrana de UF.....	54
Tabela 5	Testes com diferentes concentrações de Sulfato de Alumínio com tempo de espera de 20 minutos para cada teste.....	55
Tabela 6	Testes com diferentes concentrações de Cloreto Férrico.....	56
Tabela 7	Dados dos experimentos com diferentes concentrações de TANFLOC.....	57
Tabela 8	Valores de DQO e COT no efluente tratado com diferentes coagulantes e diferentes massas de carvão ativado.....	61
Tabela 9	Melhores resultados dos floculantes testados após adsorção com carvão ativado.....	62
Tabela 10	Resultado das análises de DOQ e COT do permeado.....	63
Tabela 11	Resultado das análises de DOQ e COT do permeado.....	65
Tabela 12	Resultado das análises de DOQ e COT do permeado.....	67
Tabela 13	Caracterização do efluente bruto e tratado empregando o processo associado TANFLOC, carvão ativado e UF.....	68

LISTA DE SIGLAS

PNMA – Política Nacional de Meio Ambiente
ZEE – Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil
SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
TANFLOC – Tanato Quaternário de Amoneo
SST – Sólidos Suspensos Totais
DVB – Divinilbenzeno
C.f.A. – Catiônica Fraca ou Fracamente Ácida
C.F.A. – Catiônica Forte
A.f.B. – Aniônica Fraca ou Fracamente Básica
A.F.B. – Aniônica Forte
PSM – Processo de Separação com Membranas
MF – Membranas de Microfiltração
UF – Membranas de Ultrafiltração
NF – Membranas de Nanofiltração
OI – Osmose Inversa
AC – Acetato Celulose
PA – Poliamida
PS – Polisulfona
PES – Polietersulfona
PVDF – Poli(fluoreto de vinilideno)
PP – Polipropileno
PVP – Poli(n-vinil-2-pirrolidona)
PTM – Pressão Transmembrana
jP – Fluxo de Permeado
PTMc – Pressão Transmembrana Crítica
ETE – Estação de Tratamento de Efluentes
SGA – Sistema de Gestão Ambiental
COT – Carbono Orgânico Total
PAM – Fábrica e Fornecedor de Membranas Seletivas Ltda
DQO – Demanda Química de Oxigênio
PES/PVP – poli(éter sulfona)/poli(vinil pirrolidona)
PVC – Cloreto de Polivinila

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA.....	17
3.2 CONSUMO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA DE BEBIDAS.....	18
3.3 TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	19
3.3.1 Coagulação/Floculação.....	21
3.3.1.1 Processo de Coagulação/Floculação com TANFLOC.....	23
3.3.2 Sedimentação.....	24
3.3.3 Abrandamento.....	25
3.3.4 Processo de adsorção em carvão ativado.....	25
3.3.5 Resinas de Troca Iônica.....	26
3.3.6 Filtração.....	27
3.4 MEMBRANAS.....	28
3.4.1 Processos de separação com membranas.....	29
3.4.2 Tipos de Membranas.....	31
3.4.2.1 Membranas de microfiltração (MF).....	31
3.4.2.2 Ultrafiltração (UF)	32
3.4.2.3 Nanofiltração.....	32
3.4.2.4 Osmose inversa.....	32
3.4.3 Material de composição das membranas.....	33
3.4.4 Permeabilidade e Fluxo.....	33
3.4.5 Influências no aumento da resistência da membrana.....	34
3.4.5.1 Polarização por concentração.....	34
3.4.5.2 Fouling.....	35
3.4.5.3 Colmatção.....	35
3.5 EFLUENTE GERADO NA INDÚSTRIA DE REFRIGERANTE.....	36
3.5.1 Problemas relacionados aos tratamentos convencionais	

de efluentes.....	38
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	39
4.1 DIAGNÓSTICO DO PROCESSO.....	39
4.2 EFLUENTE.....	40
4.3 MEMBRANAS UTILIZADAS.....	40
4.4 MONTAGEM DO APARATO EXPERIMENTAL.....	41
4.4.1 Ensaios de Purificação de Efluentes de Indústrias de Bebidas utilizando Membranas de MF e UF.....	43
4.5 LIMPEZA DAS MEMBRANAS.....	44
4.5.1 Processo de pré-tratamento por coagulação/floculação e Adsorção com Carvão Ativado.....	44
4.6 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS.....	46
4.6.1 Cor aparente.....	46
4.6.2 Turbidez.....	46
4.6.3 Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	47
4.6.4 Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total.....	47
4.6.5 pH.....	47
4.6.6 Sólidos Sedimentáveis.....	48
4.6.7 Determinação de Fósforo Total.....	48
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
5.1 RESULTADOS DO DIAGNÓSTICO DO PROCESSO DA PRODUÇÃO DE REFRIGERANTE.....	49
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO.....	50
5.3 ENSAIOS UTILIZANDO MEMBRANAS.....	51
5.3.1 Ensaio com floculante Sulfato de Alumínio.....	55
5.3.2 Ensaio com Coagulante Cloreto Férrico.....	56
5.3.3 Floculação com TANFLOC.....	57
5.3.4 Teste de adsorção com carvão ativado.....	59
5.3.5 Ensaios com Membranas de Ultrafiltração após floculação e adsorção por carvão ativado.....	61
5.3.6 Teste em membrana com efluente tratado com sulfato de alumínio e adsorvido em carvão ativado.....	62
5.3.7 Teste em membrana com efluente tratado com cloreto férrico e adsorvido em carvão ativado.....	64
5.3.8 Teste em membrana com efluente tratado com TANFLOC e adsorvido em carvão ativado.....	66

CONCLUSÕES.....	70
AÇÕES FUTURAS.....	71
REFERÊNCIAS.....	72
ANEXO A – PROTOCOLO PARA LIMPEZA DAS MEMBRANAS INDICADO PELO FABRICANTE.....	77
ANEXO B – LAUDO REFERENTE À ANÁLISE DE COLIFORMES TOTAIS...	78

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem de consumo que, mundialmente, é considerado de primeira necessidade. E, o que se percebe é o uso inadequado da mesma, principalmente pelas indústrias. Dados mostram que o consumo de água pelas indústrias de bebidas não alcoólicas gira em torno de 2,54 litros para cada litro de bebida produzido, sendo que nas lavadoras de garrafas o consumo chega a 1000 L/h.

A Legislação brasileira está exigindo medidas de preservação da água, pois o seu consumo sem consciência em termos de preservação acarreta em problemas tanto à população quanto ao meio ambiente em geral.

Entre as medidas que podem ser adotadas visando a recuperação da água é possível destacar a dessalinização de águas, a eliminação de traços orgânicos, o tratamento de esgotos, a desmineralização de águas e o reaproveitamento de águas industriais. As vantagens da adoção dessas medidas são inúmeras, destacando-se a economia de água no processo, redução de carga orgânica descartada e a recuperação de subprodutos. (PAM, 2015).

A escassez de água nos grandes centros urbanos e o aumento de custos para sua captação e posterior tratamento, devido ao aumento do grau de poluição das fontes de água, faz com que essas medidas sejam de vital importância..

Nas indústrias de refrigerantes, é muito importante o processo de reúso da água, que consiste na utilização da água por mais de uma vez, tratada ou não, para o mesmo ou outro fim. Essa reutilização pode ser decorrente de ações planejadas ou não. A água de reúso tratada é produzida dentro das estações de tratamento e pode ser utilizada para inúmeros fins, como geração de energia, refrigeração de equipamentos, em diversos processos industriais.

A grande vantagem da utilização da água de reúso é a de preservar água potável exclusivamente para atendimento de necessidades que exigem a sua potabilidade, como para o abastecimento humano. Entre outras vantagens estão a redução do volume de esgoto descartado e a redução dos custos com água, luz e esgoto.

No processo de reúso, a água já utilizada (água residuária) é coletada e encaminhada, por meio de tubulações, a uma central de tratamento. Depois de

tratada e com seus parâmetros de qualidade ajustados à finalidade a que se destina, a água é encaminhada para o consumo de reúso.

Para Muller (2015), o principal benefício do reúso de água é preservar os recursos hídricos do Planeta e permitir que a chamada água potável seja direcionada apenas para as finalidades mais nobres, como as de consumo humano e animal e as de contato direto com as pessoas.

Uma das alternativas para a recuperação de água é o uso de membranas, processo descoberto no final da década de 60. Os Processos de Separação por Membranas (PSM) representam operações destinadas a separar, concentrar ou purificar substâncias e ampliam a definição de filtração convencional para separações onde os solutos estão dissolvidos na corrente líquida ou gasosa.

De uma maneira geral, uma membrana é uma barreira que separa duas fases e que restringe total ou parcialmente o transporte de uma ou várias espécies químicas presentes nas fases. Usualmente, são geradas duas correntes, uma denominada “concentrado”, mais rica na espécie menos permeável, e outra, chamada “permeado”, mais diluída em relação a esta mesma espécie. Os PSM destinados a tratamento de correntes líquidas compreendem Microfiltração (MF), Ultrafiltração (UF), Nanofiltração (NF) e Osmose Inversa (OI). (BAKER, R. W., 2004)

Neste sentido o presente trabalho objetivou investigar os processos combinados (físico-químicos e processos de separação com membranas) para tratamento de águas residuais de indústrias de bebidas, proveniente da lavadora de garrafas de vidro, estudando o reaproveitamento da água tratada em outros processos da indústria.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar processos combinados (físico-químicos e processos de separação com membranas) para tratamento de águas residuais de indústrias de bebidas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar o uso de membranas de micro e ultrafiltração no processo de tratamento de efluentes proveniente da lavadora de garrafas de vidro;
- Investigar o processo de tratamento físico-químico;
- Investigar os processos combinados (físico-químico e membranas) no tratamento de efluentes proveniente da lavadora de garrafas de vidro,
- Estudar o reaproveitamento da água tratada em outros processos da indústria;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para fundamentar o presente trabalho, serão apresentadas, na revisão bibliográfica, questões relacionadas à Legislação Brasileira de proteção às águas, os efluentes líquidos gerados em uma indústria de bebidas e o tratamento desses efluentes.

3.1 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

O Brasil conta com mananciais subterrâneos de água que o torna a nação com uma das maiores reservas hídrica do mundo. O Aquífero¹ Guarani, que perpassa Argentina, Paraguai, Uruguai e Brasil, tem dois terços de suas águas distribuídas em oito estados brasileiros, entre os quais o Rio Grande do Sul.

A preocupação com a preservação do Aquífero Guarani fez com que surgisse, no ano de 1999, um projeto para normatizar e orientar de forma geral, em abrangência nacional, as questões envolvendo as águas subterrâneas. Esse projeto suscitou o estudo da legislação vigente, uma vez que, com exceção do Código de Águas, a legislação federal mais antiga que trata das águas subterrâneas está ligada às águas minerais (legislação mineral), a proteção do meio ambiente (legislação ambiental) e a qualidade da água para consumo humano (legislação sobre saúde pública).

A legislação brasileira envolve, entre outras, as leis e decretos a seguir:

- a) Lei 6.938/1, de 31 de agosto de 1981, que institui a Política Nacional de Meio Ambiente - PNMA, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.
- b) Decreto n. 4.297, de 10 de julho de 2002, que regulamenta o inciso II do art. 9 desta Lei, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil – ZEE.
- c) Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que trata das sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, regulamentada pelo Decreto n. 3.179, de 21 de setembro de 1999.

¹ Aquífero é a formação geológica capaz de armazenar e transmitir água em quantidades apreciáveis (CARDOSO, 2005, p. 65).

d) Lei 9.605, de 1998 – Leis dos Crimes Ambientais, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

e) Lei 9.795, de 1999 – Lei de Educação Ambiental, que dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências.

f) Lei 9.985/00, de 18 de julho de 2000 - Lei do SNUC, que regulamenta o art. 225 § 1, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal/88, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.

g) Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA

- CONAMA n.º 303, de 2002, que dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente, inclusive conceituando nascentes como exutório de águas subterrâneas.

- CONAMA n. 335, de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios.

- CONAMA n. 396, de 2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento de águas subterrâneas.

- Resolução CONAMA nº 357, aprovada em 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficial e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de efluentes. Esta resolução revogou a Resolução n. 20/86 abrindo uma lacuna importante na infiltração de efluentes no solo e consequentemente nas águas subterrâneas e motivou a discussão e a aprovação da Resolução nº 396/08.

3.2 CONSUMO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA DE BEBIDAS

O consumo de água da indústria de bebidas não alcoólicas no mundo é de 2,54 litros/litro de bebida, no entanto, existem fábricas brasileiras em que o índice está próximo de 1,5 litro/litro produzido (COCA COLA BRASIL, 2007). Isso se deve aos investimentos dos fabricantes na reutilização interna da água e na captação pluvial (COCA-COLA BRASIL, 2004). Nesse sentido, observa-se a preocupação das indústrias de refrigerantes em preservar os recursos hídricos, resultando em redução do desperdício de água.

Concentrar os esforços na reutilização da água em diversas etapas da linha de Produção, tendo como ferramenta principal as Estações de Tratamento de Água, garante integridade absoluta do produto, continuidade de fornecimento e redução de custos de fabricação (COCA-COLA BRASIL, 2004).

Para reduzir o consumo dos recursos hídricos dentro de uma instalação industrial, por meio da reutilização interna da água, é necessário implantar medidas para a otimização do consumo, para a redução de perdas por desperdícios, estabelecer programas de conscientização e treinamentos (SAUTCHÚK et al., 2004). A adoção dessas práticas proporciona benefícios ambientais com a redução de lançamento de efluentes e menos captação de águas; benefícios econômicos com a redução de custos com a estação de tratamento de efluentes e menores cobranças na captação de água; e sociais, com a ampliação da oportunidade de negócios para empresas fornecedoras de serviços e equipamentos, ampliação na geração de empregos diretos e indiretos e melhoria da imagem do setor produtivo junto à sociedade, com reconhecimento de empresas social e ambientalmente responsáveis.

3.3 TRATAMENTO DE EFLUENTES

A escolha dos processos de tratamento de águas residuais é de fundamental importância para o sucesso do empreendimento. Por isso, esta deve ser bastante criteriosa e fundamentada na caracterização adequada do efluente a ser tratado, no conhecimento das técnicas de tratamento existentes e nas necessidades e requisitos de qualidade da aplicação do reúso proposto, bem como na estimativa de custos (METCALF & EDDY, 2003).

A qualidade da água é definida em função de características físicas, químicas, microbiológicas e radioativas. Para cada tipo de aplicação, o grau de qualidade exigido pode variar significativamente (SAUTCHUK, 2004).

Os tipos de tratamentos mais usuais empregados quando se tem como objetivo o reúso são: floculação; precipitação, abrandamento, adsorção em carvão ativado; troca iônica; destilação, oxidação com ozônio, dióxido de cloro e peróxido de hidrogênio e separação por membranas (microfiltração, ultrafiltração,

nanofiltração e osmose inversa) (MIERZWA & HESPANHOL, 2005; METCALF & EDDY, 2003; MANCUSO & DOS SANTOS, 2003).

A escolha de uma ou a combinação entre duas ou mais técnicas sempre dependerá do potencial de cada tecnologia envolvida na redução do contaminante de interesse e da qualidade da água de reúso que se necessita (MIERZWA & HESPANHOL, 2005).

O estabelecimento de padrões de qualidade de águas industriais deve levar em consideração aspectos inerentes à proteção do produto fabricado, como contaminações químicas e biológicas, manchas, corrosão, fatores ligados a proteção dos equipamentos industriais, bem como fatores voltados à eficiência dos processos, tais como formação de incrustações, depósitos, espumas, etc. (FRANCO, 2007).

Para a obtenção de água de reúso, provinda de efluente doméstico ou industrial, são necessários processos de tratamento específicos para cada composição de efluente. Dependendo das características dos efluentes e da eficiência de remoção dos poluentes, os tratamentos podem ser classificados em preliminares, primários, secundários ou terciários, ou físico-químicos. (SILVA FILHO, 2006).

O tratamento preliminar emprega principalmente processos físicos, com o objetivo de remover sólidos grosseiros em suspensão – com granulometria superior a 0,25 mm.

Já o tratamento primário é usado para a remoção de sólidos em suspensão, assim como parte da matéria inorgânica e orgânica, empregando decantadores, filtros, centrífugas, flotadores e precipitação química.

O tratamento secundário é empregado na remoção de sólidos dissolvidos, como carboidratos, proteínas e lipídios (matéria orgânica) e sólidos suspensos finos. Para este tipo de tratamento são utilizados:

- a. Processos biológicos anaeróbios – que utilizam bactérias anaeróbias e aeróbias facultativas em biorreatores como biodigestores de lodo, lagoas anaeróbias, fossas sépticas, reatores de fluxo ascendente;
- b. Processos biológicos aeróbios – que utilizam bactérias aeróbias, com necessidade constante de fornecimento de oxigênio para o líquido em questão. Os biorreatores mais usados são as lagoas de estabilização, lagoas aeradas, lodos ativados, biodiscos e filtros biológicos (SILVA FILHO, 2006, p. 16).

A partir da etapa do tratamento terciário, obtém-se uma água de qualidade superior, com uma elevada remoção de matéria orgânica, nutrientes (nitrogênio, fósforo e sódio) e bactérias patogênicas.

Na maioria dos casos, o tratamento secundário promove adequada remoção de DBO e sólidos suspensos. O tratamento terciário, empregando processos avançados, é necessário para que os efluentes de plantas possam ser reusados ou reciclados, direta ou indiretamente, na planta industrial. Esta prática aumenta a disponibilidade de água para suprimento industrial ou doméstico, e porque alguns corpos d'água não são capazes de tolerar as cargas de poluentes do tratamento secundário (MACHADO, 2005).

3.3.1 Coagulação/Floculação

O processo de coagulação tem como principal objetivo neutralizar as cargas elétricas das partículas em suspensão, normalmente negativas, por meio da adição de compostos químicos com cargas positivas, como sais de ferro, sais de alumínio, tanino e polímeros, proporcionando a formação de flocos densos em condições de decantar (NALCO, 1988; SANTOS FILHO, 1976; OENNING JR, 2006).

A coagulação é conduzida em câmaras de mistura rápida, que visam a homogeneização dos coagulantes e seus auxiliares. Esta mistura intensa é que assegura uma distribuição uniforme do coagulante na água, colocando-o em contato com as partículas existentes em suspensão, antes que a reação esteja terminada (LEME, 1979).

A inexistência dessa mistura intensa e adequada implica em que parte da água seja supertratada, enquanto que outras partes sejam insuficientemente tratadas, prejudicando o tratamento.

Na maior parte das aplicações, o principal objetivo é o de se produzir um efluente clarificado, ou seja, com baixas concentrações de sólidos em suspensão. Na sedimentação floculenta, as partículas se aglomeram, formando flocos, que tendem a crescer de tamanho à medida que sedimentam. Com o aumento do tamanho das partículas (flocos), aumenta a velocidade de sedimentação (VON SPERLING, 1996).

O fenômeno da floculação é o processo pelo qual as partículas em estado de equilíbrio eletrostaticamente instável no seio da massa líquida são forçadas a se movimentar, a fim de que sejam atraídas entre si, formando flocos. Com a continuidade da agitação, estes flocos tendem a aderir uns aos outros, tornando-se pesados, para posterior separação nas unidades de decantação e filtração (AZEVEDO NETTO, 1979).

Na maioria dos efluentes industriais, tem-se verificado que os flocos formados necessitam de maior densidade para poderem sedimentar em decantadores. Recorre-se então aos auxiliares de floculação, como os polieletrólitos, que aumentam a velocidade de sedimentação dos flocos e a resistência às forças de cisalhamento. O tipo de polieletrólito adequado deve ser pesquisado em laboratório através de ensaios em *Jar Test*, podendo-se prever reduções do consumo de coagulante primário de até 20%. Caso ocorra turbidez no meio, pode-se recorrer a substâncias inertes para melhorar a floculação como: os polieletrólitos, a sílica ativada, agentes absorventes e oxidantes (NUNES, 2006).

Para se ter uma boa coagulação, deve-se determinar o pH adequado, que é chamado de pH ótimo, no qual este processo ocorre no menor tempo possível e com uma dosagem mínima de coagulante. Produtos químicos como cal hidratada, carbonato de cálcio, carbonato de sódio, hidróxido de sódio, gás carbônico, ácidos clorídrico e sulfúrico são empregados para o ajuste do pH. A alcalinidade também possui importância indiscutível nos tratamentos químicos de água e efluentes. Quando a água não possui alcalinidade ideal para a coagulação, costuma-se adicionar álcalis como a cal virgem (CaO), cal hidratada (Ca(OH)_2) e barrilha (Na_2CO_3) para promovê-la e mantê-la nos valores ideais (AZEVEDO NETTO, 1979).

Em termos práticos, o que realmente interessa no processo de coagulação e floculação são a dosagem e a condição ótima para aplicação do coagulante, etapa de grande importância no tratamento, uma vez que as etapas subsequentes dependem desta.

As reações envolvidas são muito rápidas e dependem da energia de agitação, da dose do coagulante, do pH e da alcalinidade da água. Caso estas condições estejam corretas, as reações ocorrem em um espaço de tempo bastante reduzido (MIERZWA & HESPANHOL, 2005).

Os sais de alumínio e de ferro, utilizados como coagulantes, geralmente não apresentam uma produção de um lodo com boa eficiência quando utilizados em estações de tratamento de efluentes, a fim de reduzir o seu custo, o que pode contribuir para a produção de um lodo contaminado, principalmente com metais pesados, no caso do alumínio.

O policloreto de alumínio é um coagulante catiônico que, devido a sua dimensão e estrutura polimérica, substitui com vantagens os coagulantes inorgânicos comuns. Sua molécula constitui-se de um polímero inorgânico, com propriedades muito eficazes de agente coagulante e floculante para uso em estações de tratamento. Estas propriedades resultam da formação de um complexo polinuclear de íons hidróxi-alumínio, que em solução aquosa adquirem característica catiônica. O policloreto de alumínio atua em uma ampla faixa de pH (faixa ótima compreendida entre 6 e 9) e sua ação depende da temperatura (REIS, 1999 *apud* BREIA, 2006).

Polímeros orgânicos catiônicos a base de taninos naturais, de baixa massa molar, de origem essencialmente vegetal, derivados de fontes renováveis, podem atuar como coagulantes, floculantes e auxiliares de floculação. Em sistemas coloidais, neutralizam cargas, promovendo pontes elétricas entre as partículas, desestabilizando-as, formando os flocos e promovendo a sua sedimentação (REIS, 1999 *apud* BREIA, 2006).

Embora não usada de forma rotineira, a floculação em efluentes por agitação mecânica ou por ar dissolvido ou difuso pode ser usada para aumentar a remoção de sólidos suspensos e DBO em decantadores primários; no condicionamento de efluentes contendo certos resíduos industriais; para aumentar a eficiência dos decantadores secundários de processos de lodos ativados; e como um pré-tratamento do efluente a ser filtrado posteriormente (METCALF & EDDY, 2003).

3.3.1.1 Processo de Coagulação/Floculação com TANFLOC

O TANFLOC, também conhecido como Tanato Quaternário de Amoneo, é um polímero orgânico-catiônico de baixo peso molecular, de coloração escura e elevada viscosidade em sua forma líquida, mas também é empregado na forma sólida (pó), onde sua utilização é de grande escala nos tratamentos de águas de diferentes

fontes. Quando dissolvido em água se ioniza, adquirindo carga positiva e atuando como um cátion, essa carga positiva nos polímeros fica ligada ao seu corpo, ou seja a sua cadeia, essa carga do polímero é de extrema importância para um sistema de floculação, assim como o seu peso molecular (TANAC, 2015).

A empresa que fabrica este produto é a TANAC S.A., empresa localizada no estado do Rio Grande do Sul e única produtora do Brasil, pois o TANFLOC é extraído da casca da Acácia Negra (*acacia mearnsii de Wildemann*), planta de origem Australiana (MANGRICH et. al, 2010).

A vantagem deste produto é que o mesmo é competitivo com os outros produtos existentes no mercado, muitas vezes trazendo resultados melhores do que os produtos mais comuns utilizados e ainda apresenta a total biodegradabilidade, o que lhe permite ser disponibilizado em solos , ou após eco, devido ao seu elevado conteúdo carbônico, ser queimado em caldeiras para geração de energia Isso permite que seja totalmente digerido nas etapas biológicas do processo, ainda assim o TANFLOC apresenta efetividade em diversos tipos de águas de tratamento como efluentes, por exemplo (CORAL et. al, 2009).

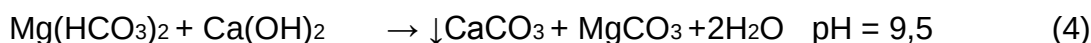
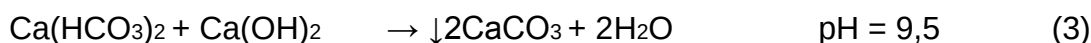
3.3.2 Sedimentação

A sedimentação ou decantação é um processo dinâmico de separação de partículas sólidas suspensas nas águas e efluentes. Estas partículas, sendo mais pesadas que o líquido, tendem a sedimentar com determinada velocidade (AZEVEDO NETTO, 1979).

Os objetivos e aplicações da sedimentação são a retirada de partículas finas como areia, sólidos suspensos totais (SST) e flocos formados por coagulação química de materiais e organismos de difícil sedimentação. A sedimentação também é usada para gerar um lodo mais concentrado em sólidos, com possibilidade de ser manuseado e tratado mais facilmente (AZEVEDO NETTO, 1979; METCALF & EDDY, 2003).

3.3.3 Abrandamento

O processo de abrandamento com cal virgem (CaO) ou hidratado (Ca(OH)₂) tem o objetivo de transformar as espécies solúveis de cálcio e magnésio em espécies insolúveis, ou seja, é uma reação de precipitação. É um processo bastante utilizado em sistemas de reúso de efluentes e, geralmente, requer uma etapa de separação de sólidos após a precipitação. Os processos de coagulação/floculação, sedimentação e filtração possuem esta função. As principais reações envolvidas, segundo Mierzwa & Hespanhol (2005), são:



O efluente abrandado, além de passar por uma etapa de separação dos sólidos, deve passar por uma etapa de ajuste de pH, visto que após o tratamento o pH estará acima de 9. O processo de estabilização do pH pode ser feito com ácidos ou com a recarbonatação da água.

3.3.4 Processo de adsorção em carvão ativado

A adsorção em carvão ativado promove a remoção da matéria orgânica solúvel e é utilizada quando se necessita de tratamento com qualidade mais elevada, após o tratamento biológico ou após o tratamento físico-químico por coagulação/floculação, sedimentação e filtração, sendo considerado um processo de polimento. A matéria orgânica adsorve na superfície dos poros das partículas de carvão, até que sua capacidade de adsorção seja exaurida, sendo necessária sua regeneração, que é feita por meio do seu aquecimento até volatilização do material orgânico absorvido, tornando os poros do carvão livres e regenerados (SILVA FILHO, 2006).

Águas residuais, oriundas do tratamento primário de uma unidade industrial foram investigadas por Abdessemed & Nezzal (2002) com o objetivo de reúso. Eles realizaram ensaios de coagulação/floculação usando como coagulante o FeCl_3 (120 mg/L) em um pH ótimo de 5,5. Logo após, adicionaram carvão ativado de densidade $0,41 \text{ g/cm}^3$ com área de $600 - 800 \text{ m}^2/\text{g}$ para a etapa de adsorção. Depois de certo tempo de contato foi realizada a ultrafiltração, utilizando uma membrana tubular inorgânica, com uma diferença de pressão de 1 bar e uma vazão de 3 m/s. O resultado apresentou uma redução na turbidez de 90 NTU para zero e a DQO foi reduzida de 165 mg/L para 7 mg/L, usando o processo combinado, coagulação-adsorção-ultrafiltração (GUERRA FILHO, 2006)

3.3.5 Resinas de Troca Iônica

Resinas de troca iônica são produtos sintéticos, constituídas, em geral, de copolímeros de estireno com divinilbenzeno (D.V.B.) funcionalizados com grupamentos ácidos ou básicos. De acordo com os grupos ionizáveis presos às estruturas das resinas, elas se classificam em quatro grupos básicos: catiônica fraca ou fracamente ácida (C.f.A.), catiônica forte (C.F.A.), aniônica fraca ou fracamente básica (A.f.B.) e aniônica forte (A.F.B.) (SILVA FILHO, 2009)

Entre os grupamentos ácidos, o mais comum é o ácido sulfônico, produzindo a resina catiônica fortemente ácida (C.F.A.) e o menos comum, o ácido carboxílico, produzindo a resina catiônica fracamente ácida (C.f.A.). Entre os grupamentos básicos inseridos nas cadeias das resinas aniônicas têm-se aminas terciárias, que produzem resinas fracamente básicas (A.f.B.) e os quaternários de amônio, que produzem resinas fortemente básicas (A.F.B.). As resinas A.F.B são divididas em dois subgrupos, tipo I e tipo II, cuja diferença é a basicidade que as mesmas apresentam. Resinas do tipo I têm um caráter básico mais forte, o que resulta em uma menor fuga de íons, principalmente sílica. As resinas do tipo II também possuem caráter básico forte, porém não possibilitam a remoção de sílica. No entanto, apresentam como vantagem a necessidade de menor quantidade de solução regenerante. (SILVA FILHO, 2009)

As resinas com grupamentos ácidos ou básicos, ao contrário das soluções aquosas de ácidos e bases, não se dissociam em duas espécies iônicas. Somente

uma espécie é dissociada nas resinas catiônicas, Na^+ ou H^+ ; nas aniônicas, mais frequentemente a hidroxila OH^- . Esses produtos, em contato com a água, poderão liberar íons sódio ou hidrogênio (resinas catiônicas) ou cloretos ou hidroxila (resinas aniônicas) e captar desta mesma água, respectivamente, cátions e ânions, responsáveis por seu teor de sólidos dissolvidos (cloretos, silicatos e sulfatos de sódio, magnésio e cálcio e combinados de Fe^{+2} e Fe^{+3}) indesejáveis a muitos processos industriais. Os íons presentes na água são substituídos por uma quantidade equivalente de outras espécies iônicas, sendo retidos em uma fase sólida imiscível denominada resina. (SILVA FILHO, 2009)

Por se tratar de uma fase sólida insolúvel, as resinas apresentam capacidade limitada. Em cada partícula de resina existe um número limitado de sítios ativos, de modo que quando todos estes sítios ativos são ocupados diz-se que a resina está saturada. Como este processo envolve uma reação de equilíbrio químico, as resinas podem ter a sua capacidade recuperada (MIERZWA & HESPANHOL, 2005).

As resinas catiônicas fracamente ácidas são utilizadas para remoção de cálcio, magnésio e sódio, ligados somente a ânion fraco, como o bicarbonato. São usadas somente em águas com dureza temporária elevada. Já as resinas catiônicas fortes podem estar na forma de sal de sódio, quando são utilizadas para abrandamento da água ou na forma de hidrogênio, quando são utilizadas para decarbonatação ou desmineralização da água (SILVA FILHO, 2009).

As resinas aniônicas fracamente básicas só removem ânions fortes, tais como sulfato, cloreto e nitrato. E, todas as resinas aniônicas fortemente básicas removem ânions fortes e fracos, tais como cloretos, sulfatos, nitratos, bicarbonatos e silicatos (SILVA FILHO, 2009).

3.3.6 Filtração

A filtração é um importante processo no tratamento de efluentes, comumente utilizada para remoção de flocos biológicos residuais em efluentes sedimentados do tratamento secundário, e para remoção de precipitados residuais de sais de metais ou precipitação de fosfatos com cal. A filtração é utilizada como operação de pré-tratamento antes do efluente alimentar as colunas de carvão ativado. Este processo combina mecanismos físicos e químicos de remoção de sólidos, sendo por isso

normalmente usado como uma etapa final, imediatamente antes da desinfecção e da disposição final e reúso.

O processo de filtração consiste na passagem do efluente através de leito de um material granular para remoção de sólidos, o que exige eventuais lavagens com água em contracorrente para remoção do material retido (MANCUSO & DOS SANTOS, 2003).

Segundo Di Bernardo et al. (2003), a retenção de impurezas é considerada o resultado de dois mecanismos distintos, porém complementares: transporte e aderência. Em primeiro lugar, as partículas devem se aproximar das superfícies dos grãos e, posteriormente, permanecer aderidas a estes, de modo a resistir a forças de cisalhamento resultantes das características hidrodinâmicas do escoamento ao longo do meio filtrante.

A eficiência da filtração depende, fundamentalmente, do tamanho e da resistência dos flocos formados nos processos que a precedem, muitas vezes sendo utilizados coadjuvantes de filtração, os quais aumentam a resistência do floco e a eficiência do filtro (MANCUSO & DOS SANTOS, 2003).

O meio filtrante mais utilizado é areia, entretanto, ao se fazer lavagem em contracorrente em um filtro de areia, as partículas mais finas dessa areia migram para a superfície do leito, causando um “entupimento”, o que faz com que o meio filtrante perca uma parcela de sua ação de superfície. Com o objetivo de resolver esse problema, foram desenvolvidos os filtros de dupla e até de múltiplas camadas, onde as superiores são constituídas de materiais com granulometria grande, porém leves, enquanto as inferiores são constituídas de materiais de granulometria menor, porém mais pesados (MANCUSO & DOS SANTOS, 2003).

3.4 MEMBRANAS

As membranas são meios filtrantes, em geral produzidos a partir de materiais poliméricos, que apresentam poros de dimensões variadas. Estes poros são responsáveis por todas as propriedades que tornam as membranas úteis em suas diversas aplicações, tanto para separar partículas como para fracionar moléculas de diferentes massas molares.

Como barreiras seletivas, as membranas são capazes de promover separações em sistemas onde os filtros comuns não são eficientes (DIAS, 2008).

Desde a descoberta da viabilidade econômica dos processos de separação por membranas, no final da década de 1960, o mercado de separação por membranas passou de US\$ 2 milhões/ano para cerca de US\$ 4,4 bilhões/ano em 2000 (PESSOA JR; KILIKIAN, 2005)

Os processos de separação com membranas utilizam uma combinação das propriedades seletivas das membranas poliméricas (porosidade, distribuição de poros, tipo de material) com a força motriz aplicada ao processo (temperatura, pressão, concentração, potencial químico) para efetuar a separação.

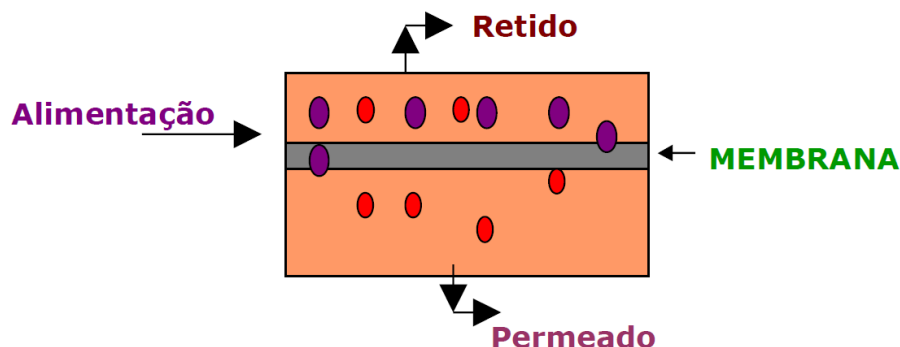
3.4.1 Processos de separação com membranas

Os tipos de Processo de Separação com Membranas (PSM) que se destacam tanto para o tratamento de água quanto o de efluentes líquidos são a microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), a nanofiltração (NF) e a osmose inversa (OI), os quais utilizam pressão como força motriz para separar a água (solvente) dos contaminantes (solutos) (MIERZWA et al., 2008).

O tamanho dos poros das membranas representa uma barreira física, impedindo a passagem dos contaminantes que devem ser eliminados do efluente desde que sejam maiores que a abertura dos mesmos. Desse modo, as membranas de OI são as que possuem menor diâmetro de poro, logo com maior seletividade, seguida pelas de NF, UF e MF (DROSTE, 1997).

Os processos de separação com membranas são operações unitárias de filtração relativamente recentes, principalmente quanto à suas aplicações (HABERT et al., 2006), este processo apresenta vantagens em relação aos processos convencionais devido à redução significativa de espaço físico em comparação com processos físico-químicos ou biológicos e o número de etapas no processamento (PETRUS, 1997). Um esquema que representa o PSM está apresentado na Figura 1 com os fluxos de permeado e retido a partir da alimentação do módulo onde a membrana é instalada.

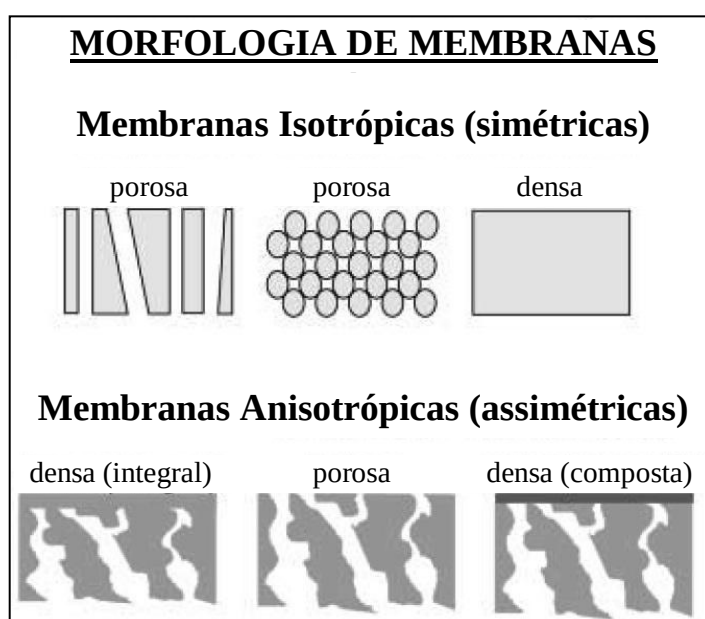
Figura 1 – Representação esquemática do processo de separação com membrana



Fonte: Adaptado de Matta (2015)

A morfologia das membranas pode ser visualizada na Figura 2, onde se apresentam as seções transversais de membranas isotrópicas ou simétricas, que apresentam poros de tamanho constante pela espessura da membrana ou não possuem poros (densas), e anisotrópicas ou assimétricas, as quais tem superfície porosa ou densa e podem ser constituídas por um material uniforme (integral) ou materiais diferentes nas regiões da superfície e do suporte ou substrato (HABERT et al., 2006).

Figura 2 – Representação esquemática da seção transversal dos diferentes tipos de morfologia de membranas sintéticas

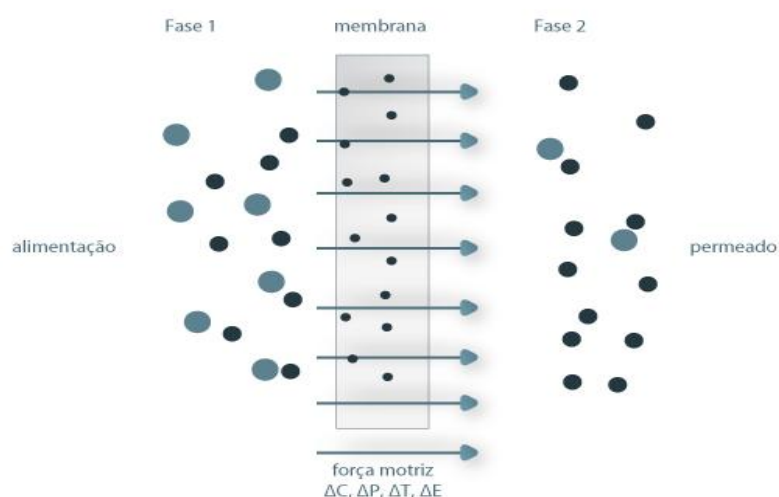


Fonte: Habert et al. (2006)

Dependendo do processo e do efluente tratado, a escolha da membrana deverá ser previamente estipulada, pois a permeabilidade e a morfologia da membrana irão influenciar diretamente no processo. A morfologia está relacionada com a porosidade e o tamanho dos poros ou ausência dos mesmos, o qual pode apresentar afinidade com as espécies que compõem o fluido, permitindo o transporte difusivo para o permeado (HABERT et al., 2006).

Uma força motriz deve agir sobre a membrana para que ocorra o fluxo do permeado (MULDER, 2000). Sendo assim, pode-se dizer que as forças motrizes que atuam no processo são os gradientes de pressão, de concentração e de potencial elétrico (HABERT et al., 2006). Um esquema de separação de fases em uma membrana é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Representação esquemática do sistema de separação de fases em uma membrana



Fonte: Baker, R.W. (2004)

3.4.2 Tipos de Membranas

3.4.2.1 Membranas de microfiltração (MF)

A microfiltração (MF) utiliza membranas com poros na faixa entre 0,1 e 1,0 μm , sendo indicada para a retenção de materiais em suspensão e emulsão, muitas vezes utilizada como pré tratamento permeando todo solvente e material solúvel.

Utiliza pequenas pressões até 3 bar e maiores vazões, isto dado o tamanho relativamente grande dos poros. (HABERT et al., 2006).

3.4.2.2 Ultrafiltração (UF)

Membranas de ultrafiltração (UF) são utilizadas para a separação e concentração de macromoléculas e partículas coloidais, pois possuem poros na ordem de 1 a 100 nm. (HABERT et al., 2006).

A pressão aplicada no processo de filtração fica entre 1 e 7 bar, a qual deve ser suficiente para vencer as perdas de carga e a resistência causada pela viscosidade do fluido de alimentação através da rede porosa da membrana (COUTINHO, 2009).

3.4.2.3 Nanofiltração

A nanofiltração (NF) apresenta tamanho de poro próximo a 1 nm, sendo mais utilizada para separação de menores partículas em comparativo com a UF. Sua pressão empregada é de 10 a 25 bar, sendo necessário uma bomba de maior. A eficiência dessas depende do mecanismo de exclusão por tamanho de partícula (HILAL et al., 2004). As membranas de NF possuem características entre a ultrafiltração e a osmose inversa.

3.4.2.4 Osmose inversa

Os processos de osmose inversa (OI) têm como determinantes de sua seletividade as diferenças nos coeficientes de difusão dos componentes através da membrana e a afinidade destes em relação ao material da membrana, consistindo em um fator adicional para a separação (MULDER, 2000; PABBY et al., 2009).

As pressões exercidas sobre esta membrana são de 50 a 80 bar, sendo necessário um aparato instrumental mais elaborado para este processo.

3.4.3 Material de composição das membranas

As membranas podem ser classificadas como poliméricas ou orgânicas e cerâmicas ou inorgânicas, e seus materiais podem ser de vários polímeros, entre os quais os mais comuns são: acetato de celulose (AC), poliamida (PA), polisulfona (PS), polietersulfona (PES), poli(fluoreto de vinilideno) (PVDF), o polipropileno (PP), poli(n-vinil-2-pirrolidona) (PVP), entre outros.

As membranas poliméricas, tem maior facilidade de fabricação e maior disponibilidade em uma ampla faixa de tamanhos de poros do que as cerâmicas, tornando-as amplamente utilizadas em várias indústrias, mas existem limitações, pois estas operam apenas em determinadas faixas de pH, temperatura, pressão, tolerância ao cloro, entre outras, o que dificulta aplicações mais amplas (CUI e MURALIDHARA, 2010).

3.4.4 Permeabilidade e Fluxo

O desempenho das membranas é apresentado em termos do fluxo de permeado (J_P), dado pela razão entre a vazão de permeado (Q) e a área de filtração da membrana (A), de acordo com a Equação 1.

$$J_P = \frac{Q}{A} = \frac{V}{tA} \quad (5)$$

Onde: V é o volume permeado, dado em litros, t é o tempo necessário para permear o volume amostrado e A é a área da membrana em m^2 . A unidade de fluxo é dada em $L h^{-1} m^{-2}$.

A permeabilidade (L_P) de uma membrana é mensurada através do fluxo (J_P) em uma dada pressão (P), conforme Equação 3.

$$L_P = \frac{J_P}{P} = \frac{Q}{AP} = \frac{V}{tAP} \quad (7)$$

Onde: a unidade de permeabilidade (L_P) é dada em $L h^{-1} m^{-2} bar^{-1}$, o que permite comparar entre diversas membranas e tamanhos de módulos em que as mesmas são instaladas. O valor da permeabilidade permite verificar o fluxo obtido em

diversas condições, principalmente em função da pressão necessária aplicada a cada caso em virtude das características dos solutos presentes na alimentação e da interação desses com a membrana.

3.4.5 Influências no aumento da resistência da membrana

Durante o PSM ocorre o decaimento do fluxo de permeado devido a fatores relacionados com o meio filtrante, isto é, a deposição de material sobre a superfície da membrana e dentro dos seus poros (MULDER, 2000). Esses fatores influenciam drasticamente na redução do fluxo de permeado, podendo inviabilizar o processo de separação. Os fatores mencionados são conhecidos como colmatção, polarização por concentração e *fouling*.

3.4.5.1 Polarização por concentração

Um acúmulo ocasionado pelo material retido na superfície tende a se estabilizar com o tempo, gerando uma camada de concentração de soluto, atingindo seu máximo na superfície da membrana (MULDER, 2000).

Como consequência deste acúmulo tem-se redução do fluxo devido ao aumento da concentração na superfície da membrana. Solutos com baixo peso molecular, como sais, podem permear e apresentar menor retenção do que o esperado. O aumento da retenção ocorre especialmente em misturas com solutos de elevado peso molecular, formando uma barreira que impede o fluxo. Isso acaba favorecendo a retenção de solutos de menor peso molecular e a redução do fluxo de permeado, pois o fluxo é proporcional à aplicação de pressão. Entretanto, principalmente nos casos de MF e UF a polarização por concentração provoca severo declínio devido à barreira adicional ao fluxo de permeação sendo assim acarretará em maiores pressões e menores vazões.

O acúmulo de moléculas e partículas na superfície da membrana pode causar um aumento na resistência à passagem do solvente e conduzir a uma maior pressão transmembrana, o que pode levar à redução de fluxo e à retenção de compostos indesejáveis através da rejeição causada pelo *fouling* e formação da camada gel (CUI e MURALIDHARA, 2010). Essa camada pode ser removida com limpezas

utilizando somente água, assim não comprometendo a membrana ou com o auxílio de produtos químicos o qual irá danificar esta com o (ARGÜELLO et al., 2002; MULDER, 2000).

O aumento da Pressão Transmembrana (PTM) pode chegar a tal ponto em que o fluxo de permeado (J_p) se torna independente da pressão, sendo chamada de pressão Transmembrana Crítica (PTMc) (POTER, 1972 apud CUI e MURALIDHARA, 2010), a qual corresponde a um valor de fluxo limite (ABDELRASOUL et al., 2013; HABERT et al., 2006; MULDER, 2000).

3.4.5.2 Fouling

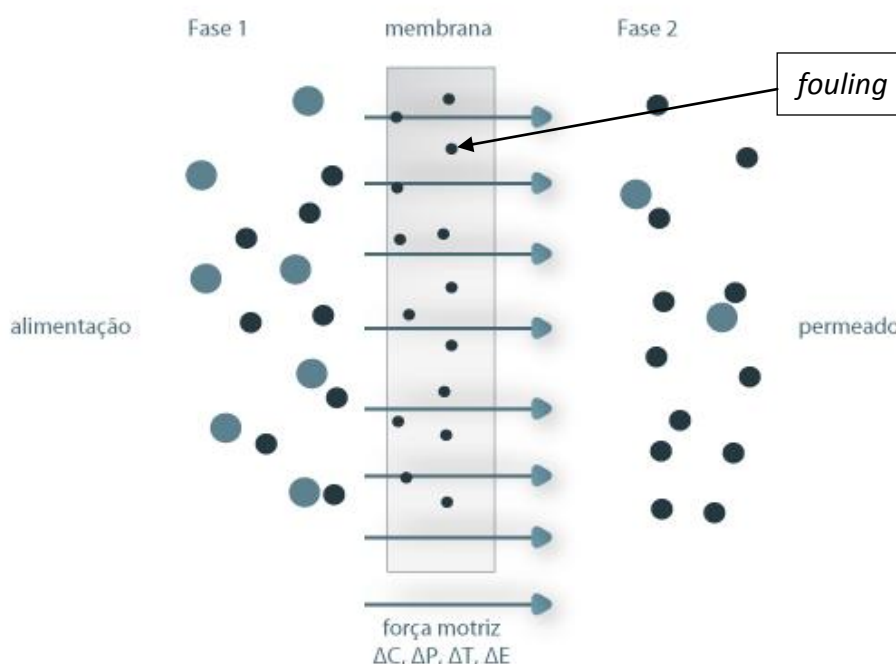
Um dos grandes problemas no tratamento de efluentes com membranas é o chamado *fouling* ou deposição e acumulação de sólidos na superfície da membrana, o que normalmente é causado por sólidos orgânicos ou inorgânicos ou até mesmo microorganismos (*biofouling*), conforme Figura 4. A principal consequência disto é a redução do fluxo de permeado e a elevação da pressão trans-membrana (PTM), elevando os custos operacionais e de manutenção (limpeza), comprometendo também a qualidade do permeado.

Wiesmann et al. (2007) afirmaram que a formação de *fouling* depende da concentração alimentada, das condições de fluxo, da natureza química das membranas e a interação da mesma com os compostos. Os autores também apresentam um esquema com os mecanismos causadores do *fouling*, tais como adsorção dentro e fora dos poros, deposição, bloqueio dos poros e micro-organismos.

3.4.5.3 Colmatação

A colmatação é a deformação da subcamada porosa da membrana polimérica ou orgânica devido à aplicação de pressão, o que gera decaimento permanente do fluxo durante o processo. Os processos que mais sofrem esta deformação são os que utilizam as maiores pressão de operação, como NF e OI, mas dependendo da pressão utilizada, também podem ocorrer na UF (MULDER, 2000).

Figura 4 – Representação de filtração via membrana e acúmulo de sujeisidade (*fouling*)



Fonte: adaptado de Mulder (2000)

3.5 EFLUENTE GERADO NA INDÚSTRIA DE REFRIGERANTE

Estudos realizados por Alves (2012), mostram que o processo de produção de refrigerantes é um conjunto de atividades e operações inter-relacionadas, no qual elementos são transformados em produtos (MOREIRA, 1999). Na indústria de refrigerantes, o sistema de produção envolve basicamente as atividades de tratamento de água, xaroparia e linhas de envasamento, os quais mais interferem na diversidade do efluente.

Para garantir uma boa eficiência do tratamento, ou seja, qualidade da água é importante analisar as principais características do efluente, como, por exemplo: o pH alcalino, devido às soluções de limpeza utilizadas; DBO e DQO pela elevada carga orgânica, cor e turbidez devida à elevada quantidade ao açúcar do xarope e alguns extratos vegetais empregados na formulação. A composição destes efluentes é bastante variável em função da tecnologia empregada tanto no processo produtivo como nas etapas de lavagem (CETESB, 2005).

Além do conhecimento da composição do efluente industrial, faz-se necessário o conhecimento da vazão, o que possibilita a determinação das cargas de poluição, sendo fundamental na definição do tipo de tecnologia a ser empregada no tratamento, na avaliação do enquadramento na legislação ambiental e para estimar a capacidade de autodepuração do corpo receptor (PEREIRA, 2002).

Na indústria de refrigerantes a linha de produção das embalagens retornáveis (constituída por extração de canudos, lavadoras, envasadora, lacrador de tampas e aparelhos eletrônicos de teste de produtos não conformes) destaca-se como uma das principais geradoras de efluentes.

Inicialmente a extração manual remove os canudos presentes nas garrafas que seguem para a lavadora. Nesta etapa as garrafas são lavadas com solução detergente caustico aditivado com concentração de 50% de NaOH (hidróxido de sódio) e temperatura de 80°C, dentro da lavadora em reservatório de 3 m³ de solução, pressão dos bicos ± 5 bar e tempo padrão estabelecido a fim de evitar que as mesmas não estejam limpas.

No processo seguinte ocorre o enxague com água clorada à temperatura ambiente, divididas em dois tanques onde cada um contém 1 m³ de água clorada e posterior identificação, em aparelho eletrônico, para detectar garrafas não conformes com sujeira que seguem para nova avaliação e as demais para envase das bebidas carbonatadas. (ALVES, 2012)

Após o envase, as garrafas recebem as tampas no lacrador de tampas passando novamente por um detector eletrônico no qual elimina as garrafas que não estejam de acordo com o padrão. A solução de soda cáustica descartada é encaminhada para um tanque de armazenagem e o efluente gerado pela lavadora é enviado para a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE). A soda caustica é reutilizada para balancear o pH no tanque de equalização da ETE. A geração de efluente torna-se de aproximadamente 1 (um) mil litros por hora, normalmente a empresa trabalha 5 horas por dia neste processo, 2 dias da semana.

Segundo Metcalf & Eddy (1991), apud Alves (2012), os efluentes devidamente tratados nas estações de tratamento de esgoto (ETE), que posteriormente são lançados nos corpos d'água, estão recebendo mais atenção como uma possível fonte de água. O reúso para água residuária é viável em relação à conservação da água e uso eficiente das fontes existentes.

De acordo com Sautchúk *et al.* (2005), apud Alves (2012), a água deve apresentar características químicas, físicas e biológicas adequadas para cada tipo de reúso a ser estudado e implantado. A implantação do reúso não substitui integralmente a necessidade de água em uma planta industrial, pois há limitações técnicas e operacionais, que restringem a utilização em sistemas fechados. Portanto, se faz necessária uma avaliação das características da água e dos efluentes gerados, além de conhecimento dos padrões de emissão dos efluentes, segundo a legislação vigente, essa avaliação deve estar contemplada dentro de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA).

3.5.1 Problemas relacionados aos tratamentos convencionais de efluentes

Os tratamentos convencionais de efluentes líquidos da indústria de bebidas envolvem, além do pré-tratamento, tratamento primário para remoção de sólidos (rótulos, canudos, bitucas de cigarro, etc), óleos e gorduras, seguido de tratamento secundário biológico para remoção da matéria orgânica.

Como tratamento primário utilizam-se processos de coagulação-floculação com sais de alumínio ou de ferro, decantação e filtração. Entre esses o primeiro é o mais utilizado por sua maior eficiência na remoção da DQO e, principalmente, óleos e graxas, os quais podem apresentar cadeias longas de ácidos graxos que apresentam baixas taxas de biodegradação no tratamento biológico posterior.

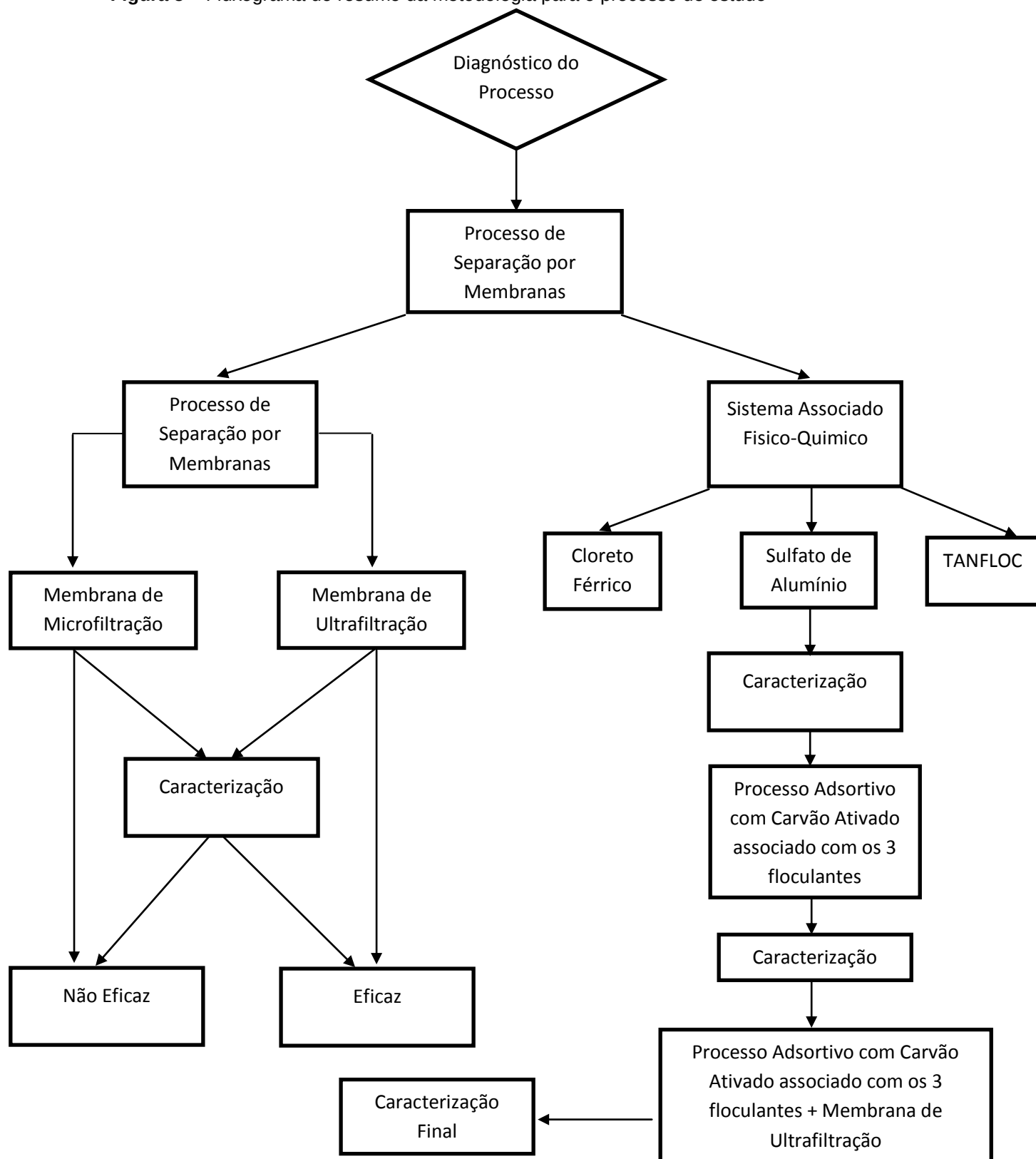
Os tratamentos biológicos utilizados são os aeróbios e os anaeróbios. Destacando-se entre os primeiros os lodos ativados, os filtros biológicos e as lagoas aeradas. Já entre os anaeróbios os mais utilizados são os filtros anaeróbios e os digestores anaeróbios de fluxo ascendente (mais conhecidos como reatores UASB do inglês *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), sendo que esses necessitam de menor área para instalação e produzem menor quantidade de lodo para descarte, o que é bastante atrativo para as indústrias (PRAZERES *et al.*, 2012).

Considerando-se os problemas relacionados aos tratamentos convencionais, principalmente os biológicos, verifica-se que os físico-químicos associados aos Processos de Separação com Membranas (PSM) podem ser uma das alternativas mais adequadas para tratamento dos efluentes líquidos, contando com várias possibilidades para o reúso da água tratada nesse processo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 DIAGNÓSTICO DO PROCESSO

Figura 5 – Fluxograma do resumo da metodologia para o processo de estudo



4.2 EFLUENTE

O estudo operacional com efluentes de indústrias de bebidas foi dividido em etapas. Em um primeiro momento foi realizada a caracterização do efluente, o qual foi coletado na saída do equipamento gerador para se evitar contaminações ao longo da tubulação a qual destina este efluente para a ETE.

Este efluente é gerado na lavadora de garrafas de vidro, a qual realiza o processo de remoção de todos os corpos estranhos presentes dentro e fora das garrafas. Como a embalagem é reutilizável, esta limpeza tem que ter a máxima eficiência na remoção de materiais contaminantes e sujidades como tocos de cigarro, canudos, tampas e rótulos na parte externa da embalagem.

Com base no monitoramento realizado o efluente da lavadora de garrafas foi coletado para a realização de ensaios de purificação visando o reúso. Foram coletados 200 litros de efluentes e armazenados em bombonas de 25 litros e congelados imediatamente.

Primeiramente foi realizada a caracterização do efluente bruto seguindo os seguintes parâmetros: cor, turbidez, carbono orgânico total (COT), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total, condutividade, elétrica, sólidos totais e pH.

4.3 MEMBRANAS UTILIZADAS

Foram utilizadas membranas poliméricas do tipo fibra oca para os processos de MF e UF, fornecidas pela empresa PAM Membranas Seletivas Ltda., ambas compostas por uma mistura de poli(éter sulfona)/poli(vinil pirrolidona) (PES/PVP), com diâmetro de poro de 0,20 μm e corte de 50 kDa, respectivamente.

A Tabela 1 apresenta as especificações das membranas utilizadas neste trabalho fornecidas pelos fabricantes.

Tabela 1 – Especificação e características das membranas utilizadas

Classe	Material/modelo (módulo)	Fabricante	Tamanho de poro/MWCO/ Rejeição	Área de permeação	Faixa de pH e temperatura e pressão máximas
MF	PES+PVP / fibra oca (módulo 226)	PAM	0,20 μm	0,027 m^2	2 – 13
		Membranas Seletivas Ltda.			55 °C 5 bar
UF	PES+PVP / fibra oca	PAM	50 kDa	0,027 m^2	2 – 13
		Membranas Seletivas Ltda.			55 °C 5 bar

Fonte: Autor (2015)

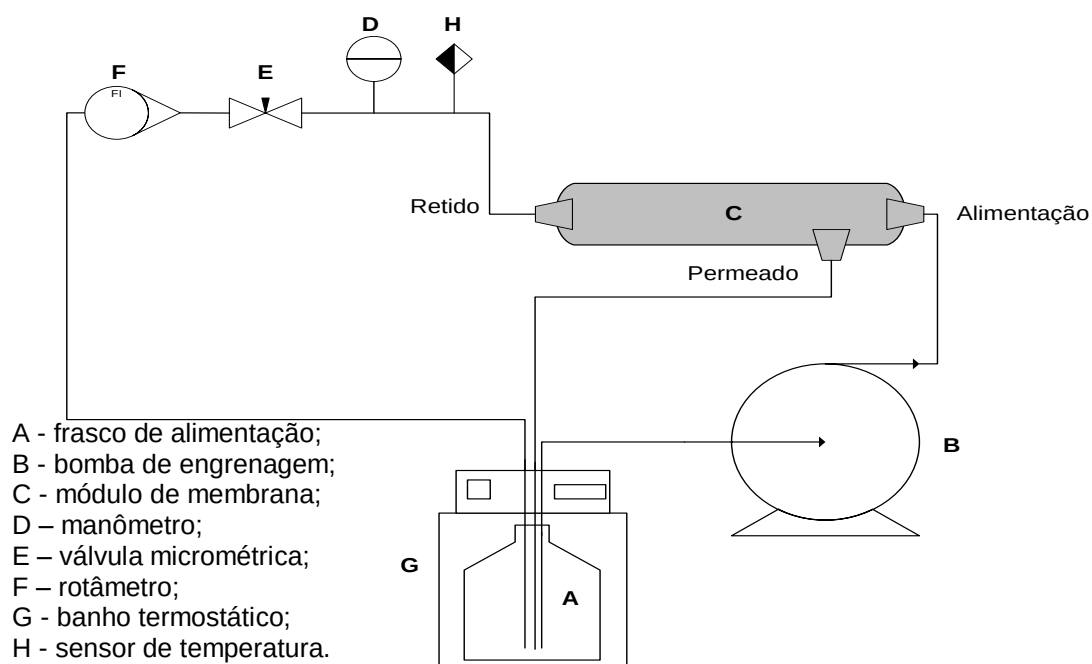
4.4 MONTAGEM DO APARATO EXPERIMENTAL

O sistema hidráulico montado para realização dos experimentos foi constituído de mangueiras flexíveis de PVC (cloreto de polivinila) com diâmetro nominal de “1/4”, o que facilitou a montagem e reduziu as perdas de carga nas conexões e tubulações. Para controle da temperatura foi utilizado um banho termostático marca Marconi, modelo MA 083 com precisão de $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Nos sistemas de filtração com as membranas de MF e UF foi utilizada uma bomba de engrenagens marca Cole-Parmer, modelo Micropump 72211-15. Considerando que no sistema a bomba era de deslocamento positivo e havia a necessidade de manter constantes a pressão e a vazão no módulo (onde a membrana é instalada), para a bomba de engrenagens o controle da pressão foi realizado através de uma válvula de agulha marca Nupro Co., modelo SS, na linha do retido, posterior a um manômetro marca Salvi, modelo Standart de 0 a 4 bar, e a vazão por meio de inversor de frequência acoplado à bomba.

As membranas foram montadas nos módulos, que são estruturas capazes de fixar sem comprometer a integridade das mesmas, além de permitirem os fluxos de alimentação, permeado e retido. O sistema também contou com um rotâmetro marca Conaut, modelo 440 de 0,5 a 2,5 L min^{-1} . As Figuras 6 e 7 apresentam um diagrama simplificado e uma foto do aparato experimental utilizado neste trabalho.

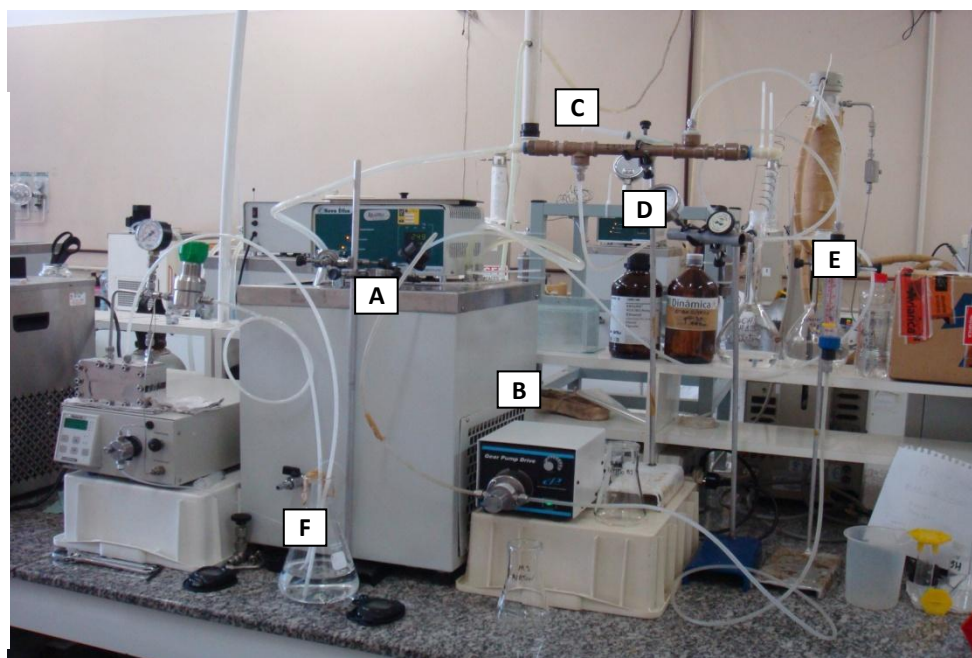
Figura 6 - Diagrama esquemático do aparato experimental



Fonte: adaptado de Tres (2012)

Figura 7 – Foto do sistema de bancada utilizado para os experimentos

- (A) Banho eletrostático
- (B) Bomba de pressão
- (C) Módulo de membrana
- (D) manômetros de controle de pressão
- (E) Fluxímetro
- (F) Efluente



Fonte: autor (2015)

4.4.1 Ensaios de Tratamento de Efluentes de Indústrias de Bebidas utilizando Membranas de MF e UF

Os ensaios de microfiltração foram realizados em um módulo de membrana com tamanho de poro de $0,20\ \mu\text{m}$ e área de permeação de $0,027\ \text{m}^2$. As vazões e pressões deste ensaio foram controladas para que pudéssemos obter resultados adequados e para verificar a eficácia deste módulo de membrana conforme especificações do fabricante.

Antes da alimentação da amostra do efluente bruto a amostra foi filtrada em papel filtro ATMAN $0,2\ \mu\text{c}$, toda a água do sistema foi removida, o que incluía mangueiras e acessórios, bomba, rotâmetro e o módulo de membrana visando reduzir ou eliminar a diluição da amostra alimentada eliminando dados errôneos nas análises finais.

A remoção da água foi realizada utilizando 250 mL da amostra, o qual foi mantido sem pressão no sistema até preencher todos os componentes do aparato instrumental.

Mesmo após o esgotamento da água do sistema, os primeiros 50 mL de permeado foram descartados tanto na MF e na UF, visando garantir que toda água de lavagem tinha sido removida do sistema e que a amostra não sofreria alteração em sua concentração inicial.

Na sequência, o fluxo permeado da amostra era medido a cada 10 minutos, recompondo à mesma tanto o permeado quanto o retido para manter sua homogeneidade. Após medição do fluxo permeado durante 60 minutos era retirada uma alíquota de 14 mL de permeado e removido do sistema o respectivo retido para evitar concentração na alimentação. Esse volume de amostra representa a quantidade necessária às determinações analíticas.

Os ensaios foram realizados com o efluente bruto após filtração em papel filtro foram realizados em módulo de membrana com temperatura do efluente controlada a 25°C a pressão constante de 1 bar e vazão em rotâmetro de $1\ \text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ controlado por rotâmetro e ao final coletado o permeado para análises a serem realizadas.

As alíquotas de permeado e de retido foram armazenadas refrigeradas a 4°C por aproximadamente 18 horas até a realização das determinações analíticas no dia seguinte ao experimento, quando as mesmas eram diluídas a temperatura ambiente.

4.5 LIMPEZA DAS MEMBRANAS

A limpeza das membranas de MF e de UF foram efetuadas utilizando limpeza química, inicialmente o protocolo indicado pelo fabricante (Anexo A) e posteriormente, visando agilizar o processo e reduzir o descarte de produtos químicos, foi modificado o procedimento para essas membranas.

O protocolo adotado seguiu os seguintes passos: após lavagem com 5 L de água destilada e remoção da água do sistema, a membrana permanecia de molho por 3 horas em solução desincrustante comercial, na concentração de 5 g L⁻¹ diluída em água destilada. Após era efetuada a limpeza com água destilada, primeiro lavando a membrana com 5 L de água destilada sem pressurizar o sistema e mais 2 L sob a pressão de 3 bar. Durante toda limpeza foi mantida a temperatura ambiente (25°C). A solução comercial utilizada era composta de percarbonato de sódio (<55%), carbonato de sódio (<45%), álcool etoxilado (<3%), alquil sulfonato de sódio (<3%), tetracetil etileno diamina com carboxietil celulose de sódio (<0,6%), xileno sulfonato de sódio (0,5%), dodecil benzeno sulfonato de sódio linear 80% (<3%), enzima alfa-amilase (<0,2%), enzima protease (<0,3%), ingredientes inertes (qsp 100%).

Após cada processo de limpeza das membranas era verificado novamente a permeabilidade hidráulica com água destilada, seguindo o mesmo procedimento descrito no item 3.4. Caso não se atingisse uma permeabilidade próxima da obtida antes do experimento era repetida a limpeza até se chegar ao nível anterior a filtração com a amostra.

4.5.1 Processo Físico-químico por coagulação/floculação e Adsorção com Carvão Ativado

Foram realizados ensaios com coagulantes conhecidos na literatura, estes foram: sulfato de alumínio (solução 10%), cloreto férrico (solução 1%) e TANFLOC

em pó, seguido de filtração simples em kitassato com bomba á vácuo para retirar o material floculado

Primeiramente foram efetuados ensaios com o coagulante Sulfato de Alumínio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ o qual é muito utilizado no tratamento de efluentes industriais em função da estabilidade dos flocos gerados, ajudando na decantação destes. Foram testadas a adição de diferentes volumes, de 2,0 até 5,0 mL.L^{-1} , com pH previamente ajustado em $6,0 \pm 0,5$, com uma solução de NaOH 0,1 M. Após uma etapa de homogeneização, a solução foi deixada em repouso por 25 minutos para que ocorresse a decantação. Posteriormente a fase líquida foi filtrada em papel filtro, e analisada em relação aos valores de DQO e COT para determinar qual a melhor concentração a ser utilizada deste coagulante.

Outro coagulante testado foi o Cloreto Férrico (FeCl_3), o qual também é comumente utilizando no tratamento de efluentes industriais. Foram testadas a adição de diferentes volumes, os quais proporcionam uma concentração no efluente entre 10 a 50 mg.L^{-1} , com pH previamente ajustado em $6,0 \pm 0,5$, com uma solução de NaOH 0,1 M. Após uma etapa de homogeneização, a solução foi deixada em repouso por 25 minutos para que ocorresse a decantação. Posteriormente a fase líquida foi filtrada em papel em papel filtro, e analisada em relação aos valores de DQO e COT para determinar qual a melhor concentração a ser utilizada deste coagulante.

Para o TANFLOC, outro coagulante testado, as concentrações testadas foram entre 30 e 80 mg.L^{-1} , com pH previamente ajustado em $8,0 \pm 0,5$, com uma solução de NaOH 0,1 M.

Após uma etapa de homogeneização, a solução foi deixada em repouso por 25 minutos para que ocorresse a decantação. Posteriormente a fase líquida foi filtrada em papel em papel filtro, e analisada em relação aos valores de DQO e COT para determinar qual a melhor concentração a ser utilizada deste coagulante.

Após otimizar as quantidades dos coagulantes, foram repetidos novos ensaios com as melhores concentrações de cada coagulante, sendo o efluente tratado quimicamente submetido a testes adsorptivos, utilizando carvão ativado (densidade $0,41 \text{ g/cm}^3$ com área de 600 – 800 m^2/g) como adsorvente. Os testes foram realizados com 100 mL de efluente previamente tratado, empregando concentrações de carvão entre 0,5 e 0,8 g.L^{-1} . Para todas as concentrações testadas

foi conduzido um ensaio cinético, com tempos de contato entre 5 a 40 minutos. A cada 5 minutos eram coletadas amostras compostas, filtradas e análises em relação a DQO e ao COT, para determinar a melhor concentração a ser utilizada nos testes com membranas.

Após determinar a melhor condição de cada coagulante e a massa de carvão ativado e tempo de contato, as amostras previamente tratadas (coagulante + carvão) foram submetidas a uma etapa de separação com membranas de ultrafiltração (UF), nas condições experimentais descritas anteriormente (item 4.2.1).

4.6 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

Para as determinações analíticas, adotou-se a abordagem utilizada por Benazzi (2013), a seguir:

4.6.1 Cor aparente

A cor aparente foi medida segundo o método espectrofotométrico, utilizando um colorímetro (Hach DR870), em comprimento de onda de 455 nm. A curva de calibração foi obtida com soluções padrão de cloroplatinato de potássio (K_2PtCl_6), cloreto de cobalto (II) hexaidratado ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) e ácido clorídrico (HCl). Os resultados foram expressos em "unidade Hazen" ou "uH", que corresponde ao incremento de cor causado pela adição de 1 mgL^{-1} de Pt, como íon cloroplatinato (APHA, 1992).

4.6.2 Turbidez

A turbidez engloba as partículas sólidas e coloidais (proteínas, sangue e microrganismos) de tamanho $<0,2 \text{ m}$. No efluente bruto, as partículas coloidais interagem de forma a dispersar-se espontaneamente no líquido, formando uma suspensão homogênea e estável. A turbidez foi medida pelo método absortométrico por leitura direta em colorímetro digital (Hach, DR870), calibrado com suspensões padrão de formazina.

4.6.3 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A demanda química de oxigênio (DQO) é uma medida da quantidade de oxigênio utilizado na oxidação química da matéria inorgânica e orgânica presentes nas águas residuais. O método padrão utilizado neste estudo foi o método colorimétrico em microescala (5220D, APHA, 1992), que emprega como reagentes as soluções padrão de ftalato ácido de potássio, solução ácida (Ag_2SO_4 em H_2SO_4 concentrado) e solução digestora (composta de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, HgSO_4 e H_2SO_4 diluídos em água). O método consiste na redução do cromo (Cr^{6+} a Cr^{3+}) e subsequente análise através da modificação da coloração, em um espectrofotômetro. A digestão das amostras foi conduzida em um termorreator (DRY BLOCK MA 4004, MARCONI) a 150 °C, por 2 horas. Após resfriamento das amostras, as leituras foram realizadas em colorímetro digital (Hach, DR870) previamente calibrado com soluções padrão de ftalato ácido de potássio.

4.6.4 Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total

As medidas de COT foram realizadas seguindo-se a metodologia padrão (ISO-1987). Foi utilizado um equipamento analisador de carbono orgânico total (Shimadzu, TOC-5000A). As determinações foram realizadas por oxidação catalítica a alta temperatura (680 °C). A amostra foi preparada a partir de uma alíquota do efluente de 1 mL, previamente filtrada em membrana (0,45 µm) e diluída a 25 mL com água destilada. O teor de COT foi determinado pela diferença entre as concentrações de carbono total e carbono inorgânico.

4.6.5 pH

As leituras de pH foram realizadas em temperatura ambiente (25°C), em pHmetro digital de bancada (pH LAB 827, Metrohm), previamente calibrado com padrões adequados.

4.6.6 Sólidos Sedimentáveis

As leituras de sólidos sedimentáveis foram realizadas em temperatura ambiente (25°C) em cone de Imhoff até o volume de 1000 mL, deixando o líquido em repouso de 45 minutos, após os resíduos sólidos depositados nas paredes foram deslocados delicadamente com bastão de vidro em direção ao fundo do cone e deixado por mais 15 minutos de repouso para a completa decantação do material sólido e após efetuada a leitura do material sólidos em mililitros.

4.6.7 Determinação de Fósforo Total

As análises de fósforo total foram realizadas pelo método colorimétrico de leitura onde é retirada uma alíquota da amostra adicionado uma solução de ácido clorídrico e ácido sulfúrico concentrados para diluição desta amostra, em seguida é adicionado uma solução de ácido clorídrico e molibdato de amônio diluídos em água destilada e por último adicionado uma pequena medida de ácido ascórbico para coloração da amostra e determinar a absorbância em 660 nm em espectrofotômetro.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico estão apresentados e discutidos os resultados que foram obtidos neste estudo.

5.1 RESULTADOS DO DIAGNÓSTICO DO PROCESSO DA PRODUÇÃO DE REFRIGERANTE

Antes da implantação de qualquer estudo de reúso é necessário realizar um estudo de tratabilidade do efluente, para que seja estabelecido um sistema de tratamento que produza água com qualidade compatível com o processo industrial considerado. Na Tabela 2, estão os dados do balanço hídrico da empresa, no qual verifica-se a quantidade de água em metros cúbicos captada dos poços artesianos no ano de 2013 de acordo com as necessidades de produção da Indústria. Nota-se que aproximadamente 70% da água captada pela indústria são convertidos em bebidas e os outros 30% em efluentes.

Tabela 2 - Balanço hídrico mensal da industrial no ano de 2013.

Mês	Água Captada (m ³)	Água Utilizada na Produção (m ³)	Efluente Gerado (m ³)
Janeiro	30.123	21.086	9.037
Fevereiro	29.345	19.661	9.684
Março	27.439	19.481	7.958
Abril	25.201	17.388	7.813
Maio	23.250	16.740	6.510
Junho	22.983	17.237	5.746
Julho	22.124	16.593	5.531
Agosto	22.342	16.536	5.816
Setembro	23.545	17.187	6.358
Outubro	25.347	17.996	7.351
Novembro	26.976	18.883	8.093
Dezembro	31.231	20.300	10.931

Fonte: autor (2015)

A maior parte deste consumo de água é proveniente da lavadora de embalagens retornáveis, já que a máquina consome uma quantidade muito significativa de água, pois o processo consiste em 3 (três) etapas:

1° Etapa: Lavagem com hidróxido de sódio (NaOH) 50%, em tanque com capacidade de 3 m³.

2° Etapa: Enxágue 1, com água de poço em tanque com capacidade de 1 m³.

3° Etapa: Enxágue 2, com água de poço em tanque com capacidade de 1 m³.

O consumo da lavadora de embalagens retornáveis por mês é em torno de 8.300 m³, o que justifica o tratamento deste efluente.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE BRUTO

Os resultados do efluente bruto em relação a DQO, COT, fósforo total, nitrogênio total, sólidos sedimentáveis, cor e turbidez, constam na tabela 3.

O efluente bruto apresenta um baixo índice de cor e turbidez, bem como teores de sólidos sedimentáveis, fósforo total e nitrogênio total. No entanto apresenta elevados teores de DQO, DBO, Carbono Orgânico Total (COT) e pH, parâmetros estes acima do recomendado para descarte e até mesmo reaproveitamento na unidade, pela legislação vigente (CONAMA), indicando a necessidade de uma etapa de tratamento previamente ao descarte.

Tabela 3 – Resultados da caracterização do efluente bruto comparando com os padrões do CONAMA.

Parâmetros	Valores	
	Efluente Bruto	CONAMA
pH	10,3	entre 5 e 9
Turbidez	3	<40
Cor	4	não visível
Sólidos Sedimentares (mL.L ⁻¹)	2	não visível
DQO (mg.L ⁻¹)	9.239,9	400
DBO (mg.L ⁻¹)	4.375,1	120
COT (mg.L ⁻¹)	5.207,2	-
Nitrogênio Total (mg.L ⁻¹)	5,6	<20,0
Fósforo Total (mg.L ⁻¹)	<0,1	<5

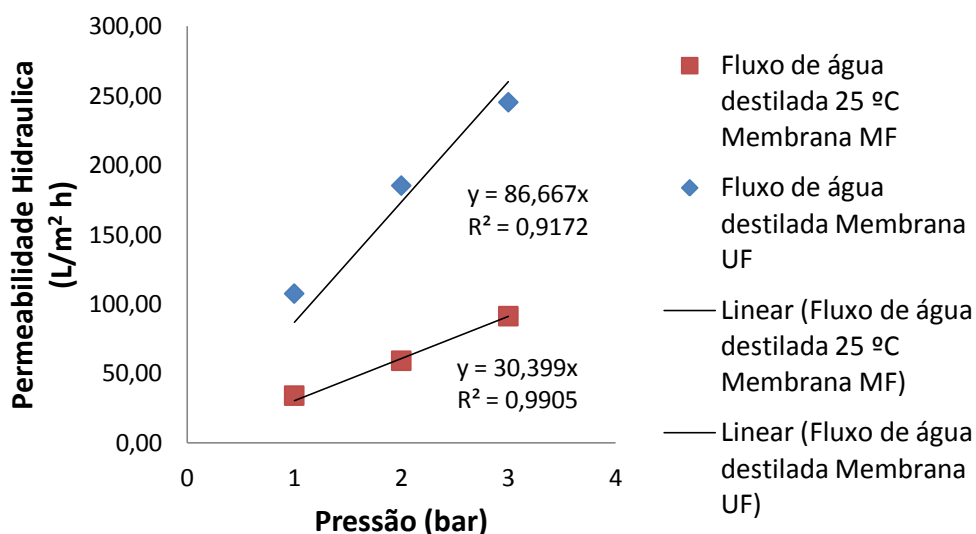
Fonte: autor (2015)

5.3 ENSAIOS UTILIZANDO MEMBRANAS

Inicialmente foram conduzidos ensaios com membranas de MF e UF para determinar se estas estavam de acordo com os dados especificados pelo fabricante e para verificar a sua eficácia para conduzir os testes seguintes no efluente bruto.

Primeiramente foram verificadas as permeabilidades hidráulicas das duas membranas para verificar se estas estavam aptas para os testes com o efluente, pois cada tipo de membrana tem sua permeabilidade característica conforme as informações do fabricante. Foram realizados testes nas com água destilada a 25°C, pressões de 1, 2 e 3 bar e vazão de alimentação de 1 mL.m⁻¹ para efetuar a verificação do fluxo de cada uma das membranas, todos os ensaios foram realizados em triplicata. Os resultados estão expressos na Figura 8, para a membrana de MF.

Figura 8 – Comparação entre permeabilidade da membrana de MF e UF



Fonte: autor (2015).

É possível observar que ocorre para ambas as membranas, um aumento linear da vazão de permeado com o aumento da pressão, o que já era esperado, uma vez que a pressão é uma das variáveis que interfere positivamente na vazão. Cabe salientar que a membrana de UF, apresentou para todas as pressões testadas uma vazão aproximadamente 100% superior da observada para a membrana de MF. Esta tendência é o oposto do esperado, uma vez que a membrana de UF possui

poros menores que a membrana de MF, se compararmos com os dados do fabricante, esta deveria apresentar uma vazão de $100 \text{ L.m}^2.\text{h}^{-1}$ a 1 bar de pressão, ou seja, a membrana de MF pode estar com sujidade, a qual interfere negativamente na sua vazão.

Neste contexto a membrana de MF foi submetida a uma etapa de limpeza com um produto de limpeza comercial conforme item 4.4 e refeitos os ensaios de vazão. Os resultados obtidos após a etapa de limpeza foram semelhantes ao ensaio anterior, indicando que a membrana poderia estar com incrustações irreversíveis ou apresentar defeito de fabricação. A partir destes resultados, descartou-se o emprego da membrana de MF. Os ensaios foram continuados somente com a membrana de UF.

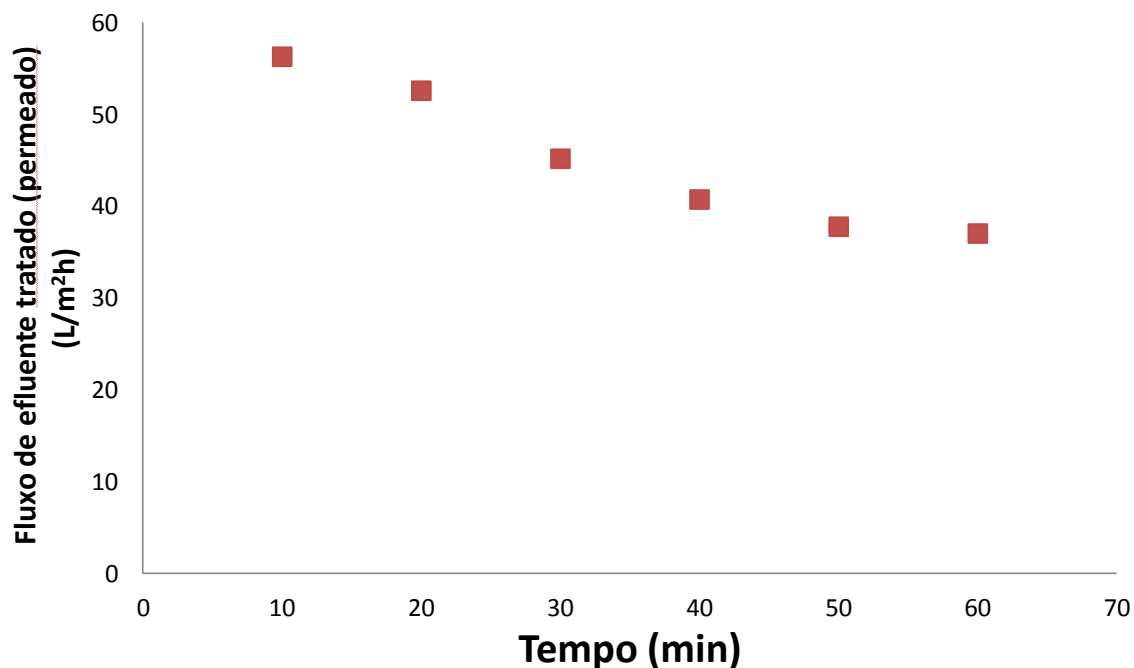
Na membrana de UF foram realizados ensaios com o efluente bruto. Como o sistema havia sido limpo com produtos de limpeza comerciais e após com água destilada, utilizou-se o efluente para homogeneizar o sistema. Após a passagem de 200 mL de efluente iniciou-se a contagem do tempo do ensaio.

As condições do ensaio foram de 25°C , pressão de 1 bar fluxo de 1 mL.min^{-1} . O tempo total do ensaio foi de 60 minutos. A cada 10 minutos foi verificado o fluxo do permeado para evidenciar a ocorrência de *fouling* na membrana e coletar uma alíquota de 20 mL do permeado para as análises de DQO, COT, cor e turbidez (parâmetros estes empregados para avaliar a eficiência do processo), o gráfico 2 nos mostra o fluxo do efluente tratado em razão do tempo.

Pode-se observar que a vazão do efluente diminui quase que linearmente com o tempo até 50 minutos, apresentando uma certa estabilidade entre 50 e 60 minutos, com uma vazão de aproximadamente $36 \text{ mL/m}^2.\text{h}$ ao final de 60 minutos, a qual corresponde a aproximadamente 65% da vazão inicial, indicando uma perda de vazão de 35%. Esta diminuição da vazão é um indicativo da presença de *fouling* na membrana e está relacionado ao fato do efluente conter sólidos, os quais acarretam no entupimento dos poros da membrana, diminuindo a vazão e, consequentemente proporciona um aumento da pressão de entrada, a qual foi verificada e regulada sempre que necessário (CUI e MURALIDHARA, 2010).

Após o teste de vazão com efluente bruto, a membrana foi submetida a uma etapa de limpeza, visando a desobstrução dos poros e a recuperação da permeabilidade inicial.

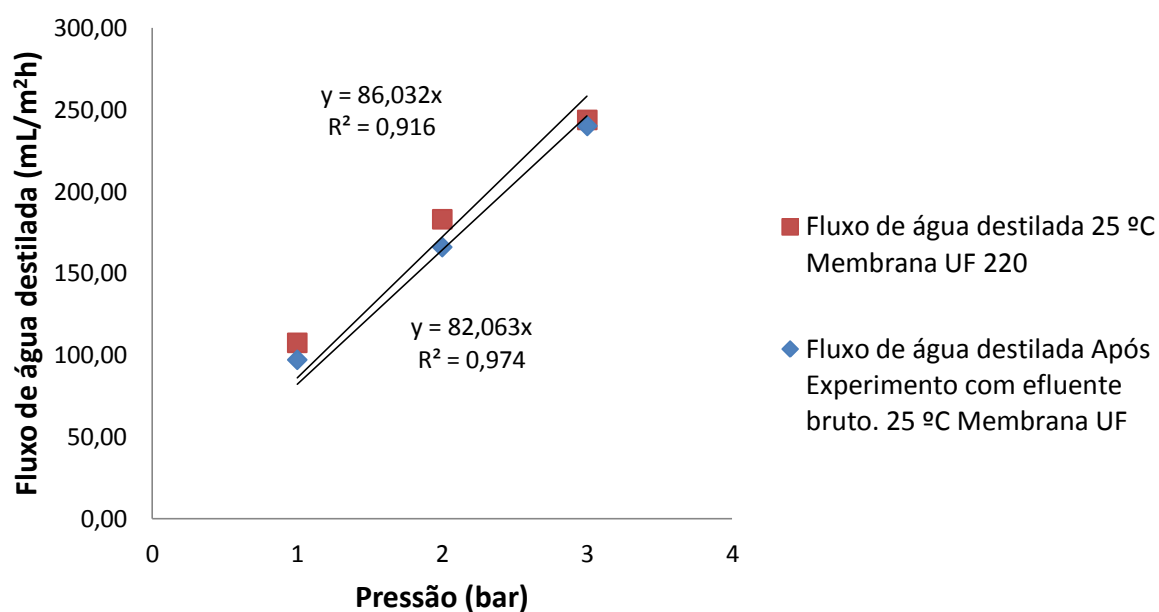
Figura 9 – Fluxo do efluente tratado (permeado) em razão do tempo com pressão de 1 Bar.



Fonte: autor (2015).

A Figura 10 apresenta os resultados referentes aos fluxos antes e após limpeza química da membrana de UF aplicada ao tratamento do efluente bruto.

Figura 10 – Comparativo entre o fluxo de água destilada antes do ensaio e após o ensaio com o efluente bruto



Fonte: autor (2015).

É possível observar uma pequena redução no fluxo de água na membrana utilizada no tratamento e submetida a etapa de limpeza, a qual não compromete a eficácia da mesma, indicando que o *fouling* observado anteriormente é reversível nas condições experimentais de limpeza utilizada.

Conforme Streit, (2011), a limpeza com produto comercial a 5% foi eficiente na remoção das sujidades e recuperação da vazão da membrana de UF.

O permeado foi analisado para verificar a eficiência do processo. Os resultados da análise encontram-se apresentados na Tabela 4, na qual é possível observar que ocorreu uma diminuição no pH (de 10,3 para 8,18), da turbidez, da cor e dos sólidos sedimentáveis, os quais após o tratamento apresentaram-se zerados. No entanto, os parâmetros DQO e COT não sofreram reduções, apresentando valores similares aos do efluente bruto, indicando que o processo de membrana de ultrafiltração aplicado diretamente no efluente bruto não proporcionaram alterações que permitissem o descarte apropriado deste efluente conforme legislação vigente.

Tabela 4 – Resultados preliminares para o efluente bruto tratado somente com membrana de UF.

Parâmetros	Resultados	
	Permeado Tratado	Bruto
pH	8,18	10,3
Turbidez	0	3,0
Cor	0	2,0
Sólidos Sedimentares (mL.L ⁻¹)	0	20
DQO (mg.L ⁻¹)	9.111,7	9.239,9
COT (mg.L ⁻¹)	5.021	5.270,0

Fonte: autor (2015).

Neste contexto foram propostos ensaios químicos prévios para auxiliar na redução da DQO e do COT, os quais podem ser aplicados isoladamente ou associados a outros processos, como adsorbtivos, emprego de carvão ativado, e membranas visando obter valores que permitam o descarte do efluente ou até mesmo seu reúso na empresa.

5.3.1 Ensaio com floculante Sulfato de Alumínio

O sulfato de alumínio (10%) como agente coagulante, para todas as condições avaliadas apresentaram visualmente uma boa coagulação/floculação. No entanto os flocos formados apresentaram tendências distintas em relação à separação das fases. Os valores de DQO e COT para todas as condições avaliados encontram-se apresentados na Tabela 5. Pode-se verificar que a concentração que apresentou os melhores resultados (menores valores para DQO e COT), com uma redução de 5,42% para DQO e 3,95% para o COT em relação o bruto, foi a conduzida empregando 4,5 mL.L⁻¹. Esta concentração foi a que apresentou visualmente a melhor formação dos flocos na decantação como etapa de separação.

Tabela 5 – Resultados de DQO e COT com diferentes concentrações de Sulfato de Alumínio.

Concentração (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	Desvio Padrão	COT (mg.L ⁻¹)	Desvio Padrão	Redução %
Efluente Bruto	9.239,9		5.207,0		DQO COT
2,0	9.129,8		5.198,2		1,19 0,17
2,5	9.101,3		5.110,2		1,50 1,86
3,0	9.021,3		5.049,2		2,37 3,03
3,5	8.923,5		5.005,7		3,42 3,87
4,0	8.831,9		5.003,7		4,42 3,90
4,5	8.739,2		5.001,3		5,42 3,95
5,0	8.741,2		5.007,8		5,40 3,83

Fonte: autor (2015).

Esta tendência pode estar vinculada com a formação de flocos mais densos, facilitando a separação dos mesmos da fase líquida (BENAZZI, 2003).

No entanto cabe salientar que a variação observada para DQO e COT entre as concentrações avaliadas foi pequena (no máximo 4,2%), indicando uma tendência de estagnação dos resultados na faixa de concentração estudada, indicando que este floculante não é o mais indicado para este efluente.

5.3.2 Ensaio com Coagulante Cloreto Férrico

Para os ensaios realizados com o cloreto férrico como agente coagulante, todas as condições avaliadas apresentaram visualmente boa coagulação/floculação. Os valores de DQO e COT obtidos para as amostras submetidas a diferentes concentrações de floculante (FeCl_3) estão apresentados na Tabela 6, que mostra que a concentração que apresentou os melhores resultados (menores valores para DQO e COT), com uma redução de 5,5% para DQO e 3,8% para o COT em relação o bruto, foi a conduzida empregando uma concentração de 45 mg.L^{-1} .

Tabela 6 – Resultados de DQO e COT com diferentes concentrações de Cloreto Férrico.

Concentração (mg.L^{-1})	DQO (mg.L^{-1})	Desvio Padrão	COT (mg.L^{-1})	Desvio Padrão	Redução %
Efluente Bruto	9.239,9		5.207,0		DQO COT
10	9.145,6		5.132,9		1,02 1,4
20	9.100,1		5.102,1		1,51 2,0
30	8.987,2		5.007,2		2,73 3,8
35	8.434,6		4.879,2		5,72 3,3
40	8.897,5		5.005,3		3,71 3,9
45	8.730,9		5.009,3		5,51 3,8
50	8.723,6		5.014,9		5,59 3,7

Fonte: autor (2015).

Esta concentração foi a que apresentou, visualmente, a melhor formação dos flocos, facilitando, na etapa de decantação, a separação dos mesmos da fase líquida. No entanto, acarretou em um aumento para a cor e turbidez do efluente tratado, a qual foi vinculada a presença de íons Fe^{3+} em solução.

Cabe salientar que a variação observada para DQO e COT entre as concentrações avaliados foi pequena (no máximo 5,5%), indicando uma tendência de estagnação dos resultados na faixa de concentração estudada, e que este floculante não seria o mais indicado para este efluente.

5.3.3 Floculação com TANFLOC

Para os ensaios com o floculante TANFLOC, o pH foi inicialmente ajustado entre 7 e 8 com HCl 0,1 M conforme indicação do fabricante para um melhor desempenho deste produto.

Os resultados de DQO e COT para o efluente tratado com diferentes concentrações de TANFLOC, encontram-se apresentados na Tabela 7. A concentração que apresentou os melhores resultados (menores valores para DQO e COT), com uma redução de 53% para DQO e 50% para o COT em relação o bruto, foi a conduzida empregando 60 mg.L⁻¹. Esta concentração foi a que apresentou visualmente a melhor formação dos flocos comparado aos outros floculantes testados, auxiliando na decantação.

Tabela 7 – Resultados de DQO e COT com diferentes concentrações de TANFLOC.

Concentração (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	Desvio Padrão	COT (mg.L ⁻¹)	Desvio Padrão	Redução %
Efluente Bruto	9239,9		5.207,0		DQO COT
30	7.349,7		5.099,2		20,5 2,1
35	6.449,7		5.002,2		30,2 3,9
40	6.049,7		4.998,0		34,5 4,0
45	6.039,7		4.059,3		34,6 22,0
50	5.749,7		3.387,3		37,8 34,9
55	5.499,7		3.278,9		40,5 37,0
60	4.299,7		2.690,3		53,5 48,3
65	4.399,7		2.600,4		52,4 50,1
70	4.349,7		2.603,5		52,9 50,0
75	4.449,7		2.805,6		51,8 46,1
80	4.549,7		2.831,2		50,8 45,6

Fonte: autor (2015).

Coral et. al. (2013), observaram uma melhora da turbidez e cor com 40 mg.L⁻¹ de TANFLOC. Com esta concentração os autores conseguiram reduzir a turbidez de 12 para 2 NTU, em águas para consumo. Campos, et al, 2013 empregando uma concentração de TANFLOC de 40 mg.L⁻¹ conseguiram uma redução de 50% de DQO para águas de aterros sanitários tratadas. Visualmente as concentrações que apresentaram melhor formação dos flocos ficaram entre 30 e 80 mg.L⁻¹ onde a concentração de 60 mg.L⁻¹ apresentou o floco mais consistente e com forma irregular, conforme recomendação do fabricante conforme Figura 11.

Figura 11 – Comparação entra a formação de flocos nas diferentes concentrações de TANFLOC



Fonte: autor (2015).

Os resultados apresentados na tabela 7 nos mostram que na mesma concentração de 60 mg.L⁻¹ os resultados para DQO e COT foram os melhores para este coagulante, sendo o mais eficiente na remoção de ambos parâmetros mostrando-se assim o melhor entre os três coagulantes testados. Além disto, o

TANFLOC, sendo um produto natural resultante do processamento da casca do vegetal acácia negra, não agride a natureza e seu lodo pode ser agregado ao solo como condicionador agrícola.

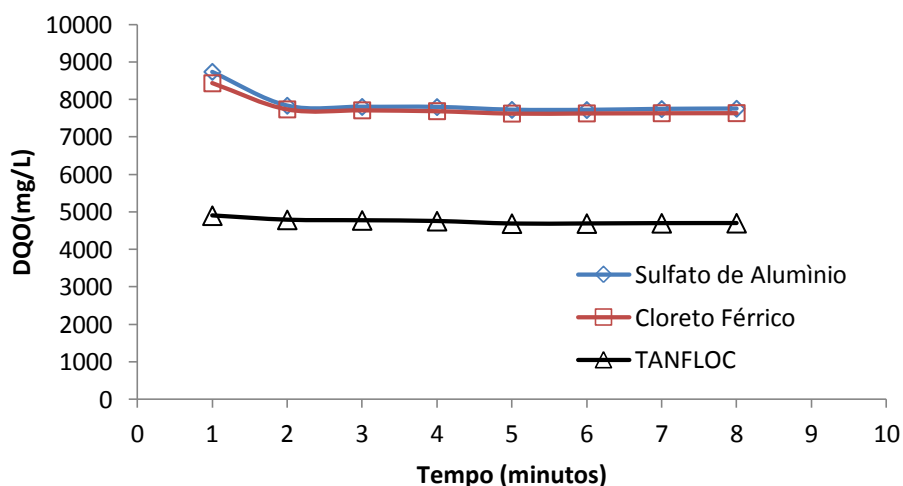
De acordo com os resultados obtidos empregando o processo de floculação com diferentes tipos de floculantes, foi possível verificar que, apesar de apresentarem remoções de DQO e COT superiores (principalmente para o TANFLOC) em relação ao emprego direto dos processos de MF e UF, as reduções não foram as esperadas para o experimento, não atendendo os parâmetros estipulados pela legislação vigente (CONAMA), indicando a necessidade de aplicação consorciada/sequencial de outro tipo de tratamento.

5.3.4 Teste de adsorção com carvão ativado

Como etapa complementar a floculação química, foram realizados testes adsortivos empregando diferentes quantidades (entre 0,5 e 0,8 g.L⁻¹) de carvão e tempos de contatos com o efluente tratado (empregando as melhores condições; as que apresentaram as maiores remoções de DQO e COT) com os floculantes Sulfato de Alumínio (4,5 mL.L⁻¹), Cloreto Férrico (35 mL.L⁻¹) e TANFLOC (60 mg.L⁻¹).

Primeiramente foi conduzido um ensaio cinético empregando uma massa de carvão ativado correspondente a 0,6 g.L⁻¹. OS resultados de DQO e COT das amostras filtradas encontram-se apresentados na Figura 12.

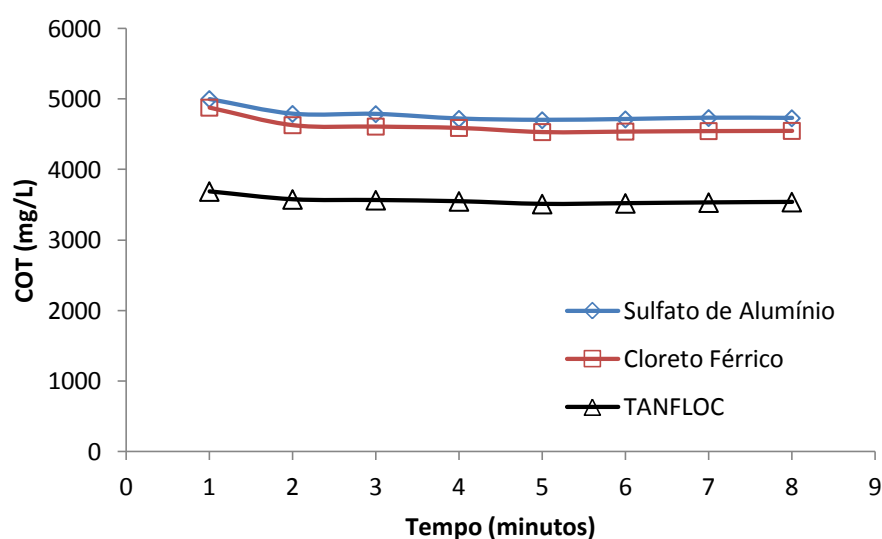
Figura 12 - Resultados de DQO após o processo adsortivo para as amostras após coagulação.



Fonte: autor (2015).

Na Figura 13, percebe-se a variação da DQO e do COT em função do tempo de contato. Condição: 0,6 g/L para todos os efluentes tratados observa-se uma pequena diminuição dos valores de DQO e COT nos primeiros 5 minutos de contato, mantendo-se estável no decorrer do experimento, ou seja, até os 40 minutos testados.

Figura 13 - Resultados de COT após o processo adsorptivo para as amostras após coagulação.



Fonte: autor (2015).

Após o processo adsorptivo pode-se observar uma remoção de aproximadamente 10% para DQO e 5% para COT nos efluentes tratados com sulfato de alumínio e cloreto férrico, no entanto para o TANFLOC a remoção foi de aproximadamente 1%.

Esta diferença observada para os efluentes tratados com diferentes coagulantes foi vinculada a eficiência dos mesmos na etapa química (coagulação).

É possível observar que após aproximadamente 10 minutos ocorre a estagnação, isto segue até o minuto 40 onde foram finalizados os ensaios.

Os resultados de DQO e COT obtidos para as amostras tratadas com diferentes massas de carvão testadas nos efluentes previamente tratados quimicamente com diferentes coagulantes encontram-se apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados de DQO e COT após processo adsorativo com diferentes massas de carvão ativado com o efluente tratado após coagulação.

Massa de Carvão (g/L)	Al ₂ (SO ₄) ₃		FeCl ₃		TANFLOC	
	DQO (mg.L ⁻¹)	COT (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	COT (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	COT (mg.L ⁻¹)
0,5	7.821,8	4.801,2	7.747,8	4.679,3	4.810,8	3.596,2
0,6	7.802,8	4.787,3	7.712,8	4.611,1	4.772,8	3.567,3
0,7	7.721,8	4.735,4	7.687,8	4.602,2	4.631,8	3.478,1
0,8	7.679,8	4.780,3	7.697,8	4.660,1	4.713,8	3.521,2

Fonte: autor (2015).

A similaridade dos resultados para as diferentes faixas empregadas de massa de carvão ativado nos sugere como suficiente/desejável o emprego de 0,5 g/L.

Oenning Junior et al, (2007), para a água de indústrias metal mecânica observaram uma redução de 20,0% de DQO e 91,5% de COT, quando do emprego de carvão ativado granulado, na concentração de 6g.L⁻¹.

Considerando a legislação vigente (CONAMA), os valores de DQO obtidos para as amostras tratadas, ainda não satisfazem a legislação vigente, indicando a necessidade de aplicação de outro tipo de tratamento associado aos já testados.

Neste contexto, as amostras tratadas quimicamente (coagulação), adsorativamente (carvão ativado) foram submetidas a uma nova etapa empregando um processo de UF.

5.3.5 Ensaio com Membranas de Ultrafiltração após floculação e adsorção por carvão ativado

Foram realizados testes com membranas de ultrafiltração após adsorção por carvão ativado. Todos os testes anteriores foram repetidos com as melhores concentrações dos 3 floculantes e do carvão ativado. Após o tratamento químico, o efluente tratado passou por uma filtração simples em papel filtro, gerando 10 litros de efluente para cada um dos floculantes testados.

Para o teste em membranas, primeiramente regulou-se a pressão para 1 bar com fluxo de 1 L.min⁻¹. Foram medidos também o *fouling* para cada um dos floculantes testados e após a passagem de cada um dos efluentes foi realizada uma

limpeza com detergente comercial e realizado novo teste de fluxo para verificar a eficácia desta limpeza. As amostras tratadas com sulfato de alumínio a $4,5 \text{ mg.L}^{-1}$, cloreto férrico 35 mg.L^{-1} , TANFLOC 60 mg.L^{-1} e carvão ativado com $0,5 \text{ g/L}$, foram analisadas em relação aos teores de DQO e COT para verificar a eficiência do processo combinado (TABELA 9).

Tabela 9 – Melhores resultados dos floculantes testados após adsorção com carvão ativado.

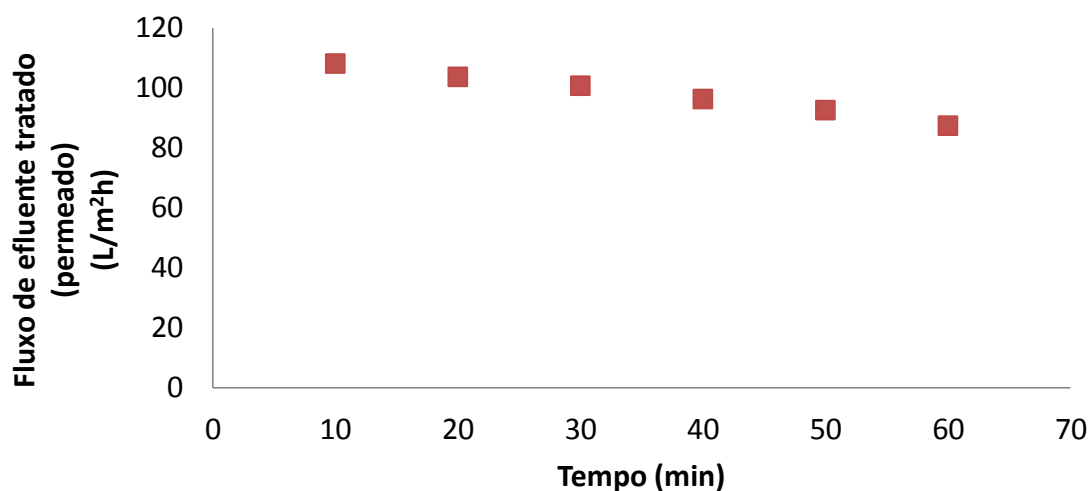
Floculante	Resultados			
	DOQ (mg.L^{-1})	Redução (%)	COT (mg.L^{-1})	Redução (%)
Sulfato de Alumínio	7.821,8	10,5	4.801,2	4
Cloreto Férrico	7.747,8	11,26	4.679,4	6,59
TANFLOC	4.810,8	0	3.596,5	0

Fonte: autor (2015).

5.3.6 Teste em membrana com efluente tratado com sulfato de alumínio e adsorvido em carvão ativado

Primeiramente foi testado o efluente tratado com o floculante sulfato de alumínio após adsorção com carvão ativado e filtragem simples em papel filtro. O *fouling* da membrana pode ser observado na Figura 14.

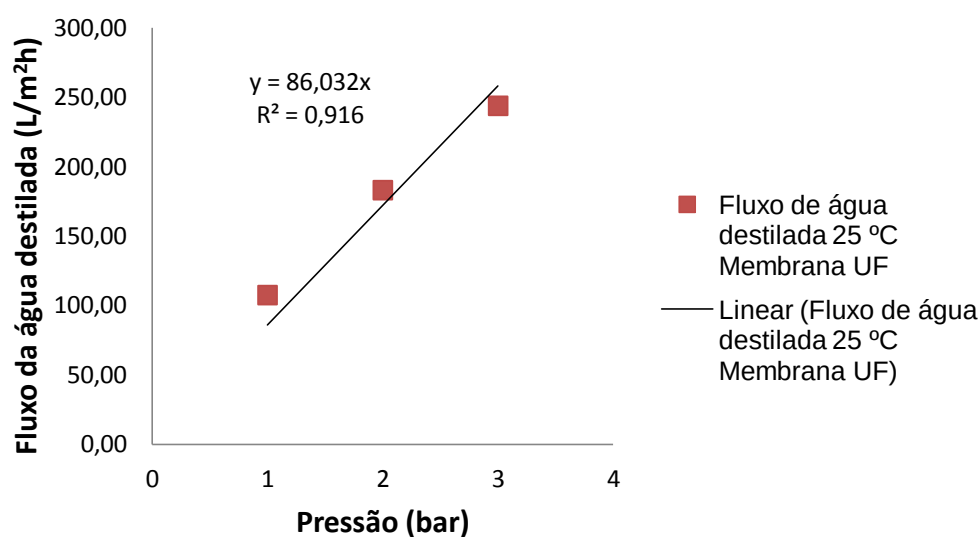
Figura 14 – Fluxo do efluente tratado (permeado) com sulfato de alumínio + carvão ativado em razão do tempo.



Fonte: autor (2015).

A tendência de queda contínua do fluxo com o passar do tempo sugere a existência de *fouling* na membrana, o qual conduz a uma redução do fluxo do permeado de $108 \text{ L.m}^2\text{h}^{-1}$ para $87 \text{ L.m}^2\text{h}^{-1}$, ou seja, uma redução de 19,44%, em 60 minutos de operação. Após o experimento efetuou-se a limpeza da membrana com detergente comercial e mediu-se novamente o fluxo (Figura 15).

Figura 15 – Medida de fluxo após limpeza da membrana de UF com produto comercial após filtração do efluente tratado com sulfato de alumínio mais carvão ativado.



Fonte: autor (2015).

Os fluxos observados após a limpeza são coerentes com os iniciais, indicando que o processo de limpeza química testado foi eficiente.

As análises de DQO e COT do permeado encontram-se apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultado das análises de DQO e COT para o efluente tratado com sulfato de alumínio mais adsorção com carvão ativado e membrana de UF.

Parâmetro	Resultado		
	Efluente Pré-tratado (mg.L ⁻¹)	Após UF (mg.L ⁻¹)	Redução (%)
DQO	7.345,8	6.537,8	10,99
COT	4.562,2	4.077,1	10,63

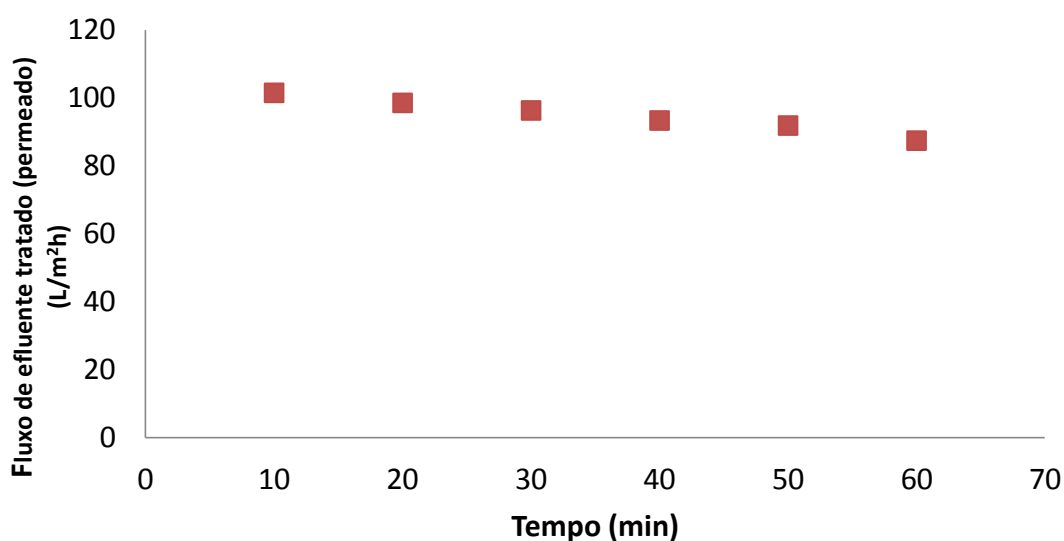
Fonte: autor (2015).

É possível verificar uma diminuição na DQO de 7345,8 mg.L⁻¹ para 6537,8 mg.L⁻¹ e de COT de 4562 mg.L⁻¹ para 4077 mg.L⁻¹. Esta diminuição foi vinculada a retenção pela membrana de matéria orgânica ainda existente na amostra, mas não reteve o suficiente para diminuir os valores de DQO e COT a níveis aceitáveis pela legislação vigente.

5.3.7 Teste em membrana com efluente tratado com cloreto férrico e adsorvido em carvão ativado

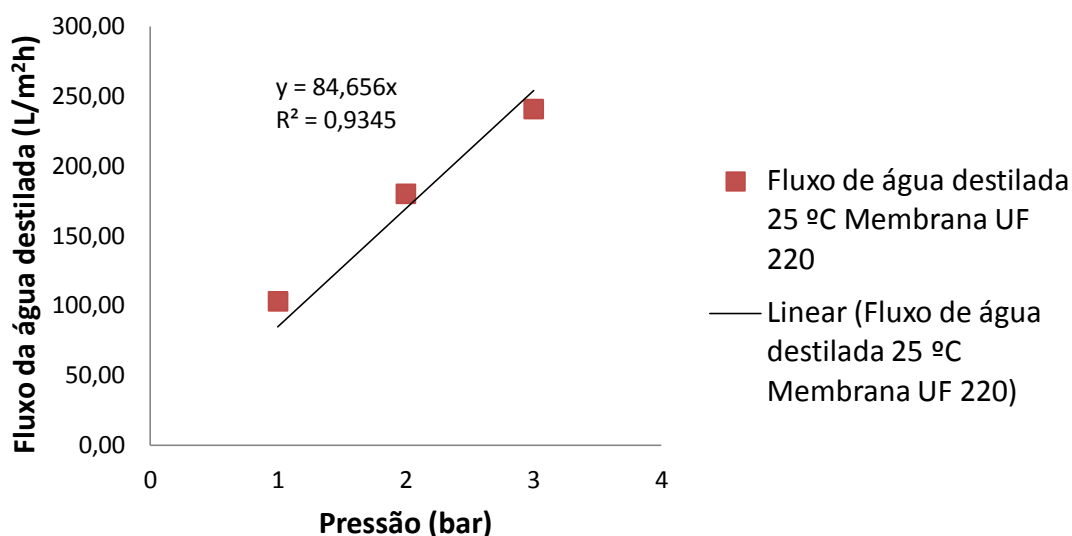
Foram realizados os mesmos testes para o efluente tratado com o floculante cloreto férrico e carvão ativado após filtragem em papel filtro estes apresentados na Figura 16, e, na Figura 17 aparecem os dados de limpeza da membrana.

Figura 16 – Fluxo do efluente tratado (permeado) com cloreto férrico + carvão ativado em razão do tempo.



Fonte: autor (2015).

Figura 17 – Medida de fluxo após limpeza da membrana de UF com produto comercial após filtração do efluente tratado com cloreto férrico mais carvão ativado.



Fonte: autor (2015).

Os fluxos observados após a limpeza são coerentes com os iniciais, indicando que o processo de limpeza química testado foi eficiente.

As análises de DQO e COT do efluente tratado encontram-se apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultado das análises de DQO e COT para o efluente tratado com cloreto férrico mais adsorção com carvão ativado e membrana de UF.

Parâmetro	Resultado		
	Efluente Pré-tratado (mg.L ⁻¹)	Após UF (mg.L ⁻¹)	Redução (%)
DOQ	7.599,8	6.930,8	8,8
COT	4.478,3	4.035,1	9,89

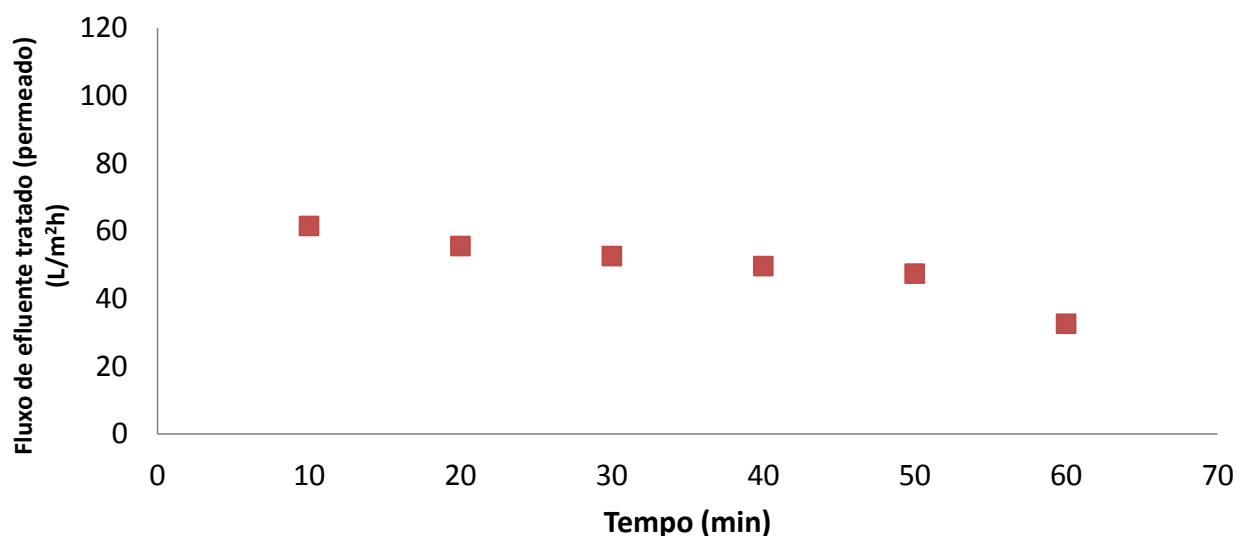
Fonte: autor (2015).

É possível verificar uma diminuição na DQO de 7599,8 mg.L⁻¹ para 6930,8 mg.L⁻¹ e de COT de 4478 mg.L⁻¹ para 4035 mg.L⁻¹. Esta diminuição foi vinculada a retenção pela membrana de matéria orgânica ainda existente na amostra, mas não reteve o suficiente para diminuir os valores de DQO e COT a níveis aceitáveis pela legislação vigente.

5.3.8 Teste em membrana com efluente tratado com TANFLOC e adsorvido em carvão ativado

Os testes de UF com o efluente tratado com o floculante TANFLOC e carvão ativado após filtragem em papel filtro, encontram-se apresentados na Figura 18.

Figura 18 – Fluxo do efluente tratado (permeado) com TANFLOC + carvão ativado em razão do tempo.

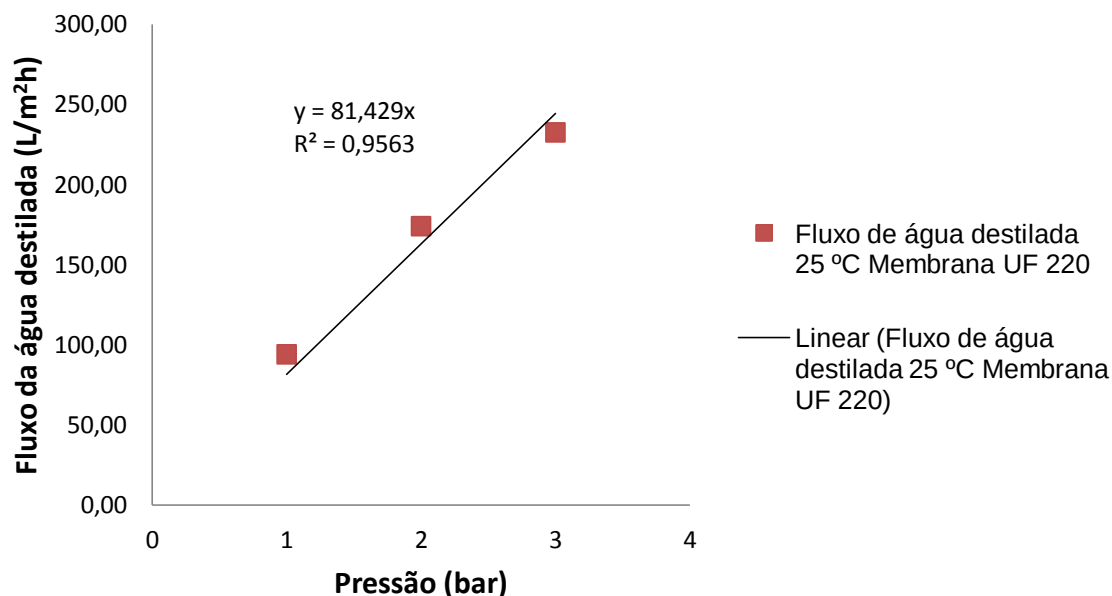


Fonte: autor (2015).

Verificou-se para este floculante um *fouling* maior que os apresentados pelos outros floculantes, iniciando em $60 \text{ L.m}^2\text{h}^{-1}$ e finalizando em $44 \text{ L.m}^2\text{h}^{-1}$, ou seja, uma queda do fluxo de 26%. Além disto o fluxo inicial ($60 \text{ L.m}^2\text{h}^{-1}$) corresponde a aproximadamente 40% do observado ($\cong 105 \text{ L.m}^2\text{h}^{-1}$) para os efluentes tratados com os outros floculantes. Ambas as tendências (menor fluxo de partida e *fouling* mais acentuado) foi vinculado as características orgânicas do TANFLOC, e a seu peso molecular superior a dos demais floculantes (de características inorgânicas), as quais proporcionam um aumento do “entupimento” da membrana ao se depositarem na superfície da mesma, impedindo a passagem do permeado.

Como o observado para os demais efluentes, a etapa de limpeza reestabeleceu o fluxo inicial (Figura 19), indicando a eficiência da metodologia utilizada.

Figura 19 – Medida de fluxo após limpeza da membrana de UF com produto comercial após filtração do efluente tratado com TANFLOC mais carvão ativado.



Fonte: autor (2015).

Os fluxos observados após a limpeza são coerentes com os iniciais, indicando que o processo de limpeza química testado foi eficiente.

Os resultados referentes às análises de DQO e COT do permeado coletado na filtração da membrana encontram-se apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultado das análises de DQO e COT para o efluente tratado com TANFLOC mais adsorção com carvão ativado e membrana de UF.

Parâmetro	Resultado		
	Efluente Pré-tratado (mg.L ⁻¹)	Após UF (mg.L ⁻¹)	Redução (%)
DOQ	4.454,8	3.215,8	27,81
COT	3.479,2	2.347,3	32,53

Fonte: autor (2015).

É possível verificar uma diminuição mais acentuada na DQO (4454,8 mg.L⁻¹ para 3215,8 mg.L⁻¹) e no COT (3479,2 mg.L⁻¹ para 2347,3 mg.L⁻¹), de aproximadamente 30%, em relação aos demais flocculantes, cujas reduções foram de

aproximadamente 10%. Apesar da melhora na eficiência, o processo não reteve o suficiente para diminuir os valores de DQO e COT a níveis aceitáveis pela legislação vigente. Mesmo assim esta foi considerada a condição otimizada em função de apresentar os melhores resultados. Com o efluente tratado nesta condição fez-se uma análise completa do efluente, priorizando os parâmetros normalmente solicitados pelos órgãos ambientais.

Os valores desta caracterização encontram-se apresentados na Tabela 13.

O resultado final, principalmente em relação a DQO e DBO, com valores de 2.879,2 e 1.680,0 mg.L⁻¹, respectivamente, não se enquadram com os valores estipulados pela legislação vigente. No entanto é possível observar que a redução da DBO, 64,98%, foi superior aos 60% exigidos pela legislação para caracterizar um efluente com aceitável para o descarte.

Tabela 13 – Caracterização do efluente bruto e tratado empregando o processo associado TANFLOC, carvão ativado e UF.

Análise	Unidade	Efluente Bruto	Efluente Tratado	Parâmetros CONAMA	Reduções (%)
DBO ₅ dias	mg.L ⁻¹	4.798,1	1.680,0	120	64,98
DQO	mg.L ⁻¹	7.920,3	2.879,2	400	63,64
COT	mg.L ⁻¹	5.207,0	2.347,3	-	54,92
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	<0,1	<0,1	5	-
pH		10,6	8,8	Entre 5 e 9	-
Nitrogênio	mg.L ⁻¹	5,6	4,2	>20,0	-
Total					
Sólidos	mg.L ⁻¹	3	0	Até 1 em 1 hora	-
Sedimentáveis					
Cor	PtmgL ⁻¹	3	0	não visível	-
Turbidez	NTU	3	0	< 40	-
Temperatura	°C	25	25	< 40	-

Fonte: autor (2015).

Em relação a reutilização, as características do efluente (baixa turbidez e ausência de coliformes fecais) permitem sua reutilização em vasos sanitários, uma vez que a legislação exige parâmetros de turbidez inferior a 10 NTU e Coliformes Fecais inferiores a 500 NMP/100mL, onde o efluente tratado obteve resultados para

turbidez de 0 NTU e 375 NMP/100mL para Coliformes Fecais. Outra forma de reutilizar este efluente tratado seria no uso para a lavagem de pisos industriais, onde a legislação exige parâmetros para turbidez de 5 NTU e coliformes fecais inferior a 500 NMP/100 mL.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos após os experimentos com as membranas, foi possível concluir que:

- A aplicação direta da membrana sobre o efluente bruto não foi eficiente uma vez que os resultados das análises não tiveram praticamente nenhuma alteração.
- O tratamento associado (TANFLOC+carvão ativado+membrana de UF) foi o que apresentou os melhores resultados para os parâmetros avaliados, mostrando uma redução de mais de 60% na DBO. A lei permite o que por lei o seu descarte em córregos receptores, além de que o lodo gerado em função das suas características orgânicas pode ser seco e queimado para a geração de energia para a fábrica.
- O efluente pode ser reutilizado tanto nas descargas dos vasos sanitários da fábrica como para a lavagem dos pisos industriais.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar ensaios com membranas de menores poros, nanofiltração e osmose inversa.
- Verificar a aplicação direta da membrana associada com floculantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELRASOUL, A.; DOAN, H.; LOHI, A. Fouling in membrane filtration and remediation methods. In: NAKAJIMA, H. Mass transfer – **advances in sustainable energy and environment oriented numerical modeling**. InTech, cap. 4, 2013.

ALVES, T. A. **Aplicação de tecnologia para reúso de água na indústria de refrigerantes**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP), como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre no programa de mestrado em Tecnologia Ambiental. Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP, Tecnologia ambiental. Ribeirão Preto, 2012.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. New York, 1992.

AZEVEDO NETTO, J. M. **Técnicas de abastecimento e tratamento de água**. 2.ed. v.2. São Paulo: CETESB, 1979.

BAKER, R. W., **Membrane Technology and Applications**, 2 ed., John Wiley & Sons, 2004.

BALANEC B.; GENEVIÉVE, G.-G.; BERNARD, C.; MURIELLE, R.-B., GEORGES, D., **Treatment of dairy process waters by mbrane operations for water reuse and milk constituents concentration**. Desalination, Rennes: Elsevier Science, v. 147, 2002.

BENAZZI, Toni Luis. **Otimização de um sistema de eletrofloculação em fluxo contínuo para o tratamento de efluentes líquidos das indústrias de laticínios**. Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos: Área de Concentração – Engenharia de Alimentos, Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim. Março de 2013.

CARDOSO, Artur Renato Albeche. **Termos técnicos e capitulação jurídica sobre a água**. Porto Alegre: Sérgio Antonio Fabris Ed., 2005.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, **Nota técnica sobre tecnologia de controle: Fabricação de cervejas e refrigerantes**, NT- 24, CETESB, São Paulo, 2005.

COCA-COLA BRASIL comemora otimização do uso de água com redução de 6% do consumo em 2004. **ABIR**, associação brasileira das indústrias de refrigerantes e bebidas não alcoólicas, notícias do setor, 2004. Disponível em <http://www.abir>.

org.br/article.php3?id_article=891. Acesso em: 15 abr. 2015.

COCA-COLA BRASIL apresenta na Conferência Ethos as ações de uso responsável da água pela companhia. **Fator Brasil**, responsabilidade social, jun. 2007. Disponível em: http://revistafatorbrasil.com.br/ver_noticia.php?not=12274. Acesso em: 15 abr. 2015.

Conselho Nacional do Meio Ambiente - **CONAMA. Resolução nº 430, de 2011.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento, e dá outras providências. CONAMA, mai. 2011.

Conselho Estadual do Meio Ambiente – **CONSEMA. Resolução nº 128, de 2006.** Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. CONSEMA, dez. 2006.

CORAL, L. A; BERGAMASCO, R.; BASSETTI, F. J. **Estudo da viabilidade de utilização do Polímetro Natural (TANFLOC)** em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de águas para consumo. Artigo publicado na Kei elements for a sustainable World; São Paulo, 2009.

COUTINHO, C.M.; CHIU, M.C.; BASSO, R.C.; RIBEIRO, A.P.B.; GONÇALVES, L.A.G.; VIOTTO, L.A. **State of art of the application of membrane technology to vegetable oils: A review**, Food Research International, v. 42, p. 536 - 550, 2009.

CUI, Z.F.; MURALIDHARA, H.S; **A Practical Guide to Membrane Technology and Applications in Food and Bioprocessing, Membrane Technology**, p. 289, 2010.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; FILHO, P. L. C. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água.** 1ª Edição, São Carlos: Editora RiMa, 2003.

DIAS T.; **Membranas: Meio Filtrante de Tecnologia Avançada.** Meio Filtrante. Ano V – Edição 23 – novembro/dezembro. Disponível em <http://www.meiofiltrante.com.br/materias.asp?action=detalhe&id=265>. Acesso em: 15 abr. 2015.

DROSTE, R. L. **Theory and practice of water and wastewater treatment.** John Wiley & Sons, Inc., 1997.

FRANCO, M. J. M. **Aplicação da metodologia de APPCC** – Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle como ferramenta para reúso de água na indústria: Modelo para indústria de aromas e essências. 2007. 118 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

GUERRA FILHO, D. **Águas Residuárias:** uma Alternativa Racional de Reúso. Cadernos UniFOA, Volta Redonda, ano 1, nº 1. jul. 2006. Disponível em

<http://www.unifoa.edu.br/pesquisa/caderno/edicao/01/17.pdf> . Acesso em: 15 abr. 2015

HABERT, A.C.; BORGES, P N BR , R P **Processos de Separação por Membranas**. Pesquisa de Engenharia (COPPE) – Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2006.

HACH, 1999, DR870 - **Procedimento de Análise**. Tradução Cristiane Xavier, Departamento de Aplicação.

HILAL, N.; AL-ZOUBI, H.; DARWISH, N.A.; MOHAMMAD, A.W.; ARADI, M.A. **A comprehensive review of nanofiltration membranes**: treatment, pretreatment, modeling, and atomic force microscopy, *Desalination*, v. 170, p. 281 – 308, 2004.

KARPUZCU M., DIMOGLO A., AKBULUT H.Y., **Purification of agro-industrial wastewater from the grease-protein mixture by means of electroflotocoagulation**, *Water Sci. Technol.*, v. 45, 2002.

LEME, F. P., **Teoria e técnicas de tratamento de água**, São Paulo: CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1979.

MACHADO, B. J. F. **Reúso de efluentes em torres de resfriamento** – estudo de caso: Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro. 2005. 106 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós- Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, 2005. Rio de Janeiro.

MANCUSO, P. C. S. & DOS SANTOS, H. F. (ed.) **Reúso de água** – Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental 1 Ed..São Paulo: Editora Manole LTDA, 2003

MANGRICH et. al. **Química verde no tratamento de águas**: uso de coagulante derivado de tanino de *Acacia mearnsii*. Artigo publicado na Revista Virtual de Química. Universidade Federal do Paraná, 2010.

MATTA, V. M. **Uso de membranas**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000fl6kj9pu02wyiv80ispcrrul6u5a4.html. Acesso em abril de 2015.

Metcalf & Eddy. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. 3.ed. Singapore, McGraw Hill,1991.

METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse**. Singapura: McGraw Hill, 2003.

MIERZWA, J. C., HESPANHOL, I. **Água na Indústria - Uso Racional e Reúso**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MIERZWA, J.C.; SILVA, M. C. C. DA; RODRIGUES, L. D. B; HESPANOL, I. **Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração**: avaliação

comparativa através dos custos diretos de implantação e operação com os sistemas convencional e convencional com carvão ativado. *Engenharia Sanitária e Ambiental* v. 13, p. 78-87; 2008

MIERZWA, J.C., **O Uso Racional e o Reúso com Ferramenta para o Gerenciamento de Águas e Efluentes na Indústria** – Estudo de Caso Kodak Brasileira. Tese de Doutorado. USP/SP, 2002.

MOREIRA, D. A.; **Administração da produção e operações**. 5.ed. Pioneira; São Paulo, 1999.

MULDER, M., **Basic Principles of Membranes Technology**, second edition, Kluwer Academic Publishers Boston, 564 p, 2000.

NALCO; **The Nalco Water Handbook**. 2a ed, New York: McGraw-Hill, 1988.

NUNES R. T. S.; **Conservação da água em edifícios comerciais: Potencial de uso racional e reúso em shopping center**. 2006. 144 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

OENNING JR, A. **Avaliação de tecnologias avançadas para o reúso de água em indústria metal-mecânica**. 2006. 223 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. – Curitiba, 2006.

PABBY, A. K.; RIZVI, S. S.H.; SASTRE, A. M. **Handbook of membrane separations: chemical, pharmaceutical, food, and biotechnological applications**. New York : CRC PRESS, 2009.

PAM. **Membranas**. Disponível em <http://www.pam-embranas.com.br/#!/produtos/ciox>. Acesso em abr. 2015.

PEREIRA, J.A.; **Geração de Resíduos Industriais e Controle Ambiental**. Centro Tecnológico da Universidade Federal do Pará. Pará, 2002.

PESSOA JR, A; KILIKIAN, B. V. **Purificação de produtos tecnológicos**. Barueri, SP: Manole, 2005.

PETRUS, J. C. C. (1997). **Preparação , modificação e caracterização de membranas assimétricas para clarificação de suco de frutas**. Campinas. 139p. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

PRAZERES, A. R.; CARVALHO, C.; RIVAS, J. Cheese whey management: a review. **Journal of Environmental Management**, 110, p. 48-68, 2012.

REIS, J. L. R. **Estudo Biodegradabilidade do Efluente da Indústria de Borracha Sintética** – Universidade do Rio de Janeiro, 1999. Rio de Janeiro. *Apud* BREIA, G. C. **Aplicação dos Processos de Coagulação/Floculação e Adsorção em Carvão**

Ativo no Tratamento Primário dos Efluentes de Indústrias de Defensivos Agrícolas. 2006. 175. p. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Instituto de Química.

SANTOS FILHO, D. F., **Clarificação de água e remoção de alguns elementos indesejáveis.** Tecnologia de Tratamento de Água – Água para Indústrias. Rio de Janeiro: Almeida Neves. p.18-27, 1976.

SAUTCHÚK, C. A. *et al.*; **Manual de orientações para o setor industrial FIESP/CIESP, Volume I. Conservação e Reúso de Água.** Desenvolvido pelo Centro Internacional de Referência em Reúso de Água (CIRRA) e Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH). p.53-56, 2005.

SAUTCHUK, C. A.; **Formulação de diretrizes para implantação de programas de conservação de águas em edificações.** 2004. 332 p. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SILVA FILHO, A. **Tratamento terciário de efluente de uma indústria de refrigerantes visando ao reúso:** um estudo de caso. Dissertação de mestrado. Escola de Química/UFRJ, março de 2009.

CAMPOS, J. C. **Evaluation of coagulation/flocculation process in the landfill leachate treatment at the Municipal Wastewater Treatment Plant.** Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Rio de Janeiro, RJ, Brasil Departamento de Processos Inorgânicos. Rio de Janeiro – RJ. 2013.

STREIT, K. F. **Estudo da aplicação de processos de separação com membranas no tratamento de efluentes de curtume:** nanofiltração e eletrodialise. Programa de pós-graduação em Engenharia de minas. Escola de Engenharia. Universidade Federal do rio Grande do Sul, 2011.

TANAC (2015). Disponível em: www.tanac.com.br. Acesso em abr de 2015.

TRES, M. V; DI LUCCIO, M; OLIVEIRA, J. V. **Separação de misturas de óleo de soja/n-butano e óleo de soja/n-hexano utilizando membranas cerâmicas e poliméricas do tipo fibra oca.** Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade regional Integrada (URI) – Erechim – RS. 2012

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1995. 240 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1). Wiesmann et al. Fundamentals of biological wastewater treatment. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. 2007, 355p.

ANEXO A – PROTOCOLO PARA LIMPEZA DAS MEMBRANAS INDICADO PELO FABRICANTE



Módulo de Membrana - Limpeza

A limpeza dos módulos laterais de microfiltração e ultrafiltração é realizada da mesma maneira. Esta limpeza pode ser física ou química.

A limpeza física consiste em remover a sujeira do módulo utilizando água limpa para tal. Esta remoção pode ser feita a partir de uma lavagem pela carcaça ou retrolavagem.

Lavagem pela carcaça:

- Fechar a saída de permeado com um plug (BSP 1/2");
- Abrir completamente a saída de concentrado;
- Circular água pelo módulo, até que se obtenha a limpeza no grau desejado.

Retrolavagem:

- Utilizar água microfiltrada ou ultrafiltrada (utilizar o próprio módulo para gerá-la);
- Injetar água pela saída de permeado do módulo;
- Fechar a saída de concentrado do módulo com um plug (BSP 1/2");
- Descartar a água que sairá pela alimentação do módulo.

Importante: A utilização água que não tenha sido gerada pelo módulo, ou recircular a água durante esta operação, pode fazer com que seja acumulado material no interior da fibra, inutilizando o módulo de membrana.

A limpeza química consiste em utilizar produtos químicos para auxiliar na remoção dos materiais incrustados na membrana. Deixar o módulo imerso na solução pelos tempos recomendados. Efetuar enxágue do módulo executando operação de lavagem pela carcaça ou retrolavagem com água.

Limpeza oxidante – Hipoclorito (de 500 a 1000 mg/L): Utilizar quando a membrana estiver contaminada com matéria orgânica. Por ser um oxidante forte, esta solução não deve ser utilizada por um período superior a 2 horas para evitar danos à membrana.

Limpeza ácida – Ácido Cítrico (pH = 3,0): Utilizar quando a membrana estiver contaminada com material inorgânico. Tempo de contato: até 24 horas.

Limpeza Alcalina – Hidróxido de Sódio (soda caustica) (pH = 13): Utilizar quando o depósito tiver muita sílica, ácidos graxos e/ou microorganismos resistentes. Tempo de contato: 24 horas.

Importante: É recomendado realizar o procedimento de limpeza física antes dos procedimentos de limpeza química.

ANEXO B – LAUDO REFERENTE À ANÁLISE DE COLIFORMES TOTAIS



FV QUÍMICA AMBIENTAL

LAUDO DE ANÁLISE DE PARÂMETROS DE ÁGUA

PROTOCOLO DE ENTRADA Nº	362/2015
-------------------------	----------

Nome solicitante: Décio Andres Junior

Município: Getúlio Vargas -RS

Amostra:

Efluente de lavadora de garrafas de vidro.

Temperatura do efluente no momento da coleta de 80 °C + NaOH

Período de realização das análises: 10/07/15 a 23/07/15

RELATÓRIO DE ENSAIO

Cliente:

Endereço:

Item Ensaiado:

Data Fabricação: -

Data Validade: -

AMOSTRA Nº

Data Recebimento

Lote:-

Período Realização dos Ensaio: 10/07/15 a 23/07/15

Data Emissão: 23/07/15

RESULTADO(S) DO(S) ENSAIO(S)
LAB. FV QUÍMICA AMBIENTAL

Coliforme/ Escherichia coli	SAIDA DO TRATAMENTO	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO
Numero de amostras realizadas	1	1
Número de amostras com presença de coliformes totais em 100 ml	zero	zero
Número de amostras com presença de Escherichia coli ou Coliformes termotolerantes em 100 ml	zero	zero

ENSAIO REALIZADO / MÉTODO	RESULTADO	UNIDADE	PARÂMETROS
Coliformes Termotolerantes: Standard Methods for the	<180	NMP/100 mL	-

Examination of Water and Wastewater, 22nd. Edition. / 2012. Method: 9221.			
---	--	--	--

A amostragem é de total responsabilidade do cliente. Os resultados se referem apenas a amostra ensaiada.

INFORMAÇÕES DO CLIENTE: Responsável pela coleta: Temperatura: 80°C.

Nota: Os resultados descritos neste relatório têm significação restrita e se aplicam tão somente à amostra realizada.