

---

## PRODUTOS QUÍMICOS E PRÉ-TRATAMENTOS EMPREGADOS NO PROCESSO DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANA PARA CONTROLE DE INCRUSTAÇÃO: UMA REVISÃO

Danielle S. Santos<sup>1</sup> Edna S. Almeida<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SENAI CIMATEC, E-mail: daniellesantosegq@outlook.com;

<sup>2</sup>SENAI CIMATEC, E-mail: ednasa@fieb.org.br

## CHEMICAL PRODUCTS AND PRETRATMENTS USED IN SEPARATION PROCESSES BY MEMBRANE FOR THE FOULING CONTROL: A REVIEW

**Resumo:** *O presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática acerca da utilização de produtos químicos e pré-tratamentos para o controle de incrustação em processos de separação por membrana. As buscas foram realizadas na base de dados Web of Science no período de 2008 a 2018, empregando palavras-chaves relacionadas ao objetivo. Os artigos foram classificados da seguinte forma: Uso de apenas um produto químico; Uso de mais de um produto químico; Uso de produtos químicos seguido de outro tipo de tratamento. O pré-tratamento combinado de produto químico com outro tipo de tratamento foi o mais citado nos artigos consultados e que apresentaram melhores resultados na redução de incrustação de membranas.*

**Palavras-Chaves:** *incrustação de membrana; produtos químicos para tratamento de água/efluente; pré-tratamentos; separação por membranas.*

**Abstract:** *The present study aims to conduct a systematic review on the use of chemical products and pretreatments for the fouling control in membrane separation processes. The research was carried out in the Web of Science database from 2008 to 2018, using keywords related to the objective. The articles were classified as follows: Use of only one chemical products; Use of more than one chemical product; Use of chemicals products in conjunction with other treatment. The chemical products combination with another alternative was the most mentioned in the articles consulted and the one that performed the best results in the reduction of membrane incrustation.*

**Keywords:** *membrane fouling; chemicals products; Chemicals products for water/effluent treatment; pretreatments; membrane separation.*

---

## 1. INTRODUÇÃO

A partir do crescente interesse no tocante à preservação do meio ambiente aliado à cobrança pelo uso da água de maneira sustentável, que tem aumentado o uso fontes e tratamentos alternativos para o abastecimento de água, os processos de separação por membranas (PSMs) vêm aumentando e se desenvolvendo muito nas últimas décadas, por possuírem uma capacidade de adequação as mais diversas aplicações, permitindo a reutilização das águas e, conseqüentemente, diminuindo o consumo de água de boa qualidade em processos que não necessitam de uma qualidade elevada, otimizando sua utilização nos processos industriais (ALVES, 2006).

Os PSMs utilizam como barreira seletiva as membranas sintéticas e, através destas, é possível separar, concentrar e purificar substâncias. Estes processos são utilizados com o objetivo de separar da água substâncias e sólidos que têm pequenos diâmetros, além de moléculas e compostos iônicos, através da aplicação de algum tipo de força externa. (HABERT et al., 2006, apud GALVÃO, 2016)

Diferentes PSMs estão disponíveis para a remoção de grande variedade de poluentes. Sua seleção é de acordo com a natureza do composto a ser removido. Os processos de microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF) são comumente empregados para a eliminação da poluição orgânica, como sólidos suspensos e colóides e, geralmente, são utilizados como pré-tratamento ou tratamento principal, nanofiltração (NF) e osmose reversa (OR) podem remover compostos dissolvidos (MASMOUDI, 2016).

As tecnologias de membrana apresentam um potencial de aplicação promissor com várias vantagens, dentre as quais se destacam a eficácia na remoção de poluentes, aumentando a qualidade do produto, automação no controle operacional, na manutenção e na substituição de equipamentos (BRACEIRO, 2014). Entretanto, um dos grandes obstáculos enfrentados durante a maioria dos processos é o fenômeno da incrustação, que consiste na disposição ou acumulação de sólidos na superfície da membrana, causando bloqueio parcial ou total dos poros e podem ser decorrentes de formação de “bolo” e formação de camada de gel (RODRIGUEZ, 2002, apud ALVES, 2006).

Segundo Lerch (2012), o entendimento majoritário sobre incrustações de membrana, elucida os seguintes aspectos negativos e, por conseguinte algumas desvantagens: redução significativa do fluxo do permeado, aumento dos custos operacionais e exigência de maior frequência de limpeza química. A limpeza pode eventualmente resultar em perda parcial da capacidade de filtração das membranas, conseqüentemente, diminuindo a vida útil das mesmas.

Para solucionar o problema da incrustação é necessário um estágio de pré-tratamento ou emprego de produtos químicos, de modo que a maioria dos poluentes sejam removidos. Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho é avaliar produtos químicos e pré-tratamentos usados para minimizar os efeitos negativos da formação de incrustações.

## 1.1 Objetivo geral

Realizar uma revisão sistemática da literatura visando identificar os produtos químicos e pré-tratamentos mais empregados para o controle de incrustação em processos de separação por membrana.

### 1.1.1 Objetivos específicos

- Pesquisar na literatura, tratamentos de efluentes/água que utilizaram tecnologia de membrana, e que adotaram o uso de produtos químicos em seu processo;
- Verificar diferentes tipos de produtos químicos utilizados no processo de separação por membrana;
- Avaliar a eficiência das alternativas estudadas, a fim de constatar acerca do uso de produtos químicos, para redução de incrustação;

## 2. METODOLOGIA

Foram selecionados artigos publicados no período de 2008 a 2018 na base de dados de pesquisa *Web of Science* com enfoque nos estudos que avaliaram o uso de produto químico para redução de incrustação em PSMs no tratamento de efluentes/ água. As palavras-chave utilizadas na pesquisa foram: “*water reuse*”, “*fouling*”, “*microfiltration or ultrafiltration*”, “*membrane near treatment*”, “*wastewater or water near treatment*”, “*coagulation or flocculation*”.

Os artigos de interesse potencial para este estudo foram aqueles aos quais apresentaram aspectos relevantes conforme os objetivos desta revisão. Os requisitos primordiais para seleção dos trabalhos foram balizados pela pertinência dos títulos e resumos buscados na base de dados *Web of Science*, a partir de então, foram selecionados para uma análise aprofundada e minuciosa no que tange a sua identificação com este estudo, conforme os critérios abaixo:

#### Critérios de exclusão:

- O estudo não abordou, de forma aprofundada, sobre incrustação em processo de separação por membrana;
- Estudos que não avaliaram o efeito do uso produto químico para a redução da incrustação em PSMs;

Após o cumprimento das etapas anteriores, realizou-se uma leitura completa de cada estudo na tentativa de organizar as informações, com a elaboração de tabelas e gráficos através da ferramenta *Microsoft Excel*, de acordo com as seguintes nomenclaturas: (1) Título do artigo; (2) Referência; (3) Publicação; (4) Ano de publicação; (5) País; (6) Efluentes; (7) Produtos

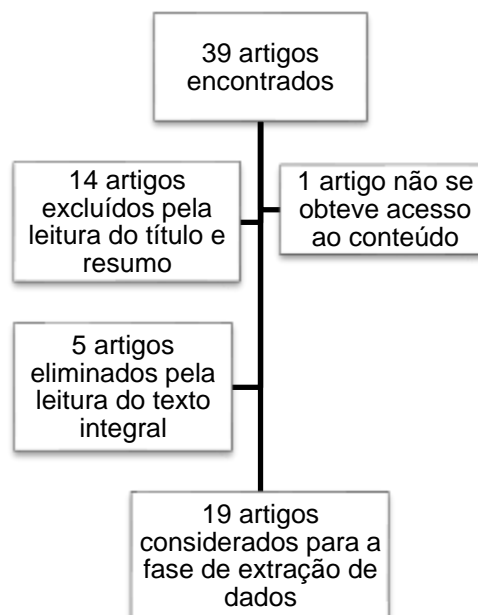
Químicos; (8) Processos de separação por membrana. Em relação ao país, foi considerado a nacionalidade do primeiro autor citado na publicação.

Ademais, para oportunizar uma melhor avaliação dos artigos objeto deste estudo, estes foram agrupados segundo tipos de métodos para controle incrustação em PSMs, com enfoque naqueles que apresentaram propostas de pré-tratamento aplicando produtos químicos. Sendo classificados da seguinte forma: Uso de apenas um produto químico; Uso de mais de um produto químico; Uso de produtos químicos seguido de outro tipo de pré- tratamento.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa na base de dados revelou 39(trinta e nove) artigos, sendo que 1 (um) artigo não se obteve acesso ao conteúdo, 14 (quatorze) artigos foram excluídos pela leitura dos títulos e resumos, e 5 (cinco) artigos eliminados pela leitura do texto integral. Por fim, o número final de artigos considerados para a fase de extração dos dados foi 19 (dezenove), conforme indicado em fluxograma na figura 1.

Figura 1. Seleção dos Artigos considerados na pesquisa



A tabela 1 apresenta os dados de título, autor, publicação, ano, país dos artigos objeto do estudo.

Tabela 1. Relação dos artigos objeto do estudo

	TÍTULO	REFERÊNCIA	PUBLICAÇÃO	ANO	PAÍS
1.	Coagulation/Flocculation with Moringa oleifera and Membrane Filtration for Dairy Wastewater treatment	Mateus, G. A. P.; et al.	Water Air and Soil Pollution	2017	Brasil
2.	Optimization of coagulation with ferric chloride as a pretreatment for fouling reduction during nanofiltration of rendering plant secondary effluent	Racar, Marko; et al.	Chemosphere	2017	Croácia
3.	Hybrid coagulation/membrane process treatment applied to the treatment of industrial dyeing effluent	Masmoudi, Ghazza; et al.	Desalination and Water Treatment	2016	Tunísia
4.	Membrane fouling controlled by coagulation/adsorption during direct sewage membrane filtration (DSMF) for organic matter concentration	Gong, Hui; et al.	Journal of Environmental Sciences	2015	China
5.	Assessment of biological activated carbon treatment to control membrane fouling in reverse osmosis of secondary effluent for reuse in irrigation	Pramanik, Biplob Kumar; et al.	Desalination	2015	Austrália
6.	Reuse of PAC and alum sludge (RPAS) process: pretreatment to reduce membrane fouling	Qi, Lu; et al.	Desalination and Water Treatment	2015	China
7.	Effects of ozonation and coagulation on effluent organic matter characteristics and ultrafiltration membrane fouling	Jeong, Kwon; Lee, Dae-Sung; Kim, Do-Gun; et al.	Journal of Environmental Sciences	2014	Coreia
8.	Coupling of adsorption, coagulation, and ultrafiltration processes for the removal of emerging contaminants in a secondary effluent	Acero, Juan L.; Javier Benitez, F.; Real, Francisco J.; et al.	Chemical Engineering Journal	2012	Espanha
9.	Studies on treatment of a thermo-mechanical process effluent from paper industry using ultrafiltration for water reuse	Singh, Suman Kumar; Kraemer, M.; Trebouet, D.	Desalination and Water Treatment	2012	Índia

Tabela 1. Relação dos artigos objeto do estudo

	TÍTULO	REFERÊNCIA	PUBLICAÇÃO	ANO	PAÍS
10.	Fouling minimised reclamation of secondary effluents with reverse osmosis (ReSeRO)	Lerch, Andre; Siebrath, Nadine; Berg, Peter; et al.	Desalination and Water Treatment	2012	Alemanha
11.	The efficiency of a hybrid flocculation/UF process for a real dye-house effluent using hydrophilic and hydrophobic membranes	Simoncic, M.; Lobnik, A.	Desalination	2011	Eslovênia
12.	Performance evaluation of pretreatment processes in integrated membrane system for wastewater reuse	Park, Chanhyuk; Hong, Seok-Won; Chung, Tai Hak; et al.	Desalination	2010	Coreia
13.	Recycling of spent filter backwash water using coagulation-assisted membrane filtration: effects of submicrometre particles on membrane flux	Huang, Chihpin; Lin, Jr-Lin; Wu, C. L.; et al.	Water Science and Technology	2010	Taiwan
14.	Integration of immersed membrane ultrafiltration with the reuse of PAC and alum sludge (RPAS) process for drinking water treatment	Qi, Lu; Liang, Heng; Wang, Yi; et al.	Desalination	2009	China
15.	Pretreatments to control membrane fouling in membrane filtration of secondary effluents	Baek, Soun-Ok; Chang, In-Soung	Desalination	2009	Coreia
16.	Application of ceramic membranes with pre-ozonation for treatment of secondary wastewater effluent	Lehman, S. Geno; Liu, Li	Water Research	2009	USA
17.	The impact of in-line coagulant addition on fouling potential of secondary effluent at a pilot-scale immersed ultrafiltration plant	Citulski, Joel; Farahbakhsh, Khosrow; Kent, Fraser; et al.	Journal of Membrane Science	2008	Canada
18.	Low-pressure membrane filtration of secondary effluent in water reuse: Pre-treatment for fouling reduction	Fan, Linhua; Nguyen, Thang; Roddick, Felicity A.; et al.	Journal of Membrane Science	2008	Austrália
19.	Comparison of fouling characteristics of two different poly-vinylidene fluoridemicrofiltration membranes in a pilot-scale drinking water treatment system using pre-coagulation/sedimentation, sand filtration, and chlorination	Chae, So-Ryong; Yamamura, Hiroshi; Ikeda, Keiichi; et al.	Water Research	2008	USA

A tabela 2 apresenta os dados de título, referência, tipo de efluente, produto químico e tipos de processo de separação por membrana dos artigos objeto do estudo.

Tabela 2. Relação dos artigos objeto do estudo.

	TÍTULO	REFERÊNCIA	EFLUENTE	PRODUTO QUÍMICO	SEPARAÇÃO POR MEMBRANA
1.	Coagulation/Flocculation with Moringa oleifera and Membrane Filtration for Dairy Wastewater treatment	Mateus, G. A. P.; et al.	Laticínios	<i>Moringa Oleifera</i>	Nanofiltração Microfiltração
2.	Optimization of coagulation with ferric chloride as a pretreatment for fouling reduction during nanofiltration of rendering plant secondary effluent	Racar, Marko; et al.	Subprodutos animais	Cloreto Férrico	Nanofiltração
3.	Hybrid coagulation/membrane process treatment applied to the treatment of industrial dyeing effluent	Masmoudi, Ghazza; et al.	Têxteis	Alúmen Amerfloc445	Microfiltração Ultrafiltração
4.	Membrane fouling controlled by coagulation/adsorption during direct sewage membrane filtration (DSMF) for organic matter concentration	Gong, Hui; et al.	ETAR	Cloreto de Polialumínio Carvão Ativado em Pó	Microfiltração
5.	Assessment of biological activated carbon treatment to control membrane fouling in reverse osmosis of secondary effluent for reuse in irrigation	Pramanik, Biplob Kumar; et al.	ETAR	Carvão Ativado	Osiose Reversa Microfiltração
6.	Reuse of PAC and alum sludge (RPAS) process: pretreatment to reduce membrane fouling	Qi, Lu; et al.	Águas Superficiais	Carvão Ativado Lodo de Alúmen	Ultrafiltração
7.	Effects of ozonation and coagulation on effluent organic matter characteristics and ultrafiltration membrane fouling	Jeong, Kwon; Lee, Dae-Sung; Kim, Do-Gun; et al.	ETAR	Cloreto Férrico Ozônio	Ultrafiltração
8.	Coupling of adsorption, coagulation, and ultrafiltration processes for the removal of emerging contaminants in a secondary effluent	Acero, Juan L.; Javier Benitez, F.; Real, Francisco J.; et al.	ETAR	Carvão Ativado em Pó Cloreto Férrico	Ultrafiltração
9.	Studies on treatment of a thermo-mechanical process effluent from paper industry using ultrafiltration for water reuse	Singh, Suman Kumar; Kraemer, M.; Trebouet, D.	Indústria de Papel	Hidróxido de Sódio Dodecil Sulfato de Sódio	Ultrafiltração
10.	Fouling minimised reclamation of secondary effluents with reverse osmosis (ReSeRO)	Lerch, Andre; Siebdrath, Nadine; Berg, Peter; et al.	ETAR	Carvão Ativado em Pó Cloreto Férrico	Osiose Reversa Ultrafiltração

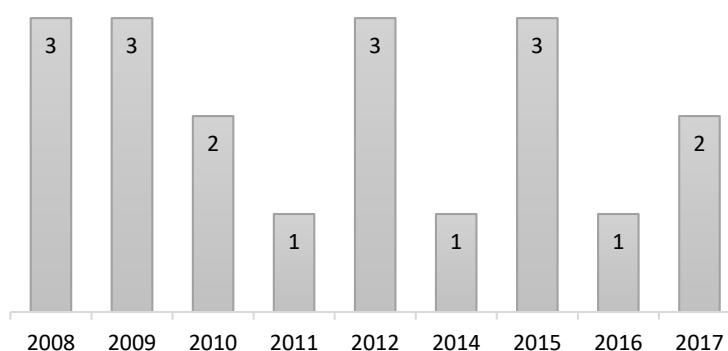
Tabela 2. Relação dos artigos objeto do estudo.

	TÍTULO	REFERÊNCIA	EFLUENTE	PRODUTO QUÍMICO	SEPARAÇÃO POR MEMBRANA
11.	The efficiency of a hybrid flocculation/UF process for a real dye-house effluent using hydrophilic and hydrophobic membranes	Simoncic, M.; Lobnik, A.	Têxteis	Polieletrólito	Ultrafiltração
12.	Performance evaluation of pretreatment processes in integrated membrane system for wastewater reuse	Park, Chanhyuk; Hong, Seok-Won; Chung, Tai Hak; et al.	ETAR	Cloreto de Polialumínio Ozônio	Microfiltração
13.	Recycling of spent filter backwash water using coagulation-assisted membrane filtration: effects of submicrometre particles on membrane flux	Huang, Chihpin; Lin, Jr-Lin; Wu, C. L.; et al.	Águas Superficiais	Cloreto de Polialumínio	Microfiltração
14.	Integration of immersed membrane ultrafiltration with the reuse of PAC and alum sludge (RPAS) process for drinking water treatment	Qi, Lu; Liang, Heng; Wang, Yi; et al.	Águas Superficiais	Carvão Ativado Lodo de Alúmen	Ultrafiltração
15.	Pretreatments to control membrane fouling in membrane filtration of secondary effluents	Baek, Soun-Ok; Chang, In-Soung	ETAR	Sulfato Férrico Alúmen Carvão Ativado em Pó	Ultrafiltração
16.	Application of ceramic membranes with pre-ozonation for treatment of secondary wastewater effluent	Lehman, S. Geno; Liu, Li	ETAR	Cloreto de Polialumínio Ozônio	Microfiltração
17.	The impact of in-line coagulant addition on fouling potential of secondary effluent at a pilot-scale immersed ultrafiltration plant	Citulski, Joel; Farahbakhsh, Khosrow; Kent, Fraser; et al.	ETAR	Alúmen Cloreto Férrico	Ultrafiltração
18.	Low-pressure membrane filtration of secondary effluent in water reuse: Pre-treatment for fouling reduction	Fan, Linhua; Nguyen, Thang; Roddick, Felicity A.; et al.	ETAR	Alúmen Cloreto Férrico	Microfiltração
19.	Comparison of fouling characteristics of two different poly-vinylidene fluoridemicrofiltration membranes in a pilot-scale drinking water treatment system using pre-coagulation/sedimentation, sand filtration, and chlorination	Chae, So-Ryonq; Yamamura, Hiroshi; Ikeda, Keiichi; et al.	Águas Superficiais	Cloro	Microfiltração Ultrafiltração



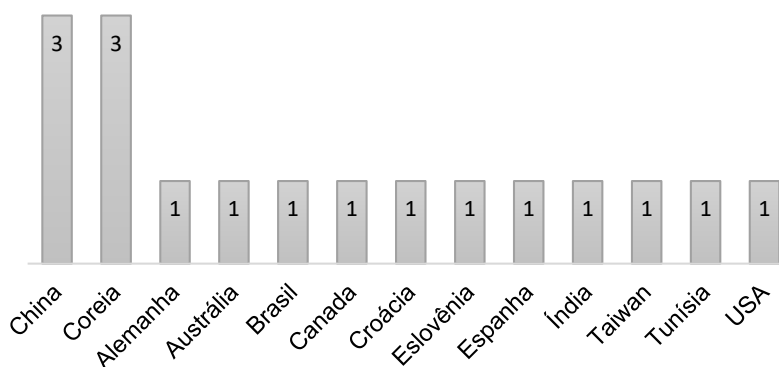
Os estudos de acordo com os anos de publicação podem ser observados em forma gráfica na Figura 1. O número de artigos que abordam o tema de utilização de produtos químicos como pré-tratamento para o controle de incrustação em PSM, não houve um crescimento linear ao longo do tempo. Do ano de 2008 (três artigos) a 2011 (um artigo) houve uma queda significativa quanto ao número de publicações, porém em 2008, 2009, 2012 e 2015 (três artigos), foram os anos com um maior número de estudos publicados.

Figura 1. Publicações no período de 2008 a 2018 na *Web of Science*



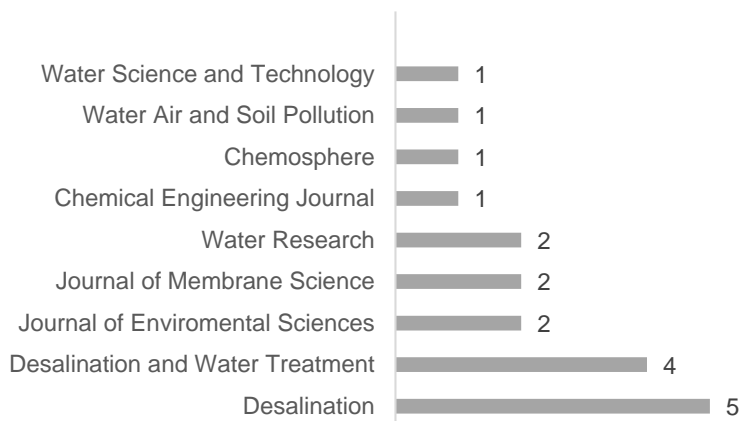
O tema estudado demonstrou ser de grande interesse para a comunidade científica, pois, a partir da realização do presente estudo, foi possível observar variedade significativa de países nos quais ocorreram publicações semelhantes. Destaca-se que, dos 19 estudos encontrados na revisão sistemática sobre pré-tratamentos com produtos químicos para redução de incrustação em membranas, apenas um deles é brasileiro, identificando uma lacuna na literatura nacional sobre o tema. Em contrapartida, os países que mais se destacaram em termos de número de publicação foram a Coreia e a China, com 3 (três). Também foram encontrados estudos na Alemanha, Austrália, Canadá, China, Croácia, Eslovênia, Índia, Israel, Taiwan, Tunísia, conforme se observa na figura 2.

Figura 2. Países que publicaram no período de 2008 a 2018



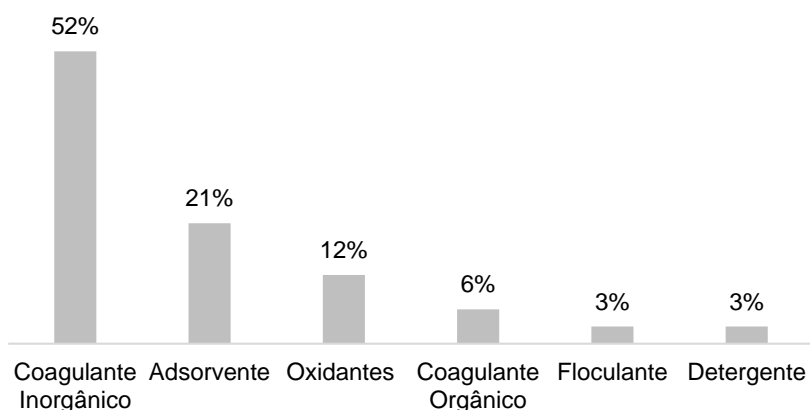
Observa-se na Figura 3, em forma gráfica, que as Revistas *Desalination* e *Desalination and Water Treatment* são as que mais apresentaram artigos publicados referentes à temática com cinco artigos e quatro artigos respectivamente. Em seguida, têm-se periódicos com dois artigos publicados em cada: *Journal of Environmental Sciences*, *Water Research* e *Journal of Membrane Science*. As demais apenas com uma publicação: *Chemosphere*, *Chemical Engineering Journal*, *Water Air and Soil Pollution*, *Water Science and Technology*.

Figura 3. Revistas que publicaram sobre o tema no período de 2008 a 2018



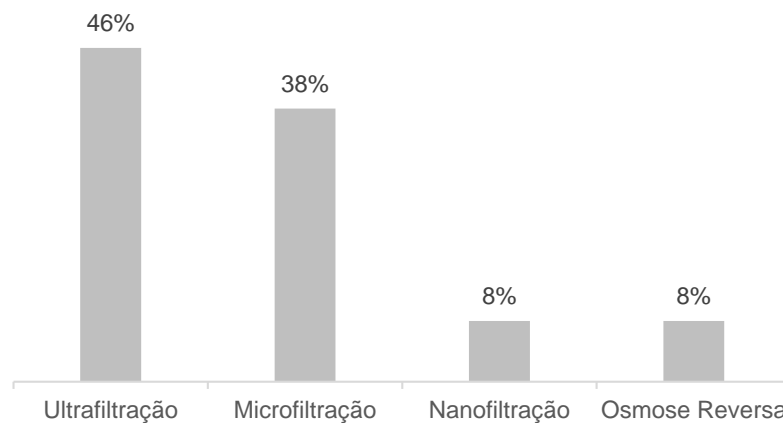
Na figura 4, estão apresentados os produtos químicos aos quais tiveram maior quantidade de citação na literatura revisada, dentre estes, os mais aplicados como pré-tratamentos foram os seguintes coagulantes inorgânicos classificados como: Sais de alumínio e Sais de ferro. Importante salientar, que estes coagulantes químicos, são os mais comercialmente utilizados, devido ao fato de terem baixo valor de mercado e fácil empregabilidade sendo que sua adequada dosagem permite economizar produtos químicos e tempo de agitação para floculação do efluente/água em tratamento. Além disso, por reduzirem notavelmente a matéria coloidal, devido à alteração da distribuição do tamanho das partículas da matéria orgânica, se tornam frações maiores, contribuindo, para a redução da taxa de incrustação. Corroborando assim para o fato de uma predileção por esses coagulantes (CITULSKI, 2008).

Figura 4. Produtos Químicos citados na revisão



Para as membranas, as mais utilizadas foram as de Ultrafiltração e Microfiltração com 46% 38% respectivamente, conforme observado na figura 5. Em particular, técnicas de membrana de baixa pressão como microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF) atraem a atenção para remoção de partículas por exclusão de tamanho e geralmente produzem um filtrado livre de turbidez e bactérias de rios, lagos e águas subterrâneas (Bian et al., 1999; Hagen, 1998; Kimura et al., 2004; Klijn et al., 2000; Ma et al., 1998; Yuasa, 1998). Uma vantagem do material de membrana MF é que ele pode ser adaptado para a maioria dos requisitos por fácil modificação de sua composição química, o que torna possível a produção de baixo custo.

Figura 5. Processos de separação por membrana citadas na revisão



Os efluentes secundários descarregados de estações de tratamento de águas residuais municipais (ETAR) foram os mais citados correspondendo 53% dos efluentes abordados nos artigos, de acordo com a fig. 6. Existe um amplo interesse em melhorar o efluente secundário para fins de reutilização. Isso envolve a remoção de turbidez, microrganismos patogênicos e matéria orgânica. A matéria orgânica do efluente é reconhecida como um incrustante crítico, principalmente em membranas de baixa pressão e compreende a matéria orgânica natural (NOM), produtos microbianos solúveis (SMPs) derivados do tratamento biológico e processos orgânicos de uso da água e desinfecção da água. A caracterização da matéria orgânica é necessária para obter uma visão nos mecanismos de incrustação e, portanto, desenvolver estratégias para controle de incrustação (FAN et al., 2008).

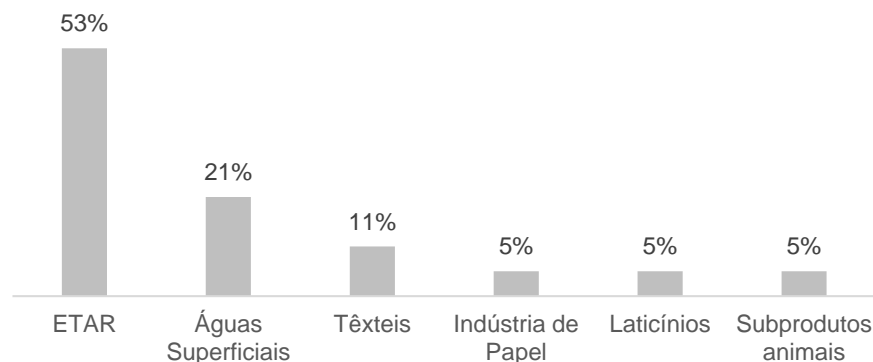
Regulamentos cada vez mais rigorosos relacionados à qualidade da água tratada impulsionam um interesse em aplicações de tecnologia de membrana seja para remoção de partículas ou matéria orgânica dissolvida. Entende-se a razão das Águas superficiais serem incluídas em 21% dos estudos desta revisão.

A indústria têxtil caracteriza-se pela diversidade de processos empregados e elevado volume de efluente altamente poluído. O efluente possui composições variáveis, pela diversidade de matérias primas, produtos auxiliares, técnicas e equipamentos utilizados nos métodos de produção, promovendo

flutuações na caracterização da água residual (BELTRAME,2000). Portanto, a purificação de tal efluente é muito complexa. Através desta revisão, apenas 11% dos artigos pesquisados citaram o efluente têxtil, porém é visto que processos de separação por membranas são tratamentos adequados para águas residuais com composições e fluxos variáveis (SIMONIC et al., 2011).

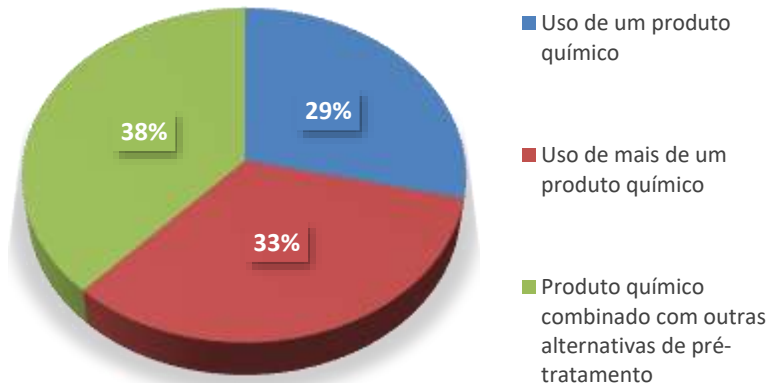
Por fim, os efluentes de indústria de papel, laticínios e subprodutos animais corresponderam 5% cada dos artigos pesquisados. O efluente gerado na indústria de papel é complexo com alta concentração de substâncias dissolvidas e coloidais (SINGH et al., 2012). Segundo Matias (2010) *apud* Paiva (1999), dentre os compostos presentes nestes efluentes, os organoclorados são os que mais colaboram para a toxicidade dos efluentes juntamente com os ácidos graxos. A indústria de processamento de subprodutos de animais e de laticínios consome grandes quantidades de água gerando um efluente carregado com orgânicos, nutrientes e patógenos (SINDT, 2006).

Figura 6. Efluentes tratados por PSMs citados na revisão



Na figura 7, está apresentada a classificação quanto ao uso de produtos químicos em processos de separação por membrana. Os métodos de pré-tratamentos classificados em produto químico combinado com outras alternativas de pré-tratamento foram em maior quantidade, encontrados em 38% dos artigos analisados, seguido de uso de mais de um produto químico com 33%. Isto pode estar relacionado com o aumento da eficiência na redução de incrustação quando realizada combinação de dois ou mais produtos químicos, ou fazendo-se um sistema híbrido com procedimentos de filtração.

Figura 7. Classificação de métodos de pré-tratamentos que utilizaram produtos químicos em PSMs



No estudo de Masmoudi et al (2016), os sistemas Coagulação/Microfiltração e Coagulação/Ultrafiltração foram investigados para o tratamento de águas residuais têxteis. Dois tipos de coagulantes foram utilizados neste estudo, o Amerfloc445 e Alúmen. Após uma comparação entre os desempenhos de MF e UF com coagulantes Alúmen e Amerfloc445, a UF foi encontrado para dar melhores resultados em termos de qualidade de permeado, bem como incrustações. No entanto, a coagulação do Alúmen causou incrustações reversíveis severas na membrana de UF pelo acúmulo de uma camada de torta compacta com alta resistência à transferência de massa, contrariamente aos volumosos flocos de Amerfloc445 que proporcionaram melhores remoções de DQO e de cor. Assim, o sistema C/ UF apresentou-se mais eficiente utilizando o coagulante Amerfloc445.

Park, et al (2010), estudaram o comportamento de incrustação de membranas de microfiltração (MF), ao empregar dois diferentes métodos de pré-tratamento. Os efluentes secundários de um processo de tratamento biológico foram alimentados em cada sistema híbrido, consistindo nos processos de coagulação-floculação-MF (CF-MF) e ozonização-MF. Taxas de declínio do fluxo de permeado foram melhoradas pelo emprego de CF, utilizando o coagulante Cloreto de Polialumínio e pelo processo de ozonização. No sistema híbrido CF-MF, as eficiências de remoção de DQO e fósforo total foram significativamente aumentadas em uma dose de coagulante acima de 30 mg/L. Com a ozonização, mais de 90% da cor foi removida, e cerca de 82% de DQO foi reduzido, mesmo com uma dose baixa de ozônio (5 mg/L). Portanto, a ozonização seria fortemente recomendada como pré-tratamento em termos de remoção de matéria orgânica e conseqüentemente diminuição da incrustação de membranas de MF.

Em outro estudo, Simonic, et al (2011) , a floculação com o polieletrólito foi adotada como um pré-tratamento de ultrafiltração (UF) para reduzir a quantidade de incrustações na membrana. Quando a UF segue a floculação, resulta um fluxo maior devido à menor concentração dos colóides nas águas residuais e a uma formação mais lenta da camada de bolo. Uma taxa de incrustação mais lenta é observada combinando a membrana com a floculação.

---

Os resultados mostraram que a floculação é um método adequado para o pré-tratamento de efluentes têxteis, pois atingiu-se eficiências de remoção de cor e DQO de até 98% e 65%, respectivamente.

No estudo de Gong (2015), experimentos foram realizados para verificar a viabilidade de coagulante / adição de adsorvente para controle de incrustação de membrana de MF. Observa-se que com a adsorção de Carvão ativado em pó combinada com a coagulação de lodo de alumínio tem-se uma melhor remoção de partículas e matérias orgânicas em água bruta, o tornando um pré-tratamento efetivo para reduzir a incrustação de membrana no tratamento de esgoto.

Em outro estudo, Acero et al (2012), a presença adicional de Carvão ativado em pó na etapa de coagulação com o Cloreto Férrico foi mais favorável para a redução apreciável dos contaminantes emergentes da membrana de Ultrafiltração, e como consequência se obteve melhora da permeabilidade da membrana e a qualidade do efluente da ETAR, demonstrando ser um pré-tratamento eficiente.

Dois estudos apresentados por Qi et al. (2015), fez-se uso da reutilização do processo de carvão ativado em pó (CAP) e lodo de alumínio (RPAS) para reduzir a incrustação de membrana de UF para tratamento de água potável. Os resultados desta investigação indicaram que a adsorção de CAP combinada com coagulação aprimorada de lodo de alumínio tem uma melhor remoção de partículas e matérias orgânicas em água bruta, portanto o processo de RPAS pode ser escolhido como um pré-tratamento eficaz para reduzir a incrustação de membrana no tratamento de água potável.

Jeong et al (2014) investigaram as características do efluente secundário obtido de uma ETAR afetadas pelos pré-tratamentos como a ozonização e seus efeitos no fluxo de membrana. Os resultados sugerem que a coagulação com Cloreto Férrico e a ozonização podem ser pré-tratamentos promissores para processos de membrana de UF, mostrando reduções notáveis de incrustações na membrana.

No estudo de Singh et al (2012), o efeito dos pré-tratamentos com o dodecil sulfato de sódio (SDS) e hidróxido de sódio (NaOH), foi investigado para que as águas residuais de indústria de papel estejam adequadas para aplicação de UF. Incrustação irreversível é mais acentuada com o efluente de pré-tratamento com NaOH do que com o efluente de pré-tratamento de SDS, pode-se supor que o SDS pode aumentar a solubilidade de extrativos lipofílicos de baixo peso molecular em fase aquosa. É devido ao fato de que o núcleo hidrofóbico das micelas de surfactante pode acomodar uma certa quantidade de composto orgânico lipofílico e conseqüentemente diminuir o potencial de incrustação do efluente no processo de UF.

No estudo de Matheus et al. (2017), foi avaliado o uso da *Moringa Oleifera* (MO) na coagulação/floculação/sedimentação (CFS), seguido pelo processo de MF ou NF no tratamento de efluente de laticínios. A associação de tratamentos CFS-MF-NF demonstrou alta eficiência de remoção para demanda química de oxigênio (DQO) (96%), turbidez e cor (média de 99%) atendendo aos padrões de reuso de água, permitindo a reutilização das águas residuárias. Os resultados deste sistema de tratamento híbrido indicaram uma menor taxa de incrustação na membrana (63%), um aumento no fluxo do permeado e uma melhor qualidade do permeado.

Em um dos artigos (MARKO RACAR et al, 2017), o efluente secundário obtido de uma planta de processamento de subprodutos de animais, é tratado em uma planta de processo com Nanofiltração, e propõe-se pré-tratamento utilizando coagulação com Cloreto férrico e filtração em areia (SF) para evitar a incrustação da membrana. O efluente após a coagulação em condições ótimas e SF foi submetida à NF (membranas NF270, NF e NF90). Teores de carbono e turbidez diminuíram significativamente após a coagulação, houve redução do declínio do fluxo das membranas de NF de 4,2 a 19,3 vezes. A incrustação foi aliviada substancialmente (de 74,4% para 12,3% para NF270, 61,8% para 3,2% para NF e 62,5% para 15,0% para NF 90), especialmente para incrustações irreversíveis.

Com o estudo de Pramanik et al (2015), o carvão ativado biológico (BAC) foi investigado como um pré-tratamento para reduzir o potencial de incrustação orgânica e bioincrustação das membranas de osmose reversa (OR) para a dessalinização de um efluente secundário tratado biologicamente (BTSE). O BAC reduziu o conteúdo orgânico através da biodegradação pelos microrganismos e adsorção pelo carvão ativado, e a microfiltração subsequente reduziu ainda mais o conteúdo orgânico e, conseqüentemente, o entupimento da membrana de OR. Demonstrou-se que o tratamento com BAC reduz efetivamente o carbono orgânico dissolvido biodegradável e o potencial de regeneração bacteriana, confirmando assim seu potencial para mitigar a incrustação biológica da membrana de OR.

#### 4. CONCLUSÃO

Este estudo apresentou uma revisão sistemática da literatura acerca da avaliação de PSMs para tratamento de efluente a partir da utilização de produtos químicos como pré-tratamento a fim de reduzir os efeitos negativos da formação de incrustações, tendo sido selecionados 19 artigos. Foi possível observar que 2008, 2009, 2012 e 2015 (três artigos), foram os anos com um maior número de estudos publicados. Apenas um dos artigos da revisão é brasileiro, identificando uma lacuna na literatura nacional sobre o tema. Em contrapartida, os países que mais se destacaram em termos de número de publicação foi a Coreia e a China. As Revistas *Desalination* e *Desalination and Water Treatment* são as que mais apresentaram artigos publicados em função da temática de publicação destas revistas.

A partir da realização desta revisão, foi possível verificar que os coagulantes inorgânicos tiveram um alto percentual de citação com relação aos demais. Também observa-se que os efluentes secundários descarregados de estações de tratamento de águas residuais municipais (ETAR) foram os mais citados correspondendo 53% dos efluentes abordados nos artigos. Por fim e não menos importante às membranas de Ultrafiltração e Microfiltração também obtiveram valioso destaque no atributo quantidade de vezes que foi citado.

Os estudos que avaliaram o uso de produto químico com outra alternativa de pré-tratamento e uso de mais de um produto químico, foram em maior número do que nos artigos que apenas utilizaram um do produto químico.

Verificou-se que o uso de mais de um produto químicos, resultou em sua maioria, a associação de um coagulante e um adsorvente. Este pré-tratamento retarda o aumento da resistência à filtração e alcança o controle simultâneo da incrustação e melhora no declínio da concentração de DQO. Na maioria dos estudos, realizaram-se pré-tratamentos que associaram produtos químicos com membranas.

Importante destacar que, em grande parte dos estudos analisados o uso de produtos químicos em pré-tratamentos para controle de incrustações apontaram bons resultados, proporcionando altas eficiências de remoção de matéria orgânica, cor e turbidez e consequentemente reduzindo incrustações em PSMs.

## 5. REFERÊNCIAS

ALVES, T.L. **Estudo da formação de incrustações inorgânicas em membranas de nanofiltração utilizadas em processos de dessulfatação**. 2006. 18 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais e Metalurgia)- Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <[https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/9206/9206\\_1.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/9206/9206_1.PDF)>. Acesso em: 10 set. 2018.

PRAMANIK, BIPOB KUMAR; et al. Assessment of biological activated carbon treatment to control membrane fouling in reverse osmosis of secondary effluent for reuse in irrigation. **Desalination**, p. 90-95 ,2015.

BELTRAME, L.T.C. **Caracterização do Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2000. Disponível em: <http://www.repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/15866/1/LeocadiaTCB.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2018

BRACEIRO, A.P.S. **Utilização de Tecnologia de Separação por Membranas na Reabilitação de Sistemas de Tratamento de Água**. 142 f. Dissertação



---

(Mestrado em Engenharia do Ambiente)- Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/150507/001008325.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 13 set. 2018.

CITULSKI, JOEL; FARAHBAKHS, HOSROW; KENT, FRASER; et al. The impact of in-line coagulant addition on fouling potential of secondary effluent at a pilot-scale immersed ultrafiltration plant. **Journal of Membrane Science**, p. 311-318, 2008.

FAN, LINHUA; NGUYEN, THANG; RODDICK, FELICITY A.; et al. Low-pressure membrane filtration of secondary effluent in water reuse: **Journal of Membrane Science**, p.135-142, 2008.

GALVÃO, D. F.; GOMES, E. R. Dos S. Os processos de separação por membranas e sua utilização no tratamento de efluentes industriais da indústria de laticínios: revisão bibliográfica. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Torres**, Medianeira, v. 70, n. 6, p. 349-360, dez. 2015. Disponível em: <<https://www.revistadoilct.com.br/rilct/article/view/487/395>>. Acesso em: 10 set. 2018.

GONG, HUI; JIN, ZHENGYU; WANG, XIAN; et al. Membrane fouling controlled by coagulation/adsorption during direct sewage membrane filtration (DSMF) for organic matter concentration. **Journal of Environmental Sciences**, p.1-7, 2015.

LERCH, ANDRE; SIEDRATH, NADINE; BERG, PETER; HEIJNEN, MARTIN; GITIS, VITALY; UHL, WOLFGANG. Fouling minimized reclamation of secondary effluents with reverse osmosis (ReSeRO). **Desalination and Water Treatment**, v. 42, Ed. 1-3, p.181-188, 2012.

MASMOUDI, GHAZZA; ELLOUZE, EMNA; BEN AMAR, RAJA. Hybrid coagulation/membrane process treatment applied to the treatment of industrial dyeing effluent. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, Ed. 15, p. 6781-6791, 2016.

MATEUS, G. A. P.; FORMENTINI-SCHMITT, D. M.; NISHI, L.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; GOMES, R. G.; BERGAMASCO R. Coagulation/Flocculation with Moringa oleífera and Membrane Filtration for Dairy Wasterwater Treatment. **Water air and soil pollution**, v. 228, Ed. 9, p. 228-342, 2017.

---

MATIAS, A. A. Tratamento de efluente de indústria de celulose através de plasma obtido por eletrólise de alta tensão. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, 2010. Disponível em <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/2130/texto%20completo.pdf?sequence=1>>. Acesso em 17 dez. 2018.

PARK, CHANHYUK; HONG, SEOK-WON; CHUNG, TAI HAK; et al. Performance evaluation of pretreatment processes in integrated membrane system for wastewater reuse. *Desalination*, p. 673–676, 2010.

RACAR, MARKO; DOLAR, DAVOR; SPEHAR, ANA; et al. Optimization of coagulation with ferric chloride as a pretreatment for fouling reduction during nanofiltration of rendering plant secondary effluent. *Chemosphere*, v. 181 p.485-491,2017.

SHANG, XIA; KIM, HYUN-CHUL; HUANG, JIN-HUI; et al. Coagulation strategies to decrease fouling and increase critical flux and contaminant removal in microfiltration of laundry wastewater. *Separation and Purification Technology*, p. 44-50, 2015.

SIMONIC, M.; LOBNIK, A. The efficiency of a hybrid flocculation/UF process for a real dye-house. **Desalination**, p. 219-224,2011.

SINGH, SUMAN KUMAR; KRAEMER, M.; TRE´BOUET, D. Studies on treatment of a thermo-mechanical process effluent from paper industry using ultrafiltration for water reuse. **Desalination and Water Treatment**, p. 208–217, 2012.

SILVA, T. E. M. et al. **Avaliação do uso de coagulantes orgânicos no tratamento de efluentes de galvanopastia: Um estudo de caso**. In: 5º Encontro Regional de Química & 4º Encontro Nacional de Química, 1., 2015, Mossoró/RN.p.1-6, v.3, disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br/s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemistryproceedings/5erq4enq/eng25.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2018.