

# TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS TÊXTEIS: UMA BREVE REVISÃO

## JÉSSICA TALITA ZAGONEL

Mestre em Ciência e Biotecnologia pela Universidade do Oeste de Santa Catarina; Professora na Universidade do Oeste de Santa Catarina, [jessica.zagonel@unoesc.edu.br](mailto:jessica.zagonel@unoesc.edu.br);

## FLÁVIA SURDI

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade do Oeste de Santa Catarina, [flavia\\_surdi@hotmail.com](mailto:flavia_surdi@hotmail.com);

## EMANUELE FERNANDA ZAGONEL

Bacharel em Biotecnologia Industrial pela Universidade do Oeste de Santa Catarina, [emanuele\\_zagonel@yahoo.com.br](mailto:emanuele_zagonel@yahoo.com.br).

## RESUMO

A principal questão ambiental decorrente das indústrias têxteis refere-se à poluição das águas, por este motivo que o tratamento das águas residuárias oriundas do beneficiamento de tecidos é imprescindível, e dentre os métodos disponíveis, ressaltam-se os processos biológicos, processos oxidativos avançados e físico-químicos de adsorção e coagulação/floculação. Com base no exposto, o presente trabalho buscou realizar um breve levantamento bibliográfico a respeito das características das águas residuárias têxteis e os impactos ambientais decorrentes do seu descarte incorreto, bem como explicar a respeito das principais técnicas aplicadas na remediação destas águas. Ao término do estudo, constatou-se que as águas residuárias têxteis comportam risco para a integridade ambiental, principalmente, dos recursos hídricos e que suas características podem variar sazonalmente ou mesmo diariamente, além de diferirem de uma empresa para outra, em virtude da matéria-prima, produtos e tecnologias utilizadas. No que se refere aos métodos de tratamento, a escolha pelo mais adequado dar-se-á em razão de diversos motivos, entre eles a eficiência requerida da estação, custo-benefício e o destino da água tratada, uma vez que todos apresentam pontos positivos e negativos.

**Palavras-chave:** Poluição ambiental, Efluente têxtil, Tratamento biológico, Tratamentos físico-químicos, POA's.

## INTRODUÇÃO

As peças de vestuário carregam consigo traços da personalidade e cultura de cada indivíduo. Estas transitam pela história da humanidade como símbolo de evolução, revolução e separação de classes sociais. Para sua confecção, atualmente, emprega-se as mais diversas tecnologias e matérias-primas. E em razão do processo industrial complexo, as indústrias do ramo têxtil são consideradas altamente prejudiciais à natureza.

A principal questão ambiental decorrente deste modelo de indústria refere-se à poluição das águas. Uma vez que, a água é o principal meio para a remoção de impurezas, aplicação de corantes e agentes de acabamento (LOTITO et al., 2012). Desta forma, as indústrias têxteis afetam o meio ambiente através do uso intenso da água e pela complexidade dos produtos químicos oriundos do processo de fabricação (NAWAZ; AHSAN, 2014).

A composição das águas residuárias têxteis dependem do tipo de tecido, produtos químicos, corantes (CHEQUER et al., 2013) e do beneficiamento aplicado. Entretanto, de maneira geral as águas residuárias têxteis apresentam na sua composição, compostos como: ácidos, enzimas, amido, corantes, resinas, solventes, ceras, óleos (VERMA; DASH; BHUNIA, 2012), sais orgânicos recalcitrantes, surfactantes e clorados (CHEQUER et al., 2013). Além de, conter traços de metais como: cromo, arsênio, cobre e zinco (GHALY et al., 2014) e elementos orgânicos tóxicos e de baixa biodegradabilidade (MANENTI et al., 2015a).

Tais compostos conferem às águas residuárias têxteis características como inconstância nos parâmetros de demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pH, cor (CHEQUER et al., 2013), temperatura, sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos totais (GOSAVI; SHARMA, 2014).

Perante as constatações anteriores, o descarte de águas residuárias têxteis sem os devidos cuidados pode acarretar sérios prejuízos para os mais diferentes ecossistemas, o que torna seu tratamento imprescindível. Desta forma, por meio de um levantamento bibliográfico, o presente artigo objetivou, apontar as características das águas residuárias provenientes de indústrias têxteis e os impactos que estas causam no meio ambiente, assim como explicar a respeito das principais técnicas empregadas no tratamento destas águas.

## METODOLOGIA

Este trabalho tem natureza básica pura ou fundamental, abordando como tema central as águas residuárias têxteis e as diferentes técnicas de tratamento destas. Do ponto de vista dos objetivos, o estudo classifica-se como exploratório e em relação aos seus procedimentos técnicos como bibliográfico.

### ÁGUAS RESIDUÁRIAS TÊXTEIS: CARACTERÍSTICAS

A indústria têxtil tem a água como seu principal insumo. Esta é empregada em grandes volumes nas operações de limpeza, tingimento, impressão, lavagem (FREITAS et al., 2018) e acabamento (CHEQUER et al., 2013). Estima-se que o consumo médio se situa em 200 L de água por kg de tecido processado (CHEQUER et al., 2013; HOLKAR et al., 2016). Tal volume pode variar, de acordo com as técnicas específicas de cada fábrica, os equipamentos adotados e a filosofia predominante do uso da água (VERMA; DASH; BHUNIA, 2012).

No que tange os recursos hídricos, as águas residuárias oriundas do beneficiamento de tecidos são classificadas como as mais nocivas para o meio ambiente devido ao elevado volume de descarga e a diversidade de sua composição (PELOSI; LIMA; VIEIRA, 2014). De maneira geral na constituição destas observa-se a presença de diversos reagentes químicos alcalinos, ácidos, produtos para o branqueamento, enzimas, amido, resinas, solventes, (VERMA; DASH; BHUNIA, 2012), sais, corantes, ceras e óleos (MANENTI et al., 2015b). Além de compostos orgânicos, clorados recalcitrantes, surfactantes (CHEQUER et al., 2013) agentes de fixação, agentes oxidantes e agentes dispersantes e alisantes (FREITAS et al., 2018).

As combinações dos compostos mencionados anteriormente conferem a essas águas residuárias características como: detecção de grandes concentrações de sólidos em suspensão e demanda química de oxigênio (DQO) e pH variável. E em alguns casos, podem apresentar temperatura elevada, cor, (YACOUT; HASSOUNA, 2016) turbidez, salinidade, compostos tóxicos (FREITAS et al., 2018) e de baixa biodegradabilidade (MANENTI et al., 2015a) e ainda traços de metais como: cromo, arsênio, cobre e zinco (GHALY et al., 2014).

Na Tabela 1 acham-se expresso valores para alguns parâmetros de águas residuárias têxteis constatados por diferentes pesquisadores no decorrer de seus estudos.

**Tabela 1** - Características físico-químicas de águas residuárias têxteis de acordo com diferentes pesquisadores

pH	DQO (mg L <sup>-1</sup> )	DBO (mg L <sup>-1</sup> )	SST (mg L <sup>-1</sup> )	SDT (mg L <sup>-1</sup> )	Turbidez (NTU)	Fonte
8,32 - 9,5	278 - 736	137	85 - 354	-	-	Phalakornkule et al., 2010
7,32	2100	-	52,05	-	75,75	Blanco et al., 2012
7,3	1693	856	3768	5765	-	Charumathi; Das, 2012
12,0	1638	-	9760	6620	31,24 <sup>1</sup>	Sabur; Safiullah, 2012
6,2	712	215	-	5875	-	Solanki et al., 2013
7,29 ± 0,07	1560	-	36,05 ± 1,0	-	66,75 ± 6,8	Blanco et al., 2014
6,5 ± 0,02	1310 ± 25	180 ± 20	-	-	-	Ghanbari; Moradi, 2015

Fonte: As autoras

## POLUENTES IDENTIFICADOS NA CONSTITUIÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS TÊXTEIS E O RISCO AMBIENTAL QUE REPRESENTAM

Dentre os poluentes encontrados em águas residuárias têxteis, a presença de corantes, surfactantes, sólidos, nitrogênio e fósforo merecem destaque. Os corantes consistem num risco ambiental e para a saúde humana, devido às suas propriedades cancerígenas e mutagênicas (PELOSI; LIMA; VIEIRA, 2014). A exposição excessiva a estes podem causar problemas de saúde com um vasto espectro, como por exemplo: supressão imunitária, doenças do sistema respiratório e circulatório, distúrbios do sistema nervoso central, alergias e irritações (VERMA; DASH; BHUNIA, 2012).

Quando descartados em corpos hídricos, os corantes impactam gravemente a vida aquática, prejudicando a penetração da luz solar (CHEQUER et al., 2013; HOLKAR et al., 2016) e reduzindo consequentemente a atividade fotossintética e causando deficiência de oxigênio (CHEQUER et al., 2013). Ademais, alguns corantes trazem na sua formulação metais e compostos tóxicos (HOLKAR et al., 2016), o que pode limitar o desenvolvimento de invertebrados e outras formas de vida da biota aquática (MANENTI et al., 2015b).

1 FTU (Unidades de turbidez de Formazina)

Por sua vez, os sólidos em excesso afetam a transparência da água, aumentam a turbidez e alteram a cor e a aparência do corpo d' água receptor (NOWACKI; RANGEL, 2014). Além disso, aumentam o teor de matéria orgânica, que em contrapartida diminui os níveis de oxigênio dissolvido (OD) da água (BILOTTA; BRAZIER, 2008).

Teores elevados de fósforo em águas residuárias colaboram para o processo de eutrofização de corpos hídricos, que traz como consequência o esgotamento do OD, resultando num efeito nocivo sobre a vida aquática e perda da biodiversidade destes (PITAKTEERATHAM et al., 2013).

O descarte de águas residuárias com altas concentrações de nitrogênio, em suas diversas formas, também restringe os níveis de OD dos corpos hídricos receptores, estimula o crescimento de algas, é tóxico para algumas formas de vida na água, reduz a eficiência da desinfecção com cloro e prejudica a qualidade da água para reutilização (AGUILAR et al., 2002).

Por fim, os surfactantes quando descartados em corpos hídricos provocam a redução da tensão superficial (BISSCHOPS; SPANJERS, 2003). E devido à sua toxicidade e baixa biodegradabilidade, mesmo acumulado em pequenas quantidades (0,8-2,0 mg L<sup>-1</sup>), produzem um forte efeito tóxico sobre a flora e a fauna, destroem as propriedades organolépticas e retardam o processo de autodepuração do corpo hídrico (TERECHOVA et al., 2014).

## TRATAMENTOS APLICADOS ÀS ÁGUAS RESIDUÁRIAS TÊXTEIS

### Tratamentos Biológicos

Os tratamentos biológicos são tidos como a reprodução de fenômenos de autodepuração existentes no meio ambiente (ZAHARIA; SUTEU, 2012). E com base no requisito de oxigênio são classificados em aeróbios (ocorrem na presença de oxigênio), anaeróbios (ocorrem na ausência de oxigênio) ou facultativos (HOLKAR et al., 2016).

A biorremediação anaeróbica envolve uma reação de oxidação-redução com hidrogênio, ao invés de oxigênio molecular livre (processos aeróbios). Normalmente, a clivagem por via anaeróbica produz gases sulfeto e metano, entre outros, que apresentam odores característicos (ROBINSON et al., 2001).

Uma grande vantagem deste sistema, juntamente com a descoloração das águas residuárias, é a produção de biogás, utilizável como energia

alternativa (ZAHARIA; SUTEU, 2012). Contudo, uma fonte adicional de carbono orgânico é necessária, já que este é um fator limitante na aplicação da tecnologia em escala (ROBINSON et al., 2001).

No tratamento aeróbio, o oxigênio dissolvido é sintetizado pelos microrganismos (NARESH et al., 2013), que ao fazerem uso da matéria orgânica e nutrientes como fonte de energia, oxidam os a gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e água, além de converter a matéria orgânica nitrogenada em amônia (GHALY et al., 2014).

A degradação biológica aeróbia nem sempre é eficaz para fins de remoção de cor em águas residuárias têxteis. Uma vez que, os produtos da biodegradação podem ser de natureza tóxica (AZBAR; YONAR; KESTIOGLU, 2004), tais como aminas tóxicas, benzidina e seus derivados (ZAHARIA; SUTEU, 2012), entre outros.

No intuito de evitar riscos com a ineficiência da aplicação de tratamento biológico para águas residuárias têxteis, um tratamento anaeróbio seguido de um aeróbico é o mais adequado (GOSAVI; SHARMA, 2014). Nesse arranjo a apropriada remoção de cor transcorre durante o processo anaeróbio e a redução de aminas aromáticas e outros compostos orgânicos ocorrem durante o subsequente tratamento aeróbico (ZAHARIA; SUTEU, 2012).

As concentrações de oxigênio, fonte de carbono, corantes, nitrogênio, temperatura e pH são parâmetros operacionais físico-químicos que controlam diretamente a eficiência da degradação bacteriana (HOLKAR et al., 2016). O processamento, a qualidade, a capacidade de adaptação dos microrganismos e o tipo de reator (ZAHARIA; SUTEU, 2012) também são decisivos para o desempenho dos tratamentos biológicos.

Os processos biológicos de tratamento oferecem vantagens, como ser relativamente acessíveis e os produtos finais da mineralização completa não demonstrarem características tóxicas (GUPTA; SUHAS, 2009). Além de, eliminar a turbidez e a demanda química de oxigênio (DQO) em porcentagens apreciáveis (GOSAVI; SHARMA, 2014).

Por outro lado, apresentam algumas desvantagens como: produção de lodo, a alta demanda de energia (sistemas aeróbios), necessidade de manutenção frequente (NAWAZ; AHSAN, 2014), problemas no crescimento dos microrganismos, em razão da presença de metais pesados tóxicos nas águas residuárias, o longo tempo necessário para o tratamento destas (GHALY et al., 2014) e a produção de gases com maus odores (sistemas anaeróbios).

Além disso, os sistemas biológicos por si só não são suficientes para remoção total dos corantes, surfactantes e da fração recalcitrante da DQO

para níveis aceitáveis de descarga das águas residuárias têxteis (LOTITO et al., 2012), devido a sua alta variabilidade e toxicidade (RIBEIRO et al., 2016). Cabe destacar, que na maioria dos casos a relação DBO/DQO destas águas residuárias é de cerca de 0,25, indicando assim baixa taxa de biodegradabilidade (AL-KDASI et al., 2004; GHALY et al., 2014).

Estudos referentes ao emprego de sistemas biológicos no tratamento de águas residuárias têxteis e a eficiência na remoção de poluentes por estes estão ilustrados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Pesquisas referentes ao tratamento de águas residuárias têxteis por processos biológicos

Tipo de água residuária	Modelo de tratamento	Eficiências	Fonte
Água residuária têxtil real	Biorreator estático aerado e não aerado com <i>Curvularia lunata</i> e <i>Phanerochaete Chrysosporium</i>	Aerado - descoloração e biodegradação de 98% e 95% por <i>P. Chrysosporium</i> e 93% e 96% por <i>C. lunata</i> Não aerado - descoloração e biodegradação de 95% e 63% por <i>P. Chrysosporium</i> e 95% e 67% por <i>C. lunata</i>	Miranda et al., 2013
Água residuária têxtil real	<i>Candida zeylanoides</i> e <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>C. zeylanoide</i> : Turbidez 81%; SDT 42,6%; DBO 57,3%; DQO 57,3%; Fosfato 20,45% <i>S. cerevisiae</i> : Turbidez 14%; SDT 46,7%; DBO 66%; DQO 66%; Fosfato -22,35% Consórcio: Turbidez 40%; SDT 52,9%; DBO 36,9%; DQO 36,9%; Fosfato 9,85%	Abioye; Mustapha; Aransiola, 2014
Água residuária têxtil real	Reator sequencial em batelada Sistema de lodo ativado	DQO 74%; SST 74,6%; Cor 81,5% DQO 57%; SST 68%; Cor 37%	Nawaz; Ahsan, 2014

Fonte: As autoras

## Processos Oxidativos Avançados

Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) consistem em tecnologias eficientes para o tratamento de uma grande variedade de águas e águas residuárias (SOARES, 2015). Tais processos oxidam os poluentes orgânicos a CO<sub>2</sub>, água (H<sub>2</sub>O) e sais (GOSAVI; SHARMA, 2014; SOARES, 2015). E são comumente empregados para degradar contaminantes orgânicos dissolvidos, como os compostos cíclicos, hidrocarbonetos halogênios, fenóis, pesticidas, bem como poluentes inorgânicos, como nitrilos, sulfuretos e cianetos (GOSAVI; SHARMA, 2014).

Os POAs são baseados na geração de radicais livres muito reativos e oxidantes (AZBAR; YONAR; KESTIOGLU, 2004). Sendo o radical hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ) o principal agente oxidativo destes processos. Os radicais livres têm sua geração na energia química, elétrica, mecânica ou radiação. E por isto, são classificados em processos químicos, fotoquímicos, catalíticos, fotocatalíticos, mecânicos ou elétricos (GHALY et al., 2014).

Os principais processos oxidativos avançados, bem como as vantagens e desvantagens associados à sua utilização no tratamento de águas ou águas residuárias estão explanados na Tabela 3.

**Tabela 3** - Informações a respeito dos principais processos oxidativos avançados (continua)

Processo	Vantagens	Desvantagens	Fonte
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	a) O H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> é completamente inofensivo; b) Não gera lodo e odores desagradáveis.	a) Se a solução ou compostos apresentarem uma forte absorção, estes passam a competir com o H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> pela radiação; b) A energia necessária para o processo é alta, resultando em altos custos; c) Os raios UV podem queimar a pele desprotegida, além dos problemas associados à origem dos raios.	Ghaly et al., 2014; Bayoumi; Al-Wasify, 2015; Holkar et al., 2016
UV/O <sub>3</sub>	a) O sistema UV/O <sub>3</sub> é um método eficaz para a oxidação e destruição de compostos orgânicos em água; b) Vantagens associadas ao O <sub>3</sub> .	a) Há perigos relacionados aos raios UV, como gasto energético, queimaduras e materiais que dão origem aos raios; b) Desvantagens correlacionadas ao uso de O <sub>3</sub> .	Bayoumi; Al-Wasify, 2015
UV/TiO <sub>2</sub>	a) Alta estabilidade; b) Bom desempenho; c) Baixo custo; d) O TiO <sub>2</sub> é biologicamente e quimicamente inerte, além de estável para corrosão foto e química.	a) Apresenta a desvantagem da separação do catalisador em solução; b) Incrustação do catalisador pela matéria orgânica; c) A energia necessária para o processo é alta, resultando em altos custos; d) Os raios UV podem queimar a pele desprotegida, além dos problemas associados à origem dos raios.	Bayoumi; Al-Wasify, 2015; Soares, 2015

continua...

Processo	Vantagens	Desvantagens	Fonte
O <sub>3</sub>	a) Demonstra capacidade de degradar os hidrocarbonetos, fenóis, pesticidas, corantes reativos; b) Reduz a DQO e poluentes tóxicos; c) auxilia na degradação em tratamentos biológicos; d) Elimina o sabor, odor, cor e inativa os microrganismos; e) Não aumenta o volume da água residual e não resulta na geração de lodo.	a) O ozônio apresenta meia-vida curta, sendo tipicamente de 20 minutos. Este tempo pode ser ainda afetado pela presença de sais, pH, e temperatura; b) Pode formar subprodutos tóxicos, mesmo a partir de corantes biodegradáveis nas águas residuárias.	Robinson et al., 2001; Matilainen; Vepsäläinen; Sillanpää, 2010; Zaharia; Suteu, 2012; Gosavi; Sharma, 2014; Holkar et al., 2016
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /O <sub>3</sub>	a) O H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> em solução aquosa é parcialmente dissociado no ânion HO <sub>2</sub> <sup>-</sup> que reage com o ozônio, decompondo-o e dando origem a uma série de reações em cadeia com a participação de radicais hidroxila; b) Como este sistema não depende da radiação UV para ativar as moléculas de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ou O <sub>3</sub> , pode-se aplicar este processo em águas turvas; c) Vantagens relacionadas ao emprego de O <sub>3</sub> .	a) Cada um dos constituintes do processo possui perigos: o ozônio é explosivo, tóxico, o peróxido de hidrogênio é irritante e pode causar queimaduras químicas.	Bayoumi; Al-Wasify, 2015; Soares, 2015
Foto-Fenton	a) Além das vantagens já descritas no processo Fenton, quando utilizado este em combinação com raios UV há uma melhoria no desempenho do processo.	a) Desvantagens associadas ao emprego do processo Fenton; b) Gasto energético ao utilizar os raios UV, o que implica um aumento no custo do tratamento; c) Os raios UV podem queimar a pele desprotegida, além dos problemas relacionados à origem dos raios.	Gupta; Suhas, 2009; Soares, 2015
Fenton	a) Eficiência elevada devido à geração do radical hidroxila (•OH) e a oxidação do Fe <sup>2+</sup> a Fe <sup>3+</sup> ; b) Os complexos de hidróxidos férricos atuam simultaneamente como agentes coagulantes e oxidantes; c) Não utiliza energia elétrica para a ativação de catalisadores; d) Eficaz na redução da DQO, cor e toxicidade; e) É aplicável mesmo em amostras com alta concentração de sólidos suspensos.	a) Este tratamento é altamente dependente do pH. Acredita-se que este tem de estar dentro de uma faixa ácida (pH entre 2-4) para gerar a quantidade máxima de radicais hidroxila; b) Há produção considerável de lodo, quando comparado com os outros métodos; c) Requisição de tempo para a reação.	Wang; Zeng; Zhu, 2008; Gupta; Suhas, 2009; Zaharia; Suteu, 2012; Gosavi; Sharma, 2014; Nawaz; Ahsan, 2014

Fonte: As autoras

## Processo Físico-Químico de Adsorção

A adsorção compreende em um método de separação, cujo objetivo é eliminar ou reduzir a concentração de uma ampla gama de poluentes dissolvidos (orgânicos e/ou inorgânicos) em águas residuárias (MOHAMMAD-KHAH; ANSARI, 2009). Este opera por meio da transferência dos poluentes (solutos) das águas residuárias (adsorbato) para uma superfície sólida, altamente porosa (adsorvente) (ZAHARIA; SUTEU, 2012). A adsorção diferencia-se em dois tipos: fisissorção e quimissorção.

Se a atração entre a superfície sólida e as moléculas adsorvidas é de natureza física, a adsorção é referida como fisissorção. Geralmente tais forças de atração são de origem fraca (exemplo, Força Van der Waals) (GUPTA; SUHAS, 2009). A fisissorção configura-se como um processo não destrutivo, uma vez que apenas transfere os poluentes da água para uma matriz sólida (AZBAR; YONAR; KESTIOGLU, 2004).

Na adsorção química (quimissorção), os adsorventes aderem ao adsorbato pela formação de ligações químicas que são muito mais fortes do que as da fisissorção e tem requisitos mais rigorosos em relação à compatibilidade entre adsorbato e o adsorvente (MOHAMMAD-KHAH; ANSARI, 2009).

A alta afinidade, a capacidade de regeneração do adsorvente e a capacidade do composto alvo devem ser as principais características avaliadas na escolha do adsorvente ideal (HOLKAR et al., 2016). A adsorção é influenciada por fatores físicos e químicos, tais como interações corante-adsorvente, área superficial do adsorvente, tamanho da partícula, temperatura, pH e tempo de contato (VERMA; DASH; BHUNIA, 2012).

De acordo com informações aferidas por Verma, Dash e Bhunia (2012), as limitações dessa tecnologia são a eliminação ecologicamente correta dos adsorventes gastos, elevados custos de manutenção e a necessidade de pré-tratamento das águas residuárias para reduzir os sólidos suspensos, antes de esta ser conduzida a coluna de adsorção, a fim de evitar a colmatação da coluna.

Atualmente, um dos adsorventes mais utilizados é o carvão ativado. Entretanto, o seu custo elevado é uma desvantagem quando aplicado em larga escala (PELOSI; LIMA; VIEIRA, 2014). A fim de diminuir o custo, pesquisas vêm sendo realizadas, com o intuito de encontrar adsorventes de baixo custo e biodegradáveis. Normalmente, um adsorvente pode ser assumido como sendo de baixo custo, se exige pouco processamento, é abundante na

natureza ou é um subproduto ou resíduos de outra indústria (MAFRA et al., 2013).

Dentre alguns adsorventes de baixo custo pode-se citar a: a turfa, argila bentonita, cinzas volantes, resinas poliméricas (HOLKAR et al., 2016), terra vermelha, bauxita, casca de arroz, cascas de árvores, lascas de madeira, casca de noz em pó, serragem de madeira e semente de girassol (ZAHARA; SUTEU, 2012).

Na Tabela 4 encontra-se descrito alguns exemplos de tratamento de águas residuárias têxteis por adsorção que fizeram uso de diferentes tipos de materiais adsorventes.

**Tabela 4** - Pesquisas referentes ao tratamento de águas residuárias têxteis por adsorção

Tipo de água residuária	Adsorvente	Eficiências	Fonte
Água residuária têxtil real	Carvão ativado	DQO 87,6%; DBO 81%; Cor 89,9%	Patel; Vashi, 2010
Água residuária têxtil real	Absorvente à base de grafite (Nyex®1000)	DQO 80%	Hussain et al., 2015
Água residuária têxtil real	Fibra de Coco	Turbidez 62,84%; Sólidos Totais 16,71%; Sólidos Suspensos Totais 54,04%; Sólidos dissolvidos totais -1,20%; DBO 8,95%; DQO 18,75%	Gaikwad et al., 2018
	Carvão ativado de madeira	Turbidez 49,55%; Sólidos Totais 21,66%; Sólidos Suspensos Totais 73,74%; Sólidos dissolvidos totais -0,20%; DBO 25%; DQO 30%	
	Fibra de coco + carvão ativado	Turbidez 59,29%; Sólidos Totais 14,71%; Sólidos Suspensos Totais 59,60%; Sólidos dissolvidos totais -1,20%; DBO 5%; DQO 15%	

**Fonte:** As autoras

### Processo Físico-Químico de Coagulação/Floculação

Conforme Beltrán-Heredia, Sánchez-Martín e Dávila-Acedo (2011) a coagulação é um processo químico que implica na adição de coagulantes, com o intuito de desestabilizar coloides e outras substâncias que se encontram, frequentemente, dispersas em águas residuárias. O processo de desestabilização ocorre em virtude das partículas poluidoras possuírem cargas negativas que com a incorporação de coagulante, geralmente de carga

positiva, são neutralizadas. E uma vez, neutralizadas as partículas tendem a formar flocos, que são posteriormente removidos por processos de separação sólido-líquido - sedimentação, flotação ou filtração (KIM et al., 2014).

A agregação dos flocos no processo de coagulação pode ocorrer por quatro mecanismos: compressão de dupla camada; floculação por varrimento; adsorção e neutralização de carga; e adsorção e ponte entre partículas (YIN, 2010). Na compressão de dupla camada, a adsorção de espécies com cargas opostas, resulta na redução da carga sobre as superfícies das partículas de modo que, as partículas próximas colidam. O potencial Zeta é considerado a forma mais precisa para determinar quando a carga das partículas foi reduzida (KIM et al., 2014).

A floculação por varrimento ocorre quando um coagulante encapsula partículas em suspensão num floco coloidal. Já a adsorção e a neutralização de carga referem-se à sorção de duas partículas com íons de carga oposta (VIJAYARAGHAVAN; SIVAKUMAR; KUMAR, 2011) e a ponte entre partículas transcorre quando um coagulante proporciona uma cadeia polimérica que adsorve as partículas poluidoras (YIN, 2010).

As taxas de eficiência da coagulação dependem de vários fatores, que inclui o tipo e a concentração de coagulante aplicado, o pH, a temperatura, as partículas e suas propriedades (tais como tamanho, funcionalidade, carga e hidrofobicidade), a presença de cátions e ânions (bicarbonato, cloreto e sulfato) (MATILAINEN; VEPSÄLÄINEN; SILLANPÄÄ, 2010). Assim como, condições de tempo e de agitação para que as partículas desestabilizem-se e colidam (THEODORO et al., 2013).

Dependendo da natureza do agente coagulante e das características das águas residuárias, a floculação (formação dos flocos) ocorrerá de forma direta ou necessitará da adição de outro produto químico, a exemplo os agentes floculantes (BELTRÁN-HEREDIA; SÁNCHEZ-MARTÍN; DÁVILA-ACEDO, 2011).

É de amplo conhecimento que em tratamentos a baixas temperaturas, o processo de coagulação, nem sempre é adequado, podendo resultar na formação de flocos pequenos ou frágeis, que quebram quando sujeito a forças físicas. Desta forma, o emprego de floculantes é imprescindível, pois não só reduzem o consumo de coagulantes, aumentam a viabilidade do trabalho e a capacidade de processamento da estação de tratamento (LEE; ROBINSON; CHONG, 2014), como também permitem a formação de flocos maiores e mais densos que são mais fáceis de separar da fração líquida (RENAULT et al., 2009).

Técnicas coagulação/floculação tem recebido atenção considerável devido a seu baixo custo e alta eficiência de remoção de diversos parâmetros (TERECHOVA et al., 2014) como DQO, fosfatos, surfactantes (KIM et al., 2014), turbidez e cor (MATILAINEN; VEPSÄLÄINEN; SILLANPÄÄ, 2010). Este processo pode ser aplicado diretamente às águas residuárias para eliminar compostos orgânicos, juntamente com os sólidos suspensos sem ser afetado pela toxicidade das águas residuárias (ABOULHASSAN et al., 2006), e ainda favorece a qualidade microbiológica do produto final e aumenta o tempo de vida dos filtros (THEODORO et al., 2013).

Todavia, este método apresenta descoloração ineficaz de alguns corantes solúveis (VERMA; DASH; BHUNIA, 2012), geração de lodo, que por consequência provoca um aumento no custo do tratamento final, em virtude da destinação ambientalmente correta para tal (GOSAVI; SHARMA, 2014). Além das desvantagens associados à origem de cada coagulante e floculante utilizado no processo.

### Agentes coagulantes orgânicos

Coagulantes orgânicos são mais vantajosas do que compostos inorgânicos, pois produzem flocos mais densos e compactos, reduzem a concentração de coagulante necessário (RENAULT et al., 2009), apresentam capacidade de atuar como agentes coagulantes ou floculantes e eficiência a baixa temperatura (VERMA; DASH; BHUNIA, 2012).

São biodegradáveis, de baixa toxicidade, geralmente têm um grande número de cargas de superfície, o que aumenta o desempenho do processo de coagulação (FREITAS et al., 2015), não alteram consideravelmente o pH da água a ser tratada (THEODORO et al., 2013) e produzem pequeno volume de lodo (uma vez que reduzem a quantidade de coagulante necessário), que pode ser tratado biologicamente ou acondicionado no solo (dependendo dos constituintes das águas residuárias tratadas) (VERMA; DASH; BHUNIA, 2012).

Na pesquisa realizada por Yin (2010), constatou-se que muitos coagulantes naturais podem ser inadequados para o tratamento de águas residuárias industriais devido à sua baixa disponibilidade para tratamento em larga escala e às condições extremas (pH e concentração). E se o processo de extração não for completo o coagulante passa a ter não apenas os agentes ativos coagulantes, mas também tecidos das plantas, por exemplo. O último

é rico em componentes orgânicos, que podem aumentar a carga orgânica na água tratada. Além disso, estes apresentam uma vida útil mais curta do que os demais coagulantes (FREITAS et al., 2018).

### Agentes coagulantes inorgânicos

Em geral, coagulantes inorgânicos são amplamente empregados no tratamento de águas residuárias em virtude do seu alto desempenho, disponibilidade e baixo custo (FREITAS et al., 2015). Sendo, os sais inorgânicos de metais multivalentes tais como sulfato de alumínio, policloreto de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso, cloreto de cálcio e cloreto de magnésio os mais comumente utilizados (LEE; ROBINSON; CHONG, 2014).

O emprego de coagulantes inorgânicos aumenta a concentração de metais na água e produz grandes volumes de lodos (tóxicos e não biodegradáveis) (RENAULT et al., 2009), apresentam ineficiência em baixas temperaturas das águas residuárias e podem agir sobre o pH da água tratada (YIN, 2010; THEODORO et al., 2013).

Os sais de alumínio são os coagulantes inorgânicos com uso mais intensivo devido ao seu bom desempenho, alta eficiência, baixo custo, fácil manuseio e grande disponibilidade (SOUZA et al., 2014). No entanto, produz uma grande quantidade de lodo, que é difícil de desidratar e tratar, sua eficiência é totalmente dependente do pH e em contato com águas residuárias frias, os flocos não são muito resistentes mecanicamente (RENAULT et al., 2009).

Ademais, elevadas concentrações de coagulantes à base de sais de alumínio no tratamento de águas residuárias podem levar a uma concentração alta de alumínio residual (FREITAS et al., 2015). Cujas exposições prolongadas podem ser tóxicas para os organismos aquáticos e está associada ao desenvolvimento de efeitos nocivos para saúde humana (THEODORO et al., 2013). Estudos epidemiológicos, neuropatológicos e bioquímicos recentes sugerem uma possível ligação entre a neurotoxicidade de alumínio e a patogênese da doença de Alzheimer (LEE; ROBINSON; CHONG, 2014).

De acordo com Verma, Dash e Bhunia (2012), estudos têm relatado que os sais metálicos pré-hidrolisados, como o policloreto de alumínio (PAC), polissulfato de ferro (PFS) e policloreto férrico (PFC) são encontrados frequentemente como sendo mais eficazes do que os sais metálicos. E por serem pré-neutralizados, têm um menor efeito sobre o pH da água, o que reduz a necessidade de correção desta.

Em comparação com os sais de alumínio, coagulantes a base de sais de ferro atuam num intervalo de pH mais amplo e formam flocos mais pesados com menor perigo no caso de elevada concentração (NAWAZ; AHSAN, 2014). Todavia, o seu impacto ambiental a longo prazo ainda não foi totalmente investigado (SOUZA et al., 2014).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características das águas residuárias têxteis podem variar diariamente ou sazonalmente, permitindo classificá-las como altamente inconsistentes. Além disso, tais características também diferem entre empresas. Isto deve-se ao fato de que indústrias do ramo têxtil nem sempre aplicam o mesmo processo de beneficiamento durante o ano inteiro, ou empregam as mesmas matérias-primas, produtos químicos e tecnologias.

Contudo, de maneira geral, as águas residuárias têxteis possuem na sua composição uma gama considerável de poluentes nocivos ao meio ambiente, o que torna o tratamento destas imprescindível, seja para atingir os padrões de potabilidade necessários para o reuso dentro do sistema de produção ou para atender os exigidos por lei para descarte em corpos hídricos ou solo.

A literatura disponível demonstra um vasto número de métodos bem estabelecidos para o tratamento de águas residuárias oriundas do beneficiamento de tecidos, com destaque para os tratamentos biológicos, processos oxidativos avançados e processos físico-químicos de adsorção e coagulação/floculação. A escolha entre um ou mais métodos de remediação dar-se-á em razão de diversos motivos, entre eles a eficiência requerida da estação, custo-benefício e o destino da água tratada, uma vez que todos apresentam pontos positivos e negativos.

## REFERÊNCIAS

ABIOYE, O. P.; MUSTAPHA, O. T.; ARANSIOLA, S. A. Biological treatment of textile effluent using *Candida zeylanoides* and *Saccharomyces cerevisiae* isolated from soil. **Hindawi Publishing Corporation Advances in Biology**, v. 2014, p. 1-4, 2014. Disponível em: <http://downloads.hindawi.com/archive/2014/670394.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2021.

ABOULHASSAN, M. A.; SOUABI, S.; YAACOUBI, A.; BAUDU, M. Improvement of paint effluents coagulation using natural and synthetic coagulant aids. **Journal of Hazardous Materials**, v. 138, n. 1, p. 40-45, nov. 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389406005115>. Acesso em: 09 jan. 2021.

AGUILAR, M. I.; SÁEZ, J.; LLORÉNS, M.; SOLER, A.; ORTUÑO, J. F. Nutrient removal and sludge production in the coagulation–flocculation process. **Water Research**, v. 36, n. 11, p. 2910-2919, jun. 2002. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135401005085>. Acesso em: 09 jan. 2021.

AL-KDASI, A.; IDRIS, A.; SAED, K.; GUAN, C. T. Treatment of textile wastewater by advanced oxidation processes – a review. **Global Nest Journal**, v. 6, n. 3, p. 222-230, 2004. Disponível em: <http://journal.gnest.org/sites/default/files/Journal%20Papers/Al-kdasi-222-230.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2021.

AZBAR, N.; YONAR, T.; KESTIOGLU, K. Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and color removal from a polyester and acetate fiber dyeing effluent. **Chemosphere**, v. 55, n. 1, p. 35-43, abr. 2004. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653503010609>. Acesso em: 30 jan. 2021.

BAYOUMI, M. N.; AL-WASIFY, R. S. Review article: chemical oxidation and membrane filtration technologies for wastewater treatment. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 9, n. 11, p. 263-273, maio 2015. Disponível em: <http://ajbasweb.com/old/ajbas/2015/May/263-273.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2021.

BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; DÁVILA-ACEDO, M. A. Optimization of the synthesis of a new coagulant from a tannin extract. **Journal of Hazardous Materials**, v. 186, n. 2-3, p. 1704-1712, fev. 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389410016559>. Acesso em: 04 jan. 2021.

BILOTTA, G. S.; BRAZIERA, R. E. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. **Water Research**, v. 42, n. 12, p. 2849-2861, jun. 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135408001401>. Acesso em: 09 jan. 2021.

BISSCHOPS, I.; SPANJERS, H. Literature review on textile wastewater characterization. **Environmental Technology**, v. 24, p. 1399-1411, jun. 2003. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14733393>. Acesso em: 04 jan. 2021.

BLANCO, J.; TORRADES, F.; VARGA, M.; GARCÍA-MONTAÑO, J. Fenton and biological-fenton coupled processes for textile wastewater treatment and reuse. **Desalination**, v. 286, p. 394-399, fev. 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916411010010>. Acesso em: 02 abr. 2021.

CHARUMATHI, D.; DAS, N. Packed bed column studies for the removal of synthetic dyes from textile wastewater using immobilised dead *C. tropicalis*. **Desalination**, v. 285, p. 22-30, jan. 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916411008186>. Acesso em: 02 abr. 2021.

CHEQUER, F. M. D.; OLIVEIRA, G. A. R.; FERRAZ, E. R. A.; CARDOSO, J. C.; ZANONI, M. V. B.; OLIVEIRA, D. P. Textile dyes: dyeing process and environmental impact. *In*: GÜNAY, M. (Ed.). **Eco-Friendly textile dyeing and finishing**. Shanghai: InTech, 2013. cap. 6. p. 151-176.

FREITAS, T. K. F. S.; ALMEIDA, C. A.; MANHOLER, D. D.; GERALDINO, H. C. L.; SOUZA, M. T. F.; GARCIA, J. C. Review of utilization plant-based coagulants as alternatives to textile wastewater treatment. *In*: MUTHU, S. S. (Ed.). **Detox fashion: waste water treatment**. Singapore: Springer, 2018. p. 27-78. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-4780-0\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-4780-0_2). Acesso em: 24 fev. 2021.

FREITAS, T. K. F. S.; OLIVEIRA, V. M.; SOUZA, M. T. F.; GERALDINO, H. C. L.; ALMEIDA, V. C.; FÁVARO, S. L.; GARCIA, J. C. Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (*A. esculentus*) mucilage as natural coagulant. **Industrial Crops and Products**, v. 76, p. 538-544, dez. 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669015301904>. Acesso em: 04 jan. 2021.

GAIKWAD, N. B.; THAKUR, V. T.; JADHAV, A. S.; RAUT, P. D. Studies on low cost adsorbant biomaterial like 'coconut coir' and 'wood coal' for treatment of textile industry effluent. *In*: VHANALAKAR, S. A. (Ed.). **Recent trends in conservation and management of ecosystems**. Kolhapur: Bhumi Publishing, 2018. p. 99-108.

GHALY, A. E.; ANANTHASHANKAR, R.; ALHATTAB, M.; RAMAKRISHNAN, V. V. Production, characterization and treatment of textile effluents: a critical review. **Journal of Chemical Engineering & Process Technology**, v. 5, n. 1, p. 2-18, jan. 2014. Disponível em: DOI: 10.4172/2157-7048.1000182. Acesso em: 04 jan. 2021.

GHANBARI, F.; MORADI, M. A comparative study of electrocoagulation, electrochemical Fenton, electro-Fenton and peroxi-coagulation for decolorization of real textile wastewater: electrical energy consumption and biodegradability improvement. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 3, n. 1, p. 499-506, mar. 2015. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343714002863>. Acesso em: 02 abr. 2021.

GOSAVI, V. D.; SHARMA, S. A general review on various treatment methods for textile wastewater. **Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology**, v. 3, n. 1, p. 29-39, dez. 2013/fev. 2014. Disponível em: [https://www.jecet.org/paper\\_description.php?category=Env%20Science&volume=3&issue=1](https://www.jecet.org/paper_description.php?category=Env%20Science&volume=3&issue=1). Acesso em: 28 mar. 2021.

GUPTA, V. K.; SUHAS. Application of low-cost adsorbents for dye removal – a review. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 8, p. 2313-2342, jun. 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479708003290>. Acesso em: 28 mar. 2021.

HOLKAR, C. R.; JADHAV, A. J.; PINJARI, D. V.; MAHAMUNI, N. M.; PANDIT, A. B. A critical review on textile wastewater treatments: possible approaches. **Journal of Environmental Management**, v. 182, n. 1, p. 351-366, nov. 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716305266>. Acesso em: 28 mar. 2021.

HUSSAIN, S. N.; AHMAD, A.; ALI, A.; SATTAR, H.; ASGHAR, H. M. A. Wastewater treatment of textile industry via adsorption and electrochemical regeneration. **International Conference on Advances in Environment Research**, v. 87, p. 13-19, 2015. Disponível em: [http://www.ipcbee.com/vol87/rp005\\_ICAER2015-A0005.pdf](http://www.ipcbee.com/vol87/rp005_ICAER2015-A0005.pdf). Acesso em: 20 fev. 2021.

KIM, H.; SHANG, X.; HUANG, J.; DEMPSEY, B. A. Treating laundry wastewater: Cationic polymers for removal of contaminants and decreased fouling in microfiltration.

**Journal of Membrane Science**, v. 456, p. 167-174, abr. 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376738814000416>. Acesso em: 09 jan. 2021.

LEE, C. S.; ROBINSON, J; CHONG, M. F. A review on application of flocculants in wastewater treatment. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 92, n. 6, p. 489-508, nov. 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582014000561>. Acesso em: 04 jan. 2021.

LOTITO, A. M.; FRATINO, U.; BERGNA, G.; DI IACONI, C. Integrated biological and ozone treatment of printing textile wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 195-196, p. 261-269, jul. 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894712005773>. Acesso em: 04 jan. 2021.

MAFRA, M. R.; IGARASHI-MAFRA, L.; ZUIM, D. R.; VASQUES, É. C.; FERREIRA, M. A. Adsorption of remazol brilliant blue on an orange peel adsorbent. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 30, n. 3, p. 657-665, jul/set. 2013. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-66322013000300022](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-66322013000300022). Acesso em: 28 mar. 2021.

MANENTI, D. R.; MÓDENES, A. N.; SOARES, P. A., BOAVENTURA, R. A. R.; PALÁCIO, S. M.; BORBA, F. H.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; BERGAMASCO, R.; VILAR, V. J. P. Biodegradability and toxicity assessment of a real textile wastewater effluent treated by an optimized electro coagulation process. **Environmental Technology**, v. 36, n. 1-4, p. 496-506, jan./fev. 2015a. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330.2014.952676?journalCode=tent20>. Acesso em: 24 fev. 2021.

MANENTI, D. R.; SOARES, P. A.; SILVA, T. F. C. V.; MÓDENES, A. N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; BERGAMASCO, R.; BOAVENTURA, R. A. R.; VILAR, V. J. P. Performance evaluation of different solar advanced oxidation processes applied to the treatment of a real textile dyeing wastewater. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 2, p. 833-845, jan. 2015b. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-014-2767-1>. Acesso em: 24 fev. 2021.

MATILAINEN, A.; VEPSÄLÄINENC, M.; SILLANPÄÄ, M. Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: a review. **Advances in Colloid and**

**Interface Science**, v. 159, n. 2, p. 189-197, set. 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000186861000120X>. Acesso em: 03 jan. 2021.

MIRANDA, R. C. M.; GOMES, E. B.; JR. PEREIRA, N.; MARIN-MORALES, M. A.; MACHADO, K. M. G.; GUSMÃO, N. B. Biotreatment of textile effluent in static bioreactor by *Curvularialunata* URM 6179 and *Phanerochaete chrysosporium* URM 6181. **Bioresource Technology**, v. 142, p. 361-367, ago. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852413008262>. Acesso em: 20 fev. 2021.

MOHAMMAD-KHAH, A.; ANSARI, R. Activated charcoal: preparation, characterization and applications: a review article. **International Journal of ChemTech Research**, v. 1, n. 4, p. 859-864, out/dez. 2009. Disponível em: [http://sphinxσαι.com/ctvol4/ct\\_pdf\\_vol\\_4/ct=10%20%20\(859--864\).pdf](http://sphinxσαι.com/ctvol4/ct_pdf_vol_4/ct=10%20%20(859--864).pdf). Acesso em: 28 mar. 2021.

MONTAÑO, J. Photo-Fenton and sequencing batch reactor coupled to photo-Fenton processes for textile wastewater reclamation: feasibility of reuse in dyeing processes. **Chemical Engineering Journal**, v. 240, p. 469-475, mar. 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894713014307>. Acesso em: 02 abr. 2021.

NARESH, B.; JAYDIP, J.; PRABHAT, B.; RAJKUMAR, P. Recent biological technologies for textile effluent treatment. **International Research Journal of Biological Sciences**. v. 2, n. 6, p. 77-82, jun. 2013. Disponível em: <http://www.isca.in/IJBS/Archive/v2/i6/15.ISCA-IRJBS-2013-083.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2021.

NAWAZ, M. S.; AHSAN, M. Comparison of physico-chemical, advanced oxidation and biological techniques for the textile wastewater treatment. **Alexandria Engineering Journal**, v. 53, n. 3, p. 717-722, set. 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016814000635>. Acesso em: 28 mar. 2021.

NOWACKI, C. C. B.; RANGEL, M. B. A. **Química Ambiental**: conceitos, processos e estudo dos impactos ao meio ambiente. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014. 136 p.

PATEL, H.; VASHI, R. T. Treatment of textile wastewater by adsorption and coagulation. **E-Journal of Chemistry**, v. 7, n. 4, p. 1468-1476, 2010. Disponível em: <http://downloads.hindawi.com/journals/jchem/2010/987620.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2021.

PELOSI, B. T.; LIMA, L. K. S.; VIEIRA, M. G. A. Removal of the synthetic dye remazol brilliant Blue R from textile industry wastewaters by biosorption on the macrophyte *Salvinianatans*. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 31, n. 4, p. 1035-1045, out./dez. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/bjce/v31n4/21.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2021.

PHALAKORNKULE, C.; POLGUMHANG, S.; TONGDAUNG, W.; KARAKAT, B.; NUYUT, T. Electrocoagulation of blue reactive, red disperse and mixed dyes, and application in treating textile effluent. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 4, p. 918-926, mar. 2010. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20042267>. Acesso em: 02 abr. 2021.

PITAKTEERATHAM, N.; HAFUKA, A.; SATOH, H.; WATANABE, Y. High efficiency removal of phosphate from water by zirconium sulfate-surfactant micelle meso-structure immobilized on polymer matrix. **Water Research**, v. 47, n. 11, p. 3583-3590, jul. 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135413003114>. Acesso em: 28 mar. 2021.

RAMAVANDI, B.; FARJADFARD, S. Removal of chemical oxygen demand from textile wastewater using a natural coagulant. **Korean Journal of Chemical Engineering**, v. 31, n. 1, p. 81-87, jan. 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11814-013-0197-2>. Acesso em: 08 abr. 2021.

RANGANATHAN, S. **Selected topics in chemistry**. Solapur: Laxmi Book Publication, 2015. 191 p.

RENAULT, F.; SANCEY, B.; BADOT, P. M.; CRINI, G. Chitosan for coagulation/flocculation processes – an eco-friendly approach. **European Polymer Journal**, v. 45, n. 5, p. 1337-1348, maio 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305708007222>. Acesso em: 09 jan. 2021.

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**, p. 1-11, maio 2016. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11356-016-6921-9>. Acesso em: 09 jan. 2021.

ROBINSON, T.; MCMULLAN, G.; MARCHANT, R.; NIGAM, P. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. **Bioresource Technology**, v. 77, n. 3, p. 247-255, maio 2001. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852400000808>. Acesso em: 09 jan. 2021.

SABUR, M. A.; SAFIULLAH, A. A. Khan, S. Treatment of textile wastewater by coagulation precipitation method. **Journal of Scientific Research**, v. 4, n. 3, p. 623-633, 2012. Disponível em: <http://www.banglajol.info/index.php/JSR/article/view/10777/8543>. Acesso em: 09 jan. 2021.

SOARES, P. A. **Overcoming barriers in the treatment of textile wastewaters using advanced oxidation processes**. 2015. 231 f. Tese (Doutorado em Filosofia em Engenharia Ambiental) – Universidade do Porto, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10216/99235>. Acesso em: 26 fev. 2021.

SOLANKI, M.; SURESH, S.; DAS, S. N.; SHUKLA, K. Treatment of real textile wastewater using coagulation technology. International **Journal of ChemTech Research**, v. 5, n. 2, p. 610-615, abr./jun. 2013. Disponível em: [http://sphinxsai.com/2013/conf/PDFS%20ICGSEE%202013/CT=09\(610615\)ICGSEE.pdf](http://sphinxsai.com/2013/conf/PDFS%20ICGSEE%202013/CT=09(610615)ICGSEE.pdf). Acesso em: 09 jan. 2021.

SOUZA, M. T. F.; AMBROSIO, E.; ALMEIDA, C. A.; FREITAS, T. K. F. S.; SANTOS, L. B.; ALMEIDA, V. C.; GARCIA, J. C. The use of a natural coagulant (*Opuntia ficus-indica*) in the removal for organic materials of textile effluents. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, n. 8, p. 5261-5271, ago. 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24788840>. Acesso em: 09 jan. 2021.

TERECHOVA, E. L.; ZHANG, G.; CHEN, J.; SOSNINA, N. A.; YANG, F. Combined chemical coagulation–flocculation/ultraviolet photolysis treatment for anionic surfactants in laundry wastewater. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 2, n.4, p. 2111-2119, dez. 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221334371400205X>. Acesso em: 28 mar. 2021.

THEODORO, J. D. P.; LENZ, G. F.; ZARA, R. F.; BERGAMASCO, R. Coagulants and natural polymers: perspectives for the treatment of water. **Plastic and Polymer Technology**, v. 2, n. 3, p. 55-62, set. 2013. Disponível em: [https://archive.org/stream/PAPT014/PAPT014\\_djvu.tx](https://archive.org/stream/PAPT014/PAPT014_djvu.tx). Acesso em: 28 mar. 2021.

VERMA, A. K.; DASH, R. R.; BHUNIA, P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. **Journal of Environmental Management**, v. 93, n. 1, p. 154-168, jan. 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479711003434>. Acesso em: 28 dez. 2016. Acesso em: 26 jan. 2021.

VIJAYARAGHAVAN, G.; SIVAKUMAR, T.; KUMAR, A. V. Application of plant based coagulants for wastewater treatment. **International Journal of Advanced Engineering Research and Studies**, v. 1, n. 1, p. 88-92, out./dez. 2011. Disponível em: <http://www.technicaljournalsonline.com/ijaers/VOL%20I/IJAERS%20VOL%20I%20ISSUE%20I%20%20OCTOBER%20DECEMBER%202011/18%20IJAERS.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2021.

WANG, X.; ZENG, G.; ZHU, J. Treatment of jean-wash wastewater by combined coagulation, hydrolysis/acidification and fenton oxidation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 153, n. 1-2, p. 810-8161, maio 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389407013143>. Acesso em: 09 jan. 2021.

YACOUT, D. M. M.; HASSOUNA, M. S. Identifying potential environmental impacts of waste handling strategies in textile industry. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, p. 1-13, ago. 2016. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10661-016-5443-8>. Acesso em: 09 jan. 2021.

YIN, C. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. **Process Biochemistry**, v. 45, n. 9, p. 1437-1444, set. 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359511310002114>. Acesso em: 09 jan. 2021.

ZAHARIA, C.; SUTEU, D. Textile organic dyes – characteristics, polluting effects and separation/elimination procedures from industrial effluents – a critical overview. *In*: PUZYŃ, T. (Ed.). **Organic pollutants ten years after the stockholm convention: environmental and analytical update**. Shanghai: InTech, 2012. cap. 3. p. 55-86. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/organic-pollutants-ten-years-after-the-stockholm-convention-environmental-and-analytical-update>. Acesso em: 09 jan. 2021.