

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
(CEFET -MG)**

Ana Paula Sales de Souza

POTENCIALIDADES DO REÚSO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA TÊXTIL BRASILEIRA

**Belo Horizonte (MG)
2021**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
(CEFET -MG)**

Ana Paula Sales de Souza

POTENCIALIDADES DO REÚSO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA TÊXTIL BRASILEIRA

**Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do título
de Bacharel em Química Tecnológica.**

**Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Sueli de
Rezende**

**Coorientadora: Profa. Dra. Luzia Sergina de
França Neta**

**Belo Horizonte (MG)
2021**

Ana Paula Sales de Souza

POTENCIALIDADES DO REÚSO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA TÊXTIL BRASILEIRA

**Trabalho de Conclusão de Curso
Do Bacharelado em Química Tecnológica
CEFET –MG**

Belo Horizonte, 08 de setembro de 2021

**Prof^a. Dr^a. Patrícia Sueli de Rezende
(Orientadora – CEFET –MG)**

**Prof^a. Dr^a. Luzia Sergina de França Neta
(Coorientadora – CEFET – MG)**

**Prof^a. Dr^a. Gisele Fátima Morais Nunes
(avaliadora – CEFET/MG)**

**Prof. Dr. Wagner Guadagnin Moravia
(avaliador – CEFET/MG)**

“Não deixe de falar as palavras deste Livro da Lei e de meditar nelas de dia e de noite, para que você cumpra fielmente tudo o que nele está escrito. Só então os seus caminhos prosperarão e você será bem-sucedido. Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”.

Josué 1.8-9

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao meu Deus, meu Pai, a seu Filho Jesus e ao doce Espírito Santo, meu Amigo e Consolador, pois é de onde vem toda a minha força e fôlego de vida. Sem o Senhor eu nada seria capaz de fazer. Agradeço a minha mãe Ana Beatriz e ao meu noivo Lucas por sempre me apoiarem. O meu obrigada às minhas orientadoras Patrícia e Luzia por terem me auxiliado e acompanhado nessa etapa tão importante da minha vida acadêmica.

RESUMO

SOUZA; A. P. S. S.; REZENDE, P. S.; FRANÇA NETA, L. S. Potencialidades Do Reúso De Água Na Indústria Têxtil Brasileira. A indústria têxtil está entre as atividades que mais desempenham influência na economia e na sociedade atual, gerando emprego para milhões de pessoas em toda sua cadeia produtiva. Em 2019, o Brasil ocupou a 4^a posição mundial na produção de malhas e jeans. Com o aumento da demanda na produção, tem-se, conseqüentemente, um maior consumo de água. Um outro ponto de preocupação está no lançamento de efluentes sem o tratamento adequado, pois a presença de corantes têxteis nos corpos hídricos apresenta uma ameaça tanto à vida humana quanto à fauna e à flora. O reúso da água, por outro lado, pode promover benefícios tanto para a indústria, quanto para o meio ambiente, uma vez que é reduzida a quantidade de água captada das fontes hídricas, bem como o custo relacionado à atividade. Além disso, o índice de poluição é mitigado, visto que, em geral, a prática de reúso requer algum tipo de tratamento prévio, portanto, o volume de efluente a ser despejado no meio ambiente diminui, bem como a carga de nutrientes e matéria orgânica ali contidas. O presente trabalho realizou uma revisão crítica da literatura sobre o contexto da demanda hídrica, técnicas de tratamento de efluentes têxteis visando sua reutilização na própria indústria. Os trabalhos pesquisados, que foram publicados no período de 2016 a 2021, abordaram técnicas de tratamento como: coagulação – floculação, adsorção, processos oxidativos avançados e processos de separação por membranas. Em sua maioria, foram obtidos resultados promissores e com um retorno financeiro satisfatório na reutilização do efluente tratado na etapa de tingimento de fibras têxteis. Diante da crescente preocupação da possibilidade de escassez hídrica que o mundo vem sofrendo, espera-se que, cada vez mais, trabalhos voltados ao tema sejam realizados tanto no mundo quanto no Brasil buscando uma forma de minimizar o impacto causado nos recursos hídricos.

Palavras-chave: Reúso de água; indústria têxtil; tratamento de efluentes, processos de separação por membranas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – O estresse hídrico no planeta	2
Figura 2 – Estrutura molecular da água.....	5
Figura 3 – Representação Esquemática do Ciclo Hidrológico	6
Figura 4 – Representação esquemática das interações moleculares do tipo ligação de hidrogênio	7
Figura 5 – Total de recursos hídricos renováveis per capita em 2013	8
Figura 6 – áreas de vulnerabilidade de água	8
Figura 7 – Consumo global da água (1900-2010)	9
Figura 8 – Demanda global de água em 2000 e estimativa para 2050	10
Figura 9 – As 12 regiões hidrográficas do território brasileiro.	12
Figura 10 – Distribuição populacional brasileira por região	13
Figura 11 – Índice médio de perda de água em sistemas de abastecimento de água no Brasil....	14
Figura 12 – Usos da água no Brasil.....	15
Figura 13 – Capacidade instalada de energia por origem no Brasil em 2019	16
Figura 14 – Consumo de água no Brasil por setor em 2017	16
Figura 15 – Consumo de água no Brasil por setor em 2019	17
Figura 16 – Impactos ambientais recorrentes da cadeia produtiva têxtil	19
Figura 17 – Representação esquemática das possíveis isotermas de adsorção	27
Figura 18 – Classificação das membranas quanto à técnica de separação	31
Figura 19 – Morfologia das membranas sintéticas.....	33

Figura 20 – Modo operacional dos sistemas de filtração. A) Filtração <i>dead end</i> (perpendicular e B) Filtração tangencial.)	33
Figura 21: Representação esquemática do processo de tratamento do efluente têxtil	42
Gráfico 1 – Quantidade de artigos publicados encontrados no levantamento bibliográfico	4
Gráfico 2 – Consumo médio <i>per capita</i> de água em 2019 (L/hab·dia).....	15
Gráfico 3: Frequência de utilização das diferentes técnicas de tratamento de efluente	49

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Comparação da pegada hídrica de alguns produtos.....	18
Tabela 2 – Consumo de água médio no tingimento de tecidos	20
Quadro 1 – Metais encontrados em corantes/pigmentos têxteis	21
Quadro 2: Síntese dos trabalhos que visam tratamento e reúso de efluente têxtil	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

ANOVA – Análise de Variância

CERN – Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais

C – F – Coagulação – floculação

CNRH – Conselho Nacional De Recursos Hídricos

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COT – Carbono Orgânico Total

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DN – Deliberação normativa

DP – Dispersivo Preto (corante)

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EC – Eletrocoagulação

ETEs – Estações de Tratamento de Esgotos

IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística

MBR – Biorreator com membrana

MF – Microfiltração

NF – Nanofiltração

NO_x – Número de Oxidação

OA – Oxidação Anódica

OD – Oxigênio Dissolvido

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OI – Osmose Inversa

OMS – Organização Mundial de Saúde.

PIB – Produto Interno Bruto

pH – Potencial Hidrogeniônico

PNRH – Política Nacional Recursos Hídricos

POAs – Processos Oxidativos Avançados

PSM – Processo de Separação por Membranas

R – Coeficiente de Rejeição

RP – Reativo Preto (corante)

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

TTP – Tripolifosfato de sódio

UF – Ultrafiltração

UF – FS – Ultrafiltração com fibra oca

UF – HF – Ultrafiltração com folha plana

UV - Ultravioleta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1. METODOLOGIA.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 A água.....	5
3.2 Recursos Hídricos – Cenário Mundial.....	7
3.2.1 Usos da água.....	9
3.3 Recursos Hídricos – Cenário Brasileiro	11
3.3.1 Usos da água no Brasil	15
3.3.2 Indústria.....	17
3.4 Tratamentos de efluentes industriais	21
3.4.1 Coagulação – Flocculação.....	22
3.4.2 Adsorção.....	25
3.4.3 Processos Oxidativos Avançados	28
3.4.4 Processos de Separação por membranas	30
3.5 Reúso da água.....	35
3.6 Reúso de água na indústria têxtil – Panorama Global.....	37
3.7 Reúso de água na indústria têxtil – Panorama Brasileiro	46
3.8 Síntese dos trabalhos apresentados.....	49
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52

REFERÊNCIAS 54

1. INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial, foi possível observar um crescimento no ritmo de produção como não visto anteriormente, a partir da qual houve a transformação da manufatura em grandes escalas industriais. (MARSON, 2014). Dentre os setores industriais que desempenham grande importância na economia da sociedade atual, está a indústria têxtil, a qual gera emprego para milhões de pessoas em toda sua cadeia produtiva. De forma semelhante, a sociedade é influenciada pelo dinamismo da moda, pois a cada estação os estilos de peças de roupa e a maneira das pessoas se vestirem são transformados. A indústria têxtil, portanto, está em constante inovação na busca de novos tipos e cortes de tecidos, bem como nas cores que serão tingidas sobre eles (MEDEIROS, 2017). Somente em 2016, foram contabilizados US\$ 284 milhões em exportações no mundo devido à indústria têxtil (ALMEIDA, 2018). O Brasil é referência mundial no design de *jeanswear* e moda praia, ocupando a 4ª posição mundial na produção de malhas e jeans. Somente em 2019 foram produzidos cerca de 9,04 bilhões de peças no país, com um faturamento total de R\$ 185,7 bilhões (ABIT, 2020). O setor têxtil é o segundo que mais emprega na indústria de transformação, estando atrás apenas do setor alimentício (FIEMG; FEAM, 2014).

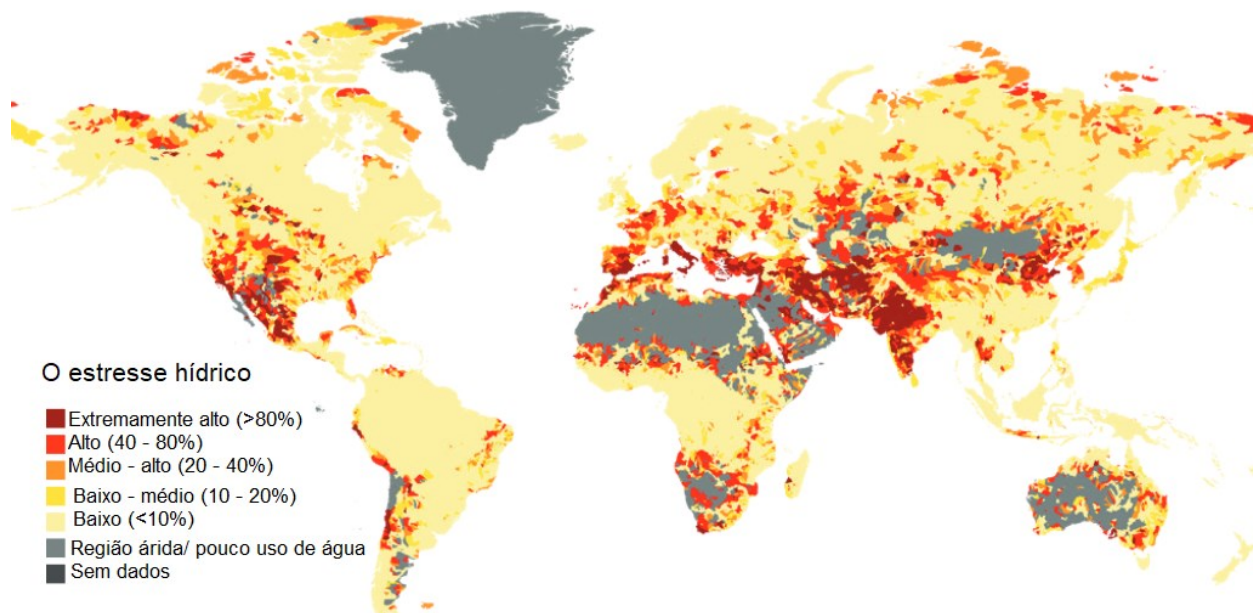
Apesar de ser muito importante para a economia e sociedade, o setor têxtil é responsável pelo alto consumo e poluição dos recursos hídricos (NETO, *et al*, 2021). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foram consumidos 6 litros de água para cada R\$1,00 produzido pela economia brasileira em 2015, com o total de 3,2 trilhões de metros cúbicos de água (IBGE, 2018a). Ağaş e colaboradores (2020) estimam um consumo médio de 0,06 m³ de água por quilograma de tecido produzido nas indústrias têxteis mundialmente. A produção de uma camisa de algodão, por exemplo, consome 2.495 litros de água (FERREIRA, 2018). Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), em 2019, somente o setor industrial brasileiro captou 202,3 m³/s de água dos mananciais, sendo que apenas 46,27 % foram retornados ao meio ambiente (ANA, 2020).

Devido ao incessante crescimento populacional, verifica-se a necessidade de produzir bens de consumo em maior quantidade (MARTINS, 2014). Segundo a dados das Nações unidas, em 2018 havia mais de 7,8 bilhões de pessoas no mundo, estimando-se que em 2025 a população mundial chegará a mais de 8,1 bilhões de pessoas (UN, 2018). Se o aumento do consumo não for

acompanhado de uma responsabilidade ambiental, acabará havendo o uso indiscriminado da água, bem como sua contaminação pelo descarte inadequado de efluentes. Tais ações humanas podem gerar um nível de estresse hídrico em uma região ou país (Figura 1). Segundo as Nações Unidas, o estresse hídrico mensura o uso da água em função das fontes disponíveis em um determinado local (UN, 2021). Sua porcentagem (FAO, 2019) é calculada por cem vezes a razão entre o total de água captada sobre a diferença entre o total de fontes de hídricas renováveis e a quantidade de água mínima necessária para assegurar a existência do corpo hídrico, também conhecido como fluxo ambiental (equação 1). Estima-se que cerca de 2 bilhões de pessoas sofrem com estresse hídrico (UN, 2015; UNICEF, 2021).

$$\% \text{ estresse hídrico} = \frac{\text{total de água captada}}{(\text{recursos renováveis} - \text{fluxo ambiental})} \cdot 100 \quad \text{Equação 1}$$

Figura 1 – O estresse hídrico no planeta



Fonte: UN, 2021 (adaptado)

O lançamento de efluentes sem o tratamento adequado tem-se revelado um problema cada vez mais sério a ser levado em consideração, pois a presença de corantes têxteis nos corpos hídricos apresenta uma ameaça tanto à vida humana quanto a dos animais e plantas que possam entrar em contato com tais substâncias (PATIL, *et al*, 2020). Corantes do tipo azo, por exemplo, apresentam aminas aromáticas em sua estrutura, as quais são carcinogênicas, mutagênicas e tóxicas (PUNZI, *et al.*, 2015; YAGUB, 2014). A falta de água e de saneamento básico afeta diretamente a saúde

humana por problemas como desnutrição e doenças causadas por vetores veiculados na água (UNICEF, 2021). Exemplos de impactos ambientais severos, como o de Bangladesh em 2016, o qual poluiu 217 milhões de m³ de rios e afluentes, demonstram a importância do tratamento adequado dos efluentes têxteis e sua consequente destinação adequada (SAKAMOTO, *et al.*, 2019).

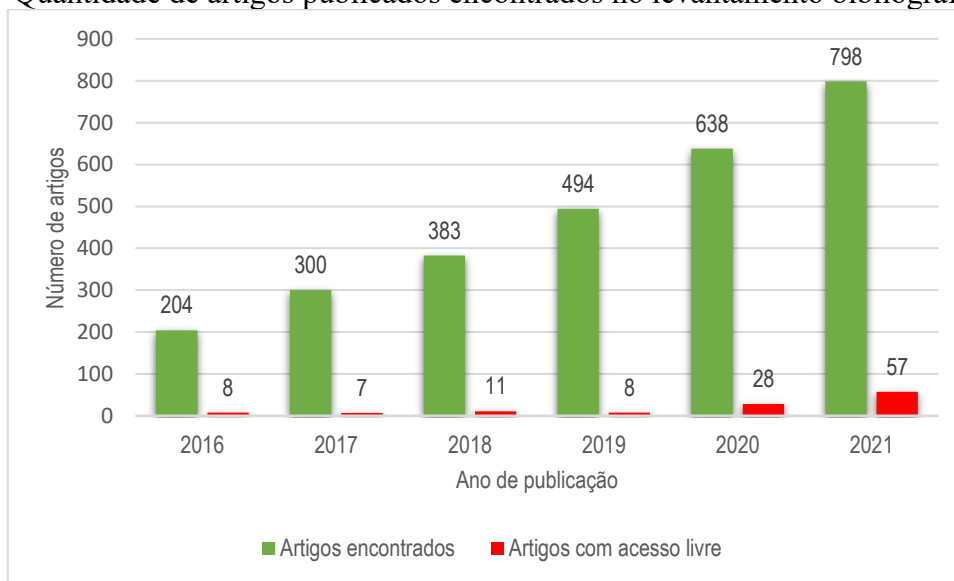
É diante desse cenário que empresas têm se mobilizado em busca de novas técnicas de tratamento do efluente têxtil e reúso da água, de forma a reduzir danos provocados ao meio ambiente (COLAIANNI, 2020). O reúso da água é benéfico tanto para a indústria, quanto para o meio ambiente, já que são reduzidos: o consumo de água, o consumo de energia, o volume de efluente lançado nos corpos hídricos, da carga de nutrientes no efluente final, bem como os custos relacionados à captação de água (EPA, 2012; FERNANDES, 2010; NÚÑEZ, *et al.*, 2019). O efluente têxtil tratado possui diversas aplicabilidades de reúso, como por exemplo, na alimentação de caldeiras, em sistemas de refrigeração, na lavagem e no tingimento dos tecidos, em lavadores de gases e até na lavagem de pisos e na irrigação de áreas verdes (FIEMG; FEAM, 2014; RIBEIRO, 2009; EPA, 2012). As principais técnicas de tratamentos promissoras estudadas são: Coagulação-Floculação; Adsorção; Processos Oxidativos Avançados (POAs) e Processos de Separação por Membranas (PSM). Para que seja possível reutilizar o efluente tratado, a qualidade final deve estar de acordo com a sua aplicação, como por exemplo, se a água for reutilizada na lavagem de pisos e equipamentos, não há necessidade de haver alta qualidade se comparada com sua utilização na etapa de tingimento de tecidos (MARQUES, 2017; RIBEIRO, 2009).

Considerando a problemática da escassez de água e do potencial de reúso de água na indústria têxtil; o presente trabalho tem por objetivo principal realizar um levantamento bibliográfico sobre trabalhos recentemente publicados (de 2016 a 2021) voltados ao tratamento de efluentes e reúso de água nas indústrias têxteis. E como objetivo específico, identificar as principais técnicas utilizadas para tratamento dos efluentes líquidos proveniente do processamento têxtil.

1. METODOLOGIA

Para o levantamento bibliográfico dos trabalhos publicados sobre o assunto ‘água’, foram utilizadas como ferramenta de pesquisa a plataforma Periódicos CAPES, bem como o site da *Scopus*, *ResearchGate*, *Science Direct* e *Springer*. Os principais descritores utilizados foram: *textile wastewater reuse*; *treatment textile wastewater*; *textile wastewater*; *reúso de efluente têxtil*. Foram encontrados 2817 trabalhos publicados entre 2016 e 2021 com o tema geral: “tratamento de efluente têxtil” pertencentes à área “ciência ambiental”, incluindo artigos científicos e monografias. Apesar do grande número de trabalho encontrados, apenas 119 tinham acesso liberado via CAPES (Gráfico 1). A partir disso, foram selecionados trabalhos que apresentaram as seguintes técnicas de tratamento do efluente têxtil: Coagulação – Floculação; Adsorção; Processos Oxidativos Avançados e Processos de Separação por Membranas. Foram, portanto, selecionados 26 trabalhos, dos quais, 10 estudaram as técnicas de tratamento e remoção de corante e matéria orgânica visando a disposição final do efluente; 11 abordaram reúso da água em um panorama internacional e 5 trabalhos que abordaram o reúso foram realizados em território brasileiro.

Gráfico 1– Quantidade de artigos publicados encontrados no levantamento bibliográfico



Fonte: Autoria Própria.

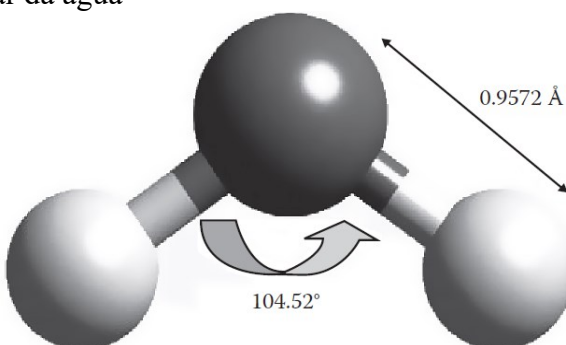
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A água

Estima-se que cerca de 71 % da superfície do planeta Terra está recoberta por água. Apesar de sua grande disponibilidade, cerca de 97,5 % constitui-se de água salgada. Da quantidade disponível de água doce, 68,9 % encontra-se na forma de geleiras e calotas polares; 29,9 % corresponde à água subterrânea; 0,9 % refere-se a outros tipos de reservatórios e apenas 0,3 % da água doce constitui os rios e lagos. Ela também está presente nos seres vivos, que são constituídos de, pelo menos, 50 % da substância. Alguns animais aquáticos chegam a possuir 98 % do corpo formado por água. (ENGER; SMITH, 2006; OLIVEIRA; JUNIOR; SCLHLÜNZEN, 2013; LENZI *et al.*, 2014).

Em termos químicos, a água possui fórmula molecular H_2O , de massa molar 18 g/mol, sendo formada por dois átomos de hidrogênio e um de átomo central de oxigênio (Figura 2). Sua estrutura molecular apresenta ligações sigma O-H cuja distância entre os átomos equivale a 0,9572 Å e o ângulo formado entre os átomos é igual a 104,52°. A molécula apresenta polaridade, pois a diferença de eletronegatividade dos átomos de hidrogênio e oxigênio gera, por meio do deslocamento de cargas, um momento de dipolo elétrico de $6,11 \times 10^{-30}$ C·m (Coulomb-metro) (LENZI *et al.*, 2014; LYNDEN-BELL; *et al.*, 2010; MARÉCHAL, 2007; OLIVEIRA; JUNIOR; SCLHLÜNZEN, 2013).

Figura 2 – Estrutura molecular da água

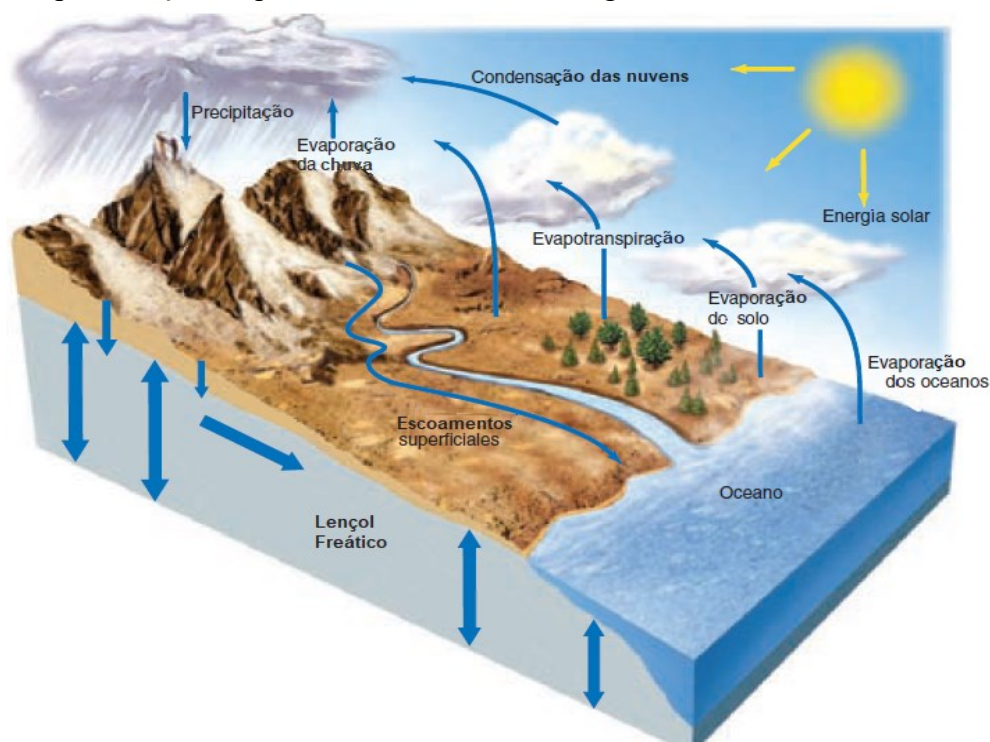


Fonte: (LYNDEN-BELL, *et al.*;2010).

A água está presente na natureza em três estados físicos, sendo eles o sólido, líquido e gasoso. Ela sustenta a vida no planeta como um todo, pois auxilia na regulação do clima por meio

do ciclo hidrológico (Figura 3), se movimentando entre a litosfera, hidrosfera, biosfera e atmosfera. Suas principais formas de movimentação incluem a precipitação, infiltração, percolação e evapotranspiração. A precipitação corresponde à saída do vapor de água da atmosfera em forma líquida como chuva ou sólida como granizo e gelo. A infiltração é o processo de passagem da água da precipitação pelos solos, que é seguida da percolação, quando são formadas as águas subterrâneas e lençóis freáticos. Por fim, a evapotranspiração consiste no retorno da água presente dos corpos hídricos (lagos, rios e oceanos) e dos seres vivos para a atmosfera como vapor de água (ENGER; SMITH, 2006; OLIVEIRA; JUNIOR; SCLHLÜNZEN, 2013; PEPPER; GERBA; BRUSSEAU, 2006).

Figura 3 – Representação Esquemática do Ciclo Hidrológico

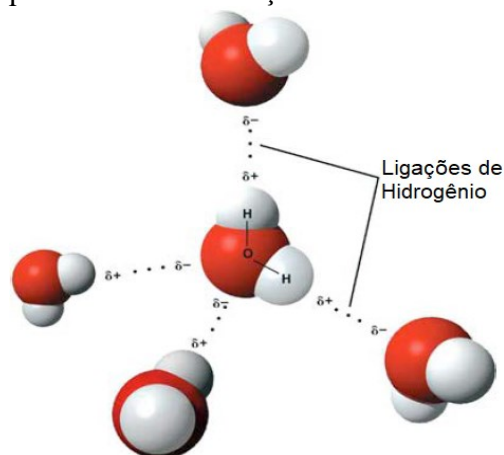


Fonte: ENGER; SMITH, 2006.

Uma característica peculiar da água está na sua diferença de densidade no estado líquido, que é igual a $1,00 \text{ g/cm}^3$, para seu estado sólido, a qual corresponde a $0,9178 \text{ g/cm}^3$. Tal diferença preserva as formas de vida aquática em ecossistemas que apresentam baixas temperaturas, já que, por conta dessa diferença de densidade, a água de lagos e reservatórios tende a congelar apenas em sua camada superficial. (LYNDEN-BELL; *et al.*, 2010; MARÉCHAL, 2007; OLIVEIRA; JUNIOR; SCLHLÜNZEN, 2013; PEPPER; GERBA; BRUSSEAU, 2006). Essa diferença de

densidade acontece por conta das interações do tipo ligação de hidrogênio que são realizadas entre as moléculas (Figura 4). Elas ocorrem aleatoriamente no estado líquido, enquanto que no estado sólido a estrutura é ordenada de forma a haver o máximo de ligações de hidrogênio possível. (OLIVEIRA; JUNIOR; SCLHLÜNZEN, 2013; LYNDEN-BELL; *et al.*, 2010).

Figura 4 – Representação esquemática das interações moleculares do tipo ligação de hidrogênio



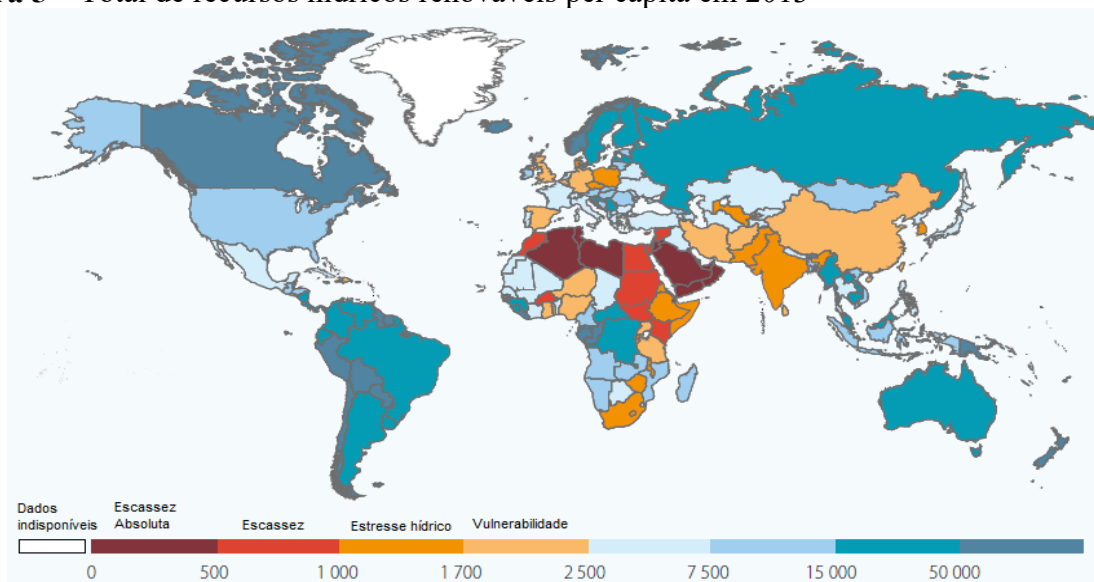
Fonte: OLIVEIRA; JUNIOR; SCLHLÜNZEN, 2013.

3.2 Recursos Hídricos – Cenário Mundial

A disponibilidade hídrica não é homogênea ao redor do globo (Figura 5), devido à diversidade de climas e ecossistemas existentes, bem como no padrão de consumo de cada nação (OLIVEIRA; JUNIOR; SCLHLÜNZEN, 2013). Tem-se o continente africano como um exemplo disso: cerca de 9% da água potável do mundo encontra-se na África, porém apenas 6 países no ocidente e centro do continente detêm 54% dos recursos. Já outros 27 países dividem apenas 7 % da água disponível (UN, 2021). Os principais países que se encontram em estado crítico de vulnerabilidade hídrica (Figura 6) são os que compõem o norte da África. Os países asiáticos (com exceção da Ásia oriental) enfrentam a possibilidade de vulnerabilidade de água, por conta da porcentagem de retirada dos recursos hídricos ultrapassar os 48 % (UN, 2014a). Por outro lado, o continente americano é provido de relativa abundância de água, no entanto, muitos países não possuem uma estruturação institucional adequada para gerenciar seus recursos hídricos. Muitas vezes, tais países carecem de recursos financeiros para fiscalizar a poluição e o uso indiscriminado das águas, falta interesse e/ou informação por parte da população nas questões políticas, os órgãos regulatórios têm pouco espaço de atuação, dentre outros (UN, 2015). Na Arábia Saudita, 85 % da população sofre com a escassez hídrica por conta do seu crescimento populacional ser maior do

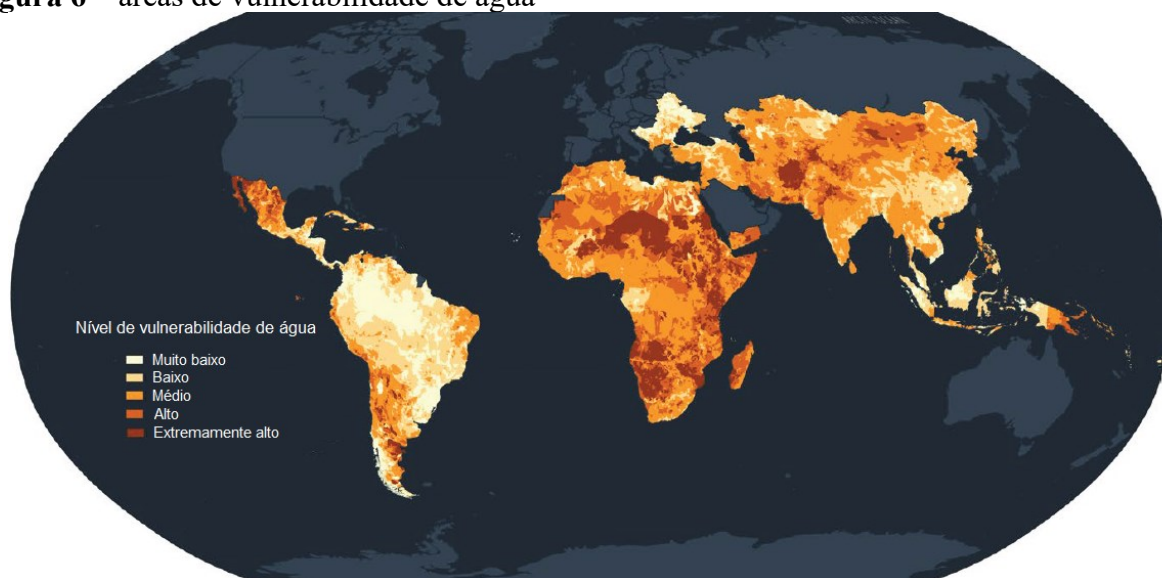
que a disponibilidade de água potável, a qual diminuiu de 921 m³/per capita para 727 m³/per capita de 2002 a 2012 (UN, 2015; UN, 2021). A China, por sua vez, utiliza as fontes subterrâneas de água para irrigação intensiva de tal forma que o nível de seus aquíferos tem baixado significativamente. Além do decréscimo no volume de água, a poluição é outro agravante, uma vez que foi constatado que 97 % das fontes subterrâneas estão poluídas (UN, 2015).

Figura 5 – Total de recursos hídricos renováveis per capita em 2013



Fonte: UN, 2015 (adaptado).

Figura 6 – áreas de vulnerabilidade de água

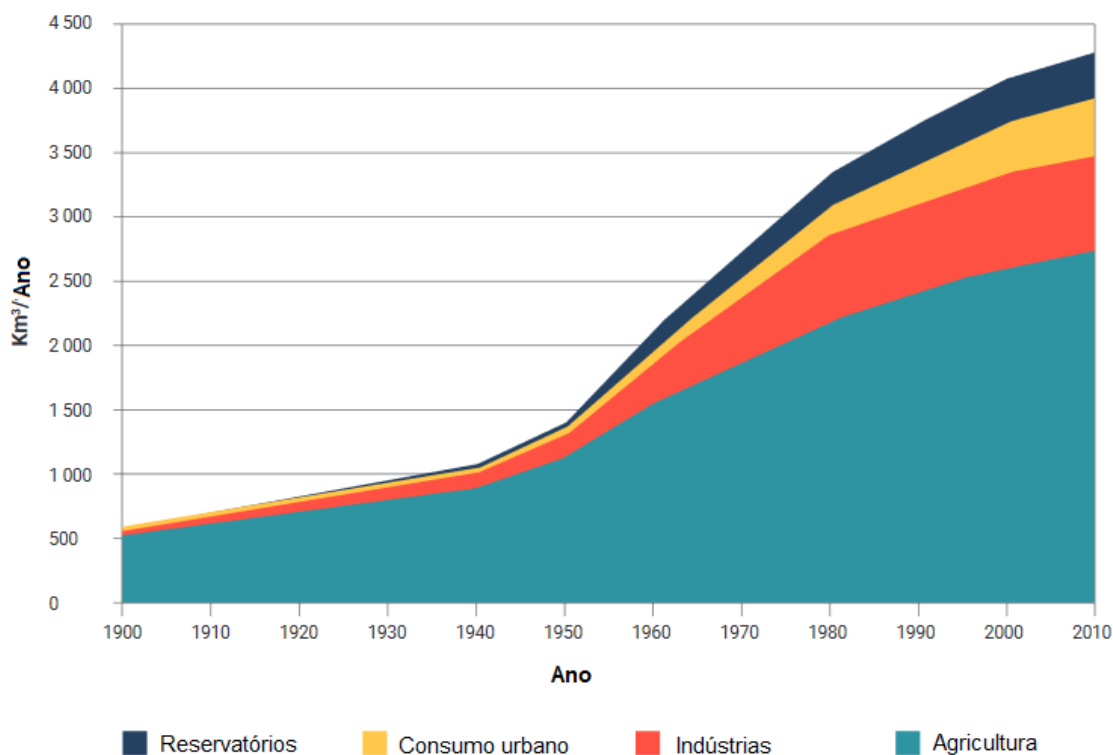


Fonte: UNICEF, 2021 (adaptado)

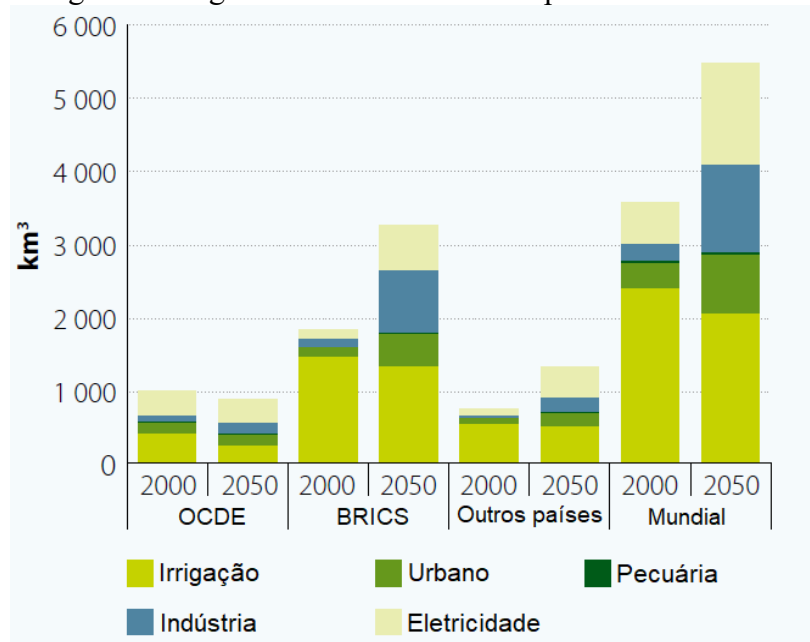
3.2.1 Usos da água

A água é um bem universal utilizado em diversas finalidades que necessitam de diferentes níveis de qualidade. Suas principais utilizações consistem no consumo humano e animal, no saneamento básico, na produção de energia, bem como nas atividades econômicas dos setores agropecuário e industrial (OLIVEIRA; JUNIOR; SCLHLÜNZEN, 2013; UN, 2012). O consumo global da água tem sofrido aumento expressivo, principalmente no período entre a década de 1950 e a de 2010 (Figura 7). Estima-se que, em 2050 (Figura 8), tal consumo irá crescer a uma taxa de 1 % ao ano de forma a ser de 20 % a 30 % acima do atual (UN, 2014b; UN, 2015; UN, 2021).

Figura 7 – Consumo global da água (1900-2010)



Fonte: UN, 2021 (adaptado)

Figura 8 – Demanda global de água em 2000 e estimativa para 2050

Fonte: UN, 2015 (adaptado).

Legenda: OCDE – Organização pra a Cooperação e Desenvolvimento Econômico.

BRICS – Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul.

Somente a agropecuária é responsável por 70 % do consumo global de água, sendo utilizada principalmente na irrigação dos plantios, na dessedentação animal e aquicultura. Diariamente, um ser humano precisa tomar de 2 a 4 litros de água para a manutenção de sua saúde. Em contraste desse valor, são necessários cerca de 2000-5000 litros de água para a produção de alimento diário para a mesma pessoa (UN WATER, 2013). Os principais impactos da agricultura na qualidade da água incluem: escoamento de sedimentos, o qual provoca assoreamento dos leitos de rios; despejo de contaminantes químicos, tais como pesticidas, herbicidas; bem como o escoamento de nutrientes, os quais estão presentes nos fertilizantes e causam eutrofização dos corpos d'água (FAO, 2017; SOUZA, et al., 2014. UN, 2015; UN WATER, 2015). Considerando a pecuária, poluentes como fármacos de uso veterinário e hormônios tem sido motivo de preocupação com a qualidade das águas que circundam as regiões rurais de criação de gado (FAO, 2017). Além disso, tais animais consomem uma quantidade significativa de água, chegando a contabilizar 78 litros diários por um bovino de corte de grande porte e 64 litros diários por uma vaca em lactação (PALHARES, 2013).

Outro setor intensamente dependente da água é o da geração de energia, uma vez que todas as formas de geração dependem diretamente de uma grande quantidade de água. Tem-se o exemplo das hidrelétricas que utilizam a energia cinética provocada pela correnteza das águas para girar a turbina, transformando-a em mecânica e conseqüentemente elétrica. Além disso, tem-se as termelétricas que necessitam da água para funcionar como um trocador de calor de forma que a energia elétrica seja gerada (STUCHI; TACONELLI; LANGHI, 2015). Da produção global de energia elétrica, tem-se que 80% refere-se a termelétricas e 15 % a hidrelétricas, sendo que a água captada para esse fim provém de rios e lagos sendo retornada após o uso. A expectativa é de que todas as formas de obtenção de energia elétrica cresçam amplamente até 2035, com uma ampliação de 77 % nas fontes renováveis, seguido de 66 % da energia nuclear, 48 % da geração por gás natural e 17 % do carvão mineral.

O setor industrial é responsável por cerca de 19 % do consumo de água no mundo. Em 2019, somente a indústria brasileira retirou 202,3 m³/s dos recursos hídricos, sendo 53,73 % consumidos e apenas 46,27 % foram retornados ao meio ambiente (ANA, 2020). Uma questão que tem sido levantada nos últimos anos refere-se à necessidade da melhoria da eficiência produtiva industrial. O equilíbrio entre consumo sustentável e aumento na produtividade tem-se apresentado como um grande desafio para o setor, uma vez que o aumento da eficiência do processo não implica, necessariamente, na redução do consumo de água. O que tem sido buscado, portanto, é a reutilização da água consumida, de forma a minimizar o volume de água captada dos corpos hídricos. Dessa maneira, a indústria pode chegar a um certo nível de autossuficiência. Para que o setor industrial seja mais sustentável, as autoridades responsáveis pela autorização do licenciamento de uso e outorga da água devem agregar valor a este bem, uma vez que se esta custa pouco para uma empresa, dificilmente o empreendedor terá a consciência de que aquele bem é finito e deve ser bem administrado (UN, 2015).

3.3 Recursos Hídricos – Cenário Brasileiro

As principais fontes de captação da água no Brasil são as águas superficiais (cursos d'água, represas e lagos) e as águas subterrâneas (aquíferos confinados - ou artesianos - e não confinados, também denominados freáticos (BRASIL, 2006). Os recursos hídricos brasileiros são divididos em 12 regiões hidrográficas (Figura 9). Segundo a Resolução 32/2003 do Conselho Nacional De

Recursos Hídricos (CNRH), define-se região hidrográfica como um espaço territorial brasileiro que possua uma bacia hidrográfica ou sub-bacias contíguas dotadas de características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou semelhantes. (BRASIL, 2003). O país possui grande disponibilidade hídrica se comparado com os demais, o que se observa, no entanto, é que tal distribuição não se dá de maneira homogênea. A região hidrográfica da Amazônia, por exemplo, possui uma extensão de 6 milhões de km² e disponibilidade hídrica de 73.748 m³/s, o que corresponde a 80 % da água superficial disponível no país. A região do Atlântico Nordeste Oriental, por outro lado, possui a menor disponibilidade hídrica (91 m³/s), devido a fatores geográficos, os quais são caracterizados pelo clima semiárido, vazão dos rios relativamente baixa, além do fato de serem em grande parte intermitentes. A região apresenta 46 % dos corpos hídricos em estado crítico, evidenciando possíveis problemas futuros quanto à demanda e utilização da água (ANA, 2010; ANA, 2015; ANA, 2020).

Figura 9 – As 12 regiões hidrográficas do território brasileiro.

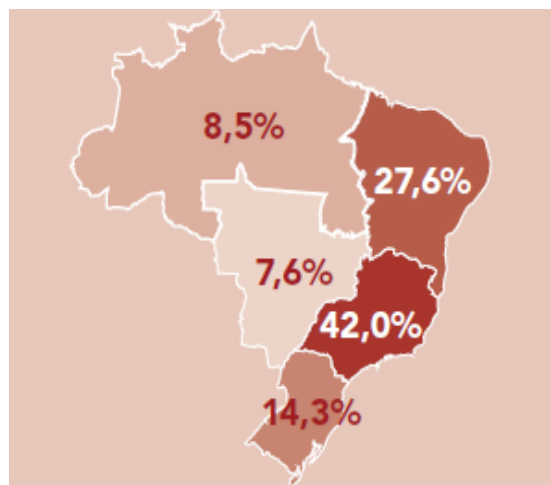


Fonte: BRASIL, 2003.

O consumo crescente destes recursos tem gerado preocupação com uma possível escassez hídrica no país, decorrente do aumento populacional expressivo. Estima-se que a população

brasileira tenha saltado de 198,7 milhões em 2012 para 207,1 milhões em 2017 (IBGE, 2018b). O crescimento se deu de forma descentralizada e as regiões Centro-Oeste e Norte foram as que apresentaram maior crescimento. Diferentemente do esperado para a Região Sudeste, seu crescimento populacional não apresentou diferença significativa no mesmo período. Ainda assim, esta é a região que comporta a maior parcela da população brasileira (Figura 10), correspondendo a 42,0 %, seguido da Região Nordeste que concentra 27,6 % e da região Sul com 14,3%. As regiões Norte e Centro-Oeste são as menos populosas, com 8,5 % e 7,6 %, respectivamente (IBGE, 2018b).

Figura 10 – Distribuição populacional brasileira por região



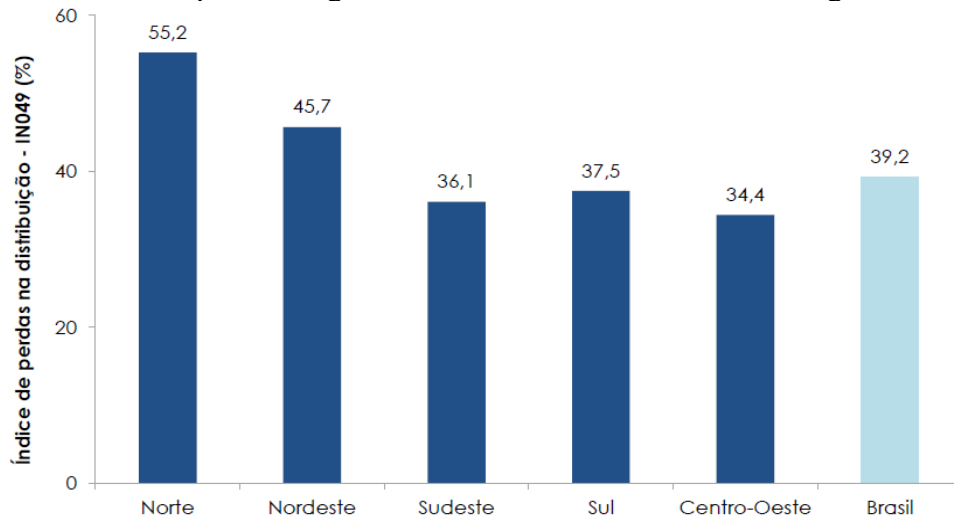
Fonte: IBGE, 2018b.

O aumento populacional influencia diretamente na demanda de fornecimento dos serviços básicos, tais como o abastecimento de água, de energia e fornecimento de saneamento básico adequado. Segundo dados do IBGE, 85,7 % da população brasileira tem acesso ao abastecimento de água; 99,5 % tem acesso à energia elétrica e 66 % tem o esgoto sanitário tratado (IBGE, 2018b).

Segundo o IBGE (2017), o consumo total de água (quantidade captada excluindo a quantidade retornada ao meio ambiente) no Brasil foi de 30,6 bilhões de m³ somente no ano de 2015 e a oferta de abastecimento de água chegou a contemplar 5.544 dos 5.570 municípios. Estudos apontam que a demanda de água no país aumentou cerca de 80% no período de 2003 a 2017 e a projeção é de que, até 2030, a retirada de água ultrapasse 2.500 m³/s (ANA, 2019). Um ponto alarmante a ser levado em consideração é a grande quantidade de água captada para abastecimento humano que é desperdiçada no trajeto, chegando a quase 40% no país em 2019. A região Norte é a que mais ocorre este tipo de problema, chegando ser maior que a média nacional (Figura 11).

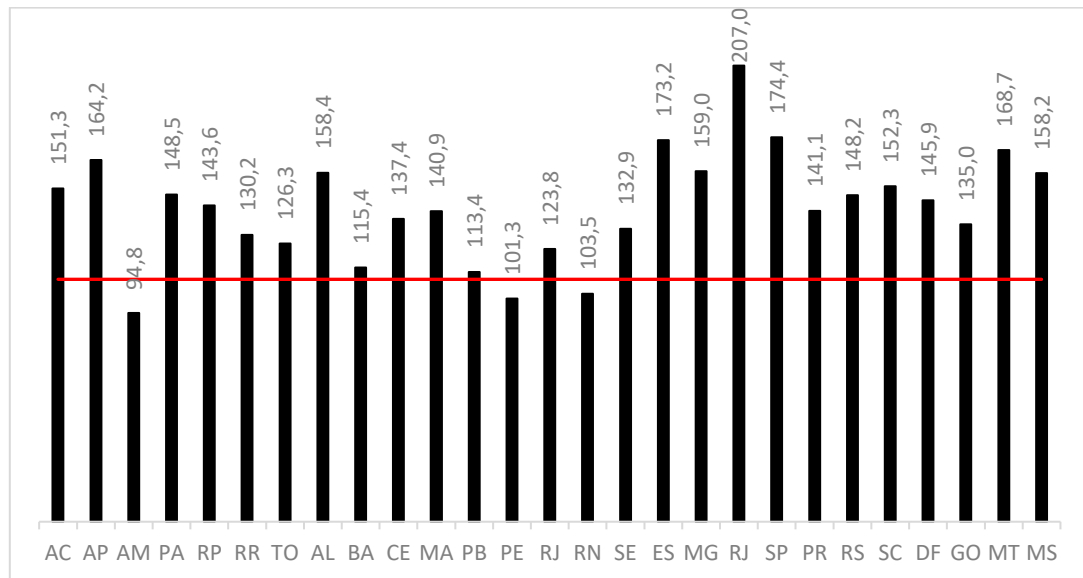
Suas principais causas estão nos vazamentos de tubulações na rede de distribuição; adutoras; reservatórios e conexões, estando associados ao estado de conservação das tubulações, além de pressões causadas por variações topográficas acentuadas. Em 2017 foi registrado um desperdício de 25,8 milhões de metros cúbicos de água durante a captação (IBGE, 2020; SNIRH, 2021; SNS, 2020).

Figura 11 – Índice médio de perda de água em sistemas de abastecimento de água no Brasil



Fonte: SNS, 2020.

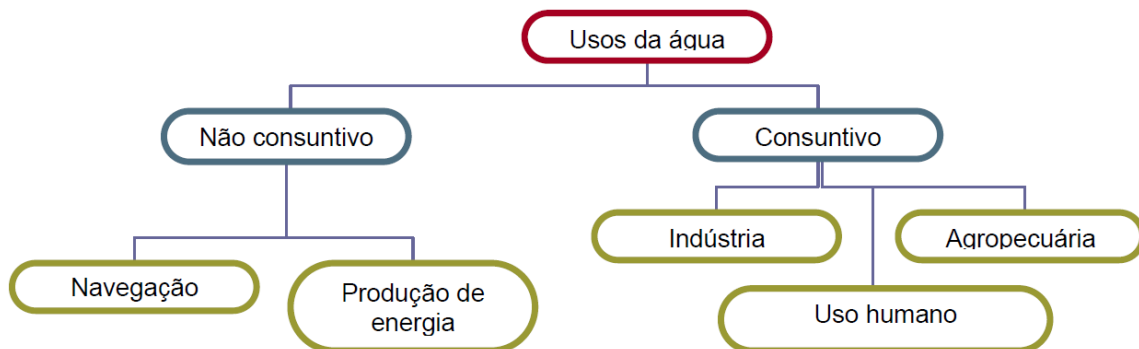
Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) o Sudeste é região brasileira que mais consome água per capita com um consumo de 177,4 L/hab diariamente (SNS, 2020). Dentre os estados, o Rio de Janeiro ocupa o primeiro lugar no ranking, com consumo de 207,0 L/hab·dia, o qual é superior ao próprio valor médio de sua região correspondente (Gráfico 2), bem como superior ao valor médio recomendado pela OMS (Organização Mundial de Saúde), que é de 110 L/hab·dia. Tomando por referência, o valor recomendado pela OMS, somente 3 estados brasileiros encontram-se abaixo deste valor.

Gráfico 2 – Consumo médio *per capita* de água em 2019 (L/hab·dia)

Fonte: SNS, 2020 (adaptado).

3.3.1 Usos da água no Brasil

Á água possui inúmeras finalidades (Figura 12) que vão muito além do consumo humano. Como o Brasil abriga uma extensa rede hidrográfica, dentre seus usos incluem-se atividades como transporte de passageiros e mercadorias.

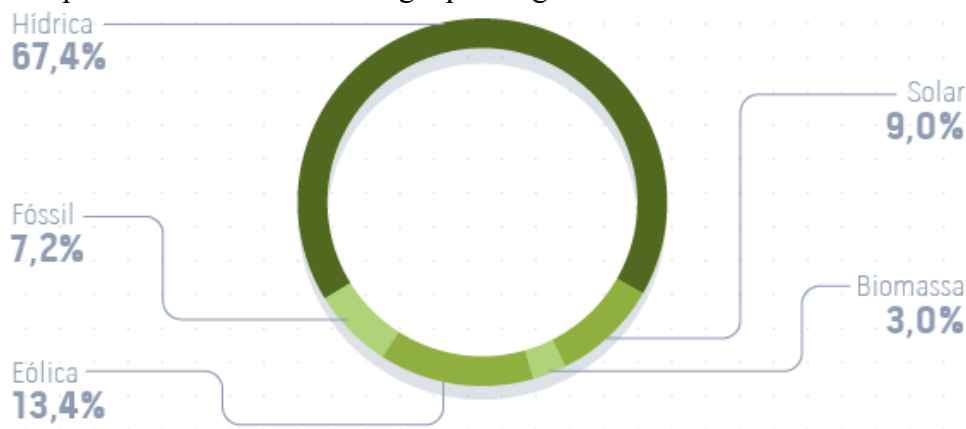
Figura 12 – Usos da água no Brasil

Fonte: ALEMAR, 2006.

A geração de energia por meio das usinas hidrelétricas também é uma forma muito pronunciada do uso da água no país (Figura 13), sendo a principal fonte de energia. Segundo dados de 2019, há 1.362 empreendimentos hidrelétricos em operação no país e foram registrados, em 2020, 3.870 empreendimentos de energia solar e 629 de energia eólica (ANA, 2020). Estima-se

que 99,8 % dos domicílios brasileiros são providos de energia elétrica, sendo que 99,2 % dos atendidos dispõem em tempo integral do serviço (IBGE, 2018b).

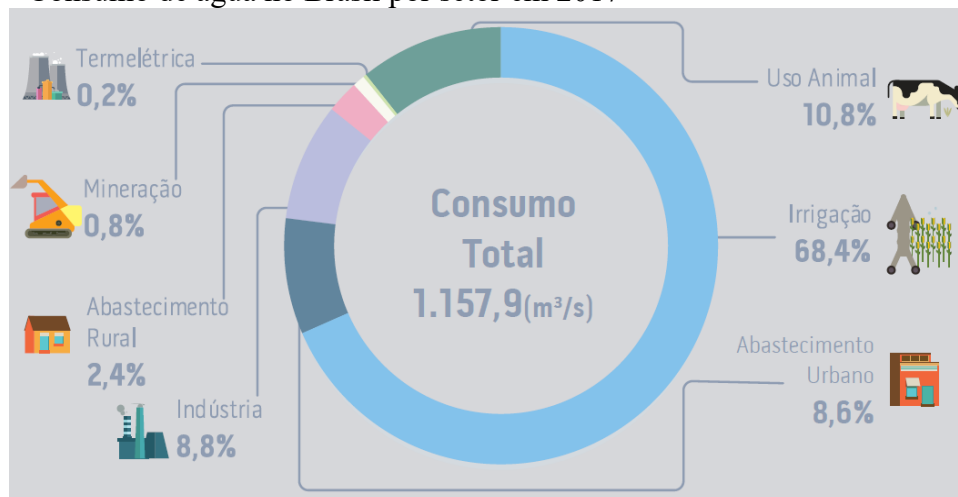
Figura 13 – Capacidade instalada de energia por origem no Brasil em 2019



Fonte: ANA, 2020.

Nas indústrias, a água é utilizada como solvente, matéria-prima, reagente, líquido responsável por resfriar sistemas em aquecimento, bem como líquido primordial em processos de lavagem. Dos 1.157,9 m³/s de água consumidos no Brasil em 2017, a indústria consumiu 101,89 m³/s, ficando atrás apenas do setor agropecuário chega a 917,06 m³/s (Figura 14).

Figura 14 – Consumo de água no Brasil por setor em 2017



Fonte: ANA, 2019.

Já em 2019 (Figura 15), dos 1.125 m³/s de água consumidos, a quantidade referente à irrigação correspondeu a 744 m³/s e à indústria, 109 m³/s (ANA, 2019; ANA, 2020).

Figura 15 – Consumo de água no Brasil por setor em 2019



Fonte: ANA, 2020

3.3.2 Indústria

A indústria tem se revelado de extrema importância na economia brasileira, sendo responsável por 20,4 % do Produto Interno Bruto (PIB) do país. Estima-se que são gerados R\$ 2,43 para cada R\$ 1,00 produzido em bens e produtos (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2021). Uma questão a ser levada em consideração, no entanto, é que o consumo da água aumenta de acordo com a demanda do processo. O setor industrial é o segundo responsável pelo consumo de água no país, ficando atrás do setor agropecuário, o qual utiliza esse recurso, principalmente, para irrigação e abastecimento animal (ANA, 2020).

Uma ferramenta muito útil utilizada para estimar o consumo de água em um país ou processo produtivo é a pegada hídrica. Seu conceito foi apresentado pela primeira vez por Hoekstra em 2002, como um indicador para quantificar o volume de água consumida ao longo de uma cadeia de produção. Nele são considerados tanto o uso direto quanto indireto da água durante a produção e o consumo de bens e serviços. Dessa maneira, é possível reverter o uso indiscriminado da água, por meio de seu gerenciamento e rastreamento de maneira ecologicamente responsável. A pegada hídrica é composta por três componentes denominados como águas: azul, verde e cinza. A água azul refere-se ao consumo da água subterrânea e superficial. A água verde provém das precipitações, sendo armazenada temporariamente sob o solo. Já a água cinza faz menção ao volume de água necessário para assimilar os poluentes provenientes do processo produtivo. O

cálculo o qual estima a pegada hídrica de um processo industrial envolve os três componentes multiplicados por um quarto conceito: a água virtual. Ela consiste no uso da água em toda a cadeia de produção e comercialização do bem ou serviço, indo muito além do produto em si. Ao realizar o cálculo do consumo de água de alguns produtos (Tabela 1), seus resultados podem fazer a população mais consciente do consumo de água, principalmente na indústria têxtil. Dessa forma, é estabelecido um passo inicial para o consumo responsável (HOEKSTRA, *et al.*, 2011; KLITZKE, 2019; MARTINS, 2014; UN, 2015; VIANA, *et al.*, 2018).

Tabela 1 – Comparação da pegada hídrica de alguns produtos

Produto	Consumo de água (litros)
125 mL vinho (1 taça)	109
125 mL de café (1 xícara)	123
1 kg alface	237
1 camisa de algodão	2.495
1 calça jeans	7.000

Fonte: FERREIRA, 2018; ROSSI, 2019.

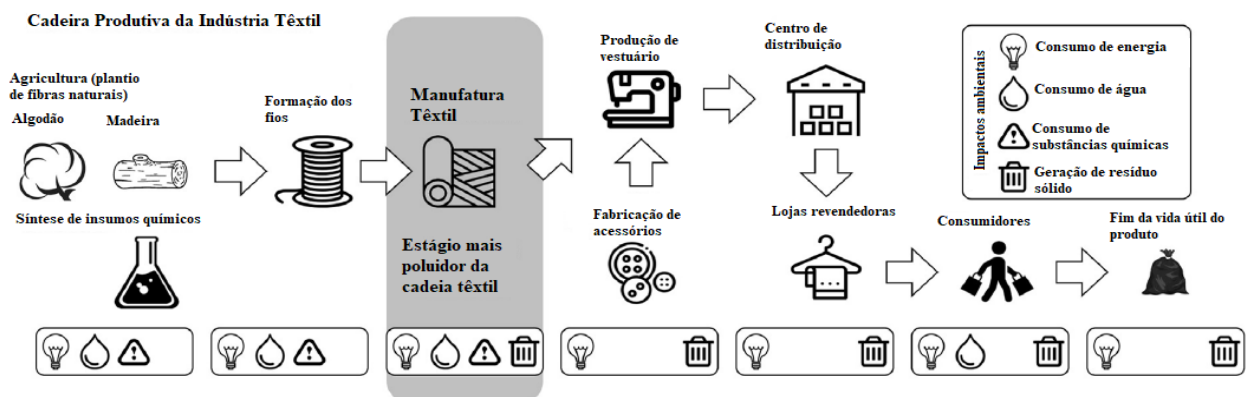
Somente o processo de tingimento das peças pode chegar a consumir mais de 100 L de água por quilograma de material processado, sendo que 80 % desse resíduo gerado é disposto nos corpos hídricos (VAJNHANDL; VALH, 2014). Com relação aos corantes produzidos mundialmente, estima-se o montante de 800.000 toneladas e que uma parcela de 15 % é descartada juntamente com os efluentes líquidos (AMENGOL, 2017). As lavanderias têxteis, com ênfase nas de tecidos jeans, processam cerca de 100 mil peças por ano, podendo ser gerado 120 toneladas de lodo têxtil com 95 % de umidade (SOUTO, 2017). O consumo diário de água pode chegar a 400 mil litros para uma média de produção de 8 toneladas de tecido (KANT, 2012). Estima-se que são utilizados cerca de 7.000 litros de água para se produzir apenas uma peça de vestuário jeans (ROSSI, 2019). A perda de água no processo industrial também se apresenta como um desafio, já que pode chegar a 10,6 % da demanda de consumo (VIANA, *et al.*, 2018).

Os problemas ambientais envolvidos na atividade industrial não estão apenas na captação e consumo do recurso hídrico, mas também em seu retorno ao meio ambiente com qualidade inadequada, por conta da poluição. A indústria têxtil, por exemplo, é uma das que mais contaminam o meio ambiente, por conta da alta carga orgânica gerada no efluente. Estima-se que sejam poluídos 1,5 bilhões de litros de água decorrente da cadeia produtiva têxtil (NETO, *et al.*, 2021). É

importante destacar que não apenas água é consumida, mas também há consumo de energia, de substâncias químicas, bem como a geração de resíduos sólidos.

Para entender melhor as características dos efluentes gerados pela indústria têxtil, é importante entender como se dá todo seu processo produtivo (Figura 16), o qual consiste em três etapas principais: a fiação, a tecelagem e o beneficiamento. Na etapa de fiação, as fibras são transformadas em fios, as quais podem ser naturais, sintéticas ou artificiais. O processo para as fibras naturais é denominado paralelização, no qual ocorre a fricção dos fios por meio do movimento de entorse. Já as fibras sintéticas e artificiais recebem tratamento químico sob a aplicação de determinada pressão (ROSSI, 2019). A segunda etapa corresponde à tecelagem, na qual ocorre a formação das fibras em peças de tecido ou em malha. Já a etapa de beneficiamento consiste na transformação do tecido na peça de vestuário. Esta se apresenta como a mais complexa do processo produtivo, além de ser a mais poluidora, uma vez que são consumidas grandes quantidades de água e insumos químicos nas diversas etapas, as quais envolvem a lavagem, tingimento, estamparia, alvejamento, amaciamento, dentre outros. (ALMEIDA, 2018; AVELAR, 2012). O consumo de água, por exemplo, no tingimento de tecidos 100 % algodão pode chegar a 120 L por quilo de tecido produzido (Tabela 2).

Figura 16 – Impactos ambientais recorrentes da cadeia produtiva têxtil



Fonte: NETO, *et al*, 2021 (adaptado)

Tabela 2 – Consumo de água médio no tingimento de tecidos

Tecido	Consumo médio (L/kg produzido)
Fios acrílico e nylon	130
Fios de acrílicos, nylon e algodão	180
Malha de algodão	120
Malha de algodão e poliéster	110
Tecido plano	110
Tecido plano de seda e viscose	100

Fonte: ALMEIDA, 2018

Os efluentes têxteis são constituídos por corantes que não se aderiram à fibra durante a etapa de tingimento. Eles possuem alta carga orgânica dissolvida e são responsáveis pela alteração da cor, odor, sabor, turbidez e Oxigênio Dissolvido (OD) nos corpos d'água, se descartados sem tratamento adequado (STARLING, 2016). Os corantes podem ser classificados quanto ao seu tipo de fixação à fibra têxtil, e/ou quanto por sua estrutura química. No primeiro caso, tem-se os corantes: reativos, diretos, dispersos, ácidos, de enxofre, básicos. Já a segunda classificação aborda os corantes do tipo azo, antraquinona, índigo, nitro, nitroso, dentre outros (SOUZA; PROCÓPIO, 2019; YAGUB, 2014). Os constituintes químicos dos corantes causam severos impactos ambientais, dentre eles a poluição visual, a contaminação dos lençóis freáticos e interferência no ciclo hidrológico (CAVALCANTI, *et al*, 2014), por meio da alteração do pH e da temperatura dos corpos hídricos; redução da penetração de luz solar no corpo d'água, prejudicando a realização de fotossíntese por plantas aquáticas; aumento da Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e ecotoxicidade. Os seres humanos podem ter a saúde afetada, uma vez que muitos dos compostos são carcinogênicos, tóxicos, desreguladores endócrinos e mutagênicos (SOUZA, *et al*, 2016).

Além dos corantes, o efluente têxtil é constituído por: dispersantes, ácidos, solventes, surfactantes, álcalis, detergentes, umectantes, oxidantes e sais como cloreto de sódio e o sulfato de sódio, utilizados no aumento da eficiência da etapa de tingimento (CINPERI, *et al.*, 2019; HILDEBRAND, 2010; SOUZA; PROCÓPIO, 2018). Tais componentes são de difícil degradação por meios biológicos, uma vez que apresentam altos valores de potencial hidrogeniônico (pH), DQO e Carbono Orgânico Total (COT), além de alta DBO (BILIŃSKA, *et al*, 2019; GILPAVAS; DOBROSZ-GOMEZ; GOMES-GARCÍA, 2017). Além disso, metais (Quadro 1) podem ser

encontrados, tais como cádmio, níquel, mercúrio e cromo (FIEMG; FEAM, 2014; SAKAMOTO, *et al.*, 2019).

Quadro 1 – Metais encontrados em corantes/pigmentos têxteis

Metal	Corante / Pigmento
Cobalto	Azul Ingrain 5
	Azul Vat 29
Níquel	Azul Ingrain 14
Cobre	Azul ácido 249
	Azul direto 86; 87
	Azul Ingrain 1; 13
	Verde Ingrain 3
	Azul Pigmento 15; 17
	Azul reativo 7
	Verde Pigmento 7; 37

Fonte: FIEMG; FEAM, 2014.

3.4 Tratamentos de efluentes industriais

O tratamento de efluentes possui diferentes níveis de acordo com o tipo de poluente a ser removido e seu mecanismo de remoção, sendo classificados como preliminar, primário, secundário e terciário. É importante destacar que a ordem dos níveis de tratamento pode variar de acordo com a necessidade da remoção dos poluentes em um efluente específico. O tratamento preliminar visa a remoção de sólidos grosseiros, de areia e gordura presentes no efluente, por meio de mecanismos físicos de separação, tais como: gradeamento, desarenamento e sedimentação. O tratamento primário consiste na remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica por meio da técnica de flotação seguida de sedimentação, além do emprego de caixas de gordura e da secagem do lodo ao final do tratamento do efluente (BRAGA, *et al.*, 2005; SCOTTÁ, 2015; VON SPERLING, 1996). O tratamento secundário remove a carga orgânica biodegradável e parte dos nutrientes por meio de degradação biológica. Neste processo são utilizadas diversas técnicas, tais como: lagoas de estabilização, filtros biológicos e lodos ativados (CARTA, 2019; BRAGA, *et al.*, 2005; OLIVEIRA, 2006; SABESP, 2009; SCOTTÁ, 2015; VON SPERLING, 1996).

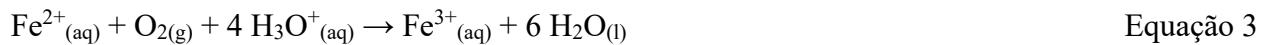
Até o ano de 2020, o Brasil possuía 3.668 Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) localizados em 2.007 municípios, que adotam os tratamentos preliminar, primário, secundário e terciário na despoluição dos efluentes (ANA, 2020). Apesar de haver ser abordado o tratamento terciário, a principal utilizada consiste na desinfecção, principalmente pela cloração. Há a remoção dos microrganismos presentes no efluente, no entanto, não são removidos os poluentes gerados nas indústrias têxteis, uma vez que não são biodegradáveis (SAKAMOTO, *et al.*, 2019). O tratamento terciário é o mais adequado para estes tipos de poluentes, pois são adotados procedimentos físicos ou por reações químicas capazes de remover as cadeias carbônicas complexas do efluente. As principais técnicas utilizadas são: coagulação/floculação, adsorção, Processos Oxidativos Avançados e Processos de Separação por Membranas (GILPAVAS; DOBROSZ-GOMEZ; GOMES-GARCÍA, 2018; LEBRON, *et al.*, 2021; OLIVEIRA, 2006; SCOTTÁ, 2015).

3.4.1 Coagulação – Floculação

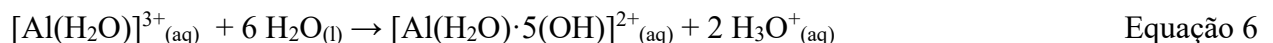
A coagulação seguida de floculação é um dos processos físico-químicos de remoção de substâncias não biodegradáveis mais utilizados, uma vez que apresenta alta eficiência na remoção dos poluentes, possui baixo tempo requerido para que a reação ocorra, além do fato de possuir simples aplicação (GILPAVAS; DOBROSZ-GOMEZ; GOMES-GARCÍA, 2017). A técnica tem como princípio a estabilização eletrostática das micelas iônicas (comumente negativas) do poluente que se encontra em estado coloidal e ocorre em três fases: coagulação, floculação e sedimentação. São utilizados íons inorgânicos de Fe(II)/Fe(III) e Al(III), os quais reagem com as cargas negativas dos poluentes e formam micelas neutras (coagulação) que se aglomeram em partículas de tamanhos maiores (floculação) e, em seguida se decantam. Visando a otimização do processo, é aplicado um alto valor de rotação na coagulação, o que possibilita uma distribuição efetiva do coagulante com o poluente. Na fase da floculação, a agitação aplicada é lenta, pois assim quando as partículas de impurezas se chocam entre si, conseguem se agrupar formando os flocos. São adicionados floculantes, como por exemplo o Ca(OH)_2 , que auxiliem na agregação e consequente sedimentação dos flocos (COLLIVIGNARELLI, *et al.*, 2019; FLECK, 2011; SOUZA; PROCÓPIO, 2019).

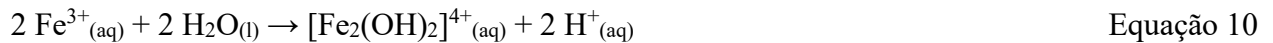
Dentre os coagulantes disponíveis, os sais de alumínio, tais como $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, são os mais utilizados, devido a seu baixo custo e fácil disponibilidade. Além disso, possuem eficiência de

remoção de 50-60 % do COT e até 90-100 % dos sólidos em suspensão, conseqüentemente, a coloração do efluente têxtil. O sal se dissocia na presença de água, liberando o cátion Al(III), o qual reage com os sólidos em suspensão (Equação 2). Os sais de ferro ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e FeCl_3) também são amplamente utilizados como coagulantes, sendo que o primeiro tem seu número de oxidação (NOx) oxidado a Fe (III) na presença de oxigênio (Equação 3) e o segundo se dissocia em água (Equação 4), liberando o cátion para reagir com o poluente (GILPAVAS; DOBROSZ-GOMEZ; GOMES-GARCÍA, 2017; SOUZA; PROCÓPIO, 2019).



Dentre as vantagens do método, destacam-se a facilidade de adquirir os reagentes químicos com custo acessível e a simplicidade da operacionalidade do sistema. Apesar disso, é formada uma grande quantidade de lodo após a sedimentação constituído de $\text{Al}(\text{OH})_3$ e/ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$ e devem ser controlados criteriosamente parâmetros como pH e temperatura para que não haja perda na eficiência de tratamento. O ponto isoelétrico do $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (ponto no qual ocorre a máxima eficiência na coagulação) está compreendida na faixa de pH entre 6,8 e 7,5. Já no caso dos sais de ferro, a eficiência máxima ocorre na faixa de pH: 5,5 a 8,8. Se o pH fica abaixo do ponto isoelétrico (PI), diferentes tipos de complexos são formados (equações 5 a 10), os quais diminuem a eficiência do tratamento. Além disso, algumas substâncias não são removidas adequadamente, tais como surfactantes e substâncias orgânicas solúveis (BAPTISTELLA, 2018; COLLIVIGNARELLI, *et al*, 2019; GILPAVAS; DOBROSZ-GOMEZ; GOMES-GARCÍA, 2017; SOUZA; PROCÓPIO, 2019).





Um estudo realizado por Souza e Procópio (2019) avaliou a eficiência de remoção de cor de um efluente têxtil sintético utilizando diferentes concentrações de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4 e FeCl_3 como coagulantes e $\text{Ca}(\text{OH})_2$ como floculante. O efluente sintético foi formulado com 50 mg/L do corante marinho poliflix®; 50 mg/L do corante vermelho poliflix® e 10 mg/L de do sal Na_2SO_4 . Ao serem realizados testes estatísticos de Análise de Variância (ANOVA), os resultados indicaram que a dosagem ideal para o tratamento com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ foi de 500 mg/L de coagulante e 300 mg/L do floculante em $\text{pH}=7$, apresentando eficiência de remoção de 42,02%. Já no tratamento com FeCl_3 , apresentou dosagem ideal de 600 mg/L para o coagulante e 220 mg/L do floculante sob $\text{pH}=7$, apresentando eficiência de remoção de cor igual a 71,18%. A melhor opção de tratamento foi utilizando FeCl_3 como coagulante, o qual apresentou 81,47% de eficiência na remoção de cor. Sua dosagem ideal foi 600 mg/L de coagulante para 280 mg/L de floculante sob $\text{pH} = 6$.

Além da coagulação convencional, uma variação da técnica que tem sido estudada é a eletrocoagulação (EC). Ela visa a dissolução eletroquímica de um metal de sacrifício (anodo), geralmente de ferro ou alumínio (Equações 11 e 12). A água apresenta-se como catodo do sistema e é decomposta em íons hidroxila e libera gás hidrogênio (Equação 13). Uma quantidade do sal do metal deve ser adicionada ao sistema para garantir uma resistência eletrolítica no sistema (BILIŃSKA, *et al*, 2019; FLECK, 2011).



Tasneem e colaboradores (2021) conduziram um estudo no qual foram aplicados os processos de coagulação-floculação (C-F), Fenton e fitorremediação no tratamento de efluentes têxteis. Foi obtido redução de 86,56% da DQO e 97,81% de COT pelo tratamento com C-F e 63,99% de DQO e 63,9% de COT pelo processo Fenton. Além disso, em ambos os processos houve reduções significativas de condutividade, pH e sólidos suspensos totais. No entanto, a eficiência da

remoção de DBO em ambos os processos foi insatisfatória (50%). Apesar disso, ambos foram considerados vantajosos de serem utilizados, por conta do custo-benefício e facilidade de operação. Considerando a remoção de metais, tais como cromo, chumbo, magnésio, cobre, níquel e zinco, o tratamento combinado de C-F seguido de fitorremediação apresentou remoções entre 24% – 76%, enquanto que o tratamento com Fenton seguido de fitorremediação apresentou eficiência entre 17% – 76% na remoção de metais traço. Tais resultados foram considerados promissores para o tratamento de efluentes têxteis industriais.

Souza e colaboradores (2016) avaliaram a eficiência de tratamento de um efluente proveniente de uma lavanderia têxtil localizada em Campo Mourão (Paraná). Foram utilizados três coagulantes distintos (tanino, policloreto de alumínio e sulfato de alumínio) no tratamento de coagulação/ floculação e na EC foi aplicado um eletrodo de alumínio com densidade de corrente de $1,51\text{mA/m}^2$. Foi definido que o melhor tratamento foi o de coagulação/floculação com o coagulante policloreto de alumínio na dosagem de $0,2\text{ mL/L}$, sendo que este alcançou eficiência de remoção igual a 70%, 80%, 77% e 77% para DQO, cor aparente, cor e turbidez, respectivamente. Todos os parâmetros ficaram dentro dos limites de lançamento preconizados pela resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 430/2011 (BRASIL, 2011). O tratamento por EC não se apresentou viável, pois a concentração de alumínio no efluente tratado e no lodo gerado foi muito maior do que a do efluente bruto, sendo que foram determinados $58,60\text{ mg/L}$ no lodo e $42,93\text{ mg/L}$ no tratado, enquanto no efluente bruto havia uma concentração de $17,95\text{ mg/L}$ de alumínio.

3.4.2 Adsorção

A técnica de adsorção é amplamente utilizada no tratamento de diversos tipos de efluentes, principalmente na remoção de corantes em efluentes industriais têxteis. Seu fundamento consiste em uma operação unitária de transferência de massa, na qual o poluente (geralmente sólido ou gasoso) é transferido do meio líquido (efluente) para o adsorvente (meio sólido). O processo ocorre em três etapas principais, a saber: transporte do contaminante (definido como adsorvato) para a superfície externa do adsorvente; difusão do adsorvato no poro e sua consequente difusão por toda a superfície do adsorvente (CHAI, *et al*, 2021; NASCIMENTO, 2014). A adsorção pode se dar por meios físicos ou químicos. Quando é estabelecida a fisissorção, são estabelecidas forças de

interações de Van der Waals sobre toda a superfície do adsorvente, podendo ser revertida. Já no caso da quimissorção, são envolvidas ligações químicas entre as partículas a nível molecular nos sítios ativos, sendo geralmente irreversíveis (NASCIMENTO, 2014). Os principais fatores que influenciam na eficiência da técnica são: temperatura, pH, força iônica, tamanho das partículas e área superficial do adsorvente, além da presença de outras espécies em solução (SATURNINO, 2020; SOUZA; PROCÓPIO, 2019). Dentre suas vantagens, pode-se citar: alta eficiência, cinética de reação rápida, além de aplicabilidade para tratamento de diversos tipos de poluentes, tais como pesticidas, metais, compostos orgânicos dissolvidos e corantes têxteis (PATIL, *et al*, 2020). Por outro lado, o processo como um todo pode ser considerado caro, uma vez que a etapa de regeneração e a obtenção de adsorventes como o carvão ativado geram alto custo (CHAI, *et al*, 2021).

Para que um material seja considerado um bom adsorvente, ele precisa apresentar alta porosidade e alta área superficial. Os principais adsorventes utilizados são minerais argilosos, biomassa, polímeros sintéticos, compósitos e carvão ativado, sendo este último o mais utilizado. Ele, no entanto, possui custo elevado e difícil recuperação, já que parte do material é inevitavelmente inativado, dificultando sua reutilização. Além disso, o processo de ativação do carvão requer altas temperaturas. (PATIL, *et al*, 2020). A otimização do uso do adsorvente está intimamente ligada à determinação do equilíbrio de adsorção. Para isso, uma isoterma é estabelecida, em que é avaliada a variação da concentração do adsorvato no equilíbrio em relação a capacidade de adsorção, frente uma quantidade fixa de adsorvente e volume fixo do sistema (Figura 17). A quantidade de adsorção q_t (mg/g) é determinada de acordo com a Equação 14. As principais equações utilizadas para estudar as isotermas de resultados empíricos são: Langmuir, Freundlich, Redlich-Peterson, Temkin e Dubinin–Radushkevich, (NASCIMENTO, 2014; YAGUB, 2014).

$$q_t = (C_o - C_t) \cdot (V / m) \quad \text{Equação 14}$$

onde:

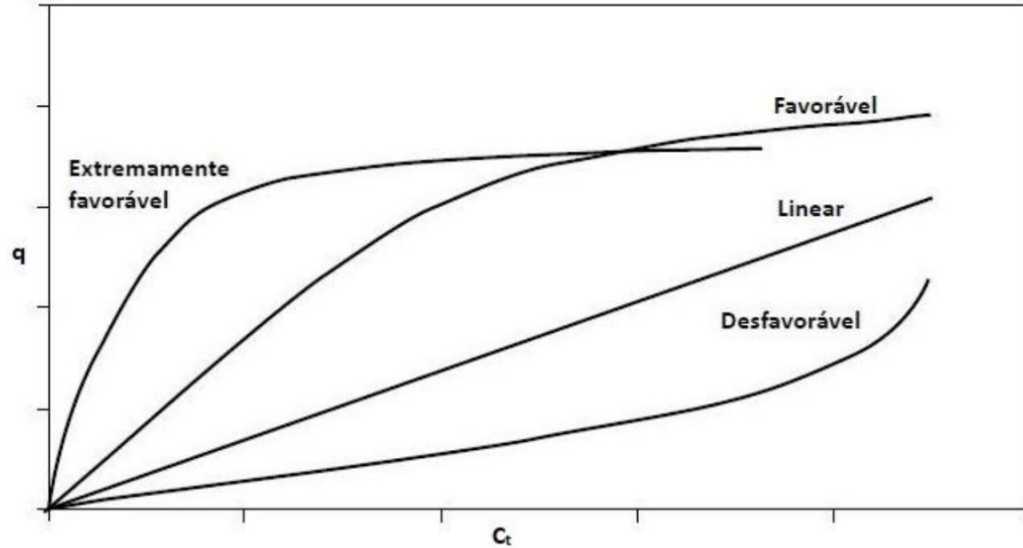
V = volume da solução (mL)

m = massa do adsorvente seco utilizado (mg)

C_o = concentração inicial do adsorvato (mg/L)

C_t = concentração do adsorvato no equilíbrio (mg/L)

Figura 17 – Representação esquemática das possíveis isotermas de adsorção



Fonte: NASCIMENTO, 2014.

O trabalho realizado por Pereira e colaboradores (2018) avaliou a cinética de adsorção do corante azul ácido 324 por meio da ação da cianobactéria *Spirulina Maxima*. A quantidade de adsorção máxima obtida foi de 313,29 mg/g em 84 minutos de tratamento. A eficiência máxima na remoção da cor foi de 83,19%, considerado promissor por ser semelhante a outros sorbatos.

Freire e colaboradores (2018) avaliaram a eficiência de tratamento de efluentes têxteis a partir da adsorção por compósitos de quitosana (polissacarídeo nitrogenado produzido pela desacetilação da quitina, a qual constitui-se no exoesqueleto dos artrópodes). O efluente foi obtido do processo de tingimento do tecido de Lycra com o corante azul Telon BRL. Foram analisadas as eficiências de tratamento utilizando esferas compostas por quitosana na presença de poliamida e quitosana em forma reticulada e na presença de carvão. Houve a variação entre a adição de Tripolifosfato de sódio (TTP) 1% e de NaOH entre os compósitos estudados. Os resultados mais satisfatórios referem-se aos que utilizaram as duas primeiras formas de esferas compostas por quitosana com adição de poliamida e reticuladas com TPP a 1%. Apesar das melhores eficiências terem sido alcançadas a 40°C (remoção de 82,8% de cor), constatou-se pouca diferença em relação aos tratamentos realizados a 25°C, o qual apresentou 81,3% da remoção de cor. Foram sugeridas possíveis reutilizações tanto do efluente, quanto dos pedaços de tecido de poliamida não utilizado

no processo, bem como o aproveitamento da carapaça de crustáceos para produzir um adsorvente alternativo de custo inferior ao carvão ativado.

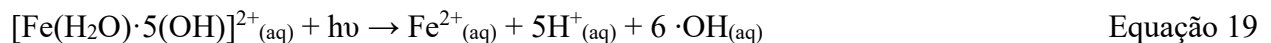
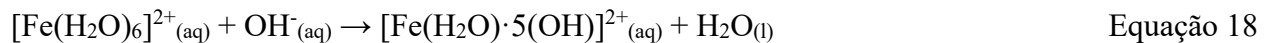
Patil e colaboradores (2020) desenvolveram um adsorvente sustentável composto por um compósito de fibras de carbono e areia do mar, o qual foi utilizado para a remoção do corante azul de metileno e do efluente têxtil. Os parâmetros analisados foram o pH, a dosagem de adsorvente, a concentração inicial do corante, bem como o tempo de contato. As condições ótimas definidas foram: pH = 2; 0,050 g de adsorvente; concentração inicial do corante a 10 mg/L e temperatura a $T = 298,15 \pm 2$ K e tempo de contato de 60 minutos, com capacidade máxima de adsorção a 71,67 mg/g. O estudo da regeneração do adsorvente revelou que este pode ser reutilizado por dez ciclos, apresentando remoção do corante em 88,71% para o primeiro ciclo e 71,74% para o décimo. Quatro amostras de efluentes industriais com características distintas foram tratadas com as condições ótimas definidas e apresentaram eficiências de remoção de cor a 73,86, 69,43, 52,06 e 78,29%.

3.4.3 Processos Oxidativos Avançados

Os POAs (Processos Oxidativos Avançados) têm sido muito utilizados na remoção de materiais não biodegradáveis, pois envolvem reações radicalares com consequente oxidação e mineralização dos poluentes. São formados radicais hidroxil ($\cdot\text{OH}$) altamente reativos a partir do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) que reagem em sítios ativos da cadeia carbônica, degradando-as em moléculas de CO_2 . O mecanismo de reação é constituído de diversas etapas, muitas delas ainda não elucidadas completamente, pois, uma vez formado o radical hidroxil, as reações podem se alterar de acordo com o meio reacional, a cadeia carbônica a ser degradada e o tipo de catalisador utilizado. Para aumentar a efetividade da degradação, são utilizados catalisadores juntamente com o H_2O_2 , tais como sais de ferro, manganês e dióxido de titânio; radiação ultravioleta (UV); ozônio, dentre outros (BILÍNSKA, *et al*, 2019; FERNANDES, 2010; SCOTTÁ, 2015). Existe, também, uma técnica aplicada em ETEs, conhecida como lagoa de maturação, onde são removidos os nutrientes e patógenos por meio do aumento da faixa de pH, aplicação de radiação UV durante um tempo de detenção hidráulica de 7 dias (CAMMAROTA, 2011; CARTA, 2019).

Tomando como exemplo o processo Fenton, o qual adiciona-se um sal de ferro (II) como catalisador na presença do peróxido de hidrogênio, observa-se a formação do radical hidroxil, o

qual posteriormente ataca a cadeia carbônica. (Equações 15 e 16). Quando é adicionado sal de Fe(III), como o cloreto férrico (FeCl_3), é formado um complexo estável de $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})\cdot 5(\text{OH})]^{2+}$ quando o sistema tem pH próximo a 3. Quando a solução entra em contato com a radiação solar, o ferro é reduzido a Fe(II) e são gerados radicais hidroxil (Equações 17 a 19) (GILPAVAS; DOBROSZ-GOMEZ; GOMES-GARCÍA, 2017). Equações paralelas de finalização do ciclo radical podem ocorrer se um radical entrar em contato com os íons de Fe(II) e Fe(III) (Equações 20 e 21) (LEBRON, *et al*, 2021; RIBEIRO, *et al*, 2017; SOUZA, 2018; WADA, 2017).



Um estudo abordando a eficiência dos POAs na descoloração de corantes reativos foi realizado por Bilińska e colaboradores (2017). Os corantes estudados foram o amarelo reativo, vermelho reativo e azul reativo. As técnicas empregadas foram: ozonização isoladamente (O_3); ozonização unido ao uso de peróxido de hidrogênio ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$); ozonização somado à radiação ultravioleta (O_3/UV), além da aplicação de peróxido de hidrogênio juntamente com aplicação de radiação ultravioleta ($\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$). A maior eficiência de remoção dos corantes amarelo e vermelho foi alcançada na técnica empregando O_3 (87,5% e 90,7%, respectivamente). As demais técnicas não apresentaram eficiência de remoção satisfatória para os corantes citados, com exceção do azul reativo, que apresentou eficiências de remoção entre 89,6% a 99,4%. Isto pode ser explicado pelo fato de o mecanismo de oxidação depender da estrutura do corante, sendo específico para cada grupo. Além disso, foi observado que o aumento da concentração do H_2O_2 no sistema é inversamente proporcional à degradação das substâncias, uma vez que reações paralelas ocorrem

entre o próprio peróxido com os íons hidroxila, o que diminui sua presença no sistema (equações 22 e 23).



Quanto à desmineralização dos corantes, foi observado que a maior eficiência de remoção da DQO se deu com a técnica de $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ (0,005 mol/L e 0,01 mol/L, respectivamente). Apesar disso, a maior remoção de COT foi observada na ozonização, a qual também apresentou remoções satisfatórias de DQO. Já no tratamento do efluente têxtil (composto pela mistura dos corantes), diversos subprodutos foram gerados nos tratamentos. Foi observado que, apesar do efeito de eliminação do $\cdot\text{OH}$ possa ocorrer nos processos de $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ e $\text{O}_3/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$, a desmineralização do efluente foi maior nestes casos do que aplicando apenas ozonização, com a remoção mínima de 90% do COT. Os autores concluíram que se o principal objetivo for remover a coloração do efluente, apenas a ozonização já seria suficiente, visto que o custo de implementação e operação dos processos de $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ e $\text{O}_3/\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ é mais elevado (BILIŃSKA, *et al*, 2017).

Souza e Procópio (2018) avaliaram a eficiência de remoção de cor de um efluente têxtil sintético utilizando o processo Fenton como método de tratamento. Foram utilizados 3 catalisadores, sendo eles: $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e FeCl_3 . Foram variadas as dosagens de cada catalisador, bem como a concentração de H_2O_2 adicionada. Apesar da maior eficiência de remoção ter sido de 44,94% ao utilizar $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ como catalisador ($t= 40$ minutos de reação e 0,6 mL de H_2O_2), o método com $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ com 0,6 mL de H_2O_2 em 30 minutos de reação foi considerado o mais viável de acordo com os testes estatísticos realizados (sua eficiência de remoção de cor foi de 43,25%). A escolha do melhor método foi pautada no menor tempo de reação ao utilizar o sulfato ferroso amoniacal, além de que a diferença das eficiências foi considerada desprezível.

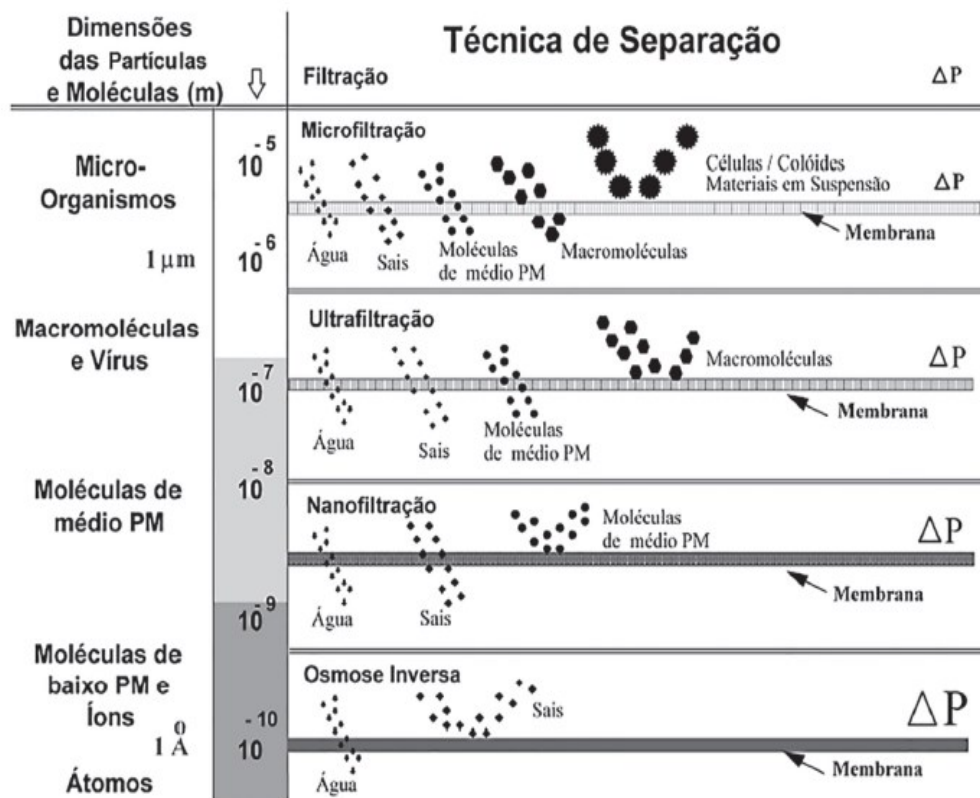
3.4.4 Processos de Separação por membranas

Os PSM (Processos de Separação por Membranas) consistem em uma operação unitária, em que compostos (orgânicos ou inorgânicos) são separados de um fluido utilizando uma barreira semipermeável. O processo de separação é tido como não-destrutivo e a fração que passa através

da membrana é denominada de permeado, enquanto a fração retida pela membrana é denominada concentrado. (ALVES, 2015). O processo permite a geração de um permeado de alta qualidade, pois alcança a redução da DQO, da DBO, de íons, além de ser possível recuperar o corante/pigmento para reuso (LEBRON, *et al.*, 2021). As membranas podem ser classificadas de acordo com o tipo do material, mecanismo de separação, bem como o tamanho das partículas removidas do sistema (WARSINGER, *et al.*, 2018).

Os principais tipos de PSM são: Microfiltração (MF), Ultrafiltração (UF), Nanofiltração (NF) e Osmose Inversa (OI) (Figura 18) (CRINI; LICHTFOUSE, 2019).

Figura 18 – Classificação das membranas quanto à técnica de separação



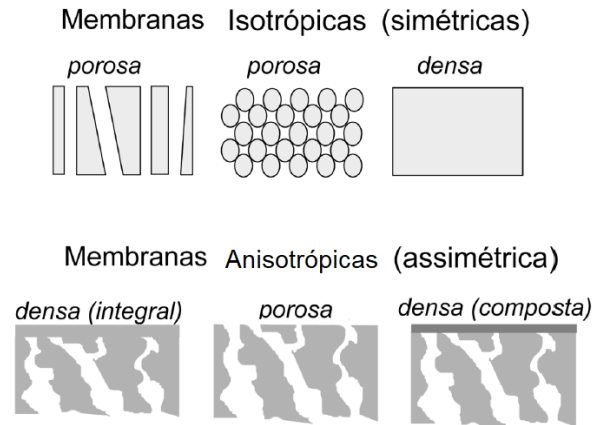
Fonte: (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006).

A MF é usualmente aplicada na clarificação de bebidas, na esterilização e concentração de células, considerando que o material retido possui partículas na faixa de 0,1-1,0 μm . A pressão aplicada no sistema costuma ser baixa (abaixo de 2 bar). Já a UF é utilizada na concentração de proteínas, recuperação de óleos e pigmentos que sejam coloidais, além da remoção de microrganismos patogênicos, vírus e substâncias coloidais (WARSINGER, *et al.*, 2018). A NF é

capaz de separar íons por exclusão do tamanho da partícula e pela interação do íon com as cargas da membrana. São utilizadas membranas com poros inferiores a 1 nm e existem de quatro tipos: as tubulares, fibras ocas, placas planas e em espiral. É possível reutilizar o efluente e recuperar o metal por concentração (BAIRD; CANN, 2008; GHERASIM; MIKULÁŠEK, 2014; PEIG, 2011; WARSINGER, *et al*, 2018). Tal técnica possui como vantagem alto coeficiente de rejeição para íons divalentes (GHERASIM; MIKULÁŠEK, 2014). A OI utiliza o princípio da diferença de concentração e é capaz remover sais monovalentes, sendo usada principalmente na dessalinização e desmineralização de águas, além da concentração de sucos (ALVES, 2015; BAIRD; CANN, 2008; WARSINGER, *et al*, 2018).

As principais características físicas das membranas são: espessura, porosidade, seletividade e permeabilidade. A espessura é definida como a profundidade do filme na qual ocorre a filtração. A porosidade é estabelecida pela quantidade de poros na membrana sobre sua área, com unidade volume de poros por metro quadrado. A seletividade está relacionada à retenção ou não de determinadas substâncias, sendo fator decisivo os diâmetros dos poros na membrana. A permeabilidade, por sua vez, é expressa pela vazão do permeado sobre área da membrana e a força motriz aplicada (FELIZATTO, 2017).

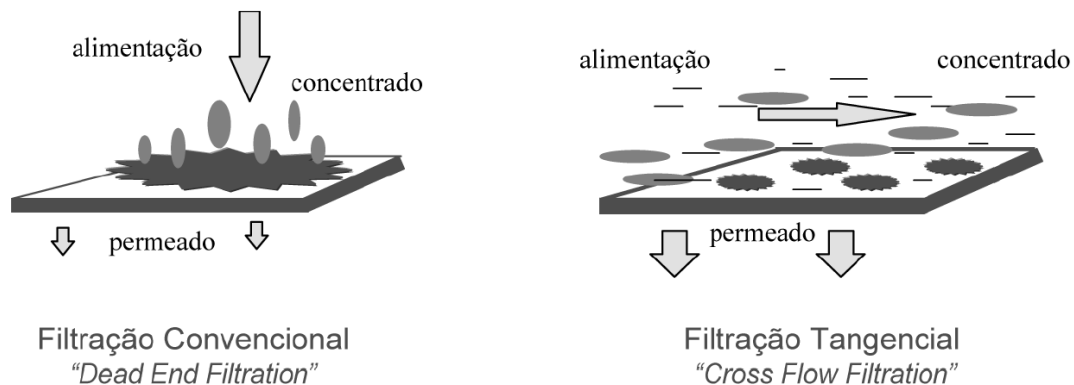
Quanto à morfologia das membranas, estas podem ser isotrópicas (também conhecidas como simétricas), as quais apresentam característica morfológica constante em sua estrutura; ou anisotrópicas (assimétricas), as quais possuem alterações na morfologia ao longo de sua estrutura (Figura 19).

Figura 19 – Morfologia das membranas sintéticas

Fonte: (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006).

As membranas são constituídas de materiais poliméricos (acetato de celulose, policarbonato, poliacrilonitrila, polieternitrila, dentre outros) ou não poliméricos (cerâmicas, carbono, óxidos metálicos e metais). As que são constituídas por material polimérico possuem custo de produção inferior às não poliméricas, no entanto apresentam menor vida útil (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006).

O modo operacional dos sistemas de filtração utilizando membranas pode se dar de modo perpendicular (*dead end filtration*) ou tangencial (*cross flow*) de acordo com o sentido do escoamento em relação a superfície da membrana (Figura 20).

Figura 20 – Modo operacional dos sistemas de filtração. A) Filtração *dead end* (perpendicular e B) Filtração tangencial.)

a

b

Fonte: (HABERT; BORGES; NOBREGA, 2006).

Na filtração perpendicular, a alimentação ocorre perpendicularmente à superfície da membrana filtrante, o que ocasiona maior saturação da membrana em menor intervalo de tempo. Já na filtração tangencial, a alimentação ocorre de maneira paralela, o que favorece maior controle da polarização da concentração e a membrana possui maior intervalo de tempo de funcionamento antes que ocorra a saturação (ALVES, 2015).

Uma característica importante a ser observada ao aplicar a técnica para o tratamento do efluente é a capacidade de seletividade da membrana a ser utilizada. Ela é calculada pelo cálculo do coeficiente de rejeição (R), o qual é definido como a quantidade de soluto retido pela membrana (Equação 24). Outra característica importante a ressaltar é o fluxo de filtração “aceito” por uma membrana sem que ela seja rompida, sendo expresso em $L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ (MARQUES, 2017).

$$R = C_0 - C / C_0 \quad \text{Equação 24}$$

onde:

C_0 = concentração do soluto no efluente pré filtração

C = concentração do soluto no efluente após filtração

Frente a outras técnicas de tratamento de efluentes e resíduos, a filtração por membranas possui como vantagens: elevada aplicabilidade, alta seletividade, necessidade de pouco espaço físico, simplicidade, eficiência, não necessitar de reagentes químicos (processo físico de separação), além de gerar pouco resíduo sólido além de ser capaz de tratar grandes volumes de efluente. Por outro lado, o método possui como desvantagem o custo de investimento inicial e taxas de fluxo limitadas (ALVES, 2015; CRINI; LICHTFOUSE, 2019; LEBRON, *et al*, 2021). Considerando a recuperação do corante como concentrado e a alta qualidade obtida no permeado, as técnicas de PSMs têm se mostrado promissoras na reutilização do efluente têxtil tratado e dos corantes no próprio processo de produção (DILAVÉR, *et al*, 2018; KESKIN, *et al*, 2021). Tem-se como exemplo, a utilização de efluentes tratados com OI e NF para o reúso potável indireto e reúso não potável direto, como nas lavagens em contracorrente, bem como a recirculação da água utilizada para resfriamento dos compressores (MARQUES, 2017).

Tavangar e colaboradores (2019) avaliaram a eficiência de tratamento de um efluente têxtil real por meio da aplicação de eletrocoagulação, NF, bem como a combinação dos métodos. O

efluente estudado foi obtido do processo de tingimento de fibras de algodão e poliéster de uma indústria no Teerã (Irã) e era composto de diversos tipos de corantes, dentre os quais: ácidos, diretos, dispersos, reativos, dentre outros. Dentre suas características físico-químicas, foram detectados: elevada turbidez (1500 NTU); altas concentrações de DQO (2690 mg/L); sólidos dissolvidos totais (280 mg/L); sólidos dissolvidos suspensos (7500 mg/L) e condutividade (14,95mS/m). Os eletrodos utilizados na EC foram de alumínio, ferro e titânio, sendo o primeiro o que apresentou melhores resultados para remoção de DQO, cor e turbidez (64%, 94% e 99% respectivamente). Isso se deve pelo fato de que a velocidade de sedimentação foi menor em relação aos outros eletrodos utilizados, bem como os flocos gerados no processo foram os menores em comparação com os demais. Ao tratar o efluente apenas com o processo de NF, obteve-se redução de 74% da DQO e remoção de cor acima de 87%, além da remoção de 99% da turbidez e 95% dos sólidos dissolvidos totais. Ao realizar o tratamento híbrido, foi verificado que a EC contribuiu para a redução da obstrução na membrana de NF, aumentando o fluxo do permeado, bem como auxiliou na melhoria da qualidade do efluente tratado. A remoção da cor no tratamento combinado foi cerca de 2% e 8% maior quando comparado aos processos de EC e NF isoladamente.

Silva e colaboradores (2020) avaliaram a eficiência de remoção de cor dos corantes reativo preto (RP) e dispersivo preto (DP) aplicando a técnica de destilação por membrana de contato direto. Foram analisados o fluxo do permeado e a eficiência na remoção da cor. De acordo com os resultados obtidos, a técnica apresentou-se viável na remoção da cor do corante DP, uma vez que este mostrou um fluxo do permeado estável durante todo o tempo de tratamento. Em contrapartida, o corante RP apresentou um fluxo do permeado decrescente. Foram obtidos fluxos médios de 14,3 kg/m²h e 18,0 kg/m²h para RP e DP, respectivamente. A eficiência de remoção de cor ficou entre 99,58 a 97,88% para o RP enquanto o corante DP apresentou remoção na faixa de 87,84 a 99,44 considerando os tempos de 3, 12 e 24 h de operação, confirmando a possibilidade de se reutilizar o efluente têxtil tratado com a técnica de destilação por membranas em estudos futuros (SILVA, *et al*, 2020a).

3.5 Reúso da água

O reúso da água promove benefícios tanto para a indústria, como para o meio ambiente, pois são reduzidos o consumo de energia, o volume de despejo e a carga de nutrientes no efluente

final, já que este é tratado e reutilizado (EPA, 2012; NÚÑEZ, *et al*, 2019). Além disso, é possível observar a redução dos custos referentes à captação de água, uma vez que a Política Nacional Recursos Hídricos (PNRH) prevê a cobrança de valores pelo uso e outorga das águas da União (BRASIL, 1997). Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), foi cobrado, em 2019, o valor total de R\$ 538,16 milhões pelo uso de recursos hídricos brasileiros, tendo sido arrecadado 94% (ANA, 2020). Além disso há a conservação dos recursos naturais, visto que se objetiva a redução da captação dos corpos hídricos (FERNANDES, 2010).

O reúso de água pode ser classificado como direto ou indireto. O reúso direto consiste no tratamento do efluente e conseqüente reutilização sem ser lançado ou diluído em algum corpo hídrico, quer seja superficial ou subterrâneo (BRASIL, 2005). Já o reúso indireto classifica-se como o tratamento devidamente planejado do efluente e sua conseqüente disposição em um reservatório hídrico superficial ou subterrâneo, de forma que tal fonte seja posteriormente utilizada como fonte de abastecimento (EPA, 2017; WARSINGER, *et al*, 2018).

Ainda são poucas as resoluções que normatizam a reutilização de efluentes. No Brasil, a norma NBR 13.696 foi pioneira na regulamentação do reúso local, sendo definida como uma extensão do tratamento de esgotos, sem investimentos adicionais elevados. Seu principal objetivo está na mitigação de contaminação da rede de água potável (ABNT, 1997). Posteriormente, em 2005, o CNRH estabeleceu diretrizes para a prática de reúso. Nela é regulamentada a necessidade de informar ao órgão gestor de recursos hídricos o reúso da água com informações referentes à finalidade do reúso, bem como a vazão e volume diários gerados e a destinação do efluente (BRASIL, 2005).

Em Minas Gerais, a reutilização de efluentes tratados nas ETEs só foi regulamentada no ano de 2020 por meio da Deliberação Normativa (DN) do Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (CERH – MG) nº 65/2020. No caso de utilização para fim industrial, *a “especificação da qualidade da água para reúso deverá ser de responsabilidade do empreendedor, conforme os requisitos de qualidade do processo”*, segundo o artigo 6º da DN (MINAS GERAIS, 2020). De fato, os padrões de qualidade da água estão diretamente ligados à sua utilização, sendo definidos por meio de rigorosos estudos científicos abrangendo diversos fatores, tais como políticos, econômicos, sociais, além de estudos toxicológicos (UMBUIZEIRO, 2012).

Em um contexto geral, a água pode ser reutilizada para fins urbanos, de recreação, na agricultura, na aquicultura e na indústria. No contexto industrial, especificamente no ramo têxtil, o efluente tratado pode ser utilizado em sistemas de refrigeração, alimentação de caldeiras, como água de processo (por exemplo, na lavagem dos tecidos), em lavadores de gases, para lavagens de pisos, na utilização em instalações sanitárias, bem como na irrigação de áreas verdes. É importante destacar que a água utilizada na lavagem dos tecidos não pode comprometer a qualidade do produto final, portanto não pode conter substâncias como corantes, nem apresentar turbidez. Além disso, deve estar isenta de íons cálcio, magnésio, ferro, nitratos e nitritos (FIEMG; FEAM, 2014; RIBEIRO, 2009; EPA, 2012).

Diante da problemática da escassez hídrica, que afeta mais de 40% da população mundial (AGENDA 2030, 2021), o reúso de água apresenta uma alternativa ambientalmente favorável de acordo com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS) proposto pela agenda 2030. A ODS 6 consiste em assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos. As Nações Unidas consideram que a prática de reúso não é mais uma opção, sendo essencial desenvolver tecnologias que aprimorem tais técnicas (UN, 2014b). Tal prática reduz a quantidade captada das fontes hídricas, bem como o índice de poluição nos corpos receptores. Ela vai de conformidade com a ODS 12, a qual busca otimizar o padrão de produção e de consumo dos recursos naturais (AGENDA 2030, 2021). Dessa forma o reúso está associado ao uso racional da fonte, que promova a redução da captação e conseqüente redução no consumo global do recurso. Somente dessa maneira é possível mitigar os efeitos adversos oriundos da crise hídrica mundial. Para que a reutilização dos recursos hídricos seja amplamente efetivada, é necessário haver estratégias políticas bem consolidadas que reduzam a estrutura burocrática a este respeito. Além disso, é necessário haver a aceitação popular e aprovação do mercado. (TELLES; COSTA, 2010).

3.6 Reúso de água na indústria têxtil – Panorama Global

Considerando a necessidade de uma gestão sustentável da água nos processos industriais e na possibilidade de reúso do efluente têxtil, tem-se observado uma crescente busca por melhorias nos processos de tratamento de efluentes têxteis, não somente para atender aos padrões de destinação final, mas também visando a possibilidade de reutilização no próprio processo produtivo.

Silva e colaboradores (2018), por exemplo, aplicaram POAs em um efluente têxtil após ser submetido a tratamento biológico, visando seu reaproveitamento no processo de uma indústria têxtil localizada no norte de Portugal. As técnicas comparadas no estudo foram: fotólise do H_2O_2 com radiação ultravioleta C (H_2O_2/UVC); oxidação anódica (OA); oxidação anódica com adição de H_2O_2 (OA- H_2O_2) e a combinação dos tratamentos (AO - H_2O_2/UVC). As eficiências de tratamento foram avaliadas quanto à remoção da cor e a taxa de desmineralização. Quanto à remoção de cor, os tratamentos seguiram a seguinte ordem de eficiência considerando tempos de até 25 minutos: AO > OA- H_2O_2/UVC \approx H_2O_2/UVC > OA- H_2O_2 . Para tempos acima de 25-30 min de tratamento, OA- H_2O_2/UVC e H_2O_2/UVC forneceram resultados melhores comparado com os processos envolvendo OA. Em relação à mineralização, os processos H_2O_2/UVC , OA e OA- H_2O_2/UVC apresentaram comportamentos semelhantes, enquanto o OA- H_2O_2 revelou uma cinética de remoção consideravelmente inferior aos demais. Em todos os processos foi obtida a remoção de cor completa, no entanto, a taxa máxima de desmineralização foi de 39%, o que indicou a presença e/ou formação de compostos recalcitrantes os quais não apresentam cor. Apesar disso, o efluente têxtil tratado com H_2O_2/UVC a 20, 30 e 45 minutos foi considerado viável de ser reutilizado nos processos de lavagem, branqueamento e tingimento. Foram levados em consideração diferença de cor. Os valores de ΔE ficaram abaixo de 0,4 para os tratamentos de 30 e 45 minutos H_2O_2/UVC , os quais consumiram 31 g/m^3 de H_2O_2 e apresentaram custo de tratamento de € 0,033/ m^3 (R\$ 0,20/ m^3). Já o valor de ΔE para o tratamento com 20 minutos com H_2O_2/UVC ficou próximo a 1,5. Apesar do valor estar acima de 1,0 (valor limite para que diferenças entre as colorações sejam perceptíveis ao olho humano), os autores consideraram o valor aceitável. O consumo de H_2O_2 neste caso foi de 23 mg/L e o custo de tratamento foi de € 0,025/ m^3 , o que equivale a R\$ 0,15/ m^3 (SILVA, *et al*, 2018).

Um estudo realizado por Bilińska e colaboradores (2019) avaliou a eficiência na descoloração da solução do corante preto reativo 5, bem como a remoção dos corantes presentes no efluente têxtil para reúso. Foram avaliadas as técnicas de EC concomitante à ozonização (O_3); EC seguida de O_3 , bem como cada técnica separadamente. Estudando EC isoladamente, foi observado que 85% da cor foi removida em 10 minutos, não havendo melhora significativa dos resultados em tempos posteriores. Quando a ozonização foi avaliada isoladamente, foram requeridos 50 min para a remoção de 90% de cor. Ambos processos combinados de EC e O_3 apresentaram resultados satisfatórios na remoção de cor e razoáveis na desmineralização do corante

preto reativo 5. Quando aplicado ozonização sobre o efluente tratado pela EC, foram necessários apenas 10 minutos de exposição para a remoção do corante. Este apresentou-se como o processo mais viável, uma vez que seu custo frente ao processo simultâneo é consideravelmente menor, sendo US\$ 5,80/m³ (R\$ 30,12/m³) frente a US\$11,86/m³ (R\$ 61,59/m³). Isto foi explicado, principalmente, por conta da menor dosagem de ozônio necessária no processo EC seguido de O₃. Quanto ao teste de reutilização do efluente, foi aplicado um indicador que demonstra diferenças entre a coloração do tecido tingido com o efluente tratado, frente ao tecido tingido convencionalmente. Os valores de ΔE obtidos ficaram entre 0,28 e 0,98, o que está bem abaixo do valor limite (1,00). Isso sustenta a afirmação de que a reutilização do efluente tratado não afetou a qualidade e durabilidade da cor nos tecidos (BILÍNSKA, *et al*, 2019).

Já Núñez e colaboradores (2019) avaliaram a eficiência do tratamento com EC de um efluente proveniente do tingimento de fibras de linho visando seu reúso. Os parâmetros avaliados foram pH, densidade da corrente e tempo de tratamento, sendo que as eficiências de remoção analisadas foram de acordo com as seguintes características: cor, turbidez e DQO. A partir de uma modelagem estatística experimental, as condições experimentais ótimas foram definidas como pH=9, tempo de tratamento igual a 10 minutos e densidade da corrente = 8mA/cm². Após o tratamento considerando as condições ideais, o efluente apresentou eficiência de remoção de cor, turbidez e DQO a 86%, 82% e 59%, respectivamente. Para avaliar a possibilidade de reutilização no processo de tingimento, foram realizadas medidas espectrofotométricas dos tecidos tingidos, com o intuito de medir, quantitativamente, as possíveis diferenças de cor. Foi observado que não houve alterações na cor e qualidade dos tecidos tingidos com a água de reúso, visto que os valores de ΔE foram $0,72 \pm 0,02$ e $0,41 \pm 0,03$ para os banhos com os corantes cinza e azul escuros, respectivamente. Não foram calculados valores para o custo de implementação do processo, somente foi citado que o custo é baixo e o processo é de fácil implementação, considerando a técnica como promissora de ser utilizada (NÚÑEZ, *et al*, 2019).

Silva e colaboradores (2020) estudaram a remediação de um efluente têxtil em dois estágios de tratamento (POAs e processo de troca iônica utilizando algas marinhas), visando sua reutilização em uma indústria têxtil portuguesa. Em relação aos POAs, foram testadas 4 metodologias, a saber: Fenton; foto-Fenton com radiação ultravioleta A (FF/UVA); eletro-Fenton e fotoeletro-Fenton com radiação UVA. A eficiências de remoção sob pH=2,8 e 45 minutos de tratamento foram nas faixas

de 68-95%; 76-94%; 80-98% e 85-100% para Fenton, eletro-Fenton, foto-Fenton e foto-Fenton/UVA, respectivamente. Apesar disso, foi observado que, em todos os tratamentos, a taxa de mineralização foi desprezível, o que indica que compostos incolores recalcitrantes foram formados durante os processos. O POA selecionado como primeira etapa do tratamento foi o foto-fenton, por conta de seu menor custo em relação aos demais e eficiência de remoção adequada. O estudo da troca iônica com a utilização de algas marinhas investigou o comportamento de 6 diferentes espécies na absorção de ferro, a saber: *Gracilaria caudata*, *Gracilaria cervicornis*, *Ascophyllum nodosum*, *Fucus spiralis*, *Laminaria hyperborea* e *Pelvetia canaliculata*. Foi determinado que a alga *Laminaria hyperborea* foi a que apresentou a maior capacidade de troca iônica em relação ao ferro, removendo todo o ferro do efluente tratado com foto-Fenton, o que correspondeu a 3,4 mg/L. A alga foi regenerada, apresentando-se como uma fonte de ferro que pode ser utilizada novamente no próprio tratamento na reação de Fenton. Além disso, o efluente foi reutilizado nas etapas de lavagem, branqueamento e tingimento da fibra têxtil, sendo que os resultados foram considerados promissores (SILVA, *et al.*, 2020b).

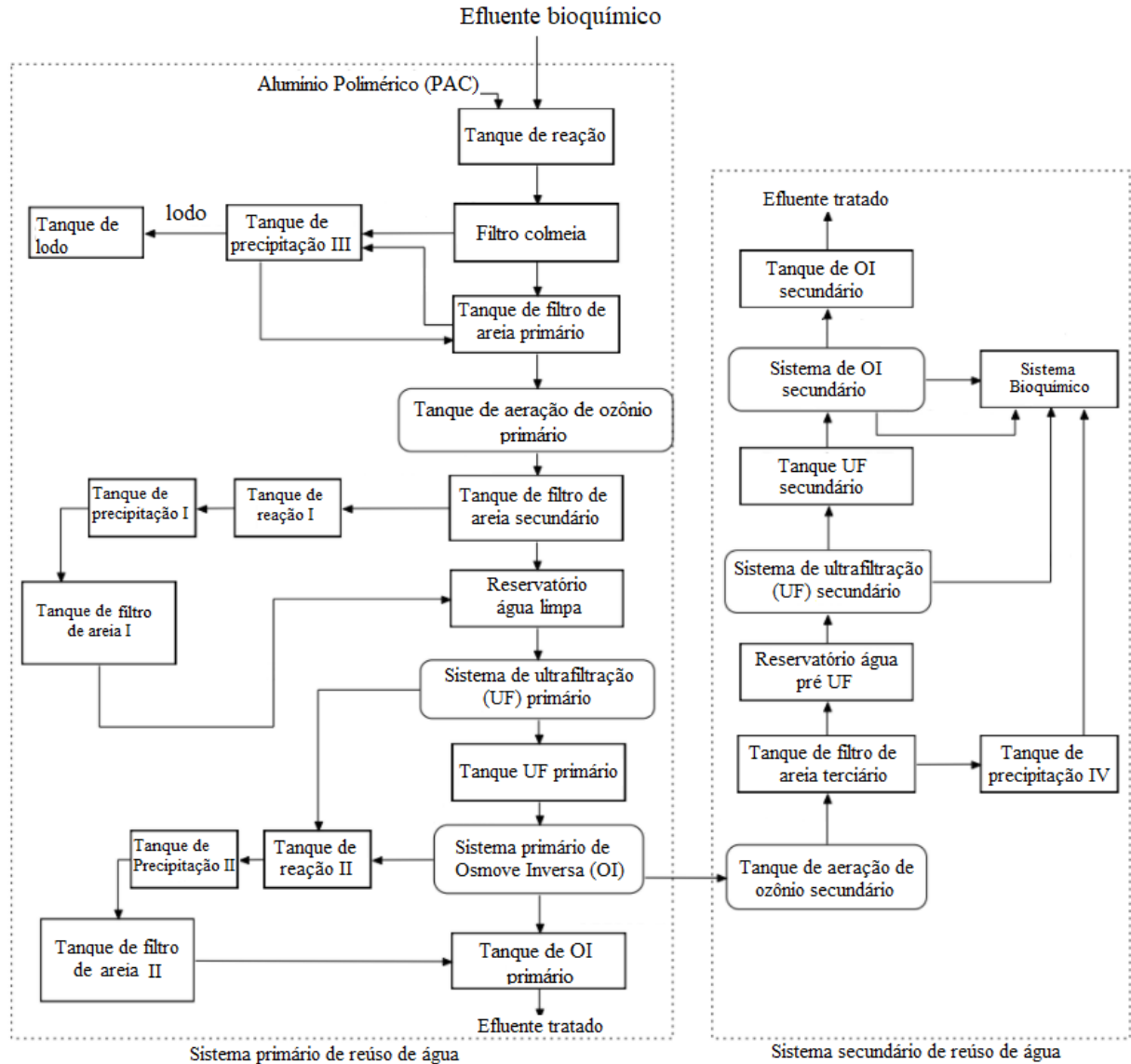
Dilaver e colaboradores (2018) avaliaram a eficiência de tratamento e reúso do efluente de uma indústria têxtil localizado na cidade de Bursa, na Turquia. Foram utilizadas membranas cerâmicas de ultrafiltração com diferentes tamanhos diâmetro de corte (300 kDa, 50 kDa, 15 kDa e 3 kDa), sendo que as de 3KDa apresentaram maior eficiência de remoção de poluente, mesmo sendo detectados altos teores de DQO e COT no efluente tratado (67 ± 12 mg/L e 21 ± 4 mg/L, respectivamente). Quanto ao reúso no processo de tingimento, foi observado que para a aplicação de corantes dispersos observou-se a necessidade de realizar tratamento adicional no efluente. Já na sua utilização na etapa de banho de tingimento denso e estampagem de corantes reativos, o mesmo efluente foi considerado proveitoso. Foi calculado que 22% da água consumida no processo pode ser reutilizada, sendo possível reduzir o custo anual com eletricidade em U\$1.501.707,00 (R\$ 27.781.994,28); além da redução de U\$129.210,00 (R\$ 669.579,01) na captação de água anualmente. Além disso, o retorno financeiro do investimento foi calculado para 3 anos (DILAVÉR, *et al.*, 2018).

Nasdeem e colaboradores (2019) investigaram a possibilidade da reutilização de efluentes têxteis após serem tratados por filtração por membranas. Foram aplicadas diferentes combinações de membranas de UF e NF, sendo aplicadas de forma isolada e simultaneamente. A configuração

que apresentou melhores resultados foi a UF seguida de NF, uma vez que as eficiências de remoção apresentaram 99,7 %; 99,3% e 95,5% para DQO, cor e condutividade, respectivamente. Testes espectrofotométricos foram realizados, os quais determinaram um $\Delta E = 0,813$. Quando $\Delta E < 1,00$, significa que não há diferenças perceptíveis aos olhos humanos na intensidade da coloração dos tecidos. Dessa maneira, o efluente foi considerado aceitável para ser reutilizado em todas as etapas do processamento têxtil. O investimento total inicial requerido para a implementação do processo de tratamento por NF foi estimado em US\$ 1.043.375,00 (R\$ 5.476.675,38) (NASDEEM, *et al*, 2019).

Yin e colaboradores (2019) estudaram um tratamento combinado de efluente têxtil seguindo dois sistemas (figura 21), sendo que no primeiro foram abordadas as técnicas: coagulação-floculação, primeiro filtro de areia, ozonização, segundo filtro de areia, UF, terceiro filtro de areia e OI. Foi adicionado, inicialmente, um tratamento de precipitação química para que parte da matéria orgânica, cor turbidez e sólidos suspensos fossem removidos, reduzindo, portanto, o consumo do ozônio na etapa posterior. A remoção de cor pela ozonização do primeiro tratamento atingiu eficiência de $69,40 \pm 6,98\%$, sendo a dosagem de O_3 na faixa de $80 - 100 \text{ g/m}^3$ e o tempo de oxidação variou entre $3,20 - 3,29 \text{ h}$. O tanque de areia foi utilizado posteriormente à ozonização para remover os sólidos suspensos gerados durante o tratamento anterior. Antes do efluente ser tratado com OI, foi adicionado ao sistema membranas de UF (cuja pressão foi inferior a 0.15 Mpa) com o intuito de remover parte dos COT e turbidez e preservar assim a membrana de OI. Nessa etapa, foi possível remover de maneira efetiva a turbidez. A pressão aplicada na membrana de OI foi na faixa de $1,0-1,2 \text{ Mpa}$ e a retrolavagem foi realizada por 5 minutos a cada 3 horas de operação. A eficiência de remoção nesta etapa foi de $99,17 \pm 0,88\%$; $99,11 \pm 1,60\%$; $98,09 \pm 1,55\%$; $92,02 \pm 1,87\%$; $99,17 \pm 0,81\%$ e $92,94 \pm 2,49\%$ para DQO, cor, fósforo total, cloreto, sulfato e condutividade, respectivamente. O efluente tratado pelo primeiro sistema apresentou baixas concentrações de DQO ($0,37 \text{ mg/L}$), nitrogênio total ($0,91 \text{ mg/L}$), turbidez ($0,06 \text{ NTU}$) e fósforo total ($0,06 \text{ mg/L}$). Apesar disso a condutividade ainda era considerável ($415,84 \text{ } \mu\text{s/cm}$). Com o intuito de aumentar a possibilidade de reúso da água, o concentrado da OI continuou a ser tratado.

Figura 21: Representação esquemática do processo de tratamento do efluente têxtil



Fonte: YIN, *et al.*, 2019 (adaptado).

O segundo sistema foi utilizado para tratar o efluente concentrado proveniente da OI do primeiro sistema. Este seguiu a seguinte ordem: ozonização, filtro de areia, UF e OI. A remoção de cor e DQO pela ozonização foi de $75,36 \pm 7,39\%$ e $35,72 \pm 6,26\%$, respectivamente. A dosagem de O_3 foi ajustada para 118 g/m^3 . A qualidade do efluente final apresentou baixa DQO, apesar de ser pouco maior que no primeiro sistema ($0,44 \text{ mg/L}$), turbidez desprezível ($0,09 \text{ NTU}$) e baixa dureza ($3,45 \text{ mg/L}$). A condutividade foi reduzida, no entanto, ainda era considerável ($288,60 \text{ } \mu\text{s/cm}$). Mesmo assim, os autores consideraram que o efluente tratado atende aos padrões

necessários para a reutilização da água, tendo sido estimado um custo operacional total de US\$ 0,44 /m³ de efluente tratado, o que equivale a R\$ 2,28/m³ (YIN, *et al*, 2019).

Cinperi e colaboradores (2019) avaliaram o tratamento e reúso do efluente têxtil tratado por biorreator a membrana (MBR), NF e OI. No processo MBR, a eficiência na remoção de turbidez, sólidos suspensos totais, DQO, DBO, cor, sulfato foram de 99%, 86%, 70%, 74%, 62% e 19%, respectivamente. Apesar disso, ainda foi necessária uma desinfecção com UV para reduzir a possibilidade de crescimento microbiano. Quanto ao efluente proveniente da OI, foram verificadas eficiências de remoção de 97, 98, 85, 99, 99 e 99% para condutividade, turbidez, cor, DQO, DBO e dureza, respectivamente. Os efluentes tratados com MBR, MBR + NF e MBR + OI seguidos de desinfecção por UV foram usados em experimentos de tingimento de tecidos. Foi observado que os efluentes se apresentaram satisfatórios no tingimento de tecidos em tons médios e escuros. A partir disso, uma planta em escala real foi projetada a fim de avaliar a viabilidade do processo. A capacidade de tratamento foi definida em 2500 m³/dia, e o custo de investimento foi calculado na faixa de US\$ 1.810.000 a US\$ 2.200.000, o que equivale a, aproximadamente, R\$9.447.657,00 a R\$11.483.340,00(CINPERI, *et al*, 2019).

AĞTAŞ e colaboradores (2020) avaliaram o tratamento e reutilização de um efluente proveniente da etapa de tingimento a quente com corantes do tipo reativo e disperso. A técnica de tratamento empregou membranas cerâmicas na implementação de um sistema em escala piloto UF seguido de NF nos 10 primeiros ciclos e apenas NF em outros 4 ciclos. Foram realizadas etapas de retrolavagem com ar por 5 segundos a cada 1 hora de operação. Para o tratamento empregando UF seguida de NF, as eficiências de remoção média foram 89%; 83,5%; 86,4% e 68% para DQO, cor, COT e dureza total, respectivamente. Para os ciclos em que apenas a NF foi empregada, as eficiências de remoção foram de 90,1%; 82,2%; 76,8% e 82% para DQO, cor, COT e dureza total respectivamente. Apesar de ter sido considerado que os resultados obtidos foram equivalentes, o processo de tratamento dos efluentes escolhido foi o de UF seguido de NF, uma vez que a primeira membrana auxilia na preservação da vida útil da segunda. O efluente tratado foi utilizado no processo de tingimento de fibras de viscose com três corantes. O corante bege não apresentou resultados satisfatórios comparado com o tingimento convencional. Já o processo para o corante verde caqui se apresentou como possível de ser utilizado, enquanto para o azul marinho o processo foi classificado como apropriado para uso. A classificação se deu por avaliação visual do aspecto

dos tecidos tingidos. De acordo com os pesquisadores, a economia anual para a empresa que adota a reúso de água chega a U\$ 1.340.187,00 (R\$ 6.942.301,47), com retorno do investimento em menos de 2 anos.

Um estudo avaliando a eficiência da remoção de DQO, DBO, nitrogênio total, condutividade, turbidez e cor de efluentes têxteis foi realizado por um grupo de pesquisadores coordenado por Ćurić (2021). Foram utilizadas membranas poliméricas de ultrafiltração com diferentes diâmetros de corte, variando de 2 a 50 kDa. O fluxo de permeado foi monitorado para avaliar no desempenho da membrana diante do possível efeito obstrução dos poros. Os resultados apresentados pela membrana com menor diâmetro de corte foi a mais promissora, apresentando eficiências de remoção de 79%, 56%, 82,4%, 81%, 99,3% e 79,2% para DQO, DBO, COT, nitrogênio total, turbidez e condutividade respectivamente. O efeito obstrutivo da membrana foi muito baixo, uma vez que o fluxo foi reduzido de maneira linear em apenas 20% após três horas de tratamento. O efluente tratado foi reutilizado no processo de lavagem dos tecidos de malha e algodão, sendo que não foram observadas alterações na qualidade dos tecidos, apenas um desvio de meio grau no teste de solidez da cor sob luz artificial (apresentando um desvio fotométrico de 1,795), o que foi considerado desprezível. Desse modo, a empresa considerou que as classificações atribuídas ao efluente tratado atendem aos requisitos necessários para a etapa de lavagem dos tecidos. Apesar do alto custo inicial para implementação e operação das membranas (U\$ 153.040,00; o equivalente a R\$ 792.762,37), a tecnologia ainda é considerada uma das melhores disponíveis para a indústria têxtil (ĆURIĆ; DÓLAR; KARADAKIC, 2021).

Em outro estudo, Ćurić e colaboradores (2021) avaliaram o pré-tratamento de um efluente de uma indústria têxtil croata em escala laboratorial com as técnicas de coagulação, filtros de areia e membranas de ultrafiltração sob a forma de fibra oca (UF-HF). A técnica de UF-HF foi a que forneceu as melhores eficiências de remoção em termos de turbidez (93,6%), cor (99,0%) e COT (29,0%). A coagulação não foi considerada econômica por conta do alto consumo de coagulante e consenquente geração de lodo com necessidade de pós tratamento. Após isso, o permeado foi tratado com uma membrana de ultra filtração de placa plana (UF-FS) com diferentes diâmetros de corte (5, 10, 20, and 50 kDa). As membranas de 5 kDa foram as que apresentaram melhores eficiências nas remoções de DQO, turbidez, COT, condutividade e cor (54,5%, 83,9%, 94,2%, e 45,7–83,3%, respectivamente). Em uma última etapa foram comparados os desempenhos das

técnicas de NF e OI. As eficiências de remoção do cenário 1 (UF-HF/UF-FS/OI) de DQO, DBO, turbidez e COT foram de: 97,7%; 98,1%; 83,5% e 99,1%. As eficiências de remoção do cenário 2 (UF-HF/UF-FS/NF) de DQO, DBO, turbidez e COT foram de: 94,6%; 95,4%; 76,3%; 88,5%, respectivamente. Na avaliação do reúso da água, foram utilizadas 3 amostras idênticas de tecido 100% algodão denominadas S, X e N. A amostra S foi tingida com a água padrão, normalmente utilizada no processo industrial. A amostra X foi tingida com o permeado da OI (cenário 1), enquanto a amostra N foi tingida com o permeado da NF (cenário 2). Foi observado no teste de solidez de cor que a presença dos sais no permeado de NF (o qual foi superior comparado com a OI) promoveu um efeito positivo na fixação da cor na fibra têxtil. No teste espectrofotométrico, o valor de ΔE da amostra N foi de 1,045 e da amostra X, 0,586. Apesar de um dos resultados ter sido maior do que 1,00 (valor que delimita a diferença de cor do tecido a olho nu), ambos resultados foram considerados aceitáveis para as necessidades da indústria. Quanto ao estudo de viabilidade econômica, calculou-se um custo total de €400.636,00 para o cenário 1 (o que equivale a R\$2.455.141,67) enquanto o cenário 2 apresentou um custo de € 395.656,00 o que equivale a, aproximadamente, R\$ 2.419.737,82. Este último foi indicado como mais vantajoso, pois, além do fato de ter um custo levemente inferior, a membrana de NF apresenta possibilidade de ser reutilizada após obstrução, diferentemente da OI que apresentou obstrução irreversível (ĆURIĆ; DOLAR; BOŠNJAK, 2021).

Avaliando os estudos publicados, observa-se que as técnicas de eletrocoagulação e processos oxidativos avançados tem aplicabilidade no reúso de efluentes têxteis. Os PSM têm-se revelado como uma tecnologia promissora, principalmente no que se diz respeito ao uso da ultrafiltração e da nanofiltração. Para que o efluente apresente a qualidade necessária para o reúso no tingimento, em alguns casos foi necessário utilizar processos combinados, como por exemplo a UF seguida de NF descritos por Nasdeem e colaboradores (2019) e Ağtas e colaboradores (2020). É importante destacar que devido aos diferentes tipos de corantes utilizados nos processos têxteis, os efluentes apresentam características distintas. Isso explica o fato de Dilaver ter relatado que houve a necessidade de pós tratamento do efluente quando este foi utilizado no tingimento com corante disperso. Já no caso do corante reativo não houve essa implicação no processo. De modo semelhante, o custo operacional é muito particular devendo ser minuciosamente avaliado pelos pesquisadores e demais responsáveis na planta industrial, pois somente com estudos criteriosos será possível julgar se a proposta de tratamento e reúso será economicamente viável.

3.7 Reúso de água na indústria têxtil – Panorama Brasileiro

De maneira semelhante à tendência mundial de se desenvolver novas técnicas de tratamento de efluentes visando reúso, pesquisadores brasileiros têm buscado parcerias com indústrias têxteis com o objetivo de realizarem estudos de casos específicos. Dessa forma, a ideia de reutilização de efluente tem se expandido no país por meio do uso de POAs e no emprego de PSM.

Starling (2016), por exemplo, avaliou a empregabilidade dos processos foto-Fenton convencional e ferrioxalato no tratamento de um efluente de uma lavanderia têxtil localizada na região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. Os processos foto-Fenton convencional, ferrioxalato e fotoperoxidação-UV testados em bancada foram os mais eficientes dentre os POA avaliados, com remoção de 98%, 82% e 63% da DQO, respectivamente, além da remoção completa do corante. As características do efluente tratado se assemelharam à água utilizada no processo industrial. Foi realizado um delineamento experimental para o processo de foto-Fenton, por apresentar maior eficiência e por possuir melhor remoção de DQO em menor tempo, sendo definida a condição ótima de $[Fe(II)] = 20 \text{ mg/L}$ e $[H_2O_2] = 500 \text{ mg/L}$. Para testar a viabilidade do reúso, foi aplicada uma mistura do efluente tratado à água convencionalmente utilizada na etapa de tingimento. Não foram detectadas variações na coloração da qualidade final dos tecidos tingidos. De maneira análoga, os tecidos submetidos à lavagem com o efluente tratado não apresentaram nenhum dano. Dessa maneira, é possível economizar R\$ 6.160, 00 por mês com a captação da rede de abastecimento de água devido a adoção do reúso no processo produtivo.

Ribeiro e colaboradores (2017) avaliaram os efeitos da aplicação dos POAs Fenton ($Fe(II)/H_2O_2$), foto-Fenton ($Fe(II)/UV/H_2O_2$) e UV/H_2O_2 sobre um efluente têxtil pré-tratado por um sistema de lodos ativados. A indústria têxtil situa-se na região metropolitana de Belo Horizonte (Minas Gerais) e consome cerca de 48.300 m^3 de água mensalmente. O efluente gerado originou-se do tingimento de fibras distintas (algodão, viscose, poliéster e poliamida), os quais são submetidas a corantes reativos, azo, dispersos, além de substâncias ácidas e alcalinas. O planejamento experimental foi realizado considerando a DQO inicial do efluente como referência, sendo que foram testadas diversas relações $DQO/[H_2O_2]$ e $DQO/[H_2O_2]/[Fe^{2+}]$. É importante destacar que foram realizados dois controles durante os experimentos, sendo um sem íons de ferro e o outro sem adição de peróxido de hidrogênio. A eficiência de remoção da DQO no processo Fenton variou entre 45 e 66%, enquanto que o foto-Fenton apresentou valores entre 37- 68% e a

degradação do H_2O_2 diante da radiação UV, apenas 1 a 28%. A presença em excesso de sólidos suspensos e corantes no efluente pode ter influenciado no baixo consumo de H_2O_2 no último processo, uma vez que tais contaminantes absorvem a radiação UV. A partir de uma modelagem fatorial, foi constatado que a melhor alternativa de tratamento foi o processo Fenton na razão mássica de $\text{DQO}/[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{Fe}^{2+}]$ a 1:2:2. De fato, os resultados provenientes dessas condições apresentaram consumo completo do peróxido de hidrogênio, além de eficiência de remoção de DQO semelhante ao processo foto-Fenton sem a necessidade do custo adicional proveniente da radiação UV. O tratamento proposto foi capaz de remover 80% da alcalinidade do efluente, 26% da dureza total e 64% da DQO do efluente têxtil analisado. Um teste em escala piloto foi conduzido para avaliar a possibilidade do reúso da água no processo têxtil. A qualidade final dos tecidos tingidos com corante cinza e rosa ficou superior comparado com o tingimento convencional. Não foram encontrados traços de descoloração, opacidade ou demais efeitos adversos sobre as fibras. Portanto, o pós tratamento proposto foi considerado apropriado para o reúso do efluente no processo de tingimento.

Bezerra e colaboradores (2021) estudou o tratamento e reúso de um efluente proveniente da etapa de tingimento têxtil. Foi abordado o POA que envolve a adição de H_2O_2 na presença de radiação UV, no qual foi avaliado a remoção de cor de uma mistura de três corantes têxteis, a saber: amarelo reativo 176, vermelho reativo 241 e azul reativo 221. O experimento sob pH 4 apresentou eficiência de remoção de cor de 91%. Apesar da condutividade do efluente não ter sido removida, permanecendo na concentração de 70 g/L, o reúso do efluente no processo de tingimento não foi comprometido. De fato, foi calculado que a presença de sais no efluente tratado proporciona uma economia de 0,08 toneladas/mês na compra desses reagentes. Foram realizados testes espectrofotométricos para avaliar as diferenças na qualidade final do tecido tingido, sendo definido que o valor de $\Delta E < 1$ representa não haver diferenças significativas nas cores entre o tecido tingido de forma convencional e o tecido tingido com a água de reúso. Os resultados quanto ao reúso do efluente tratado foram promissores, uma vez que foi possível reutilizar em dois banhos de tingimento sem danificar os tecidos ou apresentar diferenças significativas na qualidade das cores, sendo que ΔE para o primeiro banho foi 0,25 e para o segundo banho apresentou valor de $\Delta E = 0,47$.

Marques (2017) avaliou o tratamento combinado de efluentes com MF, UF, NF no efluente de uma indústria têxtil localizada em São Carlos, São Paulo. Dentre os estudos realizados, a

configuração utilizando a membrana de 0,05 μm (MF) seguida de uma membrana de 200 Da (NF) foi a que apresentou resultados mais promissores. Houve redução final de 45% da condutividade, 68% de cálcio, 48% do magnésio, 40% da DQO, 36% da turbidez e 35% da DBO. Ao avaliar a possibilidade de reúso, o permeado não foi considerado adequado para ser reintroduzido no processo industrial, pois apresentou altas concentrações de DBO (1.266 mg O_2/L) e condutividade (8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Sua reutilização ficaria restrita, portanto, em lavagens de pisos, equipamentos e no abastecimento das caixas de descarga dos vasos sanitários. Ainda assim, observa-se a necessidade de oxidação da matéria orgânica residual, para se evitar crescimento microbológico. Dessa maneira, é indicado que seja realizado um pré-tratamento biológico do efluente antes de ser submetido à filtração por membranas (MARQUES, 2017).

Lebron e colaboradores (2021) avaliaram o reúso do efluente têxtil real após dois cenários de tratamento combinados: o primeiro com MF seguido de NF com aplicação final de foto-Fenton e o segundo seguindo a ordem MF, foto-Fenton seguido de NF. O efluente tratado foi obtido de uma indústria localizada no município de Paraopeba, em Minas Gerais. Foi observado que, já na etapa de MF, 99,1% do corante azul índigo foi retido no concentrado, podendo ser reutilizado nos processos de tingimento. Apesar de ter sido removido 69,8% e 78,5% de DQO, no cenário 1 e 2, respectivamente, foi observado que a concentração residual estava acima do requerido para sua utilização no processo de tingimento (131 ± 38 mg/L). Além disso, os teores de cobre ($0,6 \pm 0,1$ mg/L) e ferro ($29,9 \pm 2,4$ mg/L) também ficaram acima do requerido para o reúso. Apesar disso, o efluente tratado pode ser reutilizado na lavagem das fibras e de equipamentos. O primeiro cenário de tratamento apresentou menor custo; sendo U\$ 0,42/ m^3 (R\$ 2,18/ m^3) frente a U\$ 0,74/ m^3 (R\$ 3,83/ m^3) do segundo cenário, portanto, foi considerado o mais efetivo (LEBRON, *et al*, 2021).

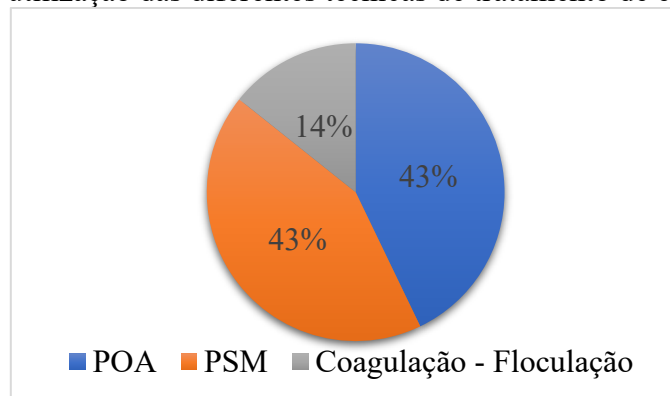
Considerando os estudos de caso citados no Brasil, observa-se que, de fato, os POA têm-se apresentado como técnicas promissoras no tratamento dos efluentes têxteis. Ribeiro e colaboradores (2017), por exemplo, conseguiram obter um tingimento de qualidade superior ao convencionalmente utilizado na indústrias adotando o processo Fenton com suas dosagens otimizadas. É importante ressaltar a necessidade de se realizar testes de otimizações específicos para cada tipo de efluente, uma vez que pode apresentar diferenças significativas entre as indústrias, por conta do tipo de corante e fibra utilizados. Os resultados do tratamento com PSMs demonstram essa realidade, a qual os efluentes tratados não apresentaram as características necessárias para

reúso no tingimento dos tecidos. Nesses casos, poderia ser desejável haver um pré tratamento utilizando a técnica de coagulação, por exemplo, de forma a auxiliar na remoção dos poluentes. Além disso, a vida útil das membranas é estendida, pois, dessa forma, há uma diminuição do risco de obstrução de seus poros.

3.8 Síntese dos trabalhos apresentados

O quadro 2 apresenta um levantamento de todos os trabalhos apresentados que visam o reúso do efluente nos processos têxteis. Pode-se observar que, em um panorama global, os melhores resultados encontrados aplicaram os PSM como método de remoção dos corantes. Os trabalhos publicados por pesquisadores brasileiros apresentaram, além disso, os POA como economicamente viáveis para o tratamento e reúso da água. Foram observadas combinações entre diferentes técnicas para atingir melhores resultados, de acordo com a necessidade de cada trabalho. No geral, as técnicas de POA e PSM apresentaram a mesma porcentagem de utilização nos trabalhos (gráfico 3). Isso pode ser explicado pelo fato de vários trabalhos terem desenvolvido técnicas combinadas de tratamento. Tais resultados são provenientes de uma pesquisa realizada com um número limitado de trabalhos se considerado os 2817 inicialmente encontrados durante a metodologia. Salienta-se que as impressões obtidas poderiam ser diferentes caso mais trabalhos fossem incluídos nessa presente análise.

Gráfico 3: Frequência de utilização das diferentes técnicas de tratamento de efluente



Fonte: Autoria Própria.

Quanto às técnicas de tratamento empregadas, é importante destacar que cada efluente possui características únicas, devido à complexidade das estruturas dos corantes e de seus diferentes tipos. Dessa forma, para saber a técnica mais rentável em termos econômicos e mais

eficiente em termos ambientais, são necessários estudos e testes de otimizações considerando um contexto específico no estudo de caso.

Quadro 2: Síntese dos trabalhos que visam tratamento e reúso de efluente têxtil

Referência	País	Técnica de tratamento mais promissora	Eficiências de remoção	Performance no reúso do efluente
STARLING, 2016	Brasil	Foto-Fenton ([Fe(II)] = 20 mg/L [H ₂ O ₂] = x500 mg/L)	98% DQO	Corantes dispersos ↓ R\$ 6.160, 00 / mês água
MARQUES, <i>et al.</i> , 2017	Brasil	MF (0,05 µm) → UF (200 Da)	45% condutividade 40% DQO 35% DBO	Alta DBO final (1.266 mg O ₂ /L) Inapropriado para reúso no processo industrial
RIBEIRO, <i>et al.</i> , 2017	Brasil	Processo Fenton (DQO/[H ₂ O ₂]/[Fe ²⁺] = 1:2:2)	80% alcalinidade 26% dureza total 64% DQO	Qualidade superior ao tingimento convencional
SILVA, <i>et al.</i> , 2018	Portugal	H ₂ O ₂ /UVC	100% cor ≤ 39% desmineralização	ΔE < 0,4 t = 30 e 45 min (R\$ 0,20/m ³) ΔE < 1,5 t = 20 min (R\$ 0,15/m ³)
BILIŃSKA, <i>et al.</i> , 2019	Polônia	EC → O ₃ (t = 18 min)	98% cor, (R\$ 30,12)	ΔE = 0,28 – 0,98
NÚÑEZ, <i>et al.</i> , 2019	Chile	EC (pH=9, t= 10 min, densidade de corrente = 8 mA/cm ²)	86 % cor 82% turbidez 59% DQO	ΔE = 0,72 ± 0,02 corantes cinza ΔE = 0,41 ± 0,03 corante azul escuro
DILAVER, <i>et al.</i> , 2018	Turquia	UF (3 kDa)	85-100% cor 85% DQO e COT	↓ custo energia ↓ custo água Retorno financeiro em 3 anos
NASDEEM, <i>et al.</i> , 2019	Turquia	UF → NF	99,7 % DQO 99,3% cor 95,5% condutividade	ΔE = 0,813

CINPERI, <i>et al.</i> , 2019	Turquia	MBR + OI + UV	99% turbidez 86% sólidos suspensos totais, 70% DQO 74% DBO 62% cor 19% sulfato	Reúso no tingimento com corantes médios e escuros.
YIN, <i>et al.</i> , 2019	China	C – F → filtro de areia → O ₃ → filtro de areia → UF → filtro de areia → OI	99,17 % DQO 99,11 % cor 98,09 % fósforo total 92,02 % cloreto 99,17 % sulfato 92,94 % condutividade	Efluente tratado atendeu aos padrões necessários para a reutilização da água.
AĞTAŞ, <i>et al.</i> , 2020	Turquia	UF → NF	90,1% DQO 82,2% cor 76,8% COT	Reúso satisfatório para corante azul marinho
SILVA, <i>et al.</i> , 2020b	Brasil	Foto fenton (pH = 2,8 t = 45 min)	76-94% cor	Resultados promissores nas etapas de lavagem, branqueamento e tingimento
BEZERRA, <i>et al.</i> , 2021	Brasil	H ₂ O ₂ /UV (pH=4)	91% remoção de cor Condutividade final de 70 g/L	ΔE = 0,25 e 0,47. Economia de 0,08 toneladas/mês na compra de reagentes
ĆURIĆ; DÓLAR; KARADAKIC, 2021	Croácia	UF (2 kDa)	79 % DQO 56 % DBO 82,4 % COT 99,3% turbidez 79,2 % condutividade	ΔE = 1,795. Não houve alterações na qualidade dos tecidos
ĆURIĆ; DOLAR; BOŠNJAK, 2021	Croácia	UF-HF/UF-FS/NF	94,6 % DQO 95,4 % DBO 76,3 % turbidez; 88,5 % COT	A presença dos sais Promoveu efeito positivo na fixação da cor na fibra têxtil. ΔE = 1,045
LEBRON, <i>et al.</i> , 2021	Brasil	MF → NF → Foto-Fenton	69,8% DQO	Reúso do corante azul índigo

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor têxtil apresenta grande importância socioeconômica em todo o mundo, pois, além das tendências da moda influenciarem a sociedade como um todo, o setor emprega milhões de pessoas em toda sua cadeia produtiva. Nos últimos anos, tem-se aumentado a procura pelo reúso de água nos processos industriais têxteis, tendo em vista que a crise hídrica já é realidade para milhões de pessoas ao redor do mundo. Como a indústria têxtil consome uma elevada quantidade de água em seu processamento e apresenta capacidade de reúso desse recurso natural, o presente trabalho buscou levantar as principais técnicas de tratamento de efluentes têxteis visando sua reutilização no próprio processo produtivo.

Em vários países como Turquia, Portugal, Irã e Polônia, pesquisadores têm se mobilizado na busca de desenvolver estratégias que visam reduzir custos e apresentar bons resultados no que se refere ao tratamento de efluentes têxteis e viabilidade do reúso da água. Os processos por separação por membranas têm-se apresentado como uma das alternativas mais promissoras, principalmente no que diz respeito à ultrafiltração e à nanofiltração, uma vez possibilitam alcançar, com melhor eficiência, os níveis de qualidade necessários para a reutilização em processos de lavagem e tingimento têxtil. Foi observado que em muitos estudos analisados, o efluente tratado apresentou bons resultados em seu reúso sem afetar a qualidade dos tecidos tingidos. Alguns trabalhos demonstraram que o investimento foi recuperado em menos de 2 anos.

Pode-se observar pelas pesquisas realizadas no Brasil, que a prática de reúso da água ainda não é tão difundida quanto em outros países. As pesquisas citadas neste trabalho foram realizadas nos estados de Minas Gerais e São Paulo que ainda é pouco comparado à potencialidade dos demais estados em realizarem pesquisas científicas na área. Os processos abordados que apresentaram bons resultados foram os processos de separação por membranas e os processos oxidativos avançados. Dentre eles, o segundo método de tratamento apresentou melhores resultados na reutilização do efluentes tratados no processo industrial têxtil. Em um trabalho foi alcançada uma economia de R\$ 6.160,00 por mês na captação de água, por conta da resutilização do efluente tratado no processamento têxtil. Em outra pesquisa, ficou evidenciado que a presença de sais no efluente tratado permitiram uma economia mensal na aquisição de 80 kg desses reagentes. É relevante destacar que cada estudo avalia uma indústria com características únicas, uma vez que os

processamentos são distintos e complexos. Dessa forma, é importante que seja incentivada a realização de mais estudos semelhantes, para que a ideia de reúso seja difundida no setor têxtil de forma que cada um encontre seu método mais adequado, tanto em termos financeiros, quanto em termos ambientais.

REFERÊNCIAS

ABIT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS TÊXTEIS. **Perfil do setor:** Dados gerais do setor referentes a 2019 (atualizados em dezembro de 2020). Disponível em: <<http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969. **Tanques sépticos** - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: 1997.

AGENDA 2030. Plataforma Agenda 2030. **Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** 2021. Disponível em: <<http://www.agenda2030.org.br/>>. Acesso em 10 ago. 2021.

AĞTAŞ, M.; YILMAZ, Ö.; DILAVER, M.; ALP, K.; KOYUNCU, İ. Hot water recovery and reuse in textile sector with pilot scale ceramic ultrafiltration/nanofiltration membrane system. **Journal of Cleaner Production.** v. 256 n. 120359. [S.I.]. 2020.

ALEMAR, A. **Geopolítica das Águas:** O Brasil e o Direito Internacional Fluvial. 2006. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia: 2006.

ALMEIDA, A. P. **Descoloração De Corantes Têxteis Por *Phanerochaete Chrysosporium* Por Sistema Submerso.** 2018. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: 2018.

ALVES, M. J. **Avaliação dos processos de filtração por Membranas e de adsorção na purificação de biodiesel.** 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia: 2015.

AMENGOL, B. P. C. **Avaliação do uso de processos químicos no tratamento de efluente têxtil.** 2017. Trabalho de Final de Curso (Engenharia Sanitária e Ambiental) - Faculdade de Engenharia da UFJF. Juiz de Fora, 2017.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Atlas Brasil:** Abastecimento Urbano de Água. Panorama Nacional Volume 1. Engecorps / Cobrape. Brasília: 2010.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial. Brasília: 2015.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Manual de Usos Consultivos da Água no Brasil**. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: 2019.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020**: informe anual. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: 2020.

AVELAR, N. V. **Potencial Dos Resíduos Sólidos Da Indústria Têxtil Para Fins Energéticos**. 2012. Dissertação (Mestrado em *Magister Scientiae*) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: 2012.

BAIRD, C.; CANN, M. **Environmental Chemistry**. Fourth edition. W. H. Freeman and Company. New York, 2008.

BAPTISTELLA, A. M. S. **Tratamento Terciário do Efluente do Polo Têxtil de Caruaru – PE Com o Uso do Lodo Galvânico**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife: 2018.

BEZERRA, K. C. H.; FIASCHITELLO, T. R.; LABUTO, G.; FREEMAN, H. S.; FRAGOSO, W. D.; COSTA, S. M.; COSTA, S. A. Reuse Of Water From Real Reactive Monochromic And Trichromic Wastewater For New Cotton Dyes After Efficient Treatment Using H₂O₂ Catalyzed By UV Light. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. v. 9. n. 105731. [S.I.]: 2021.

BILIŃSKA, L.; GMUREK, M.; LEDAKOWICZ, S. Textile Wastewater Treatment by AOPs for Brine Reuse. **Process Safety and Environment Protection**. v. 109. 420-428 p. [S.I.]:2017.

BILIŃSKA, L.; BLUS, K.; GMUREK, M.; LEDAKOWICZ, S. Coupling of electrocoagulation and ozone treatment for textile wastewater reuse. **Chemical Engineering Journal**. v. 358. 992 – 1001 p. [S.I.]: 2019.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia**

Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável. 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Publicada no DOU em 9 de janeiro de 1997.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – **CNRH nº 32 de 15 de outubro de 2003.** Institui a Divisão Hidrográfica Nacional, em regiões hidrográficas, nos termos dos Anexos I e II desta Resolução, com a finalidade de orientar, fundamentar e implementar o Plano Nacional de Recursos Hídricos. Publicada no DOU em 17 de dezembro de 2003.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional De Recursos Hídricos – **CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005.** Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. Publicada no D. O. U. em 09 mar. 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano.** Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – **CONAMA, Nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Diário Oficial da República Federativa do Brasil nº 92, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 de maio de 2011.

CAMMAROTA, M. C. **Engenharia do Meio Ambiente.** Notas de Aula: Tratamento de Efluentes Líquidos. Terceira Revisão. Engenharia de Meio Ambiente. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: 2011.

CARTA, D. F. J. **A Estação de Tratamento de Esgoto – ETE e a Demanda de Cobertura do Sistema de Esgotamento Sanitário de Boa Vista/RR.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Roraima. Boa Vista: 2019.

CAVALCANTI, F. M. D.; LYRA, M. R. C. C.; OLIVEIRA, E. J. A.; SILVA, R. F. **Considerações sobre o Uso e o Descarte da Água em Lavanderias Têxteis Industriais**. Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - CONGESTAS, 2., 2014, João Pessoa. João Pessoa: Congestas, 2014.

CHAI, W. S. *et al.* A review on conventional and novel materials towards heavy metal adsorption in wastewater treatment application. **Journal of Cleaner Production**. v. 296. n.126589. [S.I.]: 2021.

CINPERI, N. C.; CHEUN, J. Y.; KUMAR, P. S.; MUBASHIR, M.; MAJEED, Z. BANAT, F. HO, S-H; SHOW, P. L. Treatment of Woolen Textile Wastewater Using Membrane Bioreactor, Nanofiltration and Reverse Osmosis for Reuse in Production Processes. **Journal of Cleaner Production**. v. 223. 837-848 p. [S.I.]: 2019. 2019.

CRINI, G. LICHTFOUSE, E. Advantages and Disadvantages of Techniques Used for Wastewater Treatment. **Environmental Chemistry Letters**.v. 17. 145-155p. Springer Verlag: 2019.

COLAIANNI, S. GOTEX SHOW. Encontro Internacional de Têxtil e de Negócios. 21 mai. 2020. **Sustentabilidade: o desafio da indústria têxtil**. Disponível em: <<https://gotexshow.com.br/noticias/sustentabilidade-desafio-industria-textil/>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

COLLIVIGNARELLI, M. C.; ABBÀ, A.; MIINO, M. C.; DAMIANI, S. Treatments for color removal from wastewater: State of the art. **Journal Of Environmental Management**. v. 236. 727-745 p. [S.I.]: 2019.

ĆURIĆ, I.; DOLAR, D.; BOŠNJAK, J. Reuse of textile wastewater for dyeing cotton knitted fabric with hybrid treatment: Coagulation/sand filtration/UF/NF-RO. **Journal of Environmental Management**. v. 295. n. 113133. [S.I.]: 2021.

ĆURIĆ, I.; DÓLAR, D.; KARADAKIC, K. Textile wastewater reusability in knitted fabric washing process using UF membrane technology. **Journal of Cleaner Production**. v. 299. n. 126899. 2021.

DILAVER, M.; HOCAOĞLU, S. M.; SOYDEMIR, G.; DURSUN, M. KESKINLER B.; KOYUNCU, İ; AĞTAS, M. Hot Wastewater Recovery by Using Ceramic Membrane Ultrafiltration and its Reusability in Textile Industry. **Journal of Cleaner Production**. v. 171. 220-233 p. [S.I.]: 2018.

ENGER, E. D.; SMITH, B. F. **Ciencia Ambiental**: Un estudio de Interrelaciones. Décima Edición. Traducido de la décima edición de: Environmental Science: A Study Of Interrelationships. McGraw-Hill/Interamericana Editores. Álvaro Obregón: 2006.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **Guidelines for Water Reuse 2012**. Office of Wastewater and Management Office of Water. Washington, D.C.: 2012.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **Potable Reuse Compendium 2017**. Office of Wastewater and Management Office of Water. Washington, D.C.: 2017.

FAO. Food and Agriculture Organization of The United Nations. **Water Pollution From Agriculture**: A Global Review. Executive Summary. Rome: 2017.

FAO. Food and Agriculture Organization of The United Nations. **Incorporating environmental flows into “water stress” indicator 6.4.2**: Guidelines for a minimum standard method for global reporting. Rome: 2019.

FELIZATTO, M. R. **Tratamento De Esgotos Sanitários Usando Reator UASB Seguido De Microfiltração Por Membrana Submersa**. 2017. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília: 2017.

FERNANDES, A. K. S. F. **Reúso De Água No Processamento De Jeans Na Indústria Têxtil**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: 2010.

FERREIRA, P. **Água Invisível**. EBC. 2018. Disponível em: < <https://www.ebc.com.br/especiais-agua/agua-invisivel/>>. Acesso em: 28 jul. 2021.

FIEMG; FEAM. Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais e Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil**. [S.I.]: 2014.

FLECK, L. **Aplicação do controle estatístico de processos ao tratamento de um efluente têxtil por eletrofloculação**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2011.

FREIRE, L. F. A., *et al.* Avaliação da Adsorção de Efluente Têxtil por Compósitos de Quitosana. **Processos Químicos** - SENAI. n° 24. Ano 12. Anápolis: 2018.

GHERASIM, C-V.; MIKULÁŠEK, P. Influence of operating variables on the removal of heavy metal ions from aqueous solutions by nanofiltration. **Desalination**. 343. v. 67-74p. Czech Republic:2014.

GILPAVAS, E.; DOBROSZ-GOMEZ, I.; GOMEZ-GARCÍA, M. A. Coagulation-flocculation sequential with Fenton or Photo-Fenton processes as an alternative for the industrial textile wastewater treatment. **Journal Of Environmental Management**, Colombia, v. 191, p.189-197, 14 jan. 2017.

GILPAVAS, E; DOBROSZ-GOMEZ, I.; GOMES-GARCÍA, M. A. Optimization of Sequential Chemical Coagulation - Electro-oxidation Process for the Treatment of An Industrial Textile Wastewater. **Journal of Water Process Engineering**. v. 22. 73-79 p. [S.I.]: 2018.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. **Processos de Separação por Membranas**.1 ed. Rio de Janeiro: E-papers, 2006.

HILDEBRAND, C. **Reúso de água de efluentes do tingimento da indústria têxtil utilizando sistemas de membranas**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de pós-graduação em Engenharia Química, Centro Tecnológico, Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

HOEKSTRA, A.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. **The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard**. Earthscan: 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agro 2017**. [S.I.] [2017]. Disponível em: <<https://censos.ibge.gov.br/2013-agencia-de-noticias/releases/20465-brasil-consome-6-litros-de-agua-para-cada-r-1-produzido-pela-economia.html>>. Acesso em 26 mai. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Brasil consome 6 litros de água para cada R\$ 1 produzido pela Economia.** [S.I.]. [2018a]. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/20465-brasil-consome-6-litros-de-agua-para-cada-r-1-produzido-pela-economia>>. Acesso em 04 jun. 2021.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PNAD 2017: **Características gerais dos domicílios e dos moradores 2017.** Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua 2017. [S.I.]: 2018b.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PNSB 2017: **Abastecimento de água atinge 99,6% dos municípios, mas esgoto chega a apenas 60,3%.** [S.I.]. [2020]. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/28324-pnsb-2017-abastecimento-de-agua-atinge-99-6-dos-municipios-mas-esgoto-chega-a-apenas-60-3>>. Acesso em 04 jun. 2021.

IMAP. Instituto De Meio Ambiente Pantanal. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. **Relatório de qualidade das águas superficiais da bacia do Alto Paraguai 2002.** Campo Grande: 2003.

KANT, R. Textile dyeing industry an environmental hazard. **Natural Science.** v. 4. n. 1. 22-26p. [S.I.]: 2012.

KESKIN, B.; ERSAHIN, M. E.; OZGUN, H.; KOYUNCU, I. Pilot and full-scale applications of membrane processes for textile wastewater treatment: A critical review. **Journal of Water Process Engineering.** v. 42. n. 102172. [S.I.]: 2021.

KLITZKE, J. **Mercado de Cânhamo:** Um Estudo Acerca do Potencial Mercadológico Alinhado ao Desenvolvimento Sustentável para Aplicações da Fibra de Cânhamo Industrial. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Administração) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: 2019.

LEBRON, Y. A. R.; MOREIRA, V. R.; MAIA, A.; COUTO, C. F.; MORAVIA, W. G.; AMARAL, M. C. S. Integrated Photo-Fenton and Membrane-based Techniques For Textile Effluent Reclamation. **Separation and Purification Technology.** v. 272. n. 118932. [S.I.]: 2021.

LENZI, E.; FAVERO, L.O.B.; LUCHESE, E.B. **Introdução à Química da Água**: Ciência, Vida e Sobrevivência. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

LYNDEN-BELL; R. M.; MORRIS, S. C.; BARROW, J. D.; FINNEY, J. L.; JR., C. L. H. **Water and life**: The unique properties of H₂O. CRC Press, Boca Ranton: 2010.

MARÉCHAL, Y. **The Hydrogen Bond and The Water Molecule**: The Physics and Chemistry of Water, Aqueous and Bio Media. First edition. Elsevier. Grenoble: 2007.

MARSON, M. D. A evolução da indústria de máquinas e equipamentos no Brasil: Dedini e Romi, entre 1920 e 1960. **Nova Economia**. v. 24, n. 3. Belo Horizonte: 2014.

MARTINS, R. S. L. **Empresas E Gestão Da Água**: Uma Abordagem A Partir Do Uso Do Indicador Pegada Hídrica. 2014. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Universidade de São Paulo. São Paulo: 2014.

MARQUES, A. F. **Pós-tratamento Por Membranas Da Água Residuária Do Processo De Tingimento De Indústria Têxtil Com Vistas ao Reúso**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo. São Carlos: 2017.

MEDEIROS, T. C. R. N. **Estudo Do Processo De Fabricação E Tingimento De Fitas Elásticas Na Indústria Têxtil**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Química industrial) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza: 2017.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual De Recursos Hídricos De Minas Gerais. **Deliberação Normativa CERH-MG nº 65, de 18 De junho de 2020**. Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. Publicado no Diário Executivo de Minas Gerais em 20 jun. 2020 e retificado no dia 23 jun. 2020.

NASCIMENTO, R. F. LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. **Adsorção**: Aspectos teóricos e aplicações ambientais. Imprensa Universitária. 256 p. Fortaleza: 2014.

NASDEEM, K.; GUYER, G. T.; KESKINLER, B.; DIZGE, N. Investigation of segregated wastewater streams reusability with membrane process for textile industry. **Journal of Cleaner Production**. v. 228. 1347-1445 p. [S.I.]: 2019.

NETO, G. C. O.; SILVA, P. C.; TUCCI, H. N. P.; AMORIM, M. Reuse of water and materials as a cleaner production practice in the textile industry contributing to blue economy. **Journal Of Cleaner Production**. v. 305. n. 127075. [S.I.]: 2021.

NÚÑEZ, J.; YEBER, M.; CISTERNAS, N.; THIBAUT, R.; MEDINA, P.; CARRASCO, C. Application of Electrocoagulation for the Efficient Pollutants Removal to Reuse the Treated Wastewater in the Dyeing Process of the Textile Industry. **Journal of Hazardous Materials**. v. 371. 705-711 p. [S.I.]: 2019.

OLIVEIRA, A. S. **Tratamento de Esgoto Pelo Sistema de Lodos Ativados no Município de RIBEIRÃO PRETO, SP: Avaliação da Remoção de Metais Pesados**. 2006. Dissertação (mestrado) - Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto: 2006.

OLIVEIRA, O. M. M. F.; JUNIOR, K. S.; SCLHLÜNZEN, E. T. M. Coleção Temas de Formação: **Química**. v. 3. Cultura Acadêmica, Universidade Federal Paulista: Núcleo de Educação à Distância. São Paulo: 2013.

PALHARES, J. C. P. **Consumo de água na produção animal**. Comunicado técnico 102, EMBRAPA. São Carlos: 2013.

PATIL, C. S.; KADAM, A. N.; GUNJAL, D. B.; NAIK, V. M.; LEE, S-W.; KOLEKAR, G. B.; GORE, A. N. Sugarcane Molasses Derived Carbon Sheet@Sea Sand Composite For Direct Removal Of Methylene Blue From Textile Wastewater: Industrial Wastewater Remediation Through Sustainable, Greener, And Scalable Methodology. **Separation and Purification Technology**. V.247. 116997. [S.I.]: 2020.

PEIG, D. B. **Modelo Para Otimização do Projeto de Sistemas de Ultrafiltração**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) – Universidade de São Paulo. São Paulo: 2011.

PEPPER, I. L.; GERBA, C. P.; BRUSSEAU, M. L. **Environmental and Pollution Science**. Second Edition. Elsevier Academic Press Publications. Burlington, California, London: 2006.

PEREIRA, V. T.; SOUZA, R. L.; PIMENTA, F. D.; PICARDO, M. C. Avaliação do Potencial da Spirulina Maxima na Remoção da Cor em Efluentes Oriundos do Beneficiamento Têxtil. **Processos Químicos**. n. 24. Ano 12. Anápolis: 2018.

PORTAL DA INDÚSTRIA. **A importância da indústria para o Brasil**. Atualização: 23 abr. 2021. <https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/importancia-da-industria/>. Acesso em: 06 jun. 2021.

PUNZI, M., NILSSON, F.; ANBALAGAN, A.; SVENSSON, B-M.; JÖNSSON, K.; MATTIASSON, B; JONSTRUP, M. Combined anaerobic–ozonation process for treatment of textilewastewater: Removal of acute toxicity and mutagenicity. **Journal of Hazardous Materials**. v. 292. 52-60p. [S.I.]: 2015.

RIBEIRO, M. C. M. **Avaliação Da Possibilidade De Reúso De Efluentes Têxteis Após Tratamento Complementar por Processos Oxidativos Avançados**. 2009. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2009.

RIBEIRO, M. C. M.; STARLING, M. C. V. M.; LEÃO, M. M. D.; AMORIM, C. C. Textile wastewater reuse after additional treatment by Fenton’s reagent. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 24. 6165-6175p. [S.I.]: 2017.

ROSSI, F. E. **Os Principais Problemas Relacionados Ao Comércio Internacional Do Setor Têxtil Brasileiro**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Comércio Internacional) - Universidade de Caxias do Sul. Bento Gonçalves: 2019.

SABESP. **Norma Técnica Sabesp NTS 230**. Projeto de Lagoas de Estabilização e Seu tratamento Complementar Para Esgoto Sanitário. São Paulo: 2009.

SAKAMOTO, M.; AHMED, T.; BEGUM, S.; HUQ, H. Water Pollution and the Textile Industry in Bangladesh: Flawed Corporate Practices or Restrictive Opportunities?. **Sustainability**. v 11. n. 7. 2019.

SATURNINO, I. M. **Estudo Da Adsorção No Tratamento De Corantes Presentes Em Efluentes Têxteis. “Uma Revisão Sistemática Das Monografias Da UFRN”**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: 2020.

SCOTTÁ, J. **Avaliação E Otimização De Uma Estação De Tratamento De Esgoto Com Sistema Fossa E Filtro De Um Município Da Serra Gaúcha**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Centro Universitário UNIVATES. Lajeado: 2015.

SILVA, L. G. M.; MOREIRA, F. C.; SOUZA, A. A. U.; SOUZA, S. M. A. G. U.; BOAVENTURA, R. A. R.; VILAR, V. J. P. Chemical and electrochemical advanced oxidation processes as a polishing step for textile wastewater treatment: A study regarding the discharge into the environment and the reuse in the textile industry. **Journal of Cleaner Production**. v. 198. 430-442. [S.I]: 2018.

SILVA, R. S.; RAMLOW, H.; CAVALCANTI, C. D.; VALLE, R. C. S. C.; MACHADO, R. A. F.; MARANGONI, C. Steady State Evaluation with Different Operating Times in the Direct Contact Membrane Distillation Process Applied to Water Recovery from Dyeing Wastewater. **Separation and Purification Technology**. v. 230. n. 115892. [S.I.]: 2020a.

SILVA, L. M. G.; MOREIRA, F. C.; CECHINEL, M. A. P.; MAZUR, L. P.; SOUZA, A. A. U.; SOUZA, S. M. A. G. U.; BOAVENTURA, R. A. R.; VILAR, V. J. P. Integration Of Fenton’s Reaction Based Processes And Cation Exchange Processes In Textile Wastewater Treatment As A Strategy For Water Reuse. **Journal of Environmental Management**. v. 272. n. 111082. [S.I.]: 2020b.

SNIRH. Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos. **Atlas Água: Abastecimento Urbano de Água**. [S.I.]. Disponível em: < <https://www.snirh.gov.br/agua-esgoto/agua-tabs/informacoes>>. Acesso em: 26 mai. 2021.

SNS. Secretaria Nacional de Saneamento. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019.** SNS/MDR. Brasília: 2020.

SOUTO, T. J. M. P. **Estudo do Comportamento Químico e Ambiental de Efluentes Industriais E Resíduos Sólidos Oriundos De Lavanderias Do Polo Têxtil No Agreste Pernambucano.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife: 2017.

SOUZA, J. S. PEDROSA, P.; GATTS, P. V.; GRAVINA, G. A. Aplicação Das Concentrações E Proporções De Nutrientes No Diagnóstico Da Eutrofização. **Vértices.** v.16, n.1, p. 199-218. Campos dos Goytacazes: 2014.

SOUZA, P. C.; PEREIRA, N. C.; GONÇALVES, M. S.; FILHO, N. C.; RODRIGUES, P. H.; JAMARIM, V. M. Estudo Do Tratamento De Efluente Têxtil Através De Processos De Coagulação/Floculação E Eletrocoagulação. **E-xacta,** v. 9, n. 2, p.123-132. [S.I.]: 2016.

SOUZA, A. P. S.; PROCÓPIO, P. P. **Utilização De Processo Fenton Para Tratamento De Efluente Contendo Corante Disperso.** 2018. Iniciação Científica. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2018.

SOUZA, A. P. S.; PROCÓPIO, P. P. **Tratamento Combinado de Efluentes Têxteis Por Coagulação – Floculação, Seguido de Adsorção.** 2019. Iniciação Científica. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2019.

STARLING, M. C. V. M. **Aplicação de Foto-Fenton Solar em Efluente Têxtil Visando à Obtenção de Água de Reúso.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2016.

STUCHI, G. A. D.; TACONELLI, M.; LANGHI, V. A. B. **Geração Termelétrica: Principais Componentes e Tipos de Centrais Termelétricas.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos: 2015.

TASNEEM, A.; SARKER, P.; AKTER, S.; MOUNA, S. S. P.; RAHAMAN, M. S.; MOHINUZZAMAN, M.; UDDIN, M. K.; KABIR, M.M. Textile Wastewater Treatment by

Combination of Chemical and Phytoremediation Processes. **Pollution**. v. 7. n. 1. 43-54 p. [S.I.]: 2021.

TAVANGAR, T.; JALALI, K.; SHAHMIRZADI, M. A. A.; KARIMI, M. Toward real textile wastewater treatment: Membrane fouling control and effective fractionation of dyes/inorganic salts using a hybrid electrocoagulation – Nanofiltration process. **Separation and Purification Technology**. v. 216. 115-125p. [S.I.]: 2019.

TELLES, D. D.; COSTA, R. P. **Reúso da Água**: Conceitos, Teorias e Práticas. 2ª edição revista, atualizada e ampliada. Blucher. [S.I.]: 2010.

UMBUZEIRO, G. A. **Guia de Potabilidade Para Substâncias Químicas**. Limiar. São Paulo: 2012.

UN. The United Nations. **Managing Water under Uncertainty and Risk**: The United Nations World Water Development Report 4 Volume 1. The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Paris: 2012.

UN. The United Nations. **Global Agenda 2013**: Water, Energy, and the Arab Awakening. United Nations University. Hamilton: 2014.a.

UN. The United Nations. **The Millenium Development Goals Report 2014**. United Nations. New York: 2014.b.

UN. The United Nations. **The United Nations World Water Development Report 2015**: Water for a Sustainable World. United Nations Educational, Scientific and Cultural. Paris: 2015.

UN. United Nations. **World Urbanization Prospects**: The 2018 Revision. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2018. Disponível em <<https://population.un.org/wup/DataQuery/>>. Acesso em: 02 jul. 2021.

UN. The United Nations. **World Water Development Report 2021**: Valuing Water. UNESCO. Paris: 2021.

UN WATER. **Water Security & the Global Water Agenda: A UN-Water Analytical Brief.** Hamilton/ Ontario: 2013.

UN WATER. **Wastewater Management: A UN-Water Analytical Brief.** 2015.

UNICEF. **United Nations Children's Fund.** Remagining WASH: Water Security for all. UNICEF: 2021.

VAJNHANDL, S.; VALH, J. V. The status of water reuse in European textile sector. **Journal of Environmental Management**, v. 141, p. 29-35. [S.I.]: 2014.

VIANA, M. A.; LIRA, E. B. S.; COELHO, C. P. G.; BEZERRA, A. P. X. G.; LORENA, E. M. G.; HOLANDA, R. M. Pegada hídrica em indústria de beneficiamento de jeans no Agreste Pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. v. 03 n. 01. 061-068 p. [S.I.]: 2018.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e Ao Tratamento de Esgotos.** Volume 1. 2ª edição. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: 1996.

WADA, A. A. Tratamento De Efluentes De Tingimento Por Processos Oxidativos Avançados: Revisão Da Literatura. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Têxtil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana: 2017.

WARSINGER, D. M.; CHAKRABORTY, S.; TOW, E. W.; PLUMLEE, M. H.; BELLONA, C.; LOUTATIDOU, S.; KARIMI, L.; MIKELONIS, A. M.; ACHILLI, A.; GHASSEMI, A.; PADHYE, L. P.; SNYDER, S. A.; CURCIO, S.; VECITIS, C. D.; ARAFAT, H. A.; LIENHARD, J. H. V. A Review Of Polymeric Membranes And Processes For Potable Water Reuse. **Progress in Polymer Science**. v. 81. 209-237p. [S.I.]:2018.

YAGUB, M. T.; SEN, T. K.; AFROZE, S.; ANG, H. M. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. **Advances In Colloid And Interface Science**. v. 209. 172- 184p., [S.I.]: 2014.

YIN, H; QIU, P.; KONG, Z.; ZHENG, X.; TANG, Z. GUO, H. Textile Wastewater Treatment for Water Reuse: **A Case Study. Processes.** v. 7. n. 34. [S.I.]: 2019.