

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

GIOVANNA RIBEIRO NUNES

GERAÇÃO E TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL

UBERLÂNDIA
2019

GIOVANNA RIBEIRO NUNES

GERAÇÃO E TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL

Monografia de Graduação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para aprovação na disciplina de Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso.

Orientadora: Prof. Dra. Patrícia Angélica Vieira

UBERLÂNDIA
2019

GERAÇÃO E TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL

Dissertação aprovada para conclusão da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso da graduação em Engenharia Química na Universidade Federal de Uberlândia(MG), pela banca examinadora formada por:

Uberlândia, 12 de dezembro de 2019

Prof. Dra. Patrícia Angélica Vieira (FEQUI/UFU)

Profa. Dra. Fabiana Regina Xavier Batista (FEQUI/UFU)

Dra. Natália Mazzarioli Terra (FEQUI/UFU)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de deixar registrada minha gratidão a todos aqueles que estiveram do meu lado em mais esta vitória.

A Deus, me dando forças quando achei que não conseguiria mais.

Aos meus pais, Valdir e Marley, por estarem a meu lado em qualquer situação.

A minha irmã, Isabela, por sempre confiar em mim e ser um ponto de apoio.

Ao meu namorado, Leonardo, por nunca me deixar desanimar.

Aos meus amigos mais próximos por tornarem meus dias mais leves e me ajudarem a seguir em frente.

À minha orientadora, Patrícia, por todos os ensinamentos, dedicação e compreensão, mesmo de longe.

Aos colegas da PepsiCo por todo o companheirismo.

À Faculdade de Engenharia Química por tanto conhecimento repassado todos esses anos.

À Universidade Federal de Uberlândia por me proporcionar um ensino gratuito e de qualidade. Espero um dia ser motivo de orgulho para toda essa universidade que me acolheu tão bem.

RESUMO

A indústria têxtil brasileira é a segunda maior empregadora da indústria de transformação, o que mostra sua grande importância no cenário nacional. Esta atividade é potencialmente geradora de poluição, devido à geração de efluentes com características de difícil degradação pela presença, em grande parte, dos corantes, que são utilizados na coloração dos tecidos e não se fixam totalmente durante o processo do tingimento, sendo gerados como contaminantes. Desta maneira, diferentes tratamentos são estudados e testados visando minimizar a carga poluidora destes efluentes e, conseqüentemente, seu dano ao meio ambiente. Destaca-se como tratamento a adsorção, processo físico-químico em que um material adsorvente é capaz de retirar moléculas específicas de um meio líquido. Assim, foram estudados livros, monografias, teses e artigos para apresentar o processo industrial têxtil e sua geração de resíduos, bem como possibilidades de tratamento e/ou reutilização destes efluentes. Foi realizado também um estudo de caso sobre tratamento de efluente têxtil através de adsorção utilizando resíduo siderúrgico como adsorvente. Além disso, foi analisada a possibilidade de reutilização do efluente no próprio processo através da comparação de seu pH, dureza e teor de ferro com parâmetros limites propostos na literatura. Através desta análise, concluiu-se que os parâmetros não estavam adequados, e se torna cada vez mais necessária a busca por tratamentos que sejam eficientes na remoção da coloração e de outros aspectos críticos dos efluentes têxteis, para que seja possível reutilizar estes efluentes ou mesmo realizar sua disposição de forma segura.

Palavras-chave: efluentes; corantes; adsorção.

ABSTRACT

The Brazilian textile industry is the second largest employer of the manufacturing industry, what shows its great importance. This activity as a potential source of pollution due to the generation of effluents with difficult degradation characteristics, due to the presence of dyes in these effluents, which are used in the coloration of fabrics and do not fully fix during the dyeing process. Then, different treatments are studied and tested in order to minimize the pollutant load of these effluents and, consequently, their damage to the environment. Adsorption method stands out as a physicochemical process in which an adsorbent material is capable of removing specific molecules from a liquid medium. Then, books, monographs, theses and articles were studied to present the textile industrial process and its waste generation, as well as the subsequent treatment and / or reuse of these effluents. A case study on textile effluent treatment by adsorption using steel residue as adsorbent was also carried out. The possibility of reusing the effluent in the process was analyzed by comparing its pH, hardness and iron content with parameters proposed in the literature. It was concluded that the parameters weren't suitable. Therefore, it is becoming increasingly necessary to search for treatments that are efficient in removing the color and other critical aspects of textile effluents, so that these effluents can be reused or even disposed of safely.

Keywords: effluents; dyes; adsorption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Subdivisões e exemplos de fibras têxteis.....	16
Figura 2- Comparativo entre as fibras naturais e químicas no Brasil.	17
Figura 3 - Exemplo de grupo cromóforo (A) e auxocromo (B) -.....	19
Figura 4 – Etapas do Processo Produtivo da Indústria Têxtil.....	23
Figura 5- Carda industrial	25
Figura 6– Passadeira industrial	25
Figura 7- Processo de urdição	26
Figura 8- Engomadeira.....	27
Figura 9– Foto de malharia	28
Figura 10- Tear de tecelagem plana	29
Figura 11- Equipamento para tingimento têxtil.	30
Figura 12– Utilização de água nas etapas do processo	35
Figura 13- Geração de resíduos durante o processo siderúrgico.....	40
Figura 14– Tratamento por sistema de lodos ativados.....	43
Figura 15- Análise de difração de raios-x (DRX) do resíduo siderúrgico.....	54
Figura 16- Análise de fluorescência de raios-X (FRX) do resíduo siderúrgico	55
Figura 17- Micrografia obtida por MEV para o resíduo. Magnitude de aumento de 58 vezes.....	55
Figura 18- Micrografia obtida por MEV/EDS para o resíduo. Magnitude de aumento de 58x.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativa de demanda e consumo de água por setor industrial	15
Tabela 2– Classificação dos corantes de acordo com sua estrutura química	20
Tabela 3 - Classificação dos corantes de acordo com sua fixação à fibra.	21
Tabela 4 - Objetivos dos processamentos da fibra.	24
Tabela 5 – Tipos de engomantes para cada fibra.	27
Tabela 6 – Resíduos sólidos gerados em cada etapa do processo.	32
Tabela 7 – Condições de Lançamentos para efluentes industriais.	44
Tabela 8 – Condições de Lançamento de efluentes segundo o COPAM.....	46
Tabela 9 - Condições experimentais dos ensaios	52
Tabela 10 - Resultados da caracterização do efluente.	53
Tabela 11 - Remoção de COT (%) após a adsorção	56
Tabela 12 - Remoção de cor (%) após a adsorção.	57
Tabela 13 - Parâmetros da água de entrada nas fases do processo têxtil.....	58

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	11
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 A Indústria Têxtil no Brasil	13
2.1.1 Matérias-primas	14
2.1.1.1 Água	14
2.1.1.2 Fibras têxteis	16
2.1.1.2.1 Fibras Naturais	17
2.1.1.2.2 Fibras químicas	18
2.1.1.3 Corantes	19
2.1.2 Etapas do Processo Produtivo	23
2.1.2.1 Fiação	24
2.1.2.2 Tecelagem	25
2.1.2.2.1 Urdição	26
2.1.2.2.2 Engomagem	26
2.1.2.2.3 Malharias	27
2.1.2.2.4 Tecelagem de tecidos planos	28
2.1.2.3 Desengomagem	29
2.1.2.4 Lavagem	30
2.1.2.5 Secagem	31
2.1.3 Resíduos	31
2.1.3.1 Resíduos líquidos	31
2.1.3.2 Resíduos sólidos	32
2.1.3.3 Resíduos gasosos	33
2.2- Efluentes da Indústria Têxtil	34
2.3- Tratamentos de Efluentes da Indústria Têxtil	36
2.3.1- Tratamentos Físico-Químicos	37

2.3.1.1 Coagulação e Floculação	37
2.3.1.2 Processos Oxidativos Avançados (POAs).....	38
2.3.1.3 Adsorção	39
2.3.1.3.1 Adsorção utilizando resíduos siderúrgicos	39
2.3.2- Tratamento Biológico	41
2.3.2.1 Tratamentos anaeróbios.....	42
2.3.2.2 Tratamentos aeróbios.....	42
2.4 Legislação de Efluentes Têxteis.....	43
2.4.1 CONAMA.....	43
2.4.2 COPAM	45
2.5 Reuso e Reaproveitamento do Efluente Tratado	47
3. ESTUDO DE CASO	50
3.1 Estudo da Eficiência de Resíduo Siderúrgico no Tratamento de Efluentes Têxteis	50
3.2 Material e Métodos	50
3.2.1- Coleta das Amostras	50
3.2.2- Caracterização do Efluente têxtil.....	50
3.2.3 Coleta e caracterização do material adsorvente: resíduos siderúrgicos	51
3.2.4 Procedimentos experimentais	51
3.3 Resultados e Discussão	52
3.3.1 Caracterização do efluente têxtil	52
3.3.2- Caracterização dos resíduos siderúrgicos	54
3.3.3- Eficiência do resíduo siderúrgico no tratamento de efluentes	56
3.4 Conclusão – Estudo de Caso	59
4. CONCLUSÃO DO TRABALHO	60

1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil no Brasil tem grande valor socioeconômico, sendo a segunda maior empregadora da indústria de transformação, com aproximadamente 1,6 milhões de empregados diretos, além do país ser o 5º maior produtor mundial de têxteis (ABIT, 2018). Mas, apesar de todos os benefícios econômicos, esse segmento industrial é um dos maiores consumidores de água quando comparado aos diferentes setores industriais.

Segundo dados da Unesco (2018), mais de dois bilhões de pessoas não têm acesso à água potável e mais que o dobro deste número não possui acesso a saneamento básico. Com o rápido crescimento da população global, estimada para dez bilhões em 2050, a demanda por água deve aumentar cerca de um terço até 2050. Ao mesmo tempo, de acordo com Pajootan *et al.* (2012), o efluente têxtil é um dos mais poluentes ao meio ambiente, devido à sua forte coloração, elevada quantidade de sólidos suspensos, grandes variações de pH, alta demanda de oxigênio e elevada toxicidade. Essas características são capazes de causar grande degradação aos ecossistemas aquáticos. A coloração, além de causar impacto visual, pode ser fonte de substâncias tóxicas, devido aos componentes presentes nos corantes, e também interfere na penetração de luz na camada de água, diminuindo os níveis de oxigênio e podendo ocasionar a morte de peixes e outros organismos (RITTER, 2016).

A etapa de tingimento é a que apresenta os maiores riscos ao meio ambiente devido à grande utilização de corantes orgânicos, sais e aditivos, além de consumir enormes volumes de água e gerar grandes quantidades de efluentes (MERZOUK *et al.*, 2011). Segundo Revankar e Lele (2007), grande parte da carga orgânica de corantes que entram no meio ambiente é através dos efluentes industriais têxteis.

A legislação ambiental, por meio da Resolução CONAMA nº 430/2011, estabelece os padrões e critérios de lançamento dos efluentes nos corpos hídricos, de modo que as características de qualidade dos mesmos não sejam alteradas e que o equilíbrio dos ecossistemas seja preservado. Dessa forma, é necessário realizar o tratamento dos efluentes da forma mais adequada possível.

De modo geral, as indústrias utilizam a combinação de dois ou mais sistemas para tratamento, dependendo do tipo de efluente, da sua característica e do destino dado ao efluente tratado, combinando processos físico-químicos e biológicos (SOLIS *et al.*, 2012).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi apresentar o processo industrial têxtil, desde suas matérias-primas até a geração de resíduos, descrevendo as formas de tratamento mais empregadas e as possibilidades de reutilização dos efluentes tratados. Além disso, também foram abordados os demais resíduos gerados por esta atividade, a legislação pertinente e um estudo de caso sobre a temática tratamento de efluente da indústria têxtil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Indústria Têxtil no Brasil

No Brasil, a indústria têxtil é notável no que diz respeito à geração de empregos e riqueza. Dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil – ABIT (2018) constata-se que o Brasil é o quarto maior produtor de malhas e denim no mundo, gerando 16,7% dos empregos e 5,7% do faturamento das empresas de transformação. Este setor emprega 1,5 milhão de brasileiros diretamente e 8 milhões de brasileiros indiretamente.

O setor têxtil conta com aproximadamente 30 mil empresas em todo o território nacional, sendo que as regiões sul e sudeste são as que apresentam maior quantidade de unidades fabris instaladas. O faturamento da cadeia têxtil e de confecção brasileiro é anualmente de aproximadamente US\$ 51,58 bilhões (ABIT, 2018), o que mostra a grande relevância do setor em território nacional.

Por outro lado, analisando a Resolução CONAMA Nº 237, de 19 de dezembro de 1997, observamos que, entre as atividades potencialmente geradoras de poluição, encontram-se as indústrias têxteis, de vestuário, calçados e artefatos de tecidos, que assim são classificadas pois seus efluentes apresentam características de difícil degradação ao meio ambiente. Isto ocorre, principalmente, pela presença dos corantes, que são extensivamente utilizados na coloração de tecidos e não se fixam totalmente aos tecidos durante o processo de tingimento.

A maior parte dos corantes fabricados destina-se a indústria têxtil, mas as indústrias de artefatos de couro, papel, indústrias alimentícias, de cosméticos, tintas e plásticos também possuem alta demanda destes produtos. Como a procura é muito grande e diversa, os químicos são desafiados a produzirem corantes com características que promovam boa fixação da coloração dos tecidos, oferecendo grande resistência aos agentes que causam o desbotamento (ZANONI; CARNEIRO, 2001).

2.1.1 Matérias-primas

2.1.1.1 Água

A demanda hídrica global é fortemente influenciada pelo crescimento da população, pela urbanização, pelas políticas de segurança alimentar e energética, e pelos processos macroeconômicos, tais como a globalização do comércio, as mudanças na dieta e o aumento do consumo. Estima-se que entre 2000 e 2050 a demanda da indústria por água crescerá até 400% (UNESCO, 2018), aumentando também a produção de resíduos e efluentes industriais, que em muitos lugares contaminam e prejudicam a qualidade dos rios e oceanos.

A água é usada na indústria têxtil de diferentes maneiras. Pode ser utilizada como meio de transporte para os produtos químicos que são utilizados no processo, bem como para a remoção do excesso daqueles produtos considerados indesejáveis (TWARDOKUS, 2004). Dentro de uma indústria têxtil, mais especificamente no beneficiamento, a água é utilizada basicamente em todas as etapas, de modo direto nos processos de lavagem, tingimento e amaciamento, e de modo indireto para realizar aquecimento ou resfriamento nos processos. Salem (2010) reforça esta importância da água no processo têxtil afirmando que muitos dos problemas ocorridos no beneficiamento podem ter sido provocados pela falta de qualidade da água, que não deve ser turva, conter impurezas em suspensão ou mau cheiro. É de suma importância conhecer o pH, grau de dureza e o conteúdo de metais pesados (MONTEIRO, 2018).

A Agência Nacional de Águas – ANA realizou um estudo em 2017 em que foi estimada a demanda de água dos principais setores industriais e o que é efetivamente consumido. Entre os 24 setores estudados, a indústria têxtil ocupou o oitavo lugar em demanda de água.

As oito indústrias com maior consumo de água estão representadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Estimativa de demanda e consumo de água por setor industrial

Setor industrial	Vazão retirada (m³/s)	Vazões consumo (m³/s)	Consumo (%)
Fabricação de produtos alimentícios	77,900	58,618	75,248
Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis	31,066	26,795	86,252
Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	25,718	3,984	15,492
Fabricação de bebidas	10,459	3,097	29,606
Metalurgia	10,407	2,551	24,508
Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	7,973	1,294	16,229
Fabricação de produtos químicos	5,530	2,057	37,197
Fabricação de produtos têxteis	5,197	1,414	27,209

Fonte: Adaptado de ANA (2017).

Lee (2009) complementa que para o tingimento de uma camiseta comum de 200 gramas são gastos entre 16 a 20 litros de água. Estes dados mostram uma elevada relação de água por material têxtil processado, o que leva ao alto volume de efluentes líquidos e carga poluente.

Um estudo realizado pela Measuring Fashion (2018) nos Estados Unidos estimou que o consumo anual de água per capita da indústria de vestuário é de aproximadamente 23.900 litros, o que equivale a cerca de 150 banhos. Em relação à medida de CO₂eq, o consumo é de 442 kg per capita, o que equivale a uma viagem de carro de 2400 km. A medida de CO₂eq significa “equivalente de dióxido de

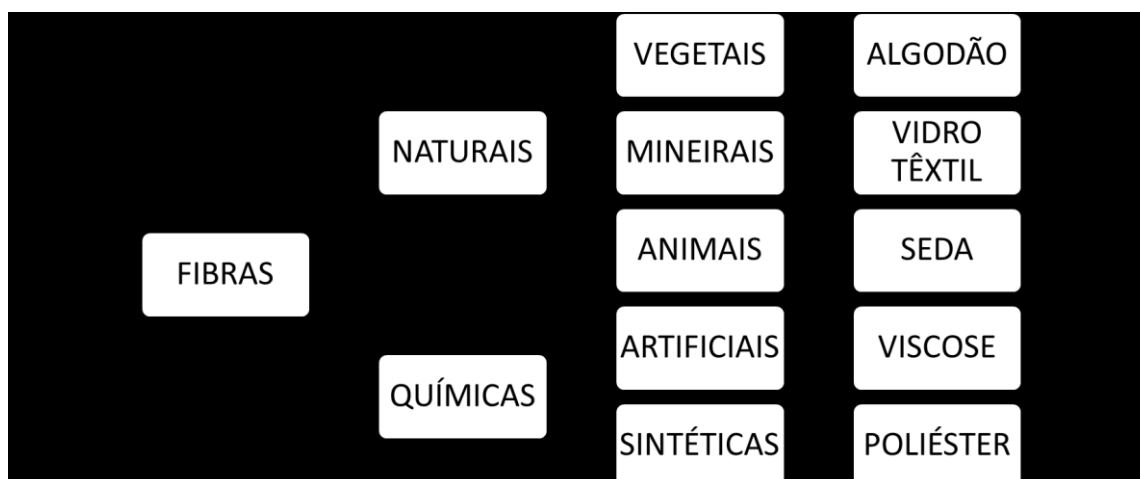
carbono”, e calcula quanto de CO₂ envolvido em determinada emissão tem o mesmo potencial de aquecimento global dos gases de efeito estufa.

Toledo (2004) afirma que o potencial contaminante da indústria têxtil, em sua totalidade, é considerado médio, sendo a tinturaria e o acabamento as etapas do processo produtivo têxtil que com maior potencial contaminante.

2.1.1.2 Fibras têxteis

As fibras têxteis podem ser divididas em dois grandes grupos: fibras naturais e químicas ou manufaturadas, conforme o regulamento técnico do Mercosul sobre etiquetagem de produtos têxteis – Resolução Conmetro/MDIC n.02, de 06 de maio de 2008. A Figura 1 mostra as divisões das fibras têxteis e exemplos de cada grupo.

Figura 1 – Divisões e exemplos de fibras têxteis

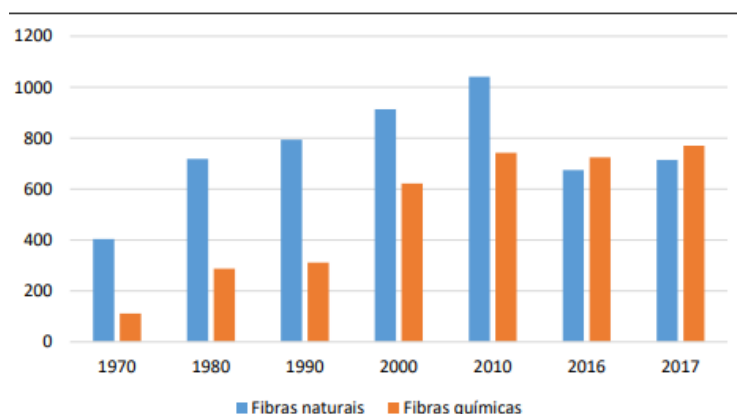


Fonte: Adaptado de BASTIAN (2009).

As fibras naturais podem ter origem animal, vegetal ou mineral; já as fibras químicas consistem na transformação química de matérias-primas naturais (BASTIAN, 2009).

No Brasil, as fibras químicas vêm ganhando mais espaço a medida que se tornam mais próximas das fibras naturais em relação à aparência, toque e conforto. Em 2016, o consumo de fibras químicas no Brasil ultrapassou as fibras naturais, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 - Comparativo entre as fibras naturais e químicas no Brasil.



Fonte: SILVA (2019).

Isto, por um lado, é positivo, de acordo com o autor Yao Um (2014), visto que a explosão demográfica ocorreu e continua ocorrendo, o que torna as fibras naturais limitadas em termos de expansão. Com a larga utilização de terras cultiváveis para o plantio de grãos, o aumento da produção de fibras naturais no mundo já não pode mais depender exclusivamente do plantio no campo.

Por outro lado, a fim de proteger o meio ambiente, bem como a floresta e os recursos de madeira, as fibras de viscose, liocel, fibra de acetato de celulose e éster de nitrato de celulose devem ser limitadas. Assim, deve-se buscar outras matérias-primas para a fabricação das fibras artificiais, como bagaço de cana, amoreira, cânhamo, bambu, línter de algodão, palha, palha de trigo e de milho.

Yao Um (2014) complementa que também deve-se tomar cuidado com a expansão das fibras sintéticas, pois devem ser buscadas outras matérias-primas além de petróleo e gás natural, por serem recursos não-renováveis. Atualmente, a tecnologia de engenharia biológica já é adotada para transformar produtos agrícolas (hastes do milho) em etileno glicol, propileno glicol, butileno glicol e ácido tereftálico, que são todas matérias-primas para fibras sintéticas.

2.1.1.2.1 Fibras naturais

As fibras oriundas de natureza vegetal, animal ou mineral apresentam características irregulares. Sua capacidade de absorção e sua porosidade tornam a

fibra mais sensível às variações climáticas, gerando uma sensação mais agradável no seu uso. Dessa forma, o algodão pode ser utilizado em vários tecidos: de tecidos muito delicados, como rendas, musselines, organdis, cambraias, tricolines, até tecidos mais resistentes como brins e lonas, e nos tecidos de peso médio como popeline, veludo, fustão, etc. (MONTEIRO, 2018).

Pezzolo (2009) destaca que o algodão é a fibra mais antiga cultivada pelo homem, resistindo há milênios e mantendo-se como a principal fibra têxtil do mundo por conta de suas qualidades naturais, relacionadas ao conforto, maciez e durabilidade. O autor complementa que a fibra de algodão é considerada a mais importante fibra do setor têxtil devido a seu baixo custo, sua resistência superior à lã e seu tratamento químico facilitado, que não requer grande preparação mecânica, o que facilita sua fiação, tecelagem e manipulação.

2.1.1.2.2 Fibras químicas

Pezzolo (2009) ressalta que durante muito tempo somente as fibras naturais foram usadas na tecelagem, até que houve a necessidade de criar uma matéria-prima nova que a natureza não oferecia. Em 1885, surgem as primeiras fibras químicas produzidas em laboratório, cujo objetivo inicial era copiar e melhorar as características das fibras naturais para atender as necessidades ergonômicas e de custo, de acordo com as novas aplicações dos tecidos para o trabalho e o lazer. São divididas em fibras artificiais e sintéticas.

As fibras manufaturadas artificiais são polímeros obtidos a partir de transformações da celulose, e as fibras manufaturadas sintéticas são derivadas de subprodutos do petróleo, como o náilon, a poliamida e o poliéster (KON; COAN, 2005). A manipulação dessas fibras, segundo Chataignier (2006), tem como objetivo desenvolver um produto que se aproxime das características das fibras naturais. Ela recebe características fundamentais, como absorção de umidade, resistência, maciez e flexibilidade. As principais fibras sintéticas utilizadas na confecção são o poliéster, a poliamida e o acrílico. Devido ao alto investimento da China em fábricas de fibras químicas, o preço do poliéster diminuiu significativamente, colocando-o como a fibra mais consumida no Brasil (SILVA, 2019; ABRAFAS, 2018).

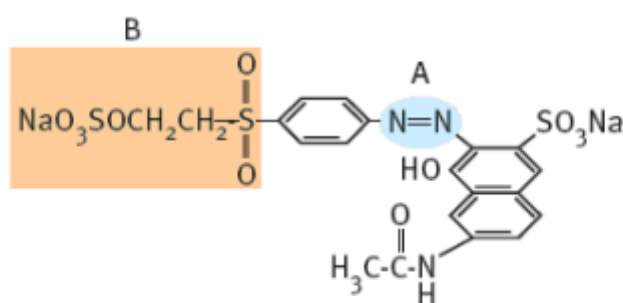
2.1.1.3 Corantes

Os corantes têxteis são compostos orgânicos ou inorgânicos, obtidos através de fontes naturais ou sintéticas, que têm por finalidade dar cor às fibras sob condições de processos predeterminados. Os corantes estão classificados de acordo com sua estrutura química ou pelo modo com que o mesmo é fixado à fibra têxtil (ZANONI; YAMANAKA, 2016). Porém, as mesmas características que conferem aos corantes a capacidade de interagir com a superfície do material e permanecer ali inalterado por períodos prolongados, podem ser responsáveis pela sua recalcitrância e toxicidade (BANAT *et al.*, 1996).

Os corantes apresentam estruturas químicas complexas. Possuem anéis aromáticos e/ou duplas ligações responsáveis pela cor, chamados cromóforos, e também o grupo dos auxocromos, que funcionam como doadores ou aceptores de elétrons, que provocam ou intensificam a cor dos cromóforos. Ou seja, são responsáveis pela fixação do corante à fibra (SANTOS *et al.*, 2007).

Baseado na estrutura química dos cromóforos, os corantes sintéticos são classificados em diferentes grupos, sendo o mais representativo e largamente empregado o dos azocorantes. Estes se caracterizam por apresentar grupamentos – N=N- ligados a anéis aromáticos, como mostra a Figura 3.

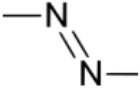
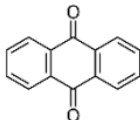
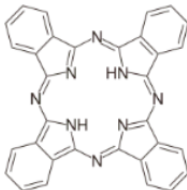
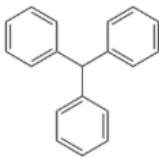
Figura 3 - Exemplo de grupo cromóforo (A) e auxocromo (B)



Fonte: GUARATINI; ZANONI (2000).

As classificações dos corantes de acordo com sua estrutura química estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2– Classificação dos corantes de acordo com sua estrutura química

Classe	Características
Corantes Azo 	Substâncias que contém o grupamento (-N=N-) como grupo cromóforo. Podem ser descritos como monoazo, diazo, triazo e poliazo, de acordo com o número de grupamentos azo.
Antraquinona 	Estrutura composta por anéis aromáticos e grupos carbonílicos como grupo cromóforo. Apresentam brilho e estabilidade, incluindo resistência à luz, porém são caros.
Ftalocianina 	Compostos de coordenação macrocíclicos, conjugados constituídos por quatro anéis isoindóis, que são a junção de um anel benzênico com um anel pirrol. Assim, o cromóforo constitui de um sistema planar tetra-aza derivado de uma benzotetraporfirina.
(continua)	
(continuação)	
Classe	Características
Triarilmetano 	Compostos de coordenação macrocíclicos, conjugados constituídos por quatro anéis isoindóis. Onde esses anéis é a junção de um anel benzênico com um anel pirrol. Assim, o cromóforo constitui de um sistema planar tetra-aza derivado de uma benzotetraporfirina.

Fonte: SANTOS (2019).

Os corantes também podem ser classificados de acordo com seu modo de fixação à fibra, como mostra a Tabela 3. Nesta tabela, tem-se também a relação

entre o substrato, a classe de corantes e seu modo de aplicação (GRCIC *et al.*, 2014; GUARATINI e ZANONI, 2000; ZANONI e YAMANAKA, 2016).

Tabela 3 - Classificação dos corantes de acordo com sua fixação à fibra.

Classe	Principais substratos	Método de aplicação
Reativos	Algodão, lã, seda e poliamida	Sítios reativos do corante reagem com os grupos funcionais da fibra através de ligações covalentes sob influência do calor e pH.
Diretos	Algodão, viscose, seda e poliamida	Tingimento por adsorção via interações de van der Waals em banhos neutros ou ligeiramente alcalinos contendo eletrólitos adicionais ou mordentes
Azoicos	Algodão, viscose, acetato de celulose e poliéster	Corantes insolúveis em água formados sobre os poros da fibra entre um agente de acoplamento solúvel com afinidade pela fibra e um sal de diazônio também solúvel.

(continua)

(continuação)

Classe	Principais substratos	Método de aplicação
À tina	Algodão, viscose e lã	Insolúveis em água são reduzidos à forma leuco solúvel com ditionito de sódio em meio alcalino. Após interação com fibra são oxidados a forma insolúvel quando em contato com ar fixando-se à fibra.
Catiônico	Lã, seda, algodão, couro e fibras acrílicas. Pouca afinidade com fibras celulósicas	A fixação do corante à fibra acontece através dos sítios catiônicos (positivos) do corante com os sítios aniônicos (negativos) da fibra via interação iônica, interação de van der Waals ou pontes de hidrogênio. O tingimento ocorre empregando usualmente ácido acético que colabora para fixação do corante à fibra e solubilidade em água
Ácidos/ Aniônicos	Poliamida, lã, seda, couro e acrílico modificado	A fixação do corante à fibra acontece em meio neutro ou ácido através dos sítios aniônicos do corante com os sítios catiônicos da fibra via interação iônica, interação de van der Waals ou pontes de hidrogênio.
Pré-metalizados	Lã e couro	Possui pouca ou nenhuma afinidade com fibra, porém se fixa a ela com adição de um mordente, produto químico que se combina com o corante e a fibra. Os principais mordentes são derivados de cromo, como o dicromato.
Dispersos	Poliéster, acetato de celulose, acrílico e poliamida	Tingimento sob a forma de fina dispersão aquosa, muitas vezes aplicadas com alta temperatura/pressão usualmente com auxílio de agentes dispersantes ou por processo de termofixação.

(continua)

(continuação)

Classe	Principais substratos	Método de aplicação
À cuba	Algodão e viscose	Devido à falta de solubilidade são reduzidos a forma leuco (solúvel) com ditionito de sódio em banho alcalino com outros agentes (eletrólitos e sulfeto de hidrogênio ou de sódio). Após interação com fibra são oxidados a forma insolúvel quando em contato com ar fixando-se à mesma.

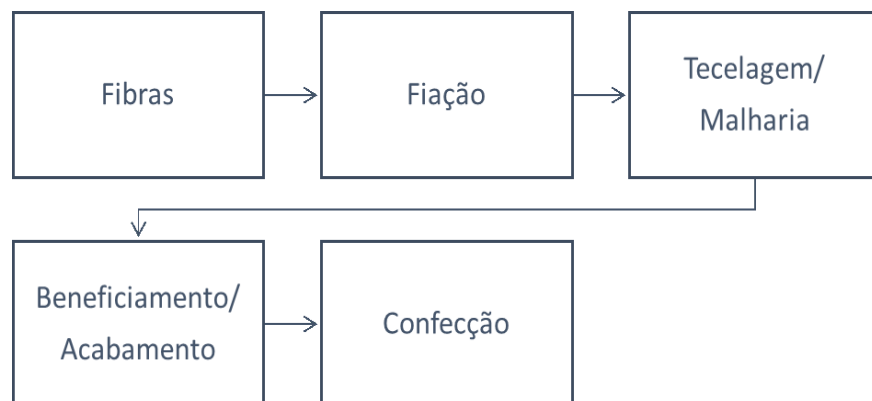
Fonte: SILVA (2018).

Dentre os corantes mais utilizados, um dos que recebe maior destaque é o corante índigo. É muito conhecido por ser utilizado na indústria alimentícia, mas sua principal utilização é na indústria têxtil. O índigo blue, por exemplo, é usado no tingimento de fios de algodão empregados na manufatura do jeans (PASCHOAL; FILHO, 2005).

2.1.2 Etapas do Processo Produtivo

O processo produtivo têxtil inicia na escolha e fabricação dos fios, passa pela fabricação das malhas e só termina com a distribuição e comercialização da peça. O fluxograma geral das etapas de fabricação dos fios está ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Etapas do Processo Produtivo da Indústria Têxtil.



Fonte: Adaptado de MONTEIRO (2018).

2.1.2.1 Fiação

A partir das fibras, inicia-se o processo para obtenção do fio. As propriedades físicas desta matéria-prima definem o processo de fiação a ser utilizado (FIEMG, 2014).

Tanto as fibras têxteis naturais quanto as fibras têxteis manufaturadas passam por processos de fiação semelhantes, sendo iniciados pela etapa de preparação para a fiação; posteriormente, passam por operações em que as fibras são abertas e limpas, orientadas em uma mesma direção, paralelizadas e torcidas de modo a se prenderem umas às outras por atrito (FIEMG, 2014). A Tabela 4 ilustra os principais processos desta etapa e sua finalidade básica, de acordo com o tipo de fibra.

Tabela 4 - Objetivos dos processamentos da fibra.

Principais Processos	Finalidade básica
Fibras Naturais	Esses processos consistem basicamente em:
- Abertura	- Remover impurezas da fibra;
- Carda	- Separar fibras de menor tamanho;
- Passadeira	- Paralelizar, estirar e torcer as fibras para
- Penteadeira	confeccionar o fio;
- Maçaroqueira	- Unir os fios para a formação de fios retorcidos;
- Retorcedeira	- Enrolar os fios e mudar seu acondicionamento
- Vaporizador	- Fixar o fio, por meio do calor
Fibras Químicas	- Elaboração dos fios;
- Chips	- Estirar, torcer e unir os fios;
- Extrusão	- Enrolar os fios, mudando seu acondicionamento
- Bobinagem	
- Estiragem	
- Enrolamento	
- Texturização	

Fonte: BASTIAN (2009).

As Figuras 5 e 6 ilustram, respectivamente, os equipamentos de carda e passadeira, citados na Tabela 4. Na carda, ocorre a limpeza mecânica das fibras, assim como o início dos processos de estiramento e torção. Já na passadeira, as fibras são paralelizadas e uniformizadas (BASTIAN, 2009).

Figura 5 - Carda industrial.



Fonte: PEREIRA (2009).

Figura 6 – Passadeira industrial.



Fonte: PEREIRA (2009).

2.1.2.2 Tecelagem

Durante o processo de tecelagem, podem ser obtidos dois produtos distintos: o tecido plano e a malha, obtidos a partir do emprego de processos de produção

distintos, conferindo diferentes características ao produto final como, por exemplo, a maior flexibilidade e elasticidade da malha se comparada à resistência dos tecidos planos (FIEMG, 2014). Entretanto, antes de ser iniciado o processo, os fios passam por um tratamento prévio: a urdição e engomagem.

2.1.2.2.1 Urdição

A urdição consiste em construir um sistema de fios paralelos, rigorosamente individualizados, de mesmo comprimento e com a mesma tensão, posicionados no sentido longitudinal, na exata ordem que o tecido final exige, sendo este sistema enrolado num eixo, conhecido como rolo de urdume, conforme mostra a Figura 7. Dessa forma, o rolo de urdume pode ser posteriormente montado na parte posterior dos teares ou levado para o processo seguinte de preparação, conhecido como engomagem (FIEMG, 2014).

Figura 7 - Processo de urdição.



Fonte: FIEMG (2014).

2.1.2.2.2 Engomagem

Consiste na impregnação e revestimento dos fios com substâncias adesivas, formando um filme. A finalidade desta etapa é aumentar a resistência mecânica dos fios, tornando-os mais lisos e sem fibras projetadas (BELTRAME, 2000).

A Tabela 5 apresenta alguns tipos de engomantes e as fibras com as quais têm afinidade.

Tabela 5 – Tipos de engomantes para cada fibra.

Engomante	Algodão	Lã	Mistura de poliéster (1)	Acrílico	Acetato e Nylon	Poliéster
Amido (2)	X	X	X	X		
CMC (3)	X	X	X			
PVA (4)	X	X	X	X		X
PVAc (5)	X	X	X	X		X
Poliacrilatos	X	X	X	X	X	X
Poliésteres						X

(1) Misturas de poliéster com algodão, lã e/ou viscose; (2) Amido e seus derivados: CMA (carboximetilamido), amido etoxilado e amido hidroxilado; (3) Carboximetilcelulose (CMC); (4) Álcool polivinílico (PVA); (5) Acetato de polivinila (PVAc). Fonte: Alcântara e Daltin (1996).

Para a aplicação, os fios são desenrolados e mergulhados em banho contendo a goma. Na saída, passam por rolos aquecidos para retirar o excesso de goma e serem secados (BELTRAME, 2000). O processo ocorre na engomadeira, ilustrada na Figura 8.

Figura 8 – **Engomadeira.**



Fonte: Pereira (2009).

2.1.2.2.3 Malharias

Os teares para malharia são chamados teares circulares, pois os alimentadores são dispostos em círculos, produzindo um tecido tubular contínuo,

conforme mostra a Figura 9. Apresentam alto rendimento, sendo também bastante versáteis, possibilitando a produção dos mais diversos tipos de tecidos. A utilização dessas máquinas permite grande eficiência produtiva, dado que as peças saem semiacabadas do equipamento (FIEMG, 2014).

Figura 9 – Foto de malharia.

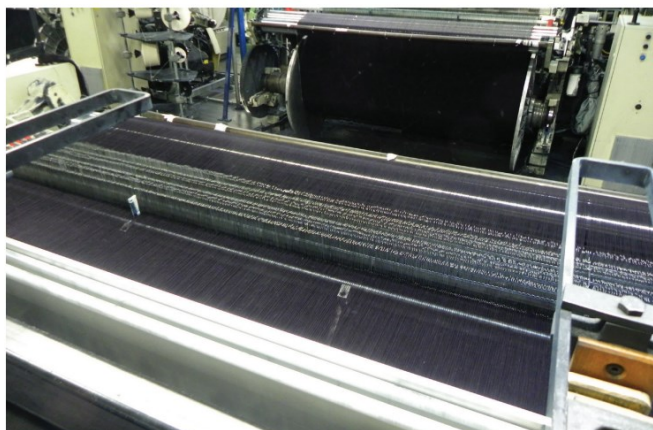


Fonte: BASTIAN (2009).

2.1.2.2.4 Tecelagem de tecidos planos

Quanto aos teares para tecidos planos, são divididos em três gerações. A primeira comporta os modelos mais convencionais, em geral possuindo lançadeiras, trabalhando em menor velocidade, com limitação para tecer artigos com mais de 140 cm, mas com possibilidade de produzir qualquer tipo de tecido plano. Já os teares mais modernos, podem ser subdivididos no grupo dos teares de segunda geração, que contempla os teares de projétil e os teares de pinça, e, no grupo dos teares de terceira geração, que contempla os mais modernos equipamentos, operando por jato de ar ou jato de água. Estes teares possuem, como diferenciais, a alta velocidade de produção permitida, não apresentam restrições quanto à largura dos tecidos, possibilitando atendimento às exigências das grandes empresas confeccionistas, além de serem bastante eficientes no processo produtivo (FIEMG, 2014). A Figura 10 ilustra um exemplo de tecelagem plana.

Figura 10 - Tear de tecelagem plana.



Fonte: FIEMG (2014).

2.1.2.3 Desengomagem

O processo de desengomagem consiste em retirar a goma aplicada anteriormente pela tecelagem. Este processo é necessário pois as gomas, usualmente feitas de amido, podem reagir e causar mudanças de cor no tecido, deixando-o menos absorvente (CPRH, 2001).

A remoção das gomas é realizada através de lavagem em água quente utilizando ácidos, agentes oxidantes (como persulfatos de sódio ou amônio), peróxido de hidrogênio ou enzimas amilolíticas, a depender de qual goma foi utilizada, sendo estas últimas as que encontram maior aplicação comercial (CPRH, 2001).

2.1.2.4 Tingimento

O tingimento é a etapa de coloração dos substratos têxteis através da aplicação de corantes e, por isso, é uma das etapas determinantes do sucesso comercial dos produtos têxteis, permitindo que o tecido adquira padrões de cor, transpiração e lavagem. Para garantir essas propriedades, as substâncias que conferem coloração à fibra devem apresentar alta afinidade com o tecido, uniformidade na coloração, resistência aos agentes desencadeadores do desbotamento e ainda serem economicamente viáveis (TWARDOKUS, 2004).

O processo de tingimento pode ser dividido em três etapas: migração, absorção e difusão/fixação. Primeiramente, o corante migra do meio em que se encontra diluído para a superfície da fibra. Ao estabelecer-se o contato, inicia-se sua adsorção pelas camadas superficiais do substrato têxtil. O corante absorvido difunde-se no interior da fibra e fixa-se nela por meio de ligações iônicas, pontes de hidrogênio, forças de Van der Waals ou ligações covalentes, dependendo da natureza do material (CPRH, 2001).

Este processo pode ser efetuado diretamente em fios, tecidos ou malhas. Geralmente, fios e malhas são tingidos em procedimentos em batelada e os tecidos planos em processos contínuos. A Figura 11 mostra um equipamento para tingimento em escala industrial.

Figura 11 - Equipamento para tingimento têxtil.



Fonte: LANGE (2004).

O tingimento do fio em bobinas dá-se pela passagem de um banho de tingimento através da bobina, onde os fios estão empacotados de forma imóvel. O tempo de contato entre o fio e o banho de tingimento é uma variável determinante no processo (LANGE *et al.*, 2006).

2.1.2.4 Lavagem

Depois desses processos, uma lavagem em banho corrente é feita visando a retirada do excesso de desencadeadores do desbotamento, consumindo grandes volumes de água (VELOSO, 2012).

Muitas vezes, este processo requer a utilização de produtos químicos auxiliares, como detergentes e neutralizantes. Assim, os efluentes provenientes desta etapa apresentam elevada concentração de poluentes, corantes e produtos auxiliares, sendo os maiores responsáveis pela periculosidade dos efluentes têxteis como um todo (CPRH, 2001).

2.1.2.5 Secagem

Para remoção da umidade do produto, a água é removida mecanicamente por meio de centrífugas e/ou por vaporização térmica, com o uso das secadoras (FIEMG, 2014).

Os resíduos dessa operação, além da própria água, são emissões gasosas, principalmente quando da queima de gás e, eventualmente, os amaciantes que volatilizam durante o processo térmico de secagem (CPRH, 2001).

2.1.3 Resíduos

Durante todas as etapas do processamento têxtil há geração de resíduos, que podem ser divididos como sólidos, líquidos ou gasosos. Os líquidos configuram como os mais críticos, mas todos, sem o devido controle e atenção, possuem potencial de impactos ambientais.

2.1.3.1 Resíduos líquidos

As indústrias têxteis destacam-se por utilizarem em seu processo produtivo elevada quantidade de água por quilo de tecido produzido, gerando efluentes potencialmente poluidores. Esses efluentes caracterizam-se por conter alta concentração de corantes naturais e sintéticos, que podem conter metais pesados, além de elevada DBO e sólidos totais (ALMEIDA *et al.*, 2016).

Dellamatrice (2005) completa afirmando que os resíduos das indústrias têxteis têm baixos níveis de degradação, apresentando assim grande potencial de poluição, principalmente dos mananciais, pois as suas características químicas lhe conferem grande estabilidade, tornando-os muito persistentes no meio ambiente.

2.1.3.2 Resíduos sólidos

Ao longo do processo produtivo têxtil, existem diversas operações que geram resíduos sólidos, desde o descaroçamento do algodão até restos de fios e tecido, variando quanto à característica e quantidade (FIEMG, 2014).

No entanto, os principais resíduos sólidos gerados na indústria têxtil são basicamente fibras celulósicas e em menor escala protéicas e poliamídicas, na forma de “*tops*”, fios, tecidos ou malhas, dentre outros (LANGE *et al.*, 2006). A etapa de fiação apresenta perdas, em média, de 5%, enquanto a etapa de tecelagem apresenta perdas, em média, de 15% (FIEMG, 2014). Estes resíduos podem ser reincorporados ao processo produtivo, a partir do setor de abertura.

Outros resíduos sólidos com potencial de impacto ambiental são provenientes da queima dos combustíveis nas caldeiras. O tipo de resíduo sólido (cinzas, fuligem ou escória) depende da temperatura atingida, que pode ou não ser suficiente para fundir a cinza, enquanto a quantidade de resíduo está intimamente relacionada com o tipo de combustível utilizado. A quantidade de cinzas geradas é maior na utilização de lenha como combustível, enquanto a utilização de óleo, apesar de não gerar quantidades apreciáveis de cinzas, pode ocasionar a geração de fuligem (FIEMG, 2014).

Além destes resíduos, uma grande preocupação se refere ao lodo gerado no tratamento de efluentes, já que há uma relação direta entre a qualidade do efluente e as características do resíduo sólido (LANGE *et al.*, 2006; CASTILHOS *et al.*, 2011).

Os resíduos produzidos, dispostos na Tabela 6, caracterizam-se pela sua elevada toxicidade, implicando na elevação dos riscos associados à sua destinação final.

Tabela 6 – Resíduos sólidos gerados em cada etapa do processo.

Etapa do processo	Resíduos sólidos gerados
Fiação	Cascas, fibras, fios, cones, borras de fibra
Beneficiamento	Fibras queimadas, fibras retiradas durante as operações de impregnação de álcali, purga, lavagem e felpagem, pastas de estampar, telas, embalagens

	diversas, óleo térmico, banho de acabamento.
Tecelagem e/ou malharia	Cones, restos do banho de goma, embalagens diversas, fibras, fios, tecidos, óleo usado.
Enobrecimento	Fibras queimadas, fibras retiradas durante as operações de impregnação de álcali, alvejamento, purga, lavagem, felpagem, navalhagem e esmerilhagem, pastas de estampar, telas, embalagens diversas, óleo térmico e banho de acabamento
Etapa do processo	Resíduos sólidos gerados
Confecção	Retalhos, embalagens diversas
Caldeira, aquecedor de fluido térmico, compressores de ar, sistema de aclimatização	Cinzas, embalagens de produtos químicos, borra de óleo, pano com óleo, fibras retiradas na limpeza dos equipamentos.
Sistema de tratamento de efluentes	Lodo biológico, embalagens de produtos químicos.
Atividades administrativas	Embalagem de papel e papelão, de plástico e de vidro, cartucho de impressoras

Fonte: Queiroz *et al.*, (2016).

2.1.3.3 Resíduos gasosos

As principais responsáveis pelas emissões atmosféricas das indústrias têxteis são as caldeiras utilizadas para fornecimento do vapor, sendo as emissões geradas dependentes diretamente da natureza do combustível queimado, podendo liberar gases e/ou material particulado desse processo. O combustível mais utilizado por empresas do setor têxtil é a lenha, acompanhado do óleo BPF (Baixo Ponto de Fluidez). Ainda assim, ocorrem variações para o abastecimento das caldeiras, como a utilização de biomassa, gás GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) ou óleo xisto (FIEMG, 2014)

Dentre os gases, inclui-se o dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e monóxido de carbono (LEÃO *et al.*, 2002). O material particulado, popularmente

conhecido como “fuligem”, pode causar danos à saúde dos funcionários e aos moradores das proximidades das fábricas, dependendo da concentração no ambiente e do tempo de exposição.

O uso de lenha reduz a taxa de emissão de todos os poluentes associados e, além disso, se utilizada de maneira sustentável (por meio de reposição florestal), é capaz de armazenar CO₂, sendo esse o principal gás vinculado ao processo do efeito estufa. No caso da utilização de caldeiras a óleo, por se tratar da utilização de um combustível fóssil, sua combustão resulta na emissão de óxidos de enxofre, principalmente o dióxido de enxofre (SO₂), sendo os lavadores de gases os sistemas mais utilizados (FIEMG, 2014).

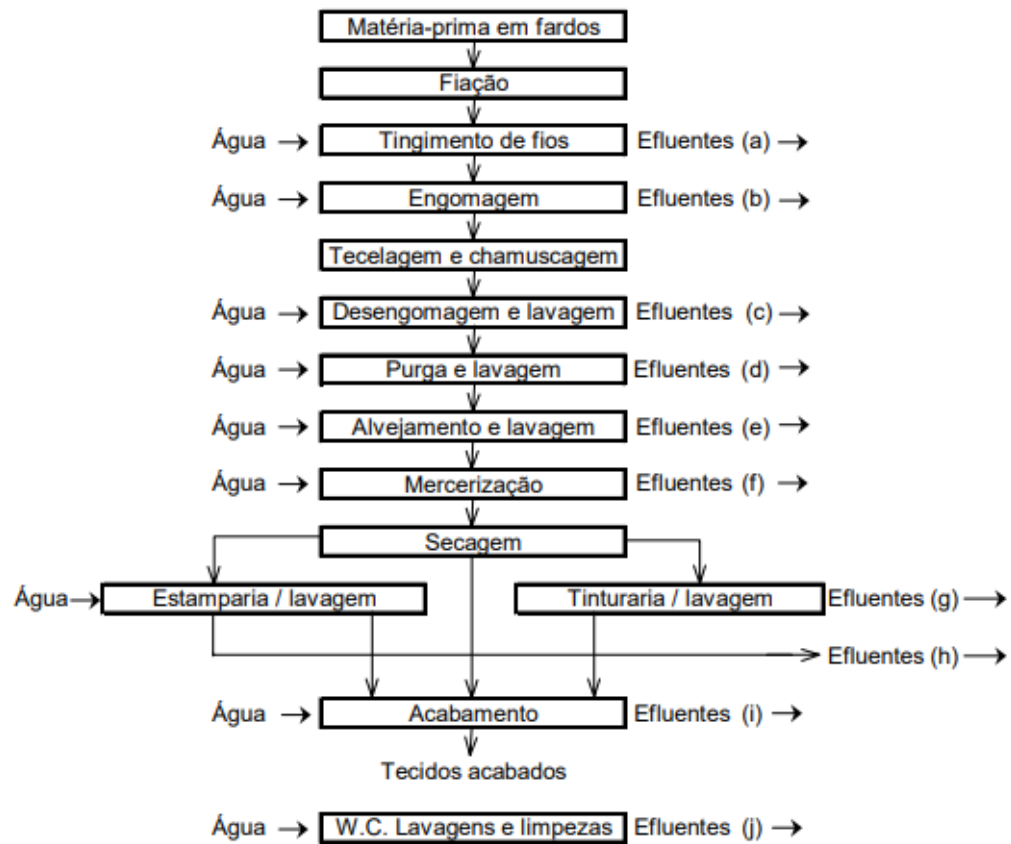
2.2- Efluentes da Indústria Têxtil

Segundo o relatório O Estado Real das Águas no Brasil – 2003/2004, a contaminação das águas de rios, lagos e lagoas quintuplicaram nos últimos dez anos, sendo a principal fonte de poluição no país o despejo de material tóxico proveniente das atividades agroindustriais e industriais. Isto se dá pela ampla utilização da água nos processos industriais: é utilizada como dissolvente ou reagente químico, na lavagem com adição de detergentes, na tinturaria ou arrefecimento (resfriamento), tornando-se inadequada para quaisquer usos.

Entre os vários segmentos de indústrias que necessitam de um tratamento posterior da água, está a indústria têxtil, que gera efluentes com uma forte coloração devido à utilização de corantes nos processos de tingimento. Além disso, apresentam grande quantidade de sólidos suspensos, elevadas concentrações de DQO (Demanda Química de Oxigênio), significativa quantidade de metais pesados, compostos orgânicos clorados e surfactantes (ARAUJO; YOKOYAMA, 2006).

A Figura 12 mostra a utilização de água nas etapas do processamento têxtil, a geração de efluentes e sua caracterização.

Figura 12 – Utilização de água nas etapas do processo.



Fonte: Braile e Cavalcanti (1993).

Sendo que, na Figura 12: (a) DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) alta, muitos sólidos e pH de neutro a alcalino; (b) e (c) pH neutro, temperatura, DBO e teor de sólidos totais elevados; (d) temperatura elevada e altos teores de DBO, alcalinidade e teor de sólidos totais; (e) DBO elevada; pH alcalino e muitos sólidos; (f) DBO baixa, pH fortemente alcalino e poucos sólidos/ (g) pH neutro a alcalino, muitos sólidos e alta DBO; (h) elevada DBO, pH alcalino; (i) elevada DBO e pH alcalino; (j) DBO, sólidos e pH alcalino.

Nunes (2012) relata que o consumo específico de água em indústrias de tinturaria é de 20 a 60 m³ por tonelada de produto fabricado. Cabe ressaltar que a quantidade de água utilizada na manufatura e os parâmetros físico-químicos do efluente gerado variam de acordo com os processos industriais empregados, do tipo de fibra e dos produtos químicos utilizados (BELTRAME, 2000; BASTIAN, 2009).

Além de parâmetros como alta DBO e variados níveis de pH, uma forte coloração é a característica mais notória no efluente têxtil e está associada aos corantes empregados no tingimento. Mais de 700.000 toneladas de corantes são produzidas anualmente para uso nas indústrias têxteis (BURKINSHAW; SALIHU, 2013), ou seja, o setor têxtil tem uma quota de dois terços do mercado total de corante (SAFARIKOVÁ *et al.*, 2005) e é responsável pela maior parte da produção, uso e descarte de efluentes contendo essas substâncias (DILARRI *et al.*, 2016). Durante a produção e consumo, cerca de 10% destes corantes são descartados em efluentes, causando diversos problemas ambientais (GHAZI MOKRI *et al.*, 2015; (ALMEIDA *et al.*, 2016).

Silva (2018) relata que, nesta discussão sobre corantes, destacam-se os corantes azo, que são largamente encontrados no meio ambiente por serem os mais utilizados, e prejudicam intensamente a fotossíntese. Esses compostos apresentam grupamentos aromáticos complexos com significativa diversidade estrutural, sendo capazes de esgotar o oxigênio dissolvido, alterar a demanda bioquímica de oxigênio e causar toxicidade para a flora, a fauna e para os seres humanos. Isso ocorre devido à quebra anaeróbica das ligações azo de suas moléculas, gerando aminas aromáticas, que são muito tóxicas, cancerígenas e mutagênicas (FERREIRA *et al.*, 2015; HOLANDA *et al.*, 2015; JAAFARZADEH *et al.*, 2018; SAFA; BHATTI, 2011; SHAH, 2014; SILVA *et al.*, 2017).

De acordo com Grcic *et al.* (2014), os corantes podem ter efeitos tóxicos (agudos e ou crônicos) nos organismos expostos dependendo do tempo de exposição e das suas concentrações no ambiente.

Os agravamentos da poluição dos recursos hídricos em larga escala em muitas regiões alerta e favorece as políticas de cobrança pelo uso da água, exigindo um planejamento e um manejo integrado desses recursos. De acordo com Monteiro (2018), a ONU estima que mais da metade dos rios do mundo esteja poluído pelos despejos dos esgotos domésticos, efluentes industriais e agrotóxicos.

2.3- Tratamentos de Efluentes da Indústria Têxtil

A remoção dos corantes é a principal preocupação das indústrias têxteis, devido principalmente a sua baixa degradabilidade (CERQUEIRA *et al.*, 2009). A

presença de corantes nessas águas impede a penetração da luz solar nas camadas mais profundas, alterando a atividade fotossintética do meio, resultando em deterioração da qualidade dessa água, diminuindo a solubilidade de oxigênio, e resultando em efeitos tóxicos sobre a fauna e flora aquática (LALNUNHLIMI e KRISHNASWAMY, 2016).

Não há um sistema geral de tratamento para efluentes com alta coloração. Existem muitas formas de tratamento, mas devido à grande complexidade do efluente, são necessárias associações de técnicas para que o tratamento seja eficiente, tornando-se muitas vezes inviável por gerar alto custo. Desta forma, muitos estudos têm-se concentrado em aumentar a eficiência das tecnologias já amplamente conhecidas, tornando os métodos mais sustentáveis (BRILLAS e MARTÍNEZ-HUITTLE, 2015; MEHRJOUEI *et al.*, 2015).

2.3.1- Tratamentos Físico-Químicos

Quando se trata de efluente industrial, os tratamentos físico-químicos se tornam indispensáveis já que alguns metais e bactérias são resistentes aos tratamentos biológicos (SCHROEDER, 2016). A coagulação e floculação são processos físico-químicos amplamente utilizados em indústrias para o tratamento de efluente têxtil, pois são eficientes na remoção de sólidos suspensos, fósforo, redução da demanda química de oxigênio (DQO) e da cor (KIM, 2016; ZHANG, 2018; NUNES, 2012).

Outros métodos que estão sendo bastante estudados é a adsorção, que se caracteriza por possuir alta eficiência na remoção de corantes têxteis (ALMEIDA *et al.*, 2016), e os processos oxidativos avançados (POAs).

2.3.1.1 Coagulação e Floculação

O processo de coagulação ocorre com a adição de um coagulante químico que retira as cargas eletrostáticas negativas dos coloides, diminuindo o seu potencial repulsivo e os aglutinando. A floculação ocorre em sequência, com uso ou não de um floculante fazendo com que as partículas se organizem em flóculos de

maior dimensão e densidade, podendo ser retirados posteriormente por filtração e/ou decantação (ZHANG, 2018). Para que haja um bom funcionamento do processo de coagulação devem ser levados em consideração alguns fatores como pH, concentração do coagulante, agitação e o tempo de sedimentação.

As indústrias têxteis empregam frequentemente a coagulação/floculação como tratamento primário precedendo tratamento biológico a fim de reduzir a carga de poluentes inorgânicos, cor, metais pesados e matéria orgânica não biodegradável do afluente da unidade de tratamento biológico. Esse design de processo leva a uma redução de custos notória, pois permite projetar uma unidade de tratamento biológico com menor capacidade volumétrica (NUNES, 2012).

Dentre os coagulantes mais estudados no tratamento de efluentes têxteis, pode-se citar a quitosana (QUADROS, 2005) e o tanino (VERMA *et al.*, 2011).

Neste nesse método, verifica-se que existe apenas uma transferência de fase dos poluentes, que antes se encontravam na forma líquida, passando para a forma sólida, resultando numa alta produção de lodo.

2.3.1.2 Processos Oxidativos Avançados (POAs)

O crescente volume de águas residuais contendo poluentes não biodegradáveis descartados no ambiente aquático diariamente exige a busca pelo desenvolvimento de novas tecnologias de descontaminação, que sejam limpas e seguras. Nesse contexto os processos oxidativos avançados podem ser utilizados no tratamento da água contendo corantes, pois possuem elevado potencial para degradar, seja parcialmente ou totalmente, essas moléculas que não são completamente degradadas em sistemas biológicos de tratamento (MALDONADO *et al.*, 2007).

Embora existam diferentes sistemas de reação para os processos oxidativos avançados, todos eles são caracterizados pela produção de radicais hidroxila (-OH), o qual é capaz de mineralizar praticamente qualquer molécula orgânica, produzindo CO₂, H₂O e íons inorgânicos não tóxicos ou com baixa potencialidade toxicológica (TEIXEIRA; JARDIM, 2004; MALDONADO *et al.*, 2007).

2.3.1.3 Adsorção

A adsorção é um método de tratamento físico-químico, na qual um material adsorvente irá retirar moléculas específicas (adsorbato) de um meio líquido. Essa remoção de moléculas específicas é por interações variadas, podendo ser interações físicas ou químicas específicas (ALMEIDA *et al.*, 2016).

Em geral a adsorção é considerada uma técnica superior em termos de custo, simplicidade de concepção e funcionamento, disponibilidade, eficácia, e a sua não geração de substâncias tóxicas após o tratamento (CHOY *et al.*, 2000). Uma das principais vantagens da adsorção é a total remoção da molécula do contaminante, não deixando nenhum subproduto tóxico no efluente (DILARRI *et al.*, 2016).

Outra vantagem da adsorção é a possibilidade de utilizar um resíduo já existente como material adsorvente. Vários resíduos já foram testados como possíveis adsorventes, como por exemplo, cascas de alimentos, resíduos agrícolas e industriais como serragem, cinzas, entre outros (SHARMA *et al.*, 2011). Amorim (2010) e Lucena *et al.* (2019) estudaram a utilização de resíduos siderúrgicos no tratamento de efluentes líquidos, e constataram que este material possui elevado potencial para remoção de cor e reaproveitamento dos efluentes.

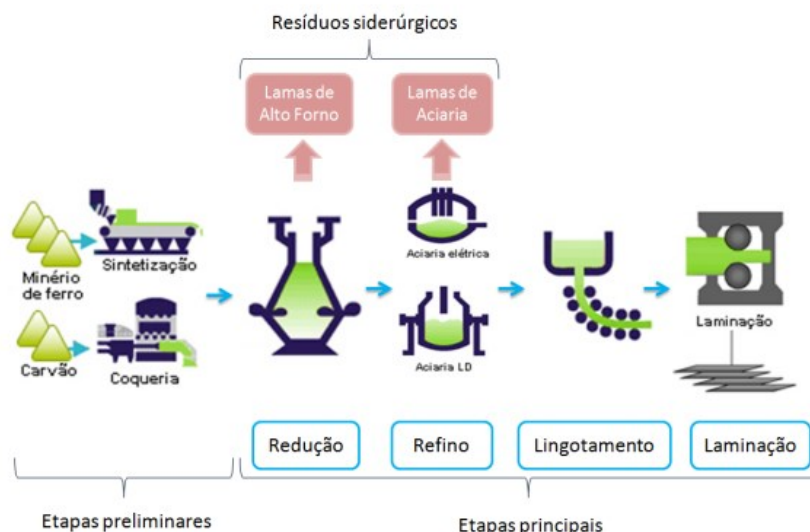
Desta forma, a adsorção é uma técnica viável para se tratar efluentes contaminados com corantes; porém, é necessário estudar o composto contaminante presente no efluente, bem como o material adsorvente utilizado, para conseguir obter máxima eficiência da técnica. Quando feita corretamente, a adsorção se torna uma das melhores opções para se tratar efluentes têxteis a nível industrial (CHIOU *et al.*, 2007).

2.3.1.3.1 Adsorção utilizando resíduos siderúrgicos

O desenvolvimento de adsorventes efetivos e de baixo custo para a remoção de poluentes orgânicos tem sido extensivamente pesquisado. Os resíduos siderúrgicos têm despertado grande interesse por serem gerados em elevadas quantidades anualmente e não possuírem reaproveitamento direto. O reuso direto desses resíduos nos fornos siderúrgicos é impraticável, uma vez que alguns

elementos contaminantes, por exemplo, zinco, chumbo e metais alcalinos, podem provocar dificuldades operacionais no alto-forno (JAAFAR *et al.*, 2011). A Figura 13 mostra em que ponto do processo são gerados os resíduos siderúrgicos.

Figura 13 - Geração de resíduos durante o processo siderúrgico.



Fonte: Oliveira (2014).

Além da problemática do alto volume de resíduos siderúrgicos gerados, estes materiais se tornam atraentes para utilização como adsorventes por apresentarem em sua composição elevadas concentrações de óxido de ferro e carbono. A predominância desses elementos nas partículas dos resíduos favorece o processo da adsorção, possibilitando a ocorrência de diferentes mecanismos de adsorção, como ligações químicas, troca de ligantes e interações eletrostáticas e hidrofóbicas (STUMM, 1992)

Amorim (2010) estudou a utilização do resíduo siderúrgico em tratamento de efluente industrial através da adsorção, em que o resíduo siderúrgico atuou como o adsorvente e o efluente industrial como o adsorvato, e obteve completa descoloração dos efluentes utilizando alta dosagem do resíduo utilizado (120 g/L) com tempo de contato total de 30h. Além desta descoloração, também foi atingida a remoção total do COT - Carbono Orgânico Total - das amostras utilizadas.

Oliveira (2014) percebeu a influência do pH no processo de adsorção ao realizar um experimento com efluentes industriais com corantes como adsorvatos e

os resíduos siderúrgicos como adsorventes. Obteve-se a maior taxa de remoção de cor na faixa de pH igual a 3; nesta faixa, além disso, também atingiu remoção de 75% da DQO do efluente industrial estudado.

Gonçalves (2018) concluiu em seus estudos, que a eficiência da remoção de cor pela adsorção utilizando resíduos siderúrgicos varia de acordo com a estrutura do corante; o processo se mostrou promissor em corantes do tipo azo, mas não obteve tanta eficiência para corantes com estruturas mais complexas, como é o caso do Verde de Bromocresol.

2.3.2- Tratamento Biológico

Entre os diferentes tratamentos conhecidos, os tratamentos biológicos são considerados alternativas melhores para a remoção de corantes sintéticos de efluentes por possuírem menor custo de tratamento, alta eficiência e gerar menos poluição secundária (TAN *et al.*, 2016). Em geral, baseiam-se na biorremediação, ou seja, um determinado microrganismo pode transformar diferentes substâncias químicas tóxicas em formas menos nocivas.

Os tratamentos biológicos permitem o tratamento de grandes volumes de efluentes transformando compostos orgânicos tóxicos em CO₂ e H₂O ou CH₄ e CO₂, com custos relativamente baixos. Além disso, os diversos microrganismos existentes nas unidades de tratamento podem tanto realizar a descoloração dos corantes, quanto remover a matéria orgânica e outros compostos recalcitrantes (CARVALHO, 2016). Entretanto, suas aplicações são geralmente restritas. O tratamento biológico requer uma grande extensão de área e é limitado pela sensibilidade das variações diurnas. Estudos de biodegradabilidade indicam a possibilidade de redução da DQO e DBO dos efluentes por tratamentos biológicos (FURLAN, 2008).

A combinação de tratamento anaeróbio com tratamento aeróbio tem apresentado eficiência, principalmente com relação à degradação de corantes tipo azo, que são muito utilizados nas indústrias têxteis (AFTAB *et al.*, 2011).

2.3.2.1 Tratamentos anaeróbios

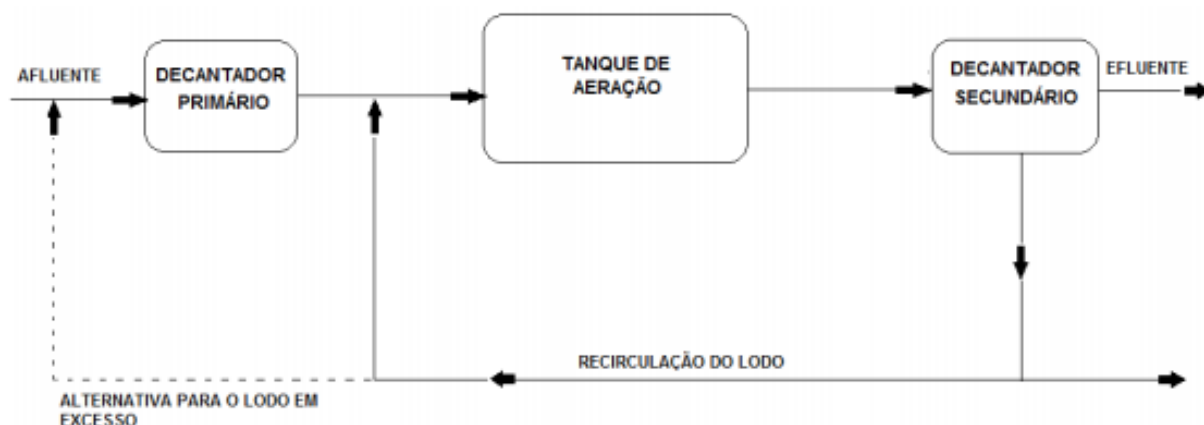
A biodegradação faz referência ao processo onde determinado microrganismo presente no ambiente, é capaz de converter uma molécula química complexa em uma molécula mais simples. Essas moléculas são utilizadas por esses microrganismos como fonte de carbono, a fim de se obter energia necessária ao seu crescimento e manutenção do metabolismo.

A capacidade de certos microrganismos para degradar substâncias orgânicas tóxicas é um fato bem documentado. Em essência, o tratamento biológico anaeróbio fundamenta-se na utilização dos compostos tóxicos de interesse como substrato para o crescimento e a manutenção de microrganismos. A grande motivação de todos os pesquisadores envolvidos em estudos de biodegradação pode ser expressa pela busca contínua de microrganismos versáteis, capazes de degradar de maneira eficiente um grande número de poluentes a um baixo custo operacional. Na prática, sabe-se que isto é muito difícil, principalmente em função da diversidade, concentração e composição de espécies químicas presentes em cada efluente (KUNZ *et al*, 2002).

2.3.2.2 Tratamentos aeróbios

De acordo com Rosa, Fraceto e Moschini-Carlos (2012), o tratamento biológico por lodos ativados é o mais utilizado pela maioria das indústrias para degradação da matéria orgânica do efluente, principalmente na indústria têxtil. É constituído por um tanque de aeração em que o afluente é misturado com o lodo ativado por microrganismos (bactérias, fungos e protozoários), agitado e aerado, ocorrendo a oxidação da matéria orgânica para, em sequência, passarem por sedimentação em decantadores e serem novamente separados. A maior parte do lodo (biomassa) é recirculada de volta para o tanque de aeração, conforme mostrado na Figura 14, e os microrganismos continuam no meio por um longo tempo, e a menor parte é retirada para tratamento específico.

Figura 14 – Tratamento por sistema de lodos ativados.



Fonte: Adaptado de Jordão e Pessoa (2011).

Esse tipo de tratamento é extremamente eficiente na remoção de matéria orgânica. No entanto, a eficiência na remoção de cor varia apenas de 10% a 30%, principalmente devido à adsorção do corante à biomassa (KUNZ *et al.*, 2002).

2.4 Legislação de Efluentes Têxteis

Para que os efluentes industriais sejam descartados em corpos hídricos, é necessário que obedeçam a alguns padrões impostos na legislação. Deste modo, a legislação deve ser clara quanto aos parâmetros e deve haver acompanhamento dos órgãos ambientais para que seja garantido o cumprimento da lei.

No caso do Brasil e especificamente Minas Gerais, existem dois órgãos principais responsáveis por regular os padrões dos efluentes a serem lançados: o CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente – e o COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental.

2.4.1 CONAMA

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA é o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA. Entre suas competências estão deliberações, sob a forma de resoluções, proposições,

recomendações e moções, visando o cumprimento dos objetivos da Política Nacional de Meio Ambiente (MMA, 2019).

A Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997, lista a indústria têxtil como uma das atividades que necessita de licenciamento ambiental devido a seu potencial poluidor e de degradação ao meio ambiente. Diante disto, uma das resoluções que pode ser citada para tratar da disposição de efluentes líquidos é a Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Esta resolução determina as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para o lançamento de efluentes em corpos de água receptores, que só deverá acontecer após o devido tratamento, e vem para complementar a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 (CONAMA, 2011).

Um ponto muito importante sobre os efluentes que serão lançados é que não poderão conferir às águas receptoras características capazes de causar efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida, bem como de restringir seus usos previstos, o que é destacado no artigo 34 desta Resolução (CONAMA, 2011).

São abordadas, então, as condições que devem ser obedecidas para o lançamento dos efluentes diretamente nos corpos hídricos receptores. Algumas destas condições são dispostas na Tabela 7.

Tabela 7 – Condições de Lançamentos para efluentes industriais.

Parâmetro analisado	Condições de Lançamento
pH	5 < pH < 9
Temperatura	Inferior a 40°C
Materiais sedimentáveis	Até 1 mL/L
Regime de lançamento	Vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média de atividade do efluente
DBO (5 dias a 20°C)	Remoção mínima de 60% de DBO

Fonte: CONAMA (2011).

A resolução ainda determina que os próprios responsáveis pela fonte poluidora deverão realizar o controle e monitoramento dos efluentes lançados nos

corpos receptores. Entretanto, as coletas de amostras e as análises deverão ser feitas por laboratórios acreditados pelo INMETRO (CONAMA, 2011).

Em relação à coloração, característica crítica e marcante dos resíduos têxteis, o Brasil não possui uma legislação específica sobre o limite para lançamento dos efluentes. Entretanto, na Resolução nº 357 do CONAMA, de 17 de março de 2005, são estabelecidos os critérios que os corpos de água doce em geral devem apresentar. Portanto, para que seja possível o lançamento dos efluentes, entende-se que o corpo receptor não pode ser alterado de modo a ultrapassar o valor pré-estabelecido. Desta forma, para corpos hídricos de água doce classificados como Classes 2 e 3, o valor tolerável de cor é de até 75 mg Pt/L. Para ambas classificações, não é tolerável a presença de corantes antrópicos que não sejam removíveis por coagulação, sedimentação e/ou filtração (CONAMA, 2005). Os corpos hídricos doces de Classe 2 são aqueles que podem ser destinados ao abastecimento humano após tratamento simplificado, à proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário e irrigação de hortaliças. Já os corpos hídricos doces de Classe 3 são aqueles que podem ser destinados ao abastecimento humano após tratamento convencional e/ou avançado, à irrigação de culturas arbóreas, pesca amadora, recreação de contato secundário e dessedentação de animais (CONAMA, 2005).

2.4.2 COPAM

O Conselho de Política Ambiental – COPAM, é um órgão colegiado, normativo, consultivo e deliberativo, subordinado administrativamente à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD do estado de Minas Gerais (SEMAD, 2019).

Esse órgão tem por finalidade deliberar sobre diretrizes e políticas, e estabelecer normas regulamentares e técnicas, padrões e outras medidas de caráter operacional para a preservação e conservação do meio ambiente e dos recursos ambientais (SEMAD, 2019).

Entre suas diretrizes, cabe destaque à Deliberação Normativa nº 26, de 18 de dezembro de 2008, que dispõe sobre procedimentos gerais de natureza técnica e

administrativa a serem observados no exame de pedidos de outorga para o lançamento de efluentes em corpos de água superficiais no domínio do Estado de Minas Gerais (SEMAD, 2019). Essa deliberação declara quais parâmetros serão analisados nestes casos, dando específico foco principalmente para a DBO do efluente, assim como a disponibilidade hídrica para diluição.

Além dessa deliberação, destaca-se também a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. O CERH-MG é o Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. Esta deliberação dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece condições e padrões para lançamento de efluentes (COPAM; CERH, 2008). A Tabela 8 mostra algumas condições dispostas nesta deliberação, similar aos parâmetros analisados na Resolução nº 430 do CONAMA.

Tabela 8 – Condições de Lançamento de efluentes segundo o COPAM.

Parâmetro analisado	Condições de Lançamento
pH	6 < pH < 9
Temperatura	Inferior a 40°C
Materiais sedimentáveis	Até 1 mL/L
Regime de lançamento	Vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média de atividade do efluente
DBO (5 dias a 20°C)	Até 60 mg/L, ou remoção mínima de 60% - esgotos e percolados de aterros -, ou remoção mínima de 75% para demais sistemas
DQO	Até 180 mg/L, ou remoção mínima de 55% - esgotos e percolados de aterros-, ou remoção mínima de 70% para demais sistemas.

FONTE: COPAM/CERH (2008).

Na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008, há uma citação específica para efluentes têxteis, em que para a DQO o padrão é de 250 mg/L.

Além desses parâmetros pré-estabelecidos, a Deliberação também afirma que, no licenciamento da atividade, o órgão ambiental competente deverá estabelecer a carga poluidora máxima para todas as substâncias presentes ou formadas no processo, estejam ou não já listadas na deliberação.

2.5 Reuso e Reaproveitamento do Efluente Tratado

Diante de todo o contexto do consumo de água pela indústria têxtil, buscam-se meios para reduzir o volume de água utilizado. Assim, a reutilização de águas industriais é um assunto que tem se tornado mais falado e explorado, principalmente devido ao aumento do custo da água tratada e da rigorosidade legislativa quanto ao descarte dos efluentes. Esse reaproveitamento da água reduz a demanda sobre os mananciais ao estimular a substituição da água potável por uma água de qualidade inferior, que será utilizada para fins menos nobres (SILVA e ANDRADE, 2013).

O reuso de água poderá ser direto ou indireto, decorrente de ações planejadas ou não (FIESP, 2004), sendo:

a) reuso indireto não planejado: ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante em sua forma diluída, de maneira não intencional, e não controlada;

b) reuso indireto planejado: ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos d'água superficiais ou subterrâneos, para o uso a jusante na forma diluída e de maneira controlada;

c) reuso direto planejado de água: ocorre quando os efluentes, após tratamento, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local de reuso, não são descarregados no meio ambiente. É o caso da maior ocorrência, destinando-se a indústria ou irrigação;

d) reciclagem de água: é o reuso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição, para servir como fonte suplementar de abastecimento do uso original. É o caso particular do reuso direto.

Assim, sobre a reutilização dos efluentes têxteis, Twardokus (2004) apresentou que no beneficiamento os ensaios vêm sendo conduzidos adotando-se como critério geral o fato de que águas de preparação e de lavação devem ser reutilizadas dentro dos respectivos processos, enquanto que para o tingimento em si deve ser empregada água potável em todas as circunstâncias.

Posteriormente, Weiler (2005) estudou o reciclo das correntes que possuem menor concentração de contaminantes para as fases que ocasionarão uma emissão de efluente com concentrações bem superiores que a corrente afluyente. Esse autor concluiu que há possibilidade de reuso de forma direta da água no processo de tingimento, utilizando a água do terceiro enxague para o primeiro enxágue, em proporção de 50% de água de reuso e 50% de água industrial.

Andrade e Silva (2013) constataram ainda que a reutilização de até 30% de efluente tratado no processo de tingimento ainda garante a viabilidade e qualidade do fio produzido, reduzindo em cerca de 55% o custo da empresa com o consumo de água.

Melo *et al.* (2004) desenvolveram um algoritmo computacional para a determinação das possibilidades de reuso das correntes efluentes da etapa de lavagem no processo têxtil. Nesse artigo é apresentado um estudo de caso de lavanderia contínua com três caixas, onde está presente uma corrente de reciclo. O programa computacional foi desenvolvido no ambiente Matlab e permite que o usuário realize a entrada de dados, acompanhamento do processamento e escolha dos relatórios após o processamento. Os dados numéricos são transformados em gráficos para sua melhor compreensão, para rápida verificação dos resultados. Os autores concluíram que esse recurso é uma importante ferramenta para a definição de estratégias de otimização para o reuso de água na indústria têxtil.

A indústria têxtil apresenta elevado potencial para aplicação de técnicas que viabilizem o reuso de água, dada a grande quantidade e demanda desse insumo na

produção, além das diversas possibilidades de condicionamento de seus efluentes, tratados por processos convencionais ou não (RIBEIRO, 2009).

Além dos processos de reaproveitamento dos efluentes, pode-se falar também da reutilização dos mesmos fora do processo propriamente dito. O guia da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (BASTIAN, 2009) traz diversas sugestões, como por exemplo a reutilização dos efluentes industriais na geração de vapor das caldeiras. Segundo esse guia, a água de reutilização gera cerca de 75% menos custo que a água potável, reduzindo também as parcelas de captação e lançamento de águas.

É sugerido também, no mesmo trabalho, a utilização dos efluentes para lavagem de equipamentos, pisos e outros, que reduziria os mesmos custos mencionados anteriormente.

Para todas estas reutilizações, a empresa deve consultar a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH - 54/2005 que estabelece diretrizes para o reuso direto da chamada água residuária. A atividade de reuso deve ser cadastrada junto ao órgão gestor de resíduos hídricos, com informações sobre o produtor, distribuidor ou usuário da água, bem como sua localização, finalidade e vazão (CNRH, 2005).

3. ESTUDO DE CASO

3.1 Estudo da Eficiência de Resíduo Siderúrgico no Tratamento de Efluentes Têxteis

Na busca por métodos alternativos para o tratamento de efluentes têxteis, Lucena e colaboradores (2019) avaliaram a eficiência de utilização de resíduos siderúrgicos como adsorventes. Esse estudo foi escolhido para este trabalho por apresentar alto potencial para redução do impacto ambiental tanto da indústria têxtil como siderúrgica.

Assim, foi avaliada a eficiência de utilização de resíduos siderúrgicos como adsorventes no processo de adsorção, visando a remoção de cor e matéria orgânica de um efluente têxtil. O trabalho foi realizado em escala laboratorial e em três ensaios com pH diferentes para verificar a influência deste parâmetro no processo de adsorção. Os ensaios foram conduzidos em mesa agitadora, à temperatura ambiente e rotação de 200 ppm, durante 24h de reação.

3.2 Material e Métodos

3.2.1- Coleta das Amostras

As amostras do efluente têxtil estudado por Lucena e colaboradores (2019) foram coletadas no tanque de equalização em sua forma bruta, sem passar por nenhum tratamento. Um volume de 5 L de amostra foi recolhido em recipiente plástico, sendo imediatamente transportado para o laboratório de Processos Oxidativos Avançados, da Universidade Federal do Ceará, onde foi armazenado a 4 °C para preservação de suas características (APHA; AWWA; WEF, 2012).

3.2.2- Caracterização do efluente têxtil

A caracterização da amostra bruta correspondeu a determinação de parâmetros físico-químicos segundo as metodologias descritas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 22th* (APHA, AWWA e WEF, 2012).

3.2.3 Coleta e caracterização do material adsorvente: resíduos siderúrgicos

O resíduo estudado foi a carepa de placa ou carepa de laminação. Esse resíduo foi coletado pelos autores na etapa do processo siderúrgico denominada lingotamento contínuo. Essa é a etapa final da produção do aço, e consiste na unidade responsável pela transformação do aço líquido em produtos semiacabados sólidos (placas) nas dimensões especificadas; nesse processo, em que ocorre o reaquecimento das placas, forma-se uma camada de óxido na superfície das placas, constituída de hematita, magnetita e wustita. Essa camada de óxido é removida por jateamento de água a alta pressão e é a chamada carepa de placa (FERREIRA *et al.*, 2012).

O volume coletado de resíduo foi de 5 kg, sendo acondicionado em recipiente plástico e transportado para o laboratório de Processos Oxidativos Avançados da Universidade Federal do Ceará, onde foi armazenado a temperatura ambiente, no abrigo do calor e da umidade.

O resíduo foi submetido a análises de difração de raio-x por difratômetro e estimativa de sua composição química por microscopia eletrônica de varredura.

3.2.4 Procedimentos experimentais

Primeiramente, 6g do resíduo foram adicionados a Erlenmeyers de 125 mL. Em seguida, adicionou-se 50 mL de efluente têxtil com o pH corrigido a valores correspondentes a cada ensaio (Tabela 9). O pH do meio foi ajustado usando ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4 , 98%, Química Moderna) e solução de hidróxido de sódio a 0,1M. Imediatamente, todos os ensaios foram conduzidos para mistura rápida, em mesa agitadora (Orbital MA 140 CFT), à temperatura ambiente e rotação de 200 rpm, durante 24h de reação. As triplicatas dos ensaios foram denominadas de teste 1, 2 e 3.

Tabela 9 - Condições experimentais dos ensaios

Ensaio	Concentração de adsorvente (g/L)	pH
1	120	3
2	120	6
3	120	Bruto

Fonte: Lucena *et al.* (2019).

Em sequência, foram realizadas análises de Carbono Orgânico Total – COT - e cor. O COT foi determinado utilizando o Analisador de Carbono Orgânico Total Shimadzu TOC-L. O número de cor (NC), definido na Equação 1, foi usado para caracterizar a cor e baseia-se na determinação do coeficiente de absorção espectral – SAC - (Spectral Absorption Coefficient, em cm^{-1}), na faixa do visível, nos comprimentos de onda de 436 nm, 525 nm e 620 nm.

O SAC foi calculado pelo valor da absorbância (Abs) de uma célula de espessura l (cm) usando a Equação 2 (PRIMO *et al.*, 2008). O valor da absorbância foi determinado a partir de um espectrofotômetro UV/Visível da Agilent (modelo 8453).

$$NC = \frac{SAC_{436}^2 + SAC_{525}^2 + SAC_{620}^2}{SAC_{436} + SAC_{525} + SA_{620}} \quad (1)$$

$$SAC = \frac{Abs}{l} \quad (2)$$

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Caracterização do efluente têxtil

Os resultados da caracterização físico-química do efluente estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados da caracterização do efluente.

Parâmetro	Método/Equipamento	Unidade	Valor
pH (26,3°C)	Potenciométrico	-	9,52
Condutividade	Potenciométrico	µS/cm	8266,67
Alcalinidade	Titulação Potenciométrica	mg/L	5633,33
Dureza total	Titulométrico	mg/L	62,00
DBO ₅	Respirométrico	mg/L	1620,00
DQO	Calorimétrico por refluxo fechado	mg/L	2927,30
COT	Analizador de COT (Shimadzu TOC-L)	mg/L	733,88
Ferro	Absorção Atômica com Chama	mg/L	0,13
Níquel	Absorção Atômica com Chama	mg/L	1,69
Cromo	Absorção Atômica com Chama	mg/L	<L.D
Brometo (Br ⁻)		mg/L	<L.D
Cloreto (Cl ⁻)		mg/L	192,4
Fluoreto (F ⁻)	Cromatografia Iônica –Cromatógrafo	mg/L	<L.D.
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	Dionex (ICS- 3000)	mg/L	<L.D.
Nitrato (NO ₃ ⁻)		mg/L	113,75
Sulfato (SO ₄ ²⁻)		mg/L	524,17
Absorbância	Integral da abs (200-800 nm) – Espectofotômetro SHIMADZU UV 18000		

Fonte: Lucena *et al.* (2019).

Sendo que os valores <L.D são valores abaixo do limite de detecção do equipamento.

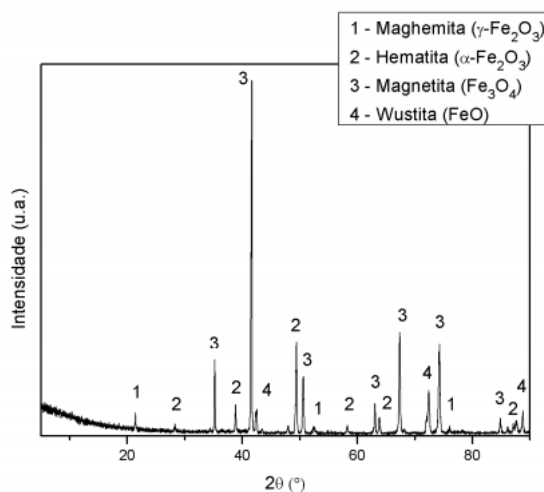
O efluente têxtil apresentou as seguintes características: pH básico, elevada alcalinidade e condutividade. Detectou-se a presença de metais, como o ferro, níquel e cromo. A presença desses elementos, bem como os ânions cloreto, nitrato e sulfato e a elevada carga orgânica está relacionada aos inúmeros compostos que são adicionados no processo de fabricação dos tecidos, entre estes, pode-se citar: corante índigo (corante principal), corante preto sulfuroso (cadeias carbônicas grandes), soda cáustica, surfactantes, sequestrantes, corantes, pigmentos, amido, fixadores. Esses compostos são altamente prejudiciais aos corpos hídricos,

principalmente devido à alta concentração de corantes provenientes dos processos de tingimento. Faz-se necessário o tratamento desse efluente para que possa ser disposto em corpos hídricos ou mesmo reutilizado no próprio processo.

3.3.2- Caracterização dos resíduos siderúrgicos

Pelas análises de difração de raio-X no resíduo, notou-se a presença de maghemita, hematita, magnetita e wustita, conforme apresentado na Figura 15.

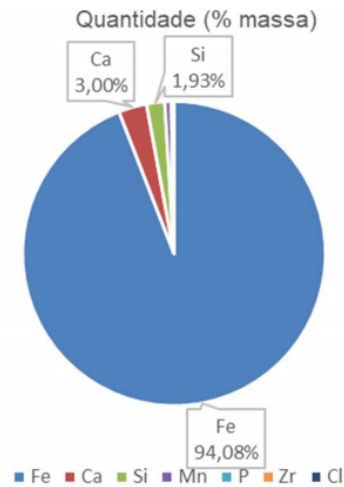
Figura 15 - Análise de difração de raios-x (DRX) do resíduo siderúrgico.



Fonte: Lucena *et al.* (2019).

Já a fluorescência de raios-X identificou a porcentagem dos elementos presentes na amostra, em massa. Em ordem decrescente, os três elementos mais predominantes foram ferro, cálcio e silício. Por se tratar de um resíduo siderúrgico, o ferro é o elemento presente em maior quantidade, com cerca de 94,08% em massa. A Figura 16 mostra esta relação de porcentagens.

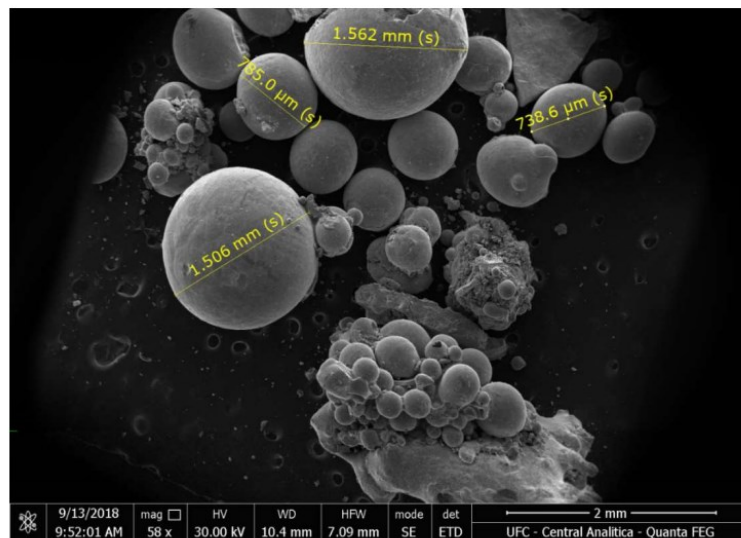
Figura 16 - Análise de fluorescência de raios-X (FRX) do resíduo siderúrgico.



Fonte: Lucena *et al.* (2019).

Através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), observou-se que o resíduo é constituído por partículas no formato de esferas dos mais variados tamanhos, apresentando partículas com diâmetros de até 1,562 mm, como mostra a Figura 17.

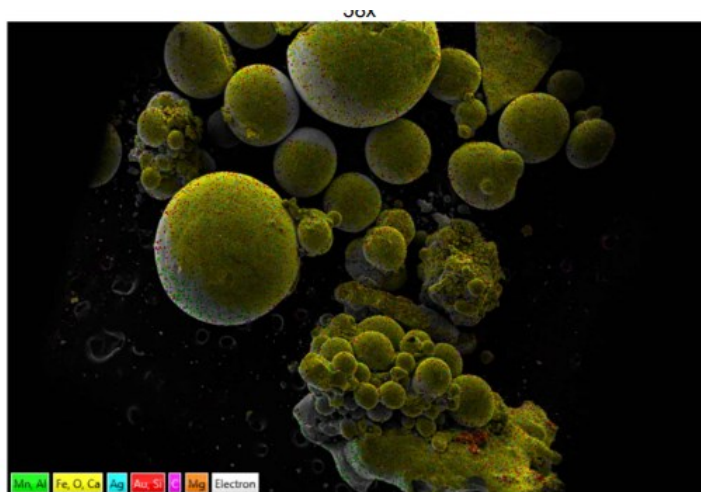
Figura 17- Micrografia obtida por MEV para o resíduo. Magnitude de aumento de 58 vezes.



Fonte: Lucena (2019).

Através da Micrografia obtida por MEV/EDS (Figura 18), Lucena (2019) conseguiu concluir que estas partículas esféricas são compostas majoritariamente por óxidos de ferro.

Figura 18- Micrografia obtida por MEV/EDS para o resíduo. Magnitude de aumento de 58x.



Fonte: Lucena (2019).

Como mencionado anteriormente, a presença do óxido de ferro nos resíduos siderúrgicos é o que os torna atraentes como adsorventes. O resultado da caracterização desse resíduo, portanto, coloca-o como promissor para o processo de adsorção.

3.3.3- Eficiência do resíduo siderúrgico no tratamento de efluentes

As respostas experimentais para a remoção de COT e cor dos ensaios de adsorção usando o resíduo siderúrgico como adsorvente estão apresentadas nas Tabelas 11 e 12, respectivamente.

Tabela 11 - Remoção de COT (%) após a adsorção

Remoção de COT (%)					
Ensaio	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Média	Desvio padrão
1	25,7	23,5	28,7	26,0	2,6
2	50,8	37,7	63,5	50,7	12,9

3	72,4	62,3	66,3	67,0	5,1
---	------	------	------	------	-----

Fonte: Lucena *et al.* (2019).

Tabela 12 - Remoção de cor (%) após a adsorção.

Remoção de cor (%)					
Ensaio	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Média	Desvio padrão
1	66,1	58,8	73,9	66,3	7,6
2	86,2	58,7	51,6	65,5	18,3
3	52,6	44,1	24,7	40,5	14,3

Fonte: Lucena *et al.* (2019).

Ao analisar as Tabelas 11 e 12, o desvio padrão entre as triplicatas foi aceitável, mantendo abaixo de 20%, sendo o menor desvio de 2,6% (ensaio 1, remoção de COT) e o maior valor de 18,3% (ensaio 2, remoção de cor). As remoções de COT alcançadas variaram, em média, de 26,0% (ensaio 1) a 67,0% (ensaio 3), e as remoções de cor variaram, em média, entre 40,5% (ensaio 3) e 66,3% (ensaio 1). As remoções de matéria orgânica e cor foram satisfatórias, sendo a remoção máxima de 72,4% (ensaio 3, teste 1) e 86,2% (ensaio 1, teste 1), respectivamente. Os resultados sugerem que, em termos de COT, a melhor remoção está no ensaio 3, conduzido com o pH bruto, em torno de 9,52. Enquanto que as melhores remoções de cor, acima de 70%, foram atingidas nos ensaios 2 e 3, pH 6 e 9,52, respectivamente.

Realizando uma conexão com o que foi discutido ao longo deste trabalho e, analisando o efluente bruto caracterizado por Lucena *et al.* (2019), é possível avaliar a viabilidade de reciclagem do efluente no próprio processo, de acordo com a definição apresentada de que reciclagem é o reuso interno da água, antes de sua disposição ou tratamento (FIESP, 2004). Para isto, pode-se comparar os dados disponíveis de Lucena *et al.* (2019) com alguns dados de Cirra (2004), que

determinam os parâmetros limites da água de entrada dos processos e estão dispostos na Tabela 13.

Tabela 13 - Parâmetros da água de entrada nas fases do processo têxtil.

Etapa	Dureza (CaCO ₃) (mg/L)		pH		Fe (mg/L)	
	Lucena <i>et al.</i> (2019)	Cirra (2004)	Lucena <i>et al.</i> (2019)	Cirra (2004)	Lucena <i>et al.</i> (2019)	Cirra (2004)
Engomagem		25		6,5-10		0,3
Lavagem	62,00	25	9,52	3,0-10,5	0,13	0,1
Branqueamento		25		2,0-10,5		0,1
Tingimento		25		3,5-10		0,1

Fonte: CIRRA (2004) e Lucena *et al.* (2019).

Observando apenas os valores de pH e ferro, o efluente poderia ser reutilizado na etapa de engomagem; entretanto, o alto valor de dureza impede que este efluente bruto seja utilizado diretamente no processo em qualquer etapa.

Para sua reciclagem, portanto, poderia ser estudada a viabilidade de diluição do efluente, conforme discutido por Weiler (2005), que concluiu que há viabilidade de reutilização da água de terceiro enxágue do tingimento em diluições de 50%. Outra possibilidade é separar o efluente de acordo com as etapas do processo, para que o efluente do terceiro enxágue seja separado dos demais enxágues, em que a concentração de resíduos é maior.

Outra maneira de reaproveitamento do efluente seria realizando um tratamento posterior à adsorção apresentada, que conseguisse remover grande parte da coloração do efluente. Realizando um breve cálculo da DQO/DBO do efluente bruto, obtemos uma razão de 1,8 e, analisando esse valor, nota-se que os tratamentos biológicos poderiam ser um bom complemento para o tratamento deste efluente; isto porque, segundo Lagunas e Lis (1998), a relação DQO/DBO é um dos

parâmetros a ser observado na escolha do tratamento adequado de efluentes. Para $DQO/DBO < 2$, o efluente tem tendência a ser depurado biologicamente. Para o efluente estudado, a relação DQO/DBO atingiu o valor de 1,80, o que valida a utilização de tratamentos biológicos.

Balan *et al.* (2001) e Almeida *et al.* (2012) obtiveram bons resultados para descoloração de efluentes têxteis utilizando fungos filamentosos; diante disto, tornam-se necessárias pesquisas que associem diferentes métodos de tratamento e que busquem analisar mais parâmetros – não apenas a cor – visando a reutilização desses efluentes no próprio processo industrial.

3.4 Conclusão – Estudo de Caso

A utilização do resíduo siderúrgico como adsorvente demonstrou um alto potencial para remoção de cor do efluente têxtil, apresentando remoção máxima de 86,2% no ensaio em pH 6. Frente a isto, devem ser feitos novos estudos sobre as condições ideais para esta adsorção, variando outros parâmetros além do pH, como temperatura e proporção entre adsorvente e adsorvato.

Além de vantajoso para o processo têxtil ao reduzir seus efluentes, a possibilidade de utilização do resíduo siderúrgico na adsorção seria benéfico também para a própria indústria siderúrgica, que também possui dificuldades com a destinação de seus resíduos.

O resíduo bruto da indústria têxtil dificilmente possuirá parâmetros aceitáveis para que seja reciclado diretamente no processo, sendo necessário seu tratamento ou diluição para que isto ocorra.

4. CONCLUSÃO DO TRABALHO

Apesar de ser uma das indústrias mais relevantes economicamente no Brasil, a indústria têxtil está também entre as mais poluidoras devido à alta geração de efluentes e demais resíduos. Mesmo assim, a legislação brasileira ainda não despende a atenção necessária a esse setor, que é regulado por legislações para disposição de efluentes industriais como um todo. O parâmetro de cor, por exemplo, que caracteriza o efluente têxtil e o torna mais crítico, não possui limites objetivos que regulem sua disposição, o que acaba gerando certa flexibilidade na lei e deixando brechas para seu monitoramento.

Nesse contexto, é cada vez mais urgente a busca por tratamentos que permitam não apenas a disposição final desses efluentes, mas também sua reutilização no próprio processo.

Além disso, vale salientar que são necessárias pesquisas que associem diferentes métodos de tratamento e que busquem analisar mais parâmetros – não apenas a cor – visando a reutilização destes efluentes no próprio processo industrial.

REFERÊNCIAS

- AFTAB, U. *et al.* **Decolourization and degradation of textile azo dyes by *Corynebacterium* sp. Isolated from industrial effluent.** Pak. Journal Zool. 43 1–8. 2011.
- ALCÂNTARA, M.R; DALTIM, D. **A química do processamento têxtil.** Química Nova, 19 (3), 320-330, 1996.
- ALMEIDA, D.G. *et al.* **Descoloração do corante Índigo Carmim e produção de Lacase por fungos filamentosos.** Scientia Plena. 2012.
- ALMEIDA, E. J. R.; DILARRI, G.; CORSO, C. R. **A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes.** Projeto Qualidade da Água, Boletim das Águas - Ministério Público Federal, Brasília/DF, p. 1 - 18, nov. 2016.
- AMORIM, C. C. **Utilização de resíduo do desempoeiramento do alto forno para tratamento de efluentes.** Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2010.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Água na Indústria: Uso e Coeficientes Técnicos.** 2017. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0B3aE-dABPLJ8QmQyeTlnNhxDQ/view>>. Acesso em: 12 de out. de 2019.
- ANDRADE, R.M.F; SILVA, A.B.C. **Remoção de cor de uma solução com corante têxtil por adsorção e oxidação por processo Fenton.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater.** 22nd ed. Washington, DC: APHA; AWWA; WEF, 2012.
- ARAUJO, F. V..F.; YOKOYAMA, I. **Remoção de Cor em soluções de corantes reativos por oxidação com H₂O₂/UV.** Química Nova, Vol. 29, No. 1, 11- 14, 2006.
- Associação Brasileira de Indústria Têxtil – ABIT. **Perfil do Setor.** 2018. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em 19 out 2019.
- Associação Brasileira de Produtores de Fibras Artificiais e Sintéticas – ABRAFAS. **Estatística 2018: Fibras Manufaturadas.** 2018.
- BALAN, D.S.L.; MONTEIRO, R.T.R. **Decolorization of textile indigo dye by ligninolytic fungi.** Journal of Biotechnology 89, 141– 145. 2001.
- BANAT, I. M. *et al.* **Microbial Decolorization of Textile Dye-Containing Effluents: A Review.** Bioresour. Technol., 58, 217. 1996
- BASTIAN E.Y.O. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil.** São Paulo: CETESB : SINDITÊXTIL. 2009.

BELTRAME, L.T.C. **Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: CETESB, 1993.

BRILLAS, E.; MARTÍNEZ-HUITLE, C. A. **Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods. An update review**. Applied Catalysis B: Environmental, v. 166-167, p. 203-643, 2015.

BURKINSHAW, S.; SALIHU, G. **The wash-off of dyeing using interstitial water Part 4: disperse and reactive dye on polyester/cotton fabric**. Dyes and Pigments, v. 99, p. 548-560, 2013.

CARVALHO, J.R.S. **Ecologia microbiana de reatores UASB submetidos a diferentes condições de operação para tratar efluente têxtil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

CASTILHOS JR, A. B.; PRIM, E. C. C.; PIMENTEL, F. G. **Utilização de Lodo de ETA e ETE como Material Alternativo para Cobertura de Aterro Sanitário**. Estudos Tecnológicos, v. 7, p. 25-32, 2011.

CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REUSO DE ÁGUA, FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA; FIESP. **Conservação e Reuso de Água: manual de orientação para o setor industrial**, volume 1. São Paulo: FIESP. 2004.

CERQUEIRA, A; RUSSO, C; MARQUES, M. R. C. **Electroflocculation For Textile Wastewater Treatment**. Brazilian Journal of Chemical Engineering, v.26, n.4, p.659-668, 2009.

CHATAIGNER, G. **Fio a fio: tecidos, moda e linguagem**. São Paulo: Estação das Letras, 2006.

CHIOU, M.; KUO, W.; LI, H. **Removal of Reactive Dye from Wastewater by Adsorption Using ECH Cross-Linked Chitosan Beads as Medium**. Journal of Environmental Science and Health Part A, v. 38, p. 2621-2631, 2007.

CHOY, K. K. H.; PORTER, J. F.; MCKAY, G. **Langmuir isotherms models applied to the multicomponent sorption of acid dyes from effluent onto activated carbon**. Journal of Chemical & Engineering Data, v. 45, p. 575–584, 2000.

CIRRA – Centro Internacional de Referência em Reúso de Água; FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. **Conservação e Reúso de água – Manual de Orientações para o Setor Industrial**. v. 1. São Paulo: FIESP e CIESP, 2004.

Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos – CPRH. **Roteiro Complementar de Licenciamento e Fiscalização para a Tipologia Têxtil**. Recife, 2001.

CONMETRO - Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Regulamento Técnico Mercosul Sobre Etiquetagem de Produtos Têxteis – **Resolução Conmetro/MDIC nº 02**. 6 de Maio de 2008.

CONSELHO DE POLÍTICA AMBIENTAL; CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CERH). Deliberação Normativa Conjunta nº 01, de 05 de maio de 2008. **Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, condições e padrões de lançamento de efluentes**. 2008.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CNRH. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. **Modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água**. 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº237, de 19 de dezembro de 1997. **Licenciamento ambiental; competência da União, Estados e Municípios; listagem de atividades sujeitas ao licenciamento; Estudos Ambientais, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental**. 1997.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº357, de 17 de março de 2005. **Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento**. 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº430, de 13 de maio de 2011. **Condições e padrões de lançamento de efluentes**. 2011.

DELLAMATRICE, P.M. **Biodegradação e toxicidade de corantes têxteis e efluentes da ETA de Americana**. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2005.

DILARRI, G *et al.* **Removal of Dye Toxicity from an Aqueous Solution Using an Industrial Strain of *Saccharomyces Cerevisiae* (Meyen)**. Water, Air, & Soil Pollution, v. 227, p. 269, 2016.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS – FIEMG. **Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil**. 2014.

FERREIRA, G. R *et al.* **On the azo/hydrazo equilibrium in Sudan I azo dye derivatives**. The Journal of Physical Chemistry A, v.117, p. 642-649, 2015.

FERREIRA, T.R. *et al.* **Influência da temperatura de laminação na formação de carepa em aço grau 27xx**. Cadernos UniFOA - Edição Especial do Curso de Mestrado Profissional em Materiais. 2012.

FURLAN, F.R. **Avaliação da eficiência do processo de coagulação-floculação e adsorção no tratamento de efluentes têxteis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

GHASI MOKRI, H. S. *et al.* **Adsorption of C.I. Acid Red 97 dye from aqueous solution onto walnut shell: kinetics, thermodynamics parameters, isotherms.** International Journal of Environmental Science and Technology, v. 12, p. 1401-1408, 2015.

GONÇALVES, A.M. *et al.* **Potencial de adsorção de resíduo siderúrgico na remoção do corante verde de bromocresol para aplicação no tratamento de efluentes da indústria têxtil.** Congresso Brasileiro de Química – São Luís – MA. 2018.

GRCIC *et al.* **The kinetics and efficiency of UV assisted advanced oxidation of various types of commercial organic dyes in water.** Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, v.273, p. 49-58, 2014.

GUARATINI, C. C. I; ZANONI, V. B. **Corantes têxteis.** Química Nova, v.23, n.1, p. 71-78, 2000.

HOLANDA, C. A. *et al.* **Remoção do Corante Têxtil Turquesa de Remazol Empregando Agupé (*Eichhornia crassipes*) como Adsorvente.** Orbital - The Electronic Journal of Chemistry, v. 7, n. 2, p. 141-154, 2015.

JAAFAR, I. *et al.* **An Evaluation of Chlorination for the Removal of Zinc from Steelmaking Dusts.** Minerals Engineering, v. 24, p. 1028-1030, 2011.

JAAFARZADEH, N. *et al.* **The performance study on ultrasonic/Fe₃O₄/H₂O₂ for degradation of azo dye and real textile wastewater treatment.** Journal of Molecular Liquids, v. 256, p. 462-470, 2018.

KIM, S. C. **Application of response surface method as an experimental design to optimize coagulation– flocculation process for pre-treating paper wastewater.** Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v. 38, p. 93-102, 2016.

KON, A.; COAN, D. C. **Transformações da Indústria Têxtil Brasileira: a Transição para a Modernização.** Revista de Economia Mackenzie. Ano 3, n. 3, p. 11-34. São Paulo. 2005.

KUNZ, A. *et al.* **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis.** Quím. Nova, São Paulo , v. 25, n. 1, p. 78-82, Feb. 2002 .

LAGUNAS, F. G.; LIS, M. J. **Tratamento de Efluentes na indústria têxtil algodoeira.** Química Têxtil, São Paulo: ABQCT, (50), 6-15. 1998.

LALNUNHLIMI, S.; KRISHNASWAMY, V. **Decolorization of azo dyes (Direct Blue 151 and Direct Red 31) by moderately alkaliphilic bacterial consortium.** Brazilian Journal of Microbiology, v. 47, p. 39-46, 2016.

LANGE, C. R. **Estudo das condições operacionais do processo de tingimento de fibra mista acrílico/algodão em bobina cruzada.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

LANGE, L. C. *et al.* **Processos Construtivos de Aterros Sanitários: Ênfase no Estudo de Camadas de Cobertura como Mecanismo de Controle da Geração de Lixiviados.** In: CASTILHOS JUNIOR, A.B. (Org.). **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água; prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários.** 1.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

LEÃO, M. D. *et al.* **Controle ambiental na indústria têxtil: acabamento de malhas.** Projeto Minas Ambiente. Editora Segrac. Belo Horizonte, 2002.

LEE, M. **Eco chic: o guia de moda ética para a consumidora consciente.** São Paulo: Larousse do Brasil, 2009.

LUCENA, G.L.; NASCIMENTO, R.F.; ROCHA, E.M.R. **Estudo da eficiência de Resíduo Siderúrgico no Tratamento de Efluentes Têxteis.** 10º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. João Pessoa, Paraíba. 2019.

MALDONADO, M. I. *et al.* **Photocatalytic degradation of EU priority substances: A comparison between TiO₂ and Fenton plus photo-Fenton in a solar pilot plant.** Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, v. 185, p. 354-363, 2007.

MEASURING FASHION. Environmental impact of the global apparel and footwear industries study. Full report and methodological considerations. Quantis, 2018. Disponível em: <https://quantis-intl.com/wp-content/uploads/2018/03/measuringfashion_globalimpactstudy_full-report_quantis_cwf_2018a.pdf>. Acesso em: 10 de out. 2019.

MEHRJOUEI, M., MÜLLER, S., MÖLLER, D. **A review on photocatalytic ozonation used for the treatment of water and wastewater.** Chemical Engineering Journal, v. 263, p. 209-219, 2015.

MELO, A. R. *et al.* **Estratégias de Otimização do Reuso de Água na Indústria Têxtil.** XII Jornadas de Jovens Pesquisadores da AUGM. Universidade Federal do Paraná. 2004.

MERZOUK, B. *et al.* **Removal of a disperse red dye from synthetic wastewater by chemical coagulation and continuous electrocoagulation: A comparative study.** Desalination, v. 272, p. 246-253, 2011.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa nº 26, de 18 de dezembro de 2008 do COPAM. **Procedimentos gerais de natureza técnica e administrativa a serem observados no exame de pedidos de outorga para o lançamento de efluentes em corpos de água superficiais no domínio do Estado de Minas Gerais.** 2008. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **O que é o Conama?** Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 05 nov 2019.

MONTEIRO, P.A. **Diagnóstico do Consumo de água nos processos de beneficiamento de jeans no polo confeccionista de Divinópolis/MG.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2018.

NUNES, José A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 6. ed. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 2012.

OLIVEIRA, I. S. **Utilização de Resíduo Siderúrgico como material alternativo no tratamento de efluentes industriais**. Trabalho Final de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Juiz de Fora. 2014.

UM, Y. **Desafio e Estratégia da Indústria Têxtil Chinesa**. Textilia Texteis Interamericanos, Ed. 94. 2014.

PAJOOTAN, E.; ARAMI, M.; MAHMOODI, N. M. **Binary system dye removal by electrocoagulation from synthetic and real colored wastewaters**. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 43, p. 282-290, 2012.

PASCHOAL, F.M.M.; FILHO, G.T. **Aplicação da tecnologia de eletrofloculação na recuperação do corante índigo blue a partir de efluentes industriais**. Quím. Nova, vol.28, no.5. São Paulo. 2005.

PEREIRA, G.S. **Introdução à Tecnologia Têxtil**. Apostila do Curso Têxtil em Malharia e Confeção. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina. Araranguá, 2009.

PEZZOLO, D. B. **Tecidos: história, tramas, tipos e usos**. 2.ed. São Paulo: Ed. Senac, 2009.

PRIMO, O.; RIVERO, M. J.; ORTIZ, I. **Photo-Fenton process as an efficient alternative to the treatment of landfill leachates**. Journal of Hazardous Materials, v. 153, n. 1–2, p. 834–842, 2008.

QUADROS, S.S. **Tratamento e reutilização de efluentes têxteis gerados nos tingimentos de tecidos de algodão**. Dissertação (Mestrado em Química) - Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Regional De Blumenau, Blumenau, 2005.

QUEIROZ *et al.* **Gestão de Resíduos na Indústria Têxtil e sua relação com a qualidade de água: estudo de caso**. IJIE – Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2016.

REVANKAR, M. S.; LELE, S. S. **Synthetic dye decolorization by Ganoderma sp. WR-1**. Bioresource Technology, v. 98, p. 775-780, 2007.

RIBEIRO, M. C. M. **Avaliação da possibilidade de reúso de efluentes têxteis após tratamento complementar por processos oxidativos avançados**. Dissertação (Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

RITTER, M. T. **Influência do pH no processo de eletrocoagulação aplicado a efluentes têxteis tratados biologicamente**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis, 2016.

ROSA, A.H.; FRACETO, L.F.; MOSCHINI-CARLOS, V. **Meio Ambiente e Sustentabilidade**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

SAFA, Y.; BHATTI, H. N. **Kinetic and thermodynamic modeling for the removal of Direct Red-31 and Direct Orange-26 dyes from aqueous solutions by rice husk**. Desalination, v. 272, n. 1–3, p. 313–322, 2011.

SAFARIKOVÁ, M.; PTCÁKOVÁ, L.; KIBRIKOVÁ, I.; SAFARIKI, I. **Biosorption of water-soluble dyes on magnetically modified *Saccharomyces cerevisiae* subsp. *Uvarum* cells**. Chemosphere, v. 59, p. 831–835, 2005.

SALEM, V. **Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias**. São Paulo: Golden Tecnologia, 2010.

SANTOS, A.B; CERVANTES, F.J; VAN LIER, J.B. **Impacto dos Mediadores Redox na Remoção de Cor de Corantes Azo e Antraquinonico por Lodo Granular Anaeróbio sob Condições Mesofílicas e Termofílicas**. Revista Sanitaria e Ambiental – ABES, v.12 – jan/mar. Brasil, 2007

SANTOS, F. L. **Degradação do Corante Têxtil RB5 em Efluente Modelo via processo de fotocatalise heterogênea e foto-fenton visando o reuso de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

SCHROEDER, L.H. **Tratamento físico-químico por coagulação-floculação-sedimentação de efluente de indústria de celulose**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – SEMAD. **Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM**. Disponível em: < <http://www.meioambiente.mg.gov.br/copam> >. Acesso em: 05 nov. 2019.

SHAH, M. **Effective Treatment Systems for Azo Dye Degradation: A Joint Venture between Physico-Chemical & Microbiological Process**. International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation, v. 2, n. 5, p. 231–242, 2014.

SHARMA, P. *et al.* **A review on applicability of naturally available adsorbents for the removal of hazardous dyes from aqueous waste**. Environmental Monitoring and Assessment, v. 183, p. 151-195, 2011.

SILVA, B.B.G. **Indústria Têxtil no Nordeste: a experiência de Alagoas e Sergipe**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.

SILVA, J.D; ANDRADE, M. **Reciclagem de Efluentes no Processo de Tingimento Sintético em uma Indústria Têxtil: Estudo de Caso**. Tecnologias para Competitividade Industrial. Florianópolis, 2013.

SILVA, J. C. **Degradação de Mistura de Corantes Têxteis usando Processos Oxidativos Avançados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

SILVA, L. R. C. *et al.* **Uso de fotólise direta e H₂O₂/UV em solução aquosa contendo o corante violeta cristal**. *Holos Environment*, v. 17, p. 138-148, 2017.

SOLIS, M., *et al.* **Microbial Decolouration of Azo Dyes: A review**. *Process Biochemistry*. 2012.

STUMM, W. **Chemistry of the Solid-Water Interface**. New York: Wiley-Interscience, 1992

TAN, L *et al.* **Aerobic decolorization, degradation and detoxification of azo dyes by a newly isolated salt-tolerant yeast *Scheffersomyces spartinae* TLHS-SF1**. *Bioresource Technology*, v. 203, p. 287-294, 2016.

TEIXEIRA, C. P.; JARDIM. A. **Processos Oxidativos Avançados – Conceitos teóricos**. Caderno temático, v. 3. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Instituto de Química – IQ, Laboratório de Química Ambiental – LQA. Campinas, 2004.

TOLEDO, R. A. S. **Tecnologia da reciclagem**. Química Têxtil, p. 8-14, 2004.

TWARDOKUS, R.G. **O reúso da água no processo de tingimento da indústria têxtil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro Tecnológico/Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

UNESCO. **The United Nations world water development report 2019: leaving no one behind**. 978-92-3-100309-7. France, 2018.

VELOSO, L. A. **Dossiê Técnico – Corantes e Pigmentos**. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2012.

VERMA, A. *et al.* **A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters**. *Journal of Environmental Management*, v. 93, p.154 - 168, 2012.

WEILER, D. K. **Caracterização e Otimização do reuso de águas da indústria têxtil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

ZANONI, M. V. B.; CARNEIRO, P. A. **O descarte dos corantes têxteis**. *Ciência Hoje*, v. 29, n. 174, p. 61-64, 2001.

ZANONI, M. V. B.; YAMANAKA, H. **Corantes: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento**. 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016

ZHANG, M. L. Z. et al. **Roles of magnetic particles in magnetic seeding coagulation-flocculation process for surface water treatment.** Elsevier, v. 212, p. 337-343, 2018.