



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA



Larissa Ribeiro Polli

**Métodos para a remoção de corantes no tratamento de efluentes da indústria
têxtil**

Uberlândia

2023

Larissa Ribeiro Polli

**Métodos para a remoção de corantes no tratamento de efluentes da indústria
têxtil**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de graduação em
Engenharia Química da Universidade
Federal de Uberlândia, *Campus* Santa
Mônica.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Juliana de Souza
Ferreira

Uberlândia

2023

Larissa Ribeiro Polli

Métodos para a remoção de corantes no tratamento de efluentes da indústria têxtil

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus Santa Mônica*.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Juliana de Souza Ferreira

Uberlândia, 23 de junho de 2023.

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Juliana de Souza Ferreira

Orientadora

Engenharia Química/ FEQUI – UFU

Prof.^a Dr.^a Larissa Nayhara Soares Santana Falleiros

Engenharia Química/ FEQUI – UFU

Warlen Agnelo Dias – Mestrando

Engenharia Química/ PPGEQ – FEQUI – UFU

“...O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem.”

Guimarães Rosa, em “Grandes Sertão Veredas”.

Agradecimento

À minha avó Ercilia (*in memoriam*), por todos os ensinamentos, cuidado e pelas horas passadas ao seu lado.

À minha mãe, Sirlei, por todo investimento na minha formação, pelo apoio incondicional, por me fazer acreditar, me encorajar e principalmente me abraçar em cada sonho e objetivo.

Ao meu pai, Abenoel, por todo investimento na minha formação, pelo exemplo de resiliência, humildade, empatia e por ser minha grande referência na engenharia.

Ao meu irmão Lucas, por todo o carinho e pela presença constante.

À minha família, em especial minha tia Silvana, por ser um ponto de apoio.

Ao meu tio Gabriel (*in memoriam*), pelo exemplo e por me inspirar na minha vida acadêmica.

Aos meus amigos, em especial a Laura, a Giovana, a Laís, a Nicolle, o Igor, o Warlen, o Matheus, a Marina, a Renata, o Gustavo, a Esther e a Isadora, por tornarem meus dias mais leves.

Ao NUCBIO, Núcleo de Processos Biotecnológicos e principalmente ao Arthur e ao Victor pelo companheirismo durante a minha pesquisa de Iniciação Científica, pelo PIVIC, Programa Institucional Voluntário de Iniciação Científica.

À ConsultEQ, Empresa Júnior de Consultoria e Soluções em Engenharia Química, e a diretoria de projetos, pela oportunidade de vivenciar a rotina das mais vastas possibilidades da engenharia, além de ter me proporcionado a experiência com o gerenciamento de diversos projetos.

À Bayer, em especial ao *breeding*, ao time de *Analytics Pipeline Desing*, ao pilar de *Data Science Implementation*, ao Raphael e ao Mateus pelas oportunidades, conhecimentos e por contribuírem e agregarem na minha formação como engenheira.

À Universidade Federal de Uberlândia, UFU.

À Faculdade de Engenharia Química, FEQ, por todo conhecimento repassado durante esses anos.

À professora Juliana, que foi parte decisiva e integrante desse trabalho, pelos ensinamentos e pela sua dedicação constante. Também por estar presente em todo decorrer do meu curso de graduação demonstrando apoio, carinho, compreensão e preocupação.

À Deus, pela força e coragem para prosseguir.

Resumo

A indústria têxtil possui expressiva participação na economia mundial e brasileira, porém esse setor também está relacionado ao uso significativo de água doce na etapa do processo de beneficiamento do têxtil e, conseqüentemente, uma grande geração de efluente. O efluente têxtil é de fácil percepção por ser altamente colorido devido à presença de corantes que são, em sua maior parte, substâncias orgânicas, solúveis em água, recalcitrantes, tóxicos, mutagênicos e cancerígenos. Logo, é fundamental que esse efluente seja tratado antes de ser lançado no meio ambiente. Destaca-se como formas de tratamentos desses efluentes os classificados em biológicos, químicos e físico-químicos, associados ou não, dado que o tratamento convencional utilizado geralmente pelas estações não é considerado suficiente por não remover o corante devido a sua complexidade. Portanto, é essencial a busca por aperfeiçoar e descobrir novos tratamentos que garantam a remoção do corante associando eficiência, baixo custo e que não gerem ainda mais danos, impactos ao meio ambiente. O presente trabalho trata-se de uma revisão bibliográfica que tem como objetivo identificar as tecnologias que são utilizadas para a remoção de corantes no tratamento de efluentes da indústria têxtil, além de abordar, mais especificamente, as tendências e os avanços do processo biológico de biossorção, que garante altas porcentagens nas taxas de remoção de corantes. Entretanto, ainda há limitantes que interferem nessa técnica como o pH e a temperatura do meio, concentração da biomassa, biossorvente e do efluente, parâmetros que são considerados de extrema importância para a eficácia da remoção de corantes no tratamento biológico.

Palavras-chaves: Indústria têxtil, corantes, tratamento de efluentes, tratamento químico, tratamento físico-químico, tratamento biológico, biossorção e revisão bibliográfica.

Abstract

The textile industry has a significant participation in the world and Brazilian economy, but this sector is also related to the significant use of fresh water in the textile processing stage and, consequently, a large generation of effluent. The textile effluent is easy to perceive because it is highly colored due to the presence of dyes that are, for the most part, organic substances, soluble in water, recalcitrant, toxic, mutagenic, and carcinogenic. Therefore, it is essential that this effluent is treated before being released into the environment. It stands out as forms of treatment of these effluents classified as biological, chemical, and physical chemical, associated or not, given that the conventional treatment generally used by the stations is not considered sufficient because it does not remove the dye due to its complexity. Therefore, it is essential to seek to improve and discover new treatments that guarantee the removal of the dye, associating efficiency, low cost and that do not generate even more damage, impacts to the environment. The present work is a bibliographic review that aims to identify the technologies that are used for the removal of dyes in the treatment of effluents from the textile industry, in addition to addressing, more specifically, the trends and advances of the biological process of biosorption, which guarantees high percentages in dye removal rates. However, there are still limitations that interfere with this technique, such as the pH and temperature of the medium, biomass, biosorbent and effluent concentration, parameters that are considered extremely important for the effectiveness of dye removal in biological treatment.

Keywords: Textile industry, dyes, effluent treatment, chemical treatment, physical-chemical treatment, biological treatment, literature review and biosorption.

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 3.1: Classificação dos corantes com base no grupo cromóforo..... | 19 |
| Figura 3.2: Fluxograma geral do processo produtivo da indústria têxtil..... | 21 |
| Figura 3.3: Síntese das principais tecnologias para a remoção de corantes..... | 27 |
| Figura 3.4: Estrutura das membranas..... | 33 |
| Figura 3.5: Diferença entre bioacumulação e bioissorção..... | 35 |
| Figura 3.6: Comparação da quantidade de manuscritos disponíveis no Google Acadêmico..... | 37 |
| Figura 3.7: Fatores para eficiência da bioissorção..... | 40 |

Lista de Tabelas e Quadros

| | |
|--|----|
| Tabela 3.1: Determinados padrões para descarte de efluentes, RESOLUÇÃO CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005..... | 17 |
| Quadro 3.2: Classificação dos corantes conforme fixação na fibra têxtil..... | 18 |
| Tabela 3.3: Características do efluente têxtil de acordo com a literatura..... | 25 |
| Quadro 3.4: Classificação dos POAs..... | 29 |
| Quadro 3.5: Técnicas de imobilização de biomassa..... | 41 |
| Tabela 3.6: Modelos cinéticos de absorção..... | 42 |
| Tabela 3.7: Isotermas de equilíbrio..... | 43 |
| Tabela 3.8: Biossorventes utilizados no processo de remoção de corantes por biossorção..... | 44 |

Sumário

| | |
|--|----|
| 1. Introdução | 11 |
| 2. Objetivos | 13 |
| 2.1 Objetivos específicos | 13 |
| 3. Metodologia | 14 |
| 4. Revisão Bibliográfica | 15 |
| 3.1 Indústria têxtil | 15 |
| 3.1.1 Cenário global e nacional | 15 |
| 3.1.2 Matérias-primas - Corantes | 18 |
| 3.1.3 Etapas do processo industrial | 21 |
| 3.1.4 Caracterização do efluente..... | 24 |
| 3.1.5 Tratamento convencional | 26 |
| 3.2 Tipos de tratamento | 27 |
| 3.2.1 Tratamentos químicos | 28 |
| 3.2.1.1 Processos oxidativos avançados, POAs | 28 |
| 3.2.1.1.1 Processos Fenton, foto-Fenton, eletro-Fenton e sono-Fenton | 29 |
| 3.2.1.1.2 Ozonização | 30 |
| 3.2.1.1.3 Fotocatálise | 31 |
| 3.2.2 Tratamento físico-químicos | 31 |
| 3.2.2.1 Adsorção | 31 |
| 3.2.2.2 Coagulação/floculação | 32 |
| 3.2.2.3 Separação por membranas | 33 |
| 3.2.3 Tratamento biológico | 34 |
| 3.2.3.1 Biossorção e bioacumulação..... | 34 |
| 3.2.3.2 Biodegradação ou biorremediação..... | 36 |
| 3.2.4 Processos combinados | 36 |
| 3.2.5 Comparação do número de publicação entre os tipos de tratamentos | 37 |
| 4 Avanços para a remoção de corantes usando a biossorção | 39 |
| 4.1 Estudos de aplicação da biossorção na remoção de corantes..... | 44 |
| 5 Conclusão | 48 |
| REFERÊNCIAS | 49 |

1. Introdução

Os problemas ambientais estão se tornando cada vez mais críticos e frequentes, principalmente, em decorrência do uso indiscriminado de recursos naturais pela ação antrópica. Essa demanda por recursos naturais se intensifica com o crescimento populacional, pois esse aumento impulsiona o consumo humano, que como consequência amplia a demanda das indústrias acentuando a geração de resíduos, tanto dos efluentes lançados na rede de esgoto, quanto dos gases emitidos na atmosfera.

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), no Brasil, cerca de 93 trilhões de litros de água são retirados anualmente de fontes superficiais e subterrâneas para atender os mais diversos setores e as fontes de uso do país, como a agricultura, a atividade industrial, o abastecimento público e a geração de energia. A indústria utiliza 9,7% desse volume de água, sendo que o setor têxtil representa parte significativa desse consumo. Com isso, observa-se que o ramo industrial têxtil está associado a um alto consumo de água, que consequentemente gera uma grande quantidade de efluente (ANA, 2019).

Os efluentes industriais são variados, ou seja, cada efluente possui suas próprias características, necessitam de ser quantificados e tratados de maneira adequada, visando remover o máximo da sua carga poluidora antes de serem lançados em seus destinos finais.

Os efluentes da indústria têxtil caracterizam-se por ser altamente coloridos, a sua cor forte é a característica mais evidente do efluente têxtil. O maior problema relacionado a essa classe de efluentes, se deve, principalmente, a presença de corantes, utilizados na etapa de beneficiamento do tecido, geralmente substâncias orgânicas, solúveis em água, possuem características recalcitrantes, ou seja, serem de difícil degradação, tóxicos, mutagênicos e cancerígenos. Sua concentração é menor do que a de muitos outros produtos químicos encontrados nos efluentes, mas sua cor é visível até às baixas concentrações (Sarasa, et al.,1998, Sharma, et al., 2018).

Existem inúmeros métodos utilizados para o tratamento dos efluentes oriundos da indústria têxtil. Normalmente, as indústrias optam por utilizar aqueles

que garantem o controle exigido pelos órgãos ambientais, no Brasil a resolução é fundamentada por normas do CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Os métodos mais utilizados para remoção desses corantes são divididos em tratamentos biológicos, físico-químicos e químicos (CONAMA, 2005).

Dentre os métodos mais utilizados e estudados para o tratamento de efluentes da indústria têxtil, pode-se citar (i) tratamentos biológicos como a bioadsorção, bioacumulação e a biodegradação; (ii) tratamentos físico-químicos como a adsorção, coagulação/ floculação seguida de precipitação e a separação por membranas; (iii) e como parte dos tratamentos químicos, tem-se os processos Fenton, ozonização e fotocatalise, caracterizados como processos oxidativos avançados (POA). Ademais, esses tratamentos ainda podem ser utilizados de forma integralizada, em sequência ou simultâneos.

De modo geral, todos os métodos utilizados para o tratamento do efluente em questão tendem a apresentar particularidades, além de vantagens e desvantagens específicas, baseadas nos principais critérios que são eficácia, eficiência na remoção do substrato, custo, se é de fácil aplicabilidade e ecologicamente correto como, por exemplo, se está vinculado ou não à produção de grande quantidade de subprodutos resultantes do processo de remoção dos corantes (Piaskowski et al., 2018). Por isso, é essencial a busca pelo aperfeiçoamento desses tratamentos e estudos de novas metodologias que possam vir a ser aplicadas pela indústria têxtil.

2. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo principal identificar as tecnologias que podem ser utilizadas para a remoção de corantes no tratamento de efluentes da indústria têxtil, além de abordar, mais especificamente, as tendências e os avanços no processo biológico de biossorção.

2.1 Objetivos específicos

- Identificar na legislação a norma e os padrões para descarte do efluente gerado.
- Entender o processo de fabricação da indústria têxtil.
- Reconhecer as etapas de produção de efluentes na indústria têxtil.
- Conhecer sobre as características dos principais tipos de corantes utilizados pela indústria.
- Abordar os principais aspectos relacionados aos métodos atualmente utilizados ou que estão sendo estudados para remoção dos corantes na indústria têxtil.
- Discutir e comparar os mais recentes avanços e resultados para o processo biológico de biossorção utilizado para a remoção de corantes do efluente têxtil.

3. Metodologia

O presente trabalho é do tipo: revisão bibliográfica, o trabalho consistiu em analisar uma variabilidade de trabalhos com temáticas equivalentes, a fim de evitar retrabalho em uma possível e futura pesquisa, condensar, recapitular os conhecimentos sobre o tema e identificar os gargalos ainda existentes relacionados à temática.

Para executar a revisão bibliográfica para o tema, **Métodos para a remoção de corantes no tratamento de efluentes da indústria têxtil**, foi utilizado como parâmetros os tópicos abaixo:

- pesquisou-se artigos, dissertações e teses nas principais plataformas de pesquisa disponíveis;
- realizou-se uma leitura abrangente sobre o tema, a fim de englobar as informações gerais a respeito do assunto;
- definiu-se as palavras-chaves que demarcam os principais conteúdos relativos ao tema;
- identificou-se os itens e subitens relevantes para incluir nos tópicos do trabalho;
- realizou-se uma leitura específica acerca do tema, a fim de reunir as informações mais relevantes sobre o conteúdo;
- elaborou-se o trabalho de conclusão de curso de revisão bibliográfica, com base nas leituras realizadas nas etapas anteriores.

4. Revisão Bibliográfica

3.1 Indústria têxtil

3.1.1 Cenário global e nacional

De acordo com a Organização Internacional do Trabalho (OIT) a pandemia de COVID-19 afetou economicamente a indústria têxtil, já no primeiro semestre de 2020 (OIT, 2021). Devido a uma queda das exportações, por volta de 70%, além de uma carência de insumos utilizados pela indústria, como o algodão. Porém, mesmo que a pandemia tenha interferido no crescimento do mercado têxtil, espera-se uma recuperação do setor nos próximos anos, em virtude de uma crescente recuperação do mercado, sendo a China, seguida por Estados Unidos e Índia os principais produtores mundiais e exportadores de têxteis.

O Brasil também possui participação significativa no mercado têxtil global, sendo que esse segmento industrial possui aproximadamente 200 anos no mercado brasileiro, dispõe de 22,5 mil unidades produtivas e conta com 19,5% do total de trabalhadores alocados na produção industrial. Porém, o mercado brasileiro também sofreu restrições com a pandemia, visto que, conforme os dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil (ABIT) em conjunto com o IEMI – Inteligência de Mercado, houve uma queda nos números em 2020, mas se observa uma recuperação do mercado no final de 2021, exemplificado pelos dados de produção 2,16 milhões de toneladas em 2021 contra 1,91 milhões de toneladas em 2020, além do faturamento anual R\$190 bilhões em 2021 contra R\$ 161 bilhões em 2020 (ABIT, 2023).

Ademais, a indústria têxtil conta com uma grande gama de artigos, englobando agrotêxteis, têxteis automotivos, têxteis de construção, geotêxteis, têxteis industriais, têxteis médicos, têxteis de proteção e têxteis esportivos. Entretanto, apesar da variedade do setor têxtil e da sua colaboração ativa na economia mundial esse é igualmente associado as questões de impacto ambientais, visto que o segmento industrial utiliza de uma quantidade significativa de água, pois necessita-se de aproximadamente três milhões de litros de água doce por ano, além dos resíduos químicos e físicos que são lançados no meio ambiente na emissão de

efluentes gasosos, líquidos e sólidos durante as etapas de tratamento e tingimento do têxtil, ou seja, do processo de beneficiamento (Harsanto et al., 2023).

Dessa forma, existe uma preocupação pelo elevado volume de efluente têxtil gerado pela indústria, além deste possuir características complexas, contendo corantes residuais e outros compostos químicos utilizados nas etapas do processo produtivo. Estima-se também que a produção anual de corantes sintéticos é de 7×10^5 toneladas e que, em torno de, 10 a 50% desses corantes permanece no efluente ao qual está associado (Bezerra et al., 2021).

Ademais, de acordo com Piaskowski et al. (2018), as águas residuais têxteis apresentam elevada toxicidade inerente à variedade de sólidos suspensos e dissolvidos presentes neste efluente, grandes variações de pH, além de alta demanda de oxigênio, o que promove o desequilíbrio nos ambientes aquáticos em que este resíduo pode vir a ser lançado.

Os riscos relacionados ao descarte inadequado desses efluentes envolvem tanto a estrutura química dos corantes envolvidos, que podem vir a ser modificados em contato com o ambiente, gerando substâncias ainda mais nocivas, como também pela possibilidade desses poluentes, a longo prazo, serem transferidos para animais e humanos, através de alimentos contaminados. Logo, a remoção de corantes do efluente têxtil é fundamental apesar de ainda ser considerada trabalhosa, pelo alto custo e complexidade das metodologias que são utilizadas (Piaskowski, et al., 2018).

No Brasil, o CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA, classifica, através da RESOLUÇÃO N°357, de 17 de março de 2005, as condições e padrões de lançamento de efluentes em águas doces, salobras e salinas, para controle e proibição de lançamentos em níveis nocivos para os seres humanos e outras formas de vida. Os parâmetros estão relacionados com algumas substâncias orgânicas, inorgânicas, além de DBO (demanda biológica de oxigênio), pH, turbidez, resíduos sólidos, dentre outros. A resolução é fundamental para o enquadramento do descarte de efluentes pelas indústrias do país e para que sejam estudados novos avanços que garantam a resolução, com baixos custos e de fácil aplicabilidade (CONAMA, 2005). A Tabela 3.1 estão apresentados alguns desses padrões que

devem ser obedecidos para o lançamento de efluentes, sendo eles: presença de corantes, DBO, OD (oxigênio dissolvido), pH e turbidez.

| | Corantes | DBO | OD | pH | Turbidez |
|-------------------------|--|------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------------|
| Águas doces, classe I | Virtualmente ausentes | 3 mg/L O ₂ | Não inferior a 6 mg/L O ₂ | 6,0 a 9,0 | 40 UNT |
| Águas doces, classe II | Virtualmente ausentes | 5 mg/L O ₂ | Não inferior a 5 mg/L O ₂ | 6,0 a 9,0 | 100 UNT |
| Águas doces, classe III | Não será permitido corantes que não sejam removíveis por processos de coagulação, sedimentação e filtração convencional. | 10 mg/L O ₂ | Não inferior a 4 mg/L O ₂ | 6,0 a 9,0 | 100 UNT |
| Águas salinas | Virtualmente ausentes | - | Não inferior a 6 mg/L O ₂ | 6,5 a 8,5 | - |
| Águas salobras | Virtualmente ausentes | - | Não inferior a 5 mg/L O ₂ | 6,5 a 8,5 | - |

Tabela 3.1: Determinados padrões para descarte de efluentes, RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005.

E, de acordo com a RESOLUÇÃO Nº357, as águas doces são classificadas em classes. Classe I representa a água destinada para o consumo humano com desinfecção, Classe II é também destinada para o consumo humano, após tratamento simplificado e a Classe III que é igualmente destinada para o consumo, porém após passar por tratamento convencional.

As seções 3.1.2 e 3.1.3 irão abordar as matérias-primas necessárias para a produção do têxtil, mais detalhadamente sobre os corantes e as suas etapas de produção, respectivamente, ou seja, irão descrever como o característico efluente que deverá ser tratado é gerado.

3.1.2 Matérias-primas - Corantes

A indústria têxtil conta com quatro principais categorias de matérias-primas que são utilizadas em conjunto durante o processo de confecção do têxtil, as fibras têxteis, os corantes, os produtos químicos auxiliares que são adicionados ao processo e a água utilizada em grandes quantidades na etapa de beneficiamento.

As fibras têxteis podem ser divididas em naturais, que podem ter origem animal, vegetal ou mineral como o algodão, a sedã e a lã, e as sintéticas como o poliéster e a poliamida, derivados do petróleo ou polímeros obtidos da transformação da celulose (Alves, 2010).

Os produtos auxiliares são os produtos químicos adicionados ao decorrer das etapas para melhorar a eficiência do processo, sendo eles, os óleos lubrificantes ou antiestáticos na etapa de fiação, os engomantes na etapa de tecelagem e os detergentes, neutralizantes e alvejantes na etapa de beneficiamento do têxtil (Alves, 2010).

Com relação aos corantes, conforme Piaskowski et al. (2018), a indústria têxtil utiliza cerca de 3.000 corantes. Os corantes, que são substâncias orgânicas, são utilizados na etapa de beneficiamento do têxtil são classificados em corantes naturais e corantes sintéticos, sendo que 90% dos corantes utilizados pela indústria são sintéticos, por apresentarem maior variedade e fixação nos materiais (Pinto, 2023). A maior parte dos corantes sintéticos é formada por compostos recalcitrantes e xenobióticos, ou seja, são de difícil degradação e estranhos ao ambiente natural, respectivamente (Kunz, et al., 2002; Gaylarde, et al., 2005).

Nessa estrutura há dois grupos fundamentais, necessários para garantir as suas principais características. Os cromóforos, que absorvem e refletem a luz em determinados comprimentos de onda, essa propriedade está relacionada à presença de elétrons localizados na sua estrutura. E o grupo auxocromo, que podem alterar a

intensidade e a tonalidade da cor de cada corante em específico, sendo responsável pela fixação do corante na fibra. Além disso, os corantes possuem em suas estruturas outros grupos funcionais que estabelecem propriedades como solubilidade e a reatividade à fibra têxtil (Pinto, 2023).

A presença de grupos ácidos, como o grupo sulfônico (SO_3H) ou o grupo carboxílico (COOH) é fundamental para aumentar e garantir a solubilidades dos corantes em água (Piaskowski, et al., 2018).

Os corantes podem ser classificados pela estrutura do grupo cromóforo a qual está associado, como ilustrado na Figura 3.1. Os azocorantes dispõem de um ou mais grupos azo, $-\text{N}=\text{N}-$, associados a grupos aromáticos, os indigóides, apresentam uma estrutura cromófora, $>\text{C}=\text{C}<$, os antraquinônicos, caracterizados por possuir um grupo carbonila, $>\text{C}=\text{O}$ e o grupo triarilmetano que contém em sua estrutura molecular três grupos fenil (Pinto, 2023).

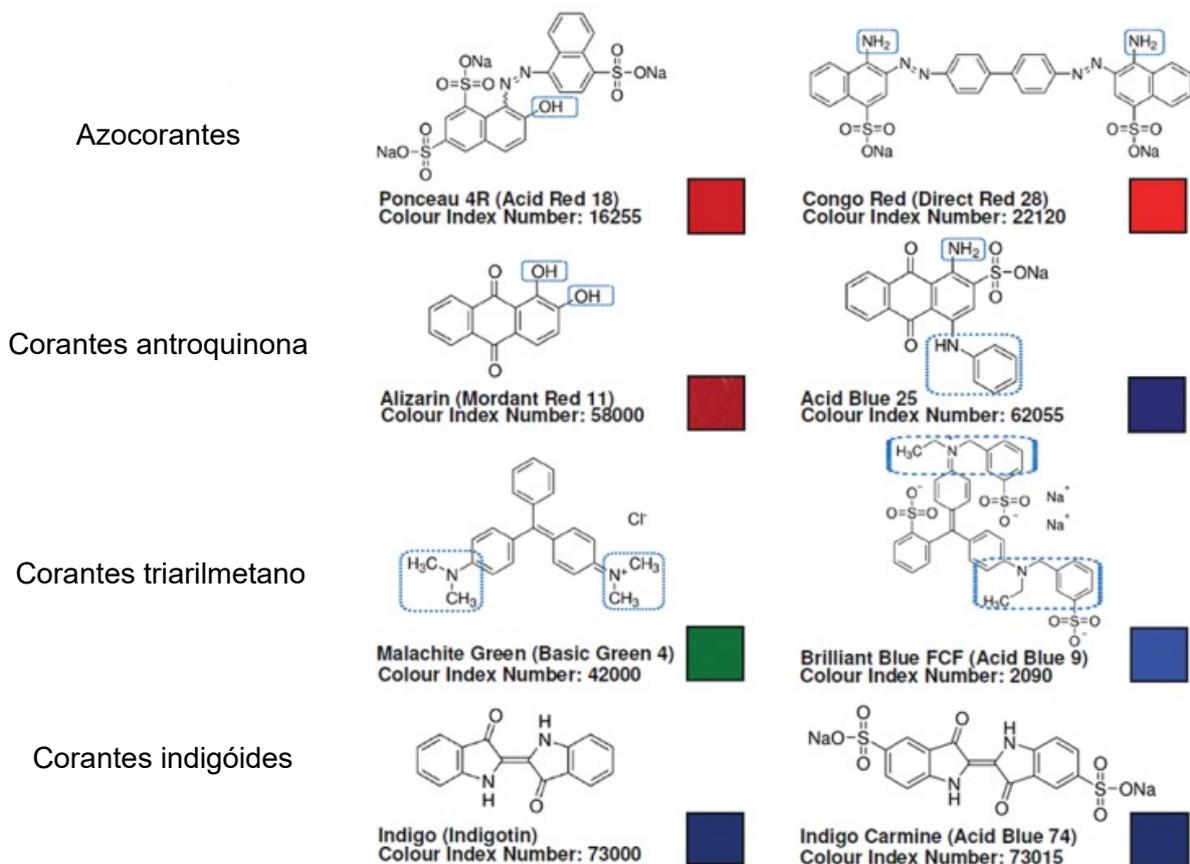


Figura 3.1: Classificação dos corantes com base no grupo cromóforo (Piaskowski, et al., 2018).

Dentre os grupos de corantes, a classe mais abundante e comercializada é dos corantes azos ou azocorantes. Correspondem a 60% dos corantes comercializados, com uma ampla variedade de cores, de produção fácil, além do baixo custo. No entanto, são precursores de produtos intermediários, as aminas aromáticas, originadas através da clivagem redutiva das ligações azo, $-N=N-$, e que têm potencial cancerígeno e mutagênico (Kunz, et al., 2002; Silva, 2022).

Por último, os corantes também podem ser classificados de acordo com o modo que será fixado na fibra, conforme indicado no Quadro 3.2. Como os ácidos, básicos, de enxofre, dispersos, diretos, metálicos, de cuba e reativos, de modo que os reativos são os mais consumidos, seguido pelos ácidos (Kunz, et al., 2002). Sendo que na etapa de tingimento do tecido podem ser adicionados diferentes tipos de corantes simultaneamente (Alves, 2010).

| Grupo de corante | Solubilidade em água | Fibra têxtil | Principal grupo cromóforo |
|-------------------------|-----------------------------|---|----------------------------------|
| Corantes reativo | Elevada solubilidade | Fibras celulósicas (algodão e viscose) e fibras proteicas (seda e lã) | Azo e antraquinona |
| Corantes ácidos | Solúveis | Fibras proteicas e de poliamida | Azo, antraquinona, triarilmetano |
| Corantes dispersos | Praticamente insolúveis | Fibras hidrofóbicas (poliéster) | - |
| Corantes diretos | Solúveis | Fibras celulósicas | Azo |
| Corantes de cuba | Praticamente insolúveis | Fibras celulósicas | Índigo, antraquinona |
| Corantes sulfurosos | Insolúveis | Fibras celulósicas | - |
| Corantes metálicos | - | Fibras proteicas, poliamida | Azo |
| Corantes básicos | Solúveis | Fibras acrílicas e proteicas | - |

Quadro 3.2: Classificação dos corantes conforme fixação na fibra têxtil (adaptado Pinto, 2023).

3.1.3 Etapas do processo industrial

O processo produtivo na indústria têxtil é fragmentado em três principais etapas: fiação, tecelagem e o beneficiamento, como ilustrado na Figura 3.2. A fiação e a tecelagem são consideradas processos secos, já o beneficiamento consiste na etapa de produção têxtil, cuja principal função é garantir ao produto as características de cor, toque e a estabilidade dimensional necessárias, e é a etapa em que é gerado o efluente líquido que deverá ser tratado (Twardokus, 2004).

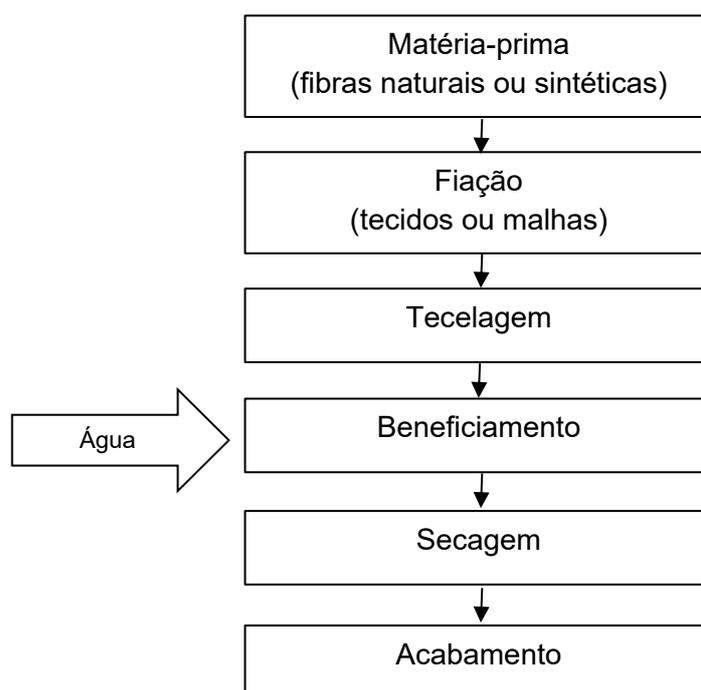


Figura 3.2: Fluxograma geral do processo produtivo da indústria têxtil (adaptado de Pinto, 2023).

A primeira macro etapa consiste em um processo mecânico denominado fiação. Essa macro etapa tem como finalidade a limpeza, a abertura e a homogeneização da matéria-prima, de modo geral ocorre a transformação das fibras têxteis em fios. As características das fibras são relevantes nessa etapa, porém tanto as fibras naturais, quanto as sintéticas possuem processos similares (Carvalho, 2018).

Na fiação as fibras são processadas em abridores, batedores, cardas, passadores, maçoqueiras, filatórios, retorcedeiras e conicaleiras (Twardokus, 2004). Além disso, costuma-se adicionar óleos lubrificantes ou antiestáticos com emulsionantes, devido ao atrito das fibras entre si o que acarreta cargas superficiais

elétricas, sendo que a ação do emulsificante é facilitar a remoção dos óleos na etapa de lavagem (Beltrame, 2000).

Seguido do processo de fiação, ocorre a tecelagem. O principal foco da tecelagem é a construção do tecido, em que os fios serão transformados em tecidos (tecelagem) ou malhas (malharia) (Twardokus, 2004; Pinto, 2023).

Nas malharias os fios passam por um conjunto de agulhas em forma espiral, o entrelaçamento é feito em forma de laçadas. Já os fios que são transformados em tecidos, o entrelaçamento dos fios constitui de dois fios paralelos formando através de um ligamento um ângulo de 90°. Anterior à transformação dos fios é necessário reforçá-los, aumentar a resistência mecânica, para evitar que se rompam, submetendo-os ao método de engomagem (Beltrame, 2000).

A engomagem consiste em impregnar e revestir os fios com substâncias adesivas. De acordo com Alcântara e Daltin (1996), a goma deve possuir as seguintes características: boa fluidez, elasticidade, resistência à abrasão, flexibilidade e maleabilidade, além de possuir poder de adesão à fibra, penetração, facilidade de remoção e um baixo custo econômico.

As substâncias mais utilizadas como engomantes são o amido de milho, o amido de mandioca, ou de batata, o álcool polivinílico, a carboximetilcelulose, o carboximetilamino e os “blends” que consistem na mistura de amido com substâncias que aumentam a adesividade da goma. Além disso, a goma deve ser enriquecida com agentes lubrificantes para facilitar seu deslizamento no fio (Beltrame, 2000).

Em seguida, a macro etapa de beneficiamento que utiliza de grandes volumes de água promovendo a geração de efluentes líquidos. É necessário primeiramente lavar o tecido retirando a goma e as outras substâncias que foram adicionadas na etapa anterior (Twardokus, 2004). Caso tenha sido adicionado goma à base de amido será necessário eliminá-la através da degradação por enzimas ou por oxidação com peróxidos (Beltrame, 2000).

No caso específico da fibra tratada ser de algodão é necessário ainda submeter o tecido ao processo de mercerização, em que o tecido passa por

tratamento com solução de soda cáustica, a frio, no máximo 18°C, sob tensão. A mercerização garante ao produto maior brilho, estabilidade dimensional, resistência, além de garantir uma melhor absorção de corantes e reduzir também o consumo da matéria-prima, na etapa posterior do beneficiamento (Beltrame, 2020).

Após a desengomagem e da mercerização (quando necessária), o tecido ou a malha passam por mais duas outras etapas fundamentais para prepará-lo para o tingimento. A etapa de purga, em que geralmente se aplica um detergente para remover impurezas como óleo, ceras e gorduras provenientes das fibras, garantindo a higroscopicidade do tecido e, em seguida, o alvejamento, que tem como objetivo eliminar a coloração do material, utilizando peróxido de hidrogênio e clorito de sódio (Twardokus, 2004).

Finalmente, o tecido está pronto para a etapa de tingimento, etapa primordial da indústria têxtil. Basicamente, o processo se resume na aplicação de corantes tendo como objetivo a coloração uniforme do tecido, quando os corantes são absorvidos e se difundem para o interior da fibra. É considerada a etapa mais complexa dentro da operação, sendo que a escolha do corante depende do tipo de fibra utilizada (Carvalho, 2018).

As fibras têxteis possuem em suas estruturas zonas amorfas, onde o corante se insere na fibra. Em contato com a água, esses poros se dilatam, facilitando a inserção para posterior absorção do corante na fibra (Pinto, 2023).

A solubilidade do corante em água e sua afinidade com a fibra são essenciais para o sucesso da etapa de tingimento. Porém, corantes com muita afinidade, normalmente, possuem baixa solubilidade e, por isso, é adicionado na etapa alguns produtos químicos para auxiliar o tingimento, como sais, ácidos, bases, dispersantes, agentes oxidantes e agentes redutores, que possuem além da função do aumento solubilidade do corante, controlar o pH e dispersar o corante (Pinto, 2023).

Ademais, de acordo com Pinto (2023), o tingimento consiste na impregnação seguida de fixação do corante ou esgotamento. Na impregnação, o tecido é mergulhado em uma solução contendo o corante e, para esse procedimento, o corante deve ter baixa afinidade com o tecido, para evitar esgotamento da solução.

Posteriormente, o têxtil é submetido a uma operação de secagem, fundamental para difusão do corante para o interior da fibra. Já no processo de esgotamento o têxtil é imerso em um banho e, neste caso, o pH e a temperatura são controlados para garantir a velocidade do processo e a adsorção do corante na fibra.

Logo após esse processo é feito uma lavagem no tecido para retirar os produtos químicos que foram adicionados, como detergentes e neutralizantes e o excesso de corantes. A água adicionada ao processo é retirada por centrifugação ou sucção (Carvalho, 2018). Em seguida, o tecido é submetido ao processo de secagem, para remover a água restante (Pinto, 2023).

Por fim, o têxtil passa por uma fase de acabamento essencial para conferir alguns aspectos como resistência ao uso, impermeabilidade, resistência, antimoho, por isso nessa etapa são aplicadas resinas insolúveis que garantem essas qualidades dependendo da aplicação e do uso do tecido (Beltrame, 2020).

3.1.4 Caracterização do efluente

Diante da descrição do processo de produção, conclui-se que o efluente da indústria têxtil estará relacionado com tipo da fibra, corante e os produtos auxiliares aplicados, ou seja, o efluente possui grandes variações de acordo com a manipulação para obtenção do produto final (Pinto, 2023).

Basicamente o efluente dispõe de uma cor intensa, composição complexa e variável, devido à presença de compostos orgânicos, significativa quantidade de metais pesados, matéria não-biodegradável, substâncias tóxicas, detergentes, gorduras, óleos, sólidos dissolvidos e suspensos, resultando num efluente caracterizado por apresentar elevada carga orgânica, baixa biodegradabilidade e alto pH (Pinto, 2023).

De acordo com Yaseen e Scholz (2019), a demanda química de oxigênio (DQO), quantidade de oxigênio necessária para decompor quimicamente a matéria orgânica, no efluente têxtil varia de 150 a 30.000 mg/L, e a demanda biológica de oxigênio (DBO), quantidade de oxigênio consumido na biodegradação da matéria orgânica varia de 80 a 6.000 mg/L, já o pH do efluente fica na faixa de 5,5 a 11,8.

A Tabela 3.3 estão mostrados a faixa dos diversos parâmetros dos efluentes têxteis, adaptada de Yaseen e Scholz (2019) que foi construída com base em diferentes literaturas.

| | Efluente 1 | Efluente 2 | Efluente 3 | Efluente 4 |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Temperatura (°C) | 35 – 45 | 21 – 62 | 33 – 45 | 33 – 45 |
| Ph | 6 – 10 | 6,95 – 11,8 | 5,5 – 10,5 | 6 – 10 |
| DBO (mg/L) | 80 – 6.000 | 80 – 6.000 | 100 – 4.000 | 100 – 4.000 |
| DQO (mg/L) | 150 – 12.000 | 150 – 30.000 | 150 – 10.000 | 150 – 10.000 |
| Coloração (Pt-Co) | 50 – 2.500 | 50 – 2.500 | - | 50 – 2.500 |

Tabela 3.3: Características do efluente têxtil de acordo com a literatura (adaptado de Yaseen e Scholz, 2019).

Dentre as etapas do processo produtivo aquela que mais contribui para os altos valores de carga orgânica é a desengomagem, os altos valores de pH são associados a etapa de branqueamento e a carga de corante no efluente a própria etapa de tingimento, todas relacionadas à macro etapa do beneficiamento do tecido (Carvalho, 2018).

Ademais, a carga de corante proveniente da etapa de tingimento fornece uma contaminação do efluente por metais pesados principalmente por cobalto, cobre e cromo encontrados na estrutura dos cromóforos (Yaseen e Scholz, 2019).

Devido às grandes variações nas características do efluente têxtil e pelo alto volume gerado durante a produção é difícil determinar um tratamento ideal para o efluente gerado, porém é fundamental que o efluente seja tratado com base nas técnicas já existentes para que seja descartado.

3.1.5 Tratamento convencional

As principais tecnologias para o tratamento de efluente são divididas em métodos físico-químicos, químicos e biológicos.

De maneira geral a indústria têxtil utiliza como método para tratamento dos efluentes a operação conjunta de sistemas físico-químicos de precipitação e coagulação seguido de tratamento biológico utilizando de lodos ativados. O conjunto das técnicas permite uma remoção alta dos corantes, aproximadamente 80%, porém a técnica produz uma grande quantidade de lodo que não pode ser reaproveitado devido ao alto teor de corante adsorvido (Kunz, et al., 2002). Em alguns casos o tratamento biológico é seguido pela adsorção empregando carvão ativado (Alves, 2010).

De acordo com Piaskowski, et al. (2018), os materiais à base de carvão ativado são os mais utilizados como adsorventes de corantes pela indústria por estarem associados a uma alta eficiência, porém esses materiais são considerados caros e possuem uma baixa capacidade de regeneração. Por isso, há muitos estudos para substituir o carvão por minerais argilosos, polímeros e resíduos de alimentos. Além disso, por serem recalcitrantes, os métodos convencionais utilizados pela indústria não são considerados uma solução completa devido à baixa biodegradabilidade do poluente. Técnicas que utilizam lodo ativado (processo biológico), adsorção em carvão ativado, coagulação/floculação em conjunto ou não, não são consideradas eficazes por não removerem o poluente persistente, apenas o transferem de fase.

Dessa forma é essencial a busca de novos tratamentos para os efluentes têxteis que combinem eficiência, sem a geração de resíduos adicionais e com baixos custos.

Na literatura, também há estudos que abordam aperfeiçoamentos que incluem não somente o tratamento do efluente em si, como também a redução das fontes contaminantes do efluente, recuperação do excedente de corante, utilização de corantes com elevado índice de esgotamento, recirculação da água nas etapas de alvejamento e tingimento, além da recuperação da goma, responsável pela alta DQO do efluente, através de uma técnica de ultrafiltração (Beltrame, 2020). Logo, é fundamental a associação de técnicas de tratamento de efluentes e de processamento que levam ao melhor aproveitamento de matéria-prima, com redução do volume de efluente, visando uma tecnologia sustentável.

3.2 Tipos de tratamento

Os tratamentos são divididos em biológicos, químicos e físico-químicos, de modo que pode haver a integração ou não entre eles, e os tipos principais estão apresentados na Figura 3.3.

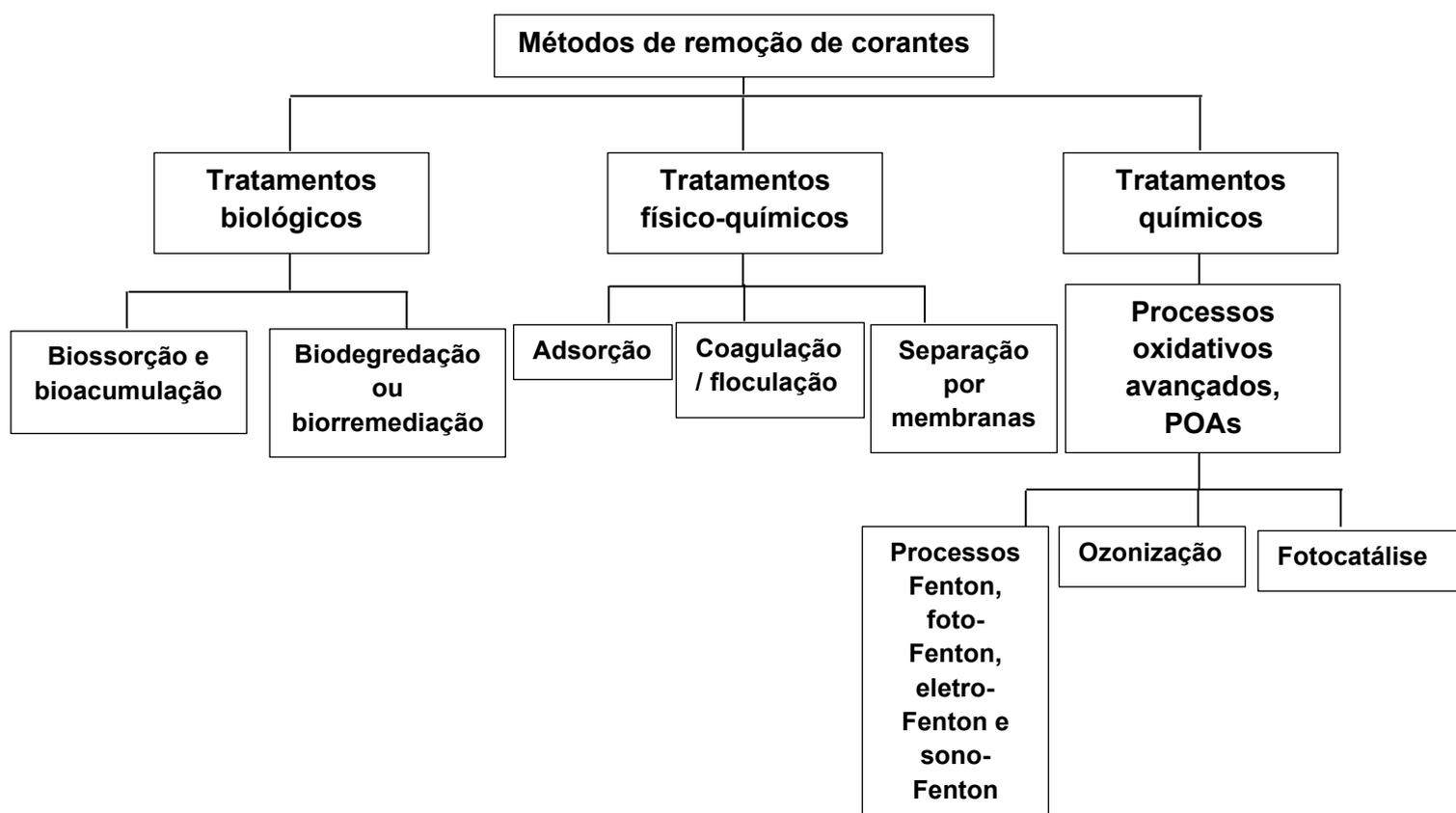


Figura 3.3: Síntese das principais tecnologias para a remoção de corantes (Elaborado pelo autor, 2023).

A remoção dos corantes do efluente têxtil é considerada complexa em virtude das particularidades do efluente como a de possuir sólidos suspensos, alta demanda biológica de oxigênio, alta demanda química de oxigênio, a sua estabilidade e a sua baixa biodegradabilidade. Por isso o tratamento deste efluente em estações de tratamento convencionais é considerado inviável (Piaskowski, et al., 2018). A seguir, uma breve descrição dos principais métodos que têm sido discutidos na literatura como alternativas para se obter a remoção completa de corantes têxteis.

3.2.1 Tratamentos químicos

3.2.1.1 Processos oxidativos avançados, POAs

Os tratamentos químicos ou processos oxidativos avançados (POA) se baseiam, resumidamente, na degradação dos contaminantes orgânicos a CO_2 , água e íons inorgânicos por meio de reações (Santana, 2010). Ademais, o principal mecanismo dos POAs é a geração de radicais hidroxila, $\text{OH} \cdot$, provenientes do H_2O_2 e que são altamente reativos, ou seja, capazes de atacar rapidamente as moléculas orgânicas presentes nos efluentes, além de poderem ser aplicados em fase aquosa, gasosa ou adsorvidos em uma matriz sólida (Martins, 2011). Conforme a literatura, os radicais hidroxilas, $\text{OH} \cdot$, têm alto poder de oxidação, de 2,81 V, inferior apenas ao do flúor, 3,03 V (Batista, 2022).

Além disso, os POAs são caracterizados pelo uso de agentes oxidantes, como ozônio, O_3 , peróxido de hidrogênio, H_2O_2 e de catalisadores, como o dióxido de titânio, TiO_2 e íons Fe^{2+} , a ainda podem ser acoplados a processos de sonicação (Sono-Fenton) e/ou radiação ultravioleta (Foto-Fenton).

O Quadro 3.4 classifica os POAs em função das associações que pode ocorrer, podendo ser sistemas homogêneos, sem a presença de catalisadores e sistemas heterogêneos, com a presença de catalisadores.

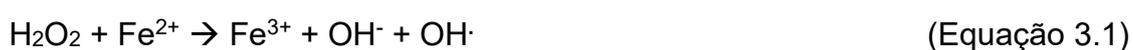
| | Com irradiação | Sem irradiação |
|------------------------------|---|---|
| Sistemas Homogêneos | O ₃ /UV H ₂ O ₂ /UV foto-Fenton | Fenton H ₂ O ₂ /O ₃ |
| Sistemas Heterogêneos | TiO ₂ /H ₂ O ₂ /UV TiO ₂ /O ₂ /UV | eletro-Fenton O ₃ /catalisador |

Quadro 3.4: Classificação dos POAs
(adaptado Batista, 2022).

3.2.1.1.1 Processos Fenton, foto-Fenton, eletro-Fenton e sono-Fenton

O processo Fenton mencionado na Tabela 3.4, pode ser classificado em Fenton, foto-Fenton e eletro-Fenton esses são caracterizados pela presença do íon Fe²⁺, fundamental para catalisar e acelerar a decomposição do agente oxidante peróxido de hidrogênio, H₂O₂ resultando em radicais hidroxilas, OH·, capazes de atacar os substratos orgânicos, RH, dos efluentes (Martins, et al., 2011).

As Equações 3.1 a 3.4 exemplificam o processo Fenton, sem a presença de irradiação, conforme Martins, et al. (2011).



Já o processo foto-Fenton, o processo se diferencia pela influência da radiação ultravioleta, visível ou solar, na reação primária representada pela Equação 3.5.



Tanto o processo Fenton, quanto o processo foto-Fenton são caracterizados por se tornarem rapidamente desfavoráveis devido à cinética da reação pelo rápido consumo do peróxido de hidrogênio. A distinção para o processo fotocatalítico eletro-Fenton é que para este processo há a uma geração eletroquímica de peróxido de hidrogênio, H_2O_2 , por meio da oxidação catódica do oxigênio favorecendo a cinética da reação direta (Salvador, et al., 2012).

Outrossim, as técnicas de Fenton e foto-Fenton também podem ser aplicadas juntamente com o ultrassom, simbolizado na Equação 3.6 por [U]), denominadas de sono-Fenton e sono-foto-Fenton, que resulta numa maior número de radicais hidroxilas, $OH\cdot$ (Rodrigues, 2022).



Apesar da alta eficiência na remoção e degradação dos mais variados tipos de corantes pelo processo Fenton e suas variações, esses são conhecidos pelo alto custo e por gerarem substratos, como a produção da lama de ferro contaminada com moléculas do corante (Piaskowski, et al., 2018).

3.2.1.1.2 Ozonização

A ozonização é o processo químico baseado em O_3 , um poderoso agente oxidante, ou seja, a espécie reage com uma numerosa variedade de compostos químicos, além do mais há diferentes tipos de ozonização, utilizando apenas o ozônio, O_3 , ozônio e peróxido de hidrogênio associados, H_2O_2/O_3 , e ozônio em conjunto com catalisadores, $O_3/\text{catalisador}$, dentre outras (Lino, 2021).

No decorrer da ozonização, o ozônio deve ser produzido continuamente e, por ser um gás instável, possui um curto tempo de meia vida, aproximadamente, de 20 minutos (Gomes, 2009).

Ademais, a ozonização pode ocorrer de maneira direta ou indireta. A ozonização direta ocorre quando o pH do meio é ácido, considerada lenta resultando em uma restrita produção de radicais hidroxilas, $OH\cdot$. Por outro lado, na ozonização indireta, o pH do meio é básico, o que favorece a produção dos radicais hidroxilas, pois a reação é favorecida pelos íons hidroxilas do meio, OH^- (Santana, 2010).

A ozonização é considerada por ser um processo rápido e eficiente, além de não aumentar o volume que está sendo tratado, porém a baixa estabilidade do ozônio e a formação de subprodutos tóxicos devem ser considerados ao escolher o método para tratamento do efluente (Piaskowski, et al., 2018).

3.2.1.1.3 Fotocatálise

A fotocatalise se caracteriza pela aplicação de semicondutores que desempenham o papel de fotocalisadores com duas regiões energéticas distintas, uma de baixa energia, banda de valência (BV) e outra com alta energia, banda de condução (BC), onde os elétrons estão livres para se movimentar. Dentre as duas regiões há um espaço chamado de “band gap”, a energia de “band gap” seria a energia mínima para promover a excitação do elétron, para que ele migre da banda de valência para a banda de condução (Saggiaro, et al., 2012). Na fotocatalise o reagente envolvido é o elétron, oxidando o OH^- e a H_2O e resultando nos radicais hidroxilas, $\text{OH} \cdot$ (Cervantes, et al., 2009).

Os semicondutores mais utilizados na fotocatalise são o TiO_2 , ZnO , WO_3 , SrO_3 e Fe_2O_3 , sendo que o dióxido de titânio, TiO_2 , é o mais aplicado pela sua não toxicidade, alta atividade fotoquímica, baixo custo e a estabilidade em sistemas aquosos e em amplas faixas de pH (Cervantes, et al., 2009).

A fotocatalise se mostra promissora em relação à degradação de compostos químicos. Entretanto, há a necessidade de fontes artificiais para a ativação dos elétrons devido à “band gap”; de separação dos fotocalisadores que são utilizados na forma de finos em suspensão; além da dificuldade de implementar este processo em grande escala. Por isso, há vários estudos para desenvolvimento de fotocalisadores (Gomes, 2009).

3.2.2 Tratamento físico-químicos

3.2.2.1 Adsorção

A adsorção é o fenômeno que depende do potencial que certos sólidos porosos, adsorventes, têm de associar as suas superfícies substâncias, adsorvato, contidas em soluções aquosas. O processo de adsorção também pode ser classificado em adsorção física, fisissorção, onde as forças de atração físicas como

forças de van der Waals e eletrostáticas agem na superfície do adsorvente e do adsorvato e a adsorção química, quimissorção, em que as forças de atração químicas como ligações covalentes atuam nas superfícies (Cardoso, 2012).

A adsorção utilizando o carvão ativado como adsorvente é amplamente utilizada no tratamento de efluentes têxteis. Os materiais à base de carvão ativado são associados a uma alta eficiência e uma tecnologia simples envolvida, porém o material possui um alto custo e baixo grau de regeneração (Piaskowski, et al., 2018). Por isso, há várias pesquisas analisando novos adsorventes, que possuam baixos custos, requerem pouco processamento para ser utilizados e estejam disponíveis em abundância na natureza como minerais, materiais argilosos, óxidos metálicos, polímeros, compósitos, resíduos de materiais e nano materiais magnéticos (Cardoso, 2012).

3.2.2.2 Coagulação/floculação

O processo de coagulação/floculação tem o objetivo de aglomerar as partículas em suspensão do efluente para que possam ser retiradas por métodos de separação como decantação, flotação ou filtração (Fortino, 2012). Geralmente, a coagulação e floculação são utilizadas como tratamento primário, seguido de tratamento biológico (Nunes, 2019).

A coagulação é utilizada para a remoção de materiais suspensos que não decantam, ou seja, os coloides que são formados não sofrem nenhum efeito da gravidade (Fortino, 2012). Basicamente, no processo, adiciona-se um coagulante que tem o objetivo de retirar as cargas eletrostáticas negativas dos coloides, diminuindo o potencial repulsivo entre eles e os aglutinam (Silva, et al., 2019).

Os principais coagulantes utilizados são o sulfato de alumínio (mais utilizado), cal, sulfato férrico ou ferroso e cloreto de policloreto de alumínio, no entanto, esses coagulantes estão correlacionados também com um alto custo (Piaskowski, et al., 2018).

Já a floculação ocorre em sequência à etapa de coagulação, em que se aplica floculantes inorgânicos para que as partículas coloidais se organizem em flocos de maior dimensão e densidade, que podem ser retirados por operação

unitária de separação sólido-líquido (Silva, et al., 2019). O sucesso ou não da floculação é determinado por alguns fatores como pH, concentração do coagulante, temperatura, tamanho e fração de volume das partículas (Furlan, 2008).

Apesar da coagulação/floculação ser considerada uma metodologia simples e ter alta eficiência na remoção de corantes de efluentes ela também pode ser relacionada ao alto custo dos coagulantes e a produção significativo volume de lamas contaminadas (Piaskowski, et al., 2018).

3.2.2.3 Separação por membranas

As membranas são definidas como barreiras que separam duas fases e que limita total ou parcialmente a passagem de uma ou múltiplas substâncias químicas presente em uma das fases. A seletividade das membranas é determinada pela diversidade dos poros ou pela modificação das características físico-químicas das membranas pela qual o efluente será filtrado (Stroher, 2010). A Figura 3.4 está esquematizada a estrutura das membranas.

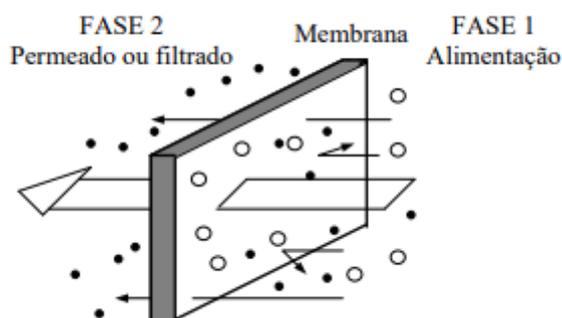


Figura 3.4: Estrutura das membranas (Stroher, 2010).

Ademais, o escoamento nas membranas pode ser integralizado de duas formas, filtração frontal ou filtração de escoamento tangencial. Na primeira, o soluto vai se acumulando na superfície da membrana, já a filtração tangencial limita o acúmulo de soluto à medida que a solução esco tangencialmente à membrana. Além do mais, para que ocorra o transporte através da membrana é necessária uma força motriz que, geralmente, está correlacionado a um gradiente de pressão ou concentração (Stroher, 2010).

A morfologia (tamanho dos poros) das membranas é inerente para classificar os processos, que são divididos em microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF), osmose reversa (OR) (Ferrari, 2005). Em cada um dos processos de membranas são aplicadas pressões distintas para ocorra a separação, na microfiltração a pressão aplicada é de 1 a 3 atm, na ultrafiltração de 2 a 7 atm, na nanofiltração de 5 a 20 atm, já na osmose reversa de 30 a 150 atm (Kunz, et al., 2002).

Contudo, há alguns fatores que limitam o fluxo nas membranas e reduzem os seus desempenhos, como a deformação mecânica da microestrutura da membrana, adsorção de macromoléculas na superfície da membrana; *fouling*, o entupimento dos poros e a polarização por concentração, responsável pela queda do fluxo próximo à superfície das membranas (Ferrari, 2005).

O processo de separação por membranas é caracterizado por garantir uma alta eficiência para diversos corantes, porém, além das dificuldades de processo acima mencionadas, essa técnica está associada a um custo elevado, operacional (energia de bomba, pressão, dentre outros) ou no caso das membranas serem poliméricas, produz significativa quantidade de lamas concentradas, requer altas pressões, além de ser aplicado principalmente em pequenas unidades (Piaskowski, et al., 2018).

3.2.3 Tratamento biológico

O tratamento biológico pode ser efetuado sob condições aeróbias, presença de ar e sob condições anaeróbias, sem a presença de ar no meio (Guaratini, et al., 2000). Ademais, o tratamento efetua-se por meio dos mecanismos de bioadsorção, bioacumulação, biodegradação ou biorremediação, empregados isoladamente ou em associação, conforme a biomassa vegetal ou microbiana, em que o efluente foi inserido para ser tratado.

3.2.3.1 Bioadsorção e bioacumulação

A bioadsorção é uma possibilidade que tem ganhado importante destaque, basicamente o tratamento consiste em uma biomassa vegetal ou de microrganismos, como bactérias, algas, cianobactérias, leveduras, fungos

filamentosos, dentre outros, isto é, material biológico utilizado como biossorbentes (Almeida, 2018).

Na hipótese da biomassa aplicada ser inativa (massa seca), a ligação com o poluente ocorre de ligações iônicas acarretando a sua biossorção na célula. Já no caso do biossorbente ser constituído por biomassa viva após a biossorção do poluente pelo material pode ocorrer também processo de bioacumulação, resultando no acúmulo de poluentes no interior das células vivas mediado pelo metabolismo do organismo empregado (Ribas, et al., 2022). Se o microrganismo sintetizar enzima que catalisa a degradação do corante, ainda pode ocorrer a biodegradação.

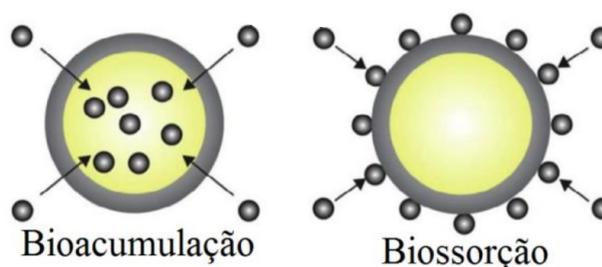


Figura 3.5: Diferença entre bioacumulação e biossorção (Ribas, et al., 2022).

O fenômeno da biossorção ocorre uma vez que a parede celular da biomassa é constituída de polissacarídeos, proteínas e lipídeos que fornecem grupos funcionais essenciais para que os poluentes se liguem a biomassa, como as carboxilas, fosfatos, hidroxilas, sulfatos e grupos aminos que facilitam a biossorção (Cunha, 2014). O processo é considerado rápido e para alguns biossorbentes utilizados reversível, ou seja, possibilitam o reuso do material (Cunha, 2014).

Em relação à biomassa viva (bioacumulação) as principais limitações do tratamento consistem na necessidade de um meio nutritivo que contém fontes de carbono para o crescimento celular e na possibilidade do corante empregado ser ou não tóxico às células do microrganismo (Ribas, et al., 2022).

Por fim, a efetividade da biossorção e a bioacumulação dependem de parâmetros como pH, concentração da biomassa e da composição do efluente, tipo de corante, temperatura e se houve ou não outro tipo de tratamento anterior a adsorção biológica (Silva, et al., 2014). Sendo de extrema importância a análise da eficácia do biossorbente no efluente que será tratado.

3.2.3.2 Biodegradação ou biorremediação

A biodegradação, ou também como sugerida por algumas citações na literatura como biorremediação, compreende basicamente na degradação de poluentes por meio de microrganismos por enzimas, como fungos, bactérias e cianobactérias. Sendo fundamental a eficácia de um determinado microrganismo em diversos efluentes, garantindo que o agente biológico seja capaz de ser cultivado e de degradar o corante sob variadas composições químicas (Kunz, et al., 2002), isto é, os fatores que mais influenciam na remoção biológica estão associados à adaptabilidade e atividade dos microrganismos (Piaskowski, et al., 2018).

Embora seja considerada uma técnica economicamente atraente e o tratamento ser pró-ecológico, a eficácia do processo depende fortemente do tipo de corante empregado e da afinidade do organismo envolvido, o processo é lento, os microrganismos necessitam de condições ótimas, como de temperatura e pH e pode requerer a adição de nutrientes ao efluente (Piaskowski, et al., 2018).

3.2.4 Processos combinados

Os tratamentos biológicos, químicos e físico-químicos também podem ser aplicados de forma integrada. A depender do efluente que será tratado é necessário utilizar processos combinados, que suprem de maneira complementar as limitações de cada metodologia aplicada isoladamente (Kunz, et al., 2002).

O próprio tratamento convencional, mais utilizado pela indústria têxtil, consiste na combinação de tratamento físico-químico e biológico, precipitação e coagulação seguido por tratamento biológico de lodo ativado. Todavia, estudos mais recentes conduzem pesquisas que combinam integrações mais avançadas, como citados a seguir: Alvarenga (2009) propôs a combinação de processos oxidativos avançados, foto-Fenton e membranas; Campos et al. (2014) sugeriram a combinação de coagulação/floculação e Fenton; Støher (2010) aplicou em seus estudos o processo de separação de membranas e de adsorção em carvão ativado; Ferrari (2009) examinou membranas com biossorção; Fortino (2012) utilizou de coagulação/floculação combinados com processo de separação por membranas e Furlan (2008) integrou o processo físico de coagulação/floculação com a adsorção. Ou seja, há uma variedade de combinações entre os processos químicos, físico-

químicos e biológicos seja de forma simultânea ou sequencial, com o intuito de combinar as vantagens entre eles, para resultar em processos com redução de gasto energético, custo e tempo de operação.

3.2.5 Comparação do número de publicação entre os tipos de tratamentos

Na Figura 3.6 está representada a revisão bibliométrica, ou seja, a análise da quantidade e porcentagem de manuscritos disponíveis no Google Acadêmico, desde 2022 para as principais metodologias químicas, físico-químicas e biológicas para o tratamento de efluentes têxteis. Na pesquisa foram utilizadas como palavras-chaves cada um dos métodos descritos acima, em conjunto com corantes.

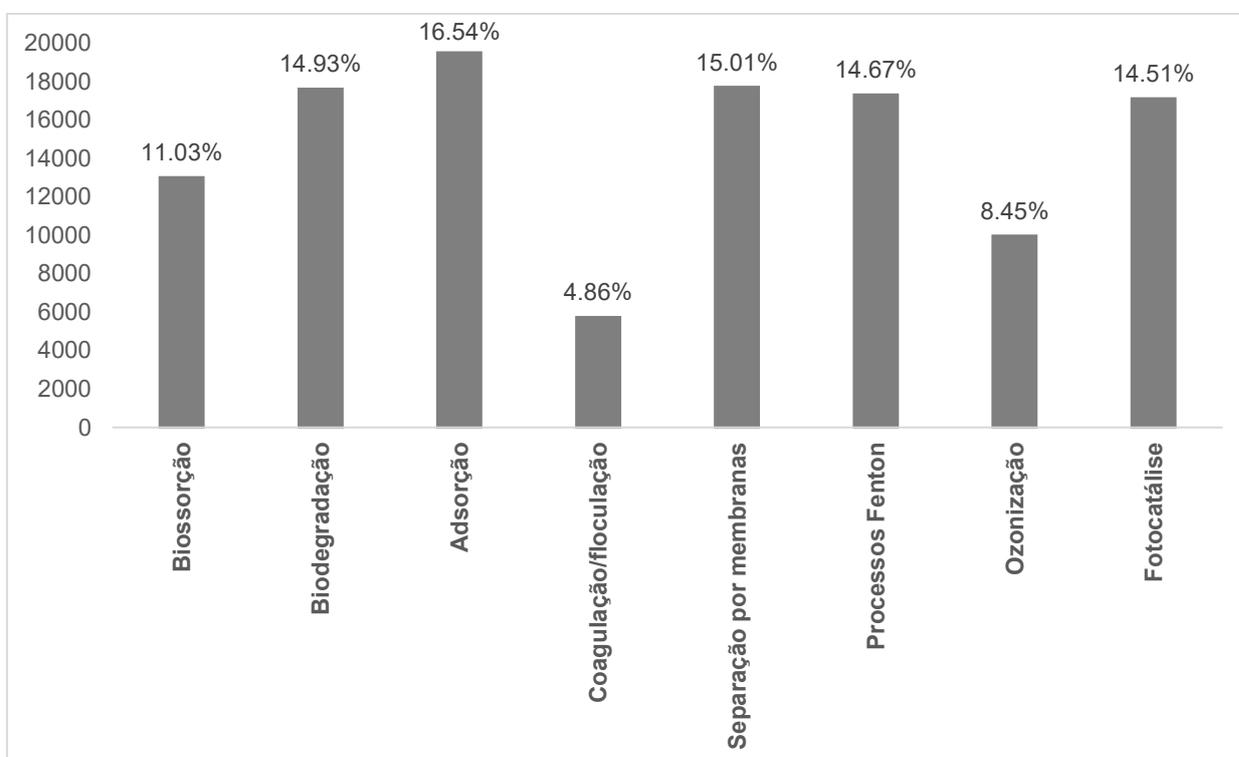


Figura 3.6: Comparação da quantidade de manuscritos disponíveis no Google Acadêmico (Elaborado pelo autor, 2023).

Em suma, nota-se que o número de artigos científicos voltados para pesquisas sobre os principais tratamentos de efluentes podem ser assim distribuídos: (1) entre 14,51% a 16,54% para as técnicas de adsorção, separação por membranas, biodegradação, processos Fenton e fotocatalise; (2) 11,03% para biossorção e, em menor número de estudos, (3) 4,86% e 8,45% para coagulação/floculação e ozonização, ficando destoantes em relação aos demais.

Apesar de a biossorção não estar entre os mais investigados, este método apresenta vantagens por ser prático, de baixo custo e por dispensar o uso de reagentes químicos, tornando válido o estudo para o aprimoramento desta técnica com o intuito de obter melhores resultados, de modo a permitir seu uso prático a nível industrial. Portanto, este método foi escolhido para sua exploração na sequência deste trabalho como será abordado na próxima **Seção 4**.

4 Avanços para a remoção de corantes usando a bioissorção

Os métodos biológicos são diferenciados em bioissorção, bioacumulação e biodegradação (ou biorremediação). A bioissorção é considerada uma forma de tratamento com custo inferior, quando comparada aos outros tipos de tratamentos analisados, pois a metodologia pode utilizar de biomassa residual como bioissorvente, além de dispor de fácil aplicabilidade e ser aceitável ambientalmente (Ribas, et al., 2022).

Na bioissorção materiais biológicos, conhecidos como biomassas, são aplicados como bioissorventes que podem tanto compreender matéria biológica viva (ativada), quanto matéria biológica morta (inativada), neste último caso sendo usada a biomassa seca com ou sem tratamentos posteriores de ativação. Uma vez que o material biológico utilizado seja inativado, o metabolismo não interfere na bioissorção, enquanto que, para o caso do material biológico compreender matéria biológica viva, a atividade enzimática dos microrganismos enzimática interfere no processo, assim existe também a possibilidade de ocorrer a bioacumulação e/ou a biodegradação do poluente contido no efluente, sendo que neste caso do agente viável, deve-se usar o meio de cultivo ideal que garanta os nutrientes necessários para o seu crescimento (Torres, 2020).

A biomassa seca possui a vantagem de resistir à toxicidade do poluente, não necessita de contínua manutenção, podem ser armazenados por períodos mais longos. A etapa seguinte de dessorção do poluente, retirada do poluente e recuperação do bioissorvente é considerada mais fácil e viável. Contudo, bioissorventes vivos podem remover maiores quantidades de substâncias orgânicas, por possibilitarem também a bioacumulação e a biodegradação (Torres, 2020).

No espectro de bioissorventes vivos tem-se sido empregados, principalmente, bactérias, cianobactérias, algas e leveduras. Para a biomassa seca, além dos microrganismos, pode-se empregar biomassa vegetal proveniente de resíduos agroindustriais e urbanos, como casca de arroz, casca de coco, cascas de plantas, folhas, bagaço de cana, serragem, entre outros (Michalak et al., 2013).

Outrossim, mesmo no caso desses bioissorventes serem ativos ou inativos esses devem possuir algumas particularidades para que sejam aplicados, como a

capacidade de reterem substâncias orgânicas, a alta seletividade aos corantes e a facilidade de adquirir, possuir desses materiais bioissorventes em grandes quantidades (Ribas, et al., 2022).

Ademais, conforme, Ribas et al. (2022), para que a absorção de compostos orgânicos tenha uma efetividade considerável deve ser considerados alguns critérios ao decorrer do tratamento (Figura 3.7), isto é, da associação do bioissorvente com o efluente têxtil, como o pH; concentração inicial do efluente, pois a remoção dos contaminantes não é eficaz, caso a concentração de poluente no efluente seja alta, devido à diminuição dos sítios ativos da superfície do bioissorvente; quantidade inicial de bioissorvente, a capacidade de bioissorção por unidade de peso tende a ser mais alta, caso o bioissorvente esteja em baixas concentrações na solução; temperatura, geralmente a eficácia da absorção aumenta com o aumento da temperatura; tempo de contato entre o bioissorvente e o bioissorvato; a velocidade de agitação do meio, uma vez que a velocidade moderada garante um aumento da bioissorção por evitar a deterioração da biomassa utilizada com o simultâneo aumento da superfície de contato da biomassa disponível para que as substâncias orgânicas do efluente sejam bioissorvidas.

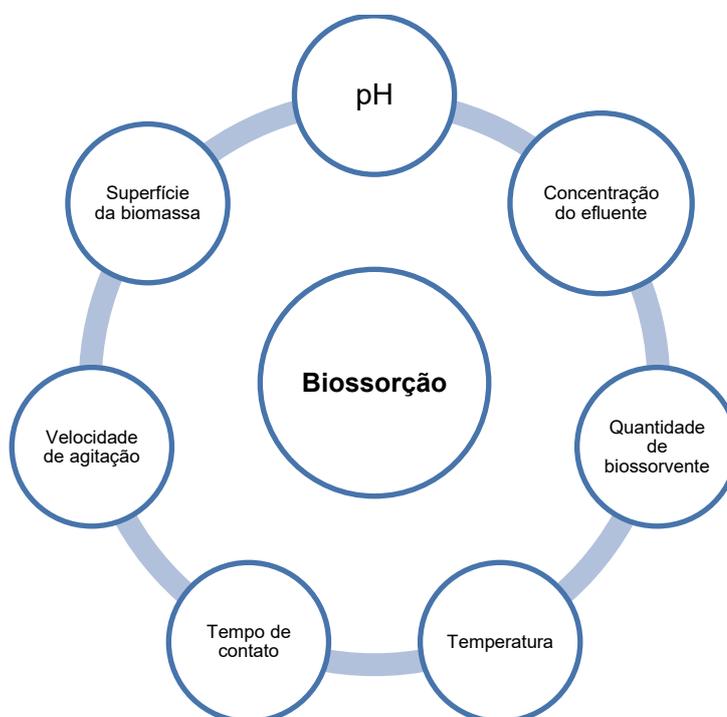


Figura 3.7: Fatores para eficiência da bioissorção.
(Elaborado pelo autor, 2023).

Para garantir a eficiência e desempenho da metodologia de biossorção em nível industrial geralmente a biomassa empregada é imobilizada, ou seja, não é adotada livremente ao efluente que está associada.

No Quadro 3.5, adaptada de Ribas et al. (2022), exemplifica algumas das técnicas de imobilização de biomassa que são aplicadas pela indústria têxtil.

| Método aplicado | Fundamento |
|------------------------------|--|
| Adsorção | A biomassa encontra-se sobreposta em um suporte sólido, há apenas uma interação física entre a biomassa e o suporte utilizado, ou seja, uma fraca interação entre eles que pode promover o escape da biomassa empregada, o método é considerado o mais simples. |
| Ligação covalente | Formação de ligações covalentes, entre o suporte e o biossorvente empregado, ou seja, há uma estabilidade maior na interação dentre eles durante o processo. Porém, é necessário a adição de reagentes químicos que afetam na toxicidade do meio. |
| Ligação cruzada | As macromoléculas do biossorvente estão ligadas entre si de maneira cruzada por meio de ligações covalentes. É preciso acrescentar ao meio reagentes multifuncionais, como glutaraldeído e bisdiazobenzidina. É considerada uma metodologia de difícil controle, manutenção. |
| Encapsulamento | A biomassa associada encontra-se aprisionada em um gel polimérico sintético ou natural. |
| Aprisionamento em uma matriz | A biomassa é ligada a uma matriz porosa polimérica sintética ou natural. Essa matriz deve possuir algumas características como uma estrutura porosa, baixo peso, atóxica, para garantir a transferência de massa do efluente para o biossorvente. |

Quadro 3.5: Técnicas de imobilização de biomassa (adaptado Ribas, et al., 2022).

Entretanto, essas técnicas de imobilização aumentam o custo geral dos biossorventes e podem vir a diminuir as taxas e a capacidade de biossorção, sendo

fundamental a investigação do melhor método para cada bioissorvente a ser associado (Adbia, et al.,2015).

A bioissorção é avaliada pela análise de modelos cinéticos de adsorção que relacionam o tempo e a capacidade de adsorção e isotermas que estudam o equilíbrio da absorção. Os modelos cinéticos mais utilizados para caracterizar os processos são os de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e Elovich, conforme mostrados na Tabela 3.6 e os modelos de isotermas são o de Langmuir e Freundlich, como consta na Tabela 3.7 (Torres, 2020).

| Modelos cinéticos | Fundamentos | Equações |
|-----------------------|---|---|
| Pseudo-primeira ordem | <ul style="list-style-type: none"> Utilizada para sistemas sólidos-líquidos. A equação modela com qualidade os primeiros estágios da bioissorção. À medida que a uma grande variação da concentração do soluto no meio e diminuição dos sítios ativos o modelo já não é suficiente. | $\frac{dq_t}{dt} = k'_1(q_e - q_t)$ <ul style="list-style-type: none"> q_t, quantidade de soluto adsorvido por grama de adsorvente (mg/g); t, tempo (min); k'_1, constante cinética do modelo de pseudo-primeira ordem (min^{-1}). |
| Pseudo-segunda ordem | <ul style="list-style-type: none"> Utilizada para sistemas sólidos-líquidos. A adsorção química, III, é assumida como etapa limitante do modelo. | $\frac{dq_t}{dt} = k'_2(q_e - q_t)^2$ <ul style="list-style-type: none"> q_t, quantidade de soluto adsorvido por grama de adsorvente (mg/g); t, tempo (min); k'_2, constante cinética do modelo de pseudo-segunda ordem ($\text{g} \cdot (\text{mg} \cdot \text{min})^{-1}$). |
| Elovich | <ul style="list-style-type: none"> Utilizada para sistemas sólidos-líquidos. Caracteriza o processo de adsorção, se tornando insuficiente no fim do processo. | $\frac{dq_t}{dt} = a_E e^{-\alpha_E q_t}$ <ul style="list-style-type: none"> q_t, quantidade de soluto adsorvido por grama de adsorvente (mg/g); t, tempo (min); a_E e α_E, constantes cinéticas do modelo de Elovich ($\text{mg} \cdot (\text{mg} \cdot \text{min})^{-1}$) e ($\text{g} \cdot \text{min}^{-1}$). |

Tabela 3.6: Modelos cinéticos de adsorção (adaptado Mendes, 2016).

A biossorção de substâncias é fundamentada em três diferentes etapas. A transferência de massa da fase líquida para a superfície do biossorvente (I), seguida da difusão na partícula porosa (II) e por último a biossorção na superfície interna dos poros do biossorvente (III) (Mendes, 2016).

| Isotermas de adsorção | Fundamentos | Equações |
|-----------------------|---|--|
| Langmuir | <ul style="list-style-type: none"> Utilizada para sistemas sólidos-líquidos. A adsorção de Langmuir é fundamentada em certas hipóteses, como adsorção ocorrem em sítios específicos, somente um soluto ocupa um sítio, todos os sítios são idênticos, a energia de adsorção é constante. | $q_e = \frac{Q_0 K_L C_e}{1 + K_L C_e}$ <ul style="list-style-type: none"> q_e, quantidade de soluto adsorvido por grama de adsorvente (mg/g); Q_0, capacidade de cobertura da monocamada (mg/g); K_L, constante isoterma de Langmuir (L/mg); C_e, concentração de adsorvato no equilíbrio (mg/L). |
| Freundlich | <ul style="list-style-type: none"> Utilizada para sistemas sólidos-líquidos. O modelo é apropriado para superfícies heterogêneas e adsorção reversível. Freundlich pressupõe que a adsorção decai exponencialmente, à medida que os centros ativos vão sendo ocupados pelo adsorvente. | $q_e = K_F C_e^{1/n}$ <ul style="list-style-type: none"> q_e, quantidade de soluto adsorvido por grama de adsorvente (mg/g); K_F, constante de Freundlich; C_e, concentração de adsorvato no equilíbrio (mg/L); n, intensidade de adsorção. |

Tabela 3.7: Isotermas de equilíbrio (adaptado Mendes, 2016).

Os modelos teóricos relacionam a quantidade adsorvida e a quantidade de adsorvato restantes a uma determinada temperatura constante, nas condições de equilíbrio.

4.1 Estudos de aplicação da biossorção na remoção de corantes

Foi analisado os mais recentes artigos, teses, dissertações, dentre outros publicados verificando as diferentes aplicações da biossorção e analisando os diferentes biossorbentes, corantes (substâncias orgânicas), a eficiência máxima de biossorção de cada uma delas, a metodologia utilizada nessas pesquisas e as vantagens e desvantagens de cada umas delas.

A Tabela 3.8 simplifica os resultados indicando a máxima capacidade de adsorção e a porcentagem de remoção para cada biossorvente e corante utilizados, para os estudos selecionados a respeito do processo de biossorção.

| Referência | Biossorvente | Corante | Metodologia | Porcentagem de remoção | Máxima capacidade de adsorção |
|-----------------------------|---|------------------------------------|--|------------------------|-------------------------------|
| Beltran et al. (2020) | Casca de tangerina | Azul de metileno | 25°C, pH de 7,09 e 4 g/L de biossorvente | 91,8% | 100 mg/g |
| Alessandretti, et al.(2021) | Bagaço de mandioca | Vermelho escarlata vermelho direto | 50°C, pH de 2, 0,3 g/L de biossorvente e 50 mL de efluente | 84,0% | 25,1 mg/g |
| Litordi et al. (2019) | Biomassa inativa de <i>Aspergillus oryzae</i> | Azul de metileno | 300 mg/L do corante | - | 38 mg/g |
| Ribas et al.(2019) | Casca de trigo | Azul reativo | pH de 3, 0,25 g do biossorvente e 50 mL de solução de efluente | 97,7% | 19,2 mg/g |
| Andrade et al. (2023) | Resíduos da madeira de <i>Pinus caribaea</i> | Azul de metileno | pH de 5 e 5,00 g de biossorvente | 97,6% | - |

Tabela 3.8: Biossorbentes utilizados no processo de remoção de corantes por biossorção.

Beltran et al. (2020) verificaram a bioadsorção mediante casca de tangerina (*Citrus reticulata*), para a remoção do corante azul de metileno (triarilmetano). Os autores secaram o bioadsorvente em estufa a uma temperatura de 100°C, por 48 horas e o triturou para reduzir a granulometria, com o objetivo de aumentar a área de contato. Em seguida, foram realizados os testes de adsorção em mesa incubadora com agitação de 150 rpm e temperatura de 25°C e pH de 7,09. Os autores variaram a concentração de bioadsorvente em (0,4, 1, 2 e 4 g/L) e notaram que a capacidade de adsorção aumenta com a diminuição da concentração do bioadsorvente, devido ao balanço da Equação 4.2, porém o aumento da taxa de concentração do bioadsorvente aumenta a porcentagem de remoção do corante, Equação 4.1, uma vez que haverá mais sítios ativos disponíveis para a bioadsorção da substância orgânica.

$$\% \text{ Remoção} = \left(1 - \frac{C_f}{C_i}\right) * 100 \quad (\text{Equação 4.1})$$

$$q_e = \frac{(C_i - C_f) * V}{m} \quad (\text{Equação 4.2})$$

Em que, q_e é a capacidade de adsorção do bioadsorvente, C_i e C_f , correspondem as concentrações iniciais e final do efluente no equilíbrio, V é o volume de solução e m é a massa de bioadsorvente.

No trabalho de Beltran et al. (2020), observou-se que a maior porcentagem de remoção do corante possui um valor relevante de 91,81% utilizando 4 g/L de casca de tangerina e obteve-se uma capacidade máxima de adsorção de aproximadamente 100 mg/g.

No trabalho desenvolvido por Alessandretti et al. (2021), a bioadsorção do corante vermelho escarlata direto foi analisada usando o bagaço de mandioca (0,3 g) como bioadsorvente. O bioadsorvente também foi seco por 24 horas a 50°C. Logo após, foi colocado em contato com o efluente (50 mL) e para os ensaios de bioadsorção, variou-se o pH do meio (1 a 8), a temperatura (30, 40 e 50°C) e a velocidade de agitação (30, 60 e 90 rpm). A quantidade de corante adsorvida foi estudada, conforme a Equação 4.2. A melhor condição obtida por Alessandretti et al. (2021) foi atingida ao utilizar pH 2, 50°C e 90 rpm, alcançando uma remoção de 84%. A menor remoção pode ser justificada por vários motivos, entre eles, a próxima

afinidade (interação) entre a parede celular da biomassa e a molécula de corante, e neste caso, a biomassa não foi triturada. Uma alternativa para melhorar, pode ser incluir etapas de ativação desta biomassa.

Por outro lado, Litordi et al. (2019) avaliaram também a bioadsorção do corante azul de metileno (100, 200 e 300 mg/L), porém a partir da biomassa inativa do fungo, *Aspergillus oryzae*. Esporos do fungo foram inoculados em solução de caldo de batata. A máxima capacidade de adsorção, também calculada conforme a Equação 4.2 e foi verificadado que, a concentração de 300 mg/L do corante, a capacidade máxima de adsorção foi de 38 mg/g. Os autores propuseram que sejam analisados a eficiência desse bioadsorvente variando outros parâmetros com pH, temperatura e quantidade de adsorvente.

Ademais, Ribas, e al. (2019) estudaram a bioadsorção utilizando como bioadsorvente residual, casca de trigo, para a remoção do corante azul reativo. A casca de trigo foi secada à 45°C e triturada em frações granulométricas de 0,04 a 1mm. Os testes de bioadsorção foram feitos utilizando 0,25 g do adsorvente e 50 mL de solução de corante, variando a temperatura (20, 25 e 45°C) e o pH (1 a 10) do meio. Sendo que, os melhores resultados observados foram adquiridos com o pH em torno de 3, a capacidade de remoção foi de 19,2 mg/g, com uma taxa de remoção máxima de 97,7%. Ou seja, o bioadsorvente residual possui potencial para ser aplicado nas condições empregadas por esses autores.

Por fim, Andrade et al. (2023), investigaram a bioadsorção a partir de resíduos da madeira de *Pinus caribaea*, para a bioadsorção do corante azul de metileno. Foi utilizado de 5,00 g de madeira, além disso variou-se o pH do efluente em (1,0; 2,0; 3,0 e 5,0). A bioadsorção em meio básico foi considerada mais promissora, com uma taxa de remoção de 97,6%.

De forma geral, nota-se uma alta taxa de remoção usando bioadsorventes provenientes de microrganismos ou subprodutos que são resíduos de agroindustriais, matéria-prima de baixo custo, sem tratamentos adicionais, apenas processos de secagem e simples processo de trituração. Ou seja, associação baixos custos e a uma facilidade de manipulação do tratamento, com taxas variando de

84% a 97,7%, tendo destaque os estudos que utilizaram de casca de trigo e resíduos de madeira como bioissorvente.

Já a máxima capacidade de absorção depende também da massa inicial do bioissorvente, dos tipos de biomassa e de corante, da razão sólido (bioissorvente)/líquido (volume inicial da solução contendo o corante). Portanto, não se pode comparar precisamente qual é o melhor método dentre os estudos selecionados. Mas vale ressaltar que os índices de remoção foram altos e deve-se ponderar que é possível aperfeiçoar, otimizar esses tratamentos estudados variando ainda mais parâmetros como pH, temperatura e agitação do efluente, tempo de contato entre o efluente e o bioissorvente, dentre outros que influenciam a bioissorção.

5 Conclusão

A variabilidade e a inovação das técnicas para o tratamento de efluentes que se mostram satisfatórias é essencial para a remoção de poluentes, como os corantes de águas residuais, em especial a bioissorção. A bioissorção pode ser relacionada a uma forma de tratamento promissora e alternativa, sobretudo por poder utilizar bioissorventes provenientes de resíduos agroindustriais e de microrganismos, ou seja, ecologicamente correta, além de ser associada a um baixo custo. Ademais essa técnica é de fácil aplicabilidade e manutenção e resulta em altas porcentagens da remoção dos corantes. Entretanto, devem ser feitos novos estudos sobre possíveis e novos bioissorventes e também analisando as condições ideais para adsorção, variando os parâmetros que influenciam o mecanismo, como temperatura, pH, concentração do efluente e do bioissorvente, agitação, dentre outros.

REFERÊNCIAS

- ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil. **Perfil do Setor**. 2023. Acesso em 21/06/2023. Disponível em: < <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor> >
- ADANE, T.; ADUGNA, A. T.; ALEMAYEHU, E. Textile Industry Effluent Treatment Techniques. **Hindawi Journal of Chemistry**, v. 2021, n. ID 5314404, 2021.
- ADBI, O.; KAZEMI, M. A review study of biosorption of heavy metals and comparison between different biosorbents. **J. Mater. Environ. Sci.**, v. 6, ed. 5, p. 1386-1399, 2015.
- ALCÂNTARA, M. R., DALTIM, D. A química do processamento têxtil. **Química Nova**, 19(3), 320-330, 1996.
- ALESSANDRETTI, I.; de JESUS, R. R.; GUEDES, S. F.; LOSS, R. A.; de PAULA, J. M.; GERALDI, C. A. Q. Biossorção do corante vermelho escarlata direto por bagaço de mandioca. **Research, Society and Development**, v. 10, ed. 4, 2021.
- ALMEIDA, A. C. M. de. **Estudo da biodegradação de corantes azoicos por inóculo proveniente de biodigestor anaeróbio de alimentos**. Orientador: Prof. Dr. Carlos Renato Corso. 2008. Dissertação (Mestre em Ciências Biológicas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2008.
- ALMEIDA, E.; ASSALIN, M. R.; ROSA, M. A. TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS POR PROCESSOS OXIDATIVOS NA PRESENÇA DE OZÔNIO. **Quim. Nova**, v. 27, ed. 5, p. 818-824, 2004.
- ALVARENGA, R. N. **Tratamento de efluente têxtil através de processo redox e separação com membranas combinadas**. Orientador: Dr. Luís Fernando Figueiredo Faria. 2009. 142 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SÃO PAULO, Lorena, 2009.
- ALVES, P. A. **Tratamento Eletroquímico e Eletroquímico Foto-Assistido na Degradação de Efluentes da Indústria Têxtil**. Orientador: Professor Doutor Artur de Jesus Motheo. 2010. 103 p. Dissertação (Mestrado em Ciências (Físico-Química) - Universidade de São Paulo, 2010.
- AMORIM, C. C. de; LEÃO, M. M. D.; MOREIRA, R. de F. P. M. Comparação entre diferentes processos oxidativos avançados para degradação de corante azo. **Eng Sanit Ambient**, v. 14, ed. 4, p. 534-550, 2009.
- AMORIM, M. T. P. de. **PROCESSOS DE SEPARAÇÃO COM MEMBRANAS NA RECICLAGEM E TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTEL**. Resumo.
- ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Uso das Águas**. 2019. Acesso em 19/03/2023. <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/ usos-da-agua/industria>>.

- ANDRADE, J. G. da S.; PORTO, C. E.; ANTONIOLLI, C. de A.; MOREIRA, W. M.; BATISTELA, V. R.; SCALIANTE, M. H. N. O. Production of hydrochars from Pinus caribaea for biosorption of methylene blue and tartrazine yellow dyes. **ELSEVIER: Cleaner Chemical Engineering**, ed. 5, 2023.
- BARRETO, M. **Degradação de espécies de relevância ambiental por processos oxidativos avançados**. Dissertação de Mestrado, UFPR, Curitiba, 2001.
- BATISTA, I. DOS R. **PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS (POAs): UMA REVISÃO DA IMPORTÂNCIA DE FOTOCATÁLISE NA DESCOLORAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS COMO O VERDE MALAQUITA**. 2022. 39 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES, 2022.
- BELTRAME, L. T. C. **Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento**. Orientador: Prof. Dr. Afonso Avelino Dantas Neto, Profa. Dra. Tereza Neuma de Castro Dantas. 2000. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2000.
- BELTRAN, L. B.; JANUÁRIO, E. F. D.; ARAÚJO, L. A. de; SOUZA, A. C.; MELONI, C. E. P.; MAGIERO, P. E.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, A. M. S. Processo de biossorção de corante utilizando casca de tangerina (citrus reticulata). **Braz. J. of Develop., Curitiba**, v. 6, ed. 6, p. 41760-41771, 2020.
- BERGNA, G., BIANCHI, R., MALPEI, F. GAC Adsorption of Ozonated Secondary Textile Effluents for Industrial Water Reuse. **Water Science and Technology**, v.40, n.4-5, p.435- 442, 1999.
- BEZERRA, K. C. H.; FIASCHITELLO, T. R.; LABUTO, G.; FREEMAN, H. S.; FRAGOSO, W. D.; COSTA, S. M. da; COSTA, S. A. da. Reuse of water from real reactive monochromic and trichromic wastewater for new cotton dyes after efficient treatment using H₂O₂ catalyzed by UV light. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, ed. 4, p. 2213-3437, 2021.
- BIBBINS-MARTÍNEZ, M.; JUÁREZ-HERNÁNDEZ, J.; LÓPEZ-DOMÍNGUEZ, J.Y; NAVAGALICIA, S. B.; MARTÍNEZ-TOZCANO, L. J.; JUÁREZ-ATONAL, R.; CORTÉS-ESPINOSA, D.; DIAZ-GODINEZ, G. Potential application of fungal biosorption and/or bioaccumulation for the bioremediation of wastewater contamination: A review. **Journal of Environmental Biology**, v. 44, p. 135-145, 2023.
- BRANDÃO, H. DE L. **SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA BIODEGRADAÇÃO DE EFLUENTES LÍQUIDOS MULTICOMPONENTES EM RIOS**. Orientador: PROFA SELENE M. A. GUELLIULSON DE SOUZA. 1998. 176 p. Dissertação (Engenharia Química) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 1998.
- Brasil Têxtil em 2022**. Disponível em: <<https://www.iemi.com.br/produto/brasil-textil/>>. Acesso em 19 mar. 2023.
- CAMPOS, V. M.; BRITO, N. N. de. **Tratamento de Efluente Têxtil Utilizando Coagulação/Floculação e Fenton**. RQI - 2º trimestre, 2014.

- CARDOSO, G. B. **Avaliação de diferentes tratamentos de efluentes têxteis simulado contendo o azocorante preto de diresul**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Tiradentes, Sergipe, 2010. p. 52-66.
- CARDOSO, N. F. **ADSORÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS UTILIZANDO BIODSORVENTES ALTERNATIVOS**. Orientador: Prof. Dr. Éder Cláudio Lima. 2012. 120 p. Dissertação (Mestre em Ciências Ambientais) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, RS, 2012.
- CARVALHO, D. M. **Caracterização ambiental do setor têxtil em Portugal**. Orientador: Professora Doutora Maria Isabel da Silva Nunes. 2018. 196 p. Relatório de estágio (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Universidade de Aveiro, 2018.
- CERVANTES, T. N. M.; ZAIA, D. A. M.; SANTANA, H. de. ESTUDO DA FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA SOBRE Ti/TiO₂ NA DESCOLORAÇÃO DE CORANTES SINTÉTICOS. **Quim. Nova**, v. 32, ed. 9, p. 2423-2428, 2009.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). MARINA SILVA. **Nº053, 18/03/2005**. DOU, n. 053, p. 58-63, 18 mar. 2005.
- COSTA, M. C.; SANTOS, A. B. dos; MOTA, F. S. B.; MENDONÇA, G. L. F.; NASCIMENTO, R. F. do. DESCOLORAÇÃO REDUTIVA DE CORANTES AZO E O EFEITO DE MEDIADORES REDOX NA PRESENÇA DO ACCEPTOR DE ELÉTRONS SULFATO. **Quim. Nova**, v. 33, ed. 7, p. 1514-1519, 2010.
- CUNHA, B. DOS S. **UTILIZAÇÃO DE BIODSORVENTES ALTERNATIVOS NA REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS**. Orientador: Profa. Dra. Juliana Bortoli Rodrigues Mees. 2014. 63 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.
- DA SILVA, D. **TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DA INDÚSTRIA TÊXTEL POR BIODSORÇÃO**. Orientador: Prof^a. Dr^a. Fernanda Batista de Souza. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.
- DELLAMATRICE, P. M.; MONTEIRO, R. T. R. Toxicidade de Resíduos Têxteis Tratados por Microrganismos. **J. Braz. Soc. Ecotoxicol**, v. 1, ed. 1, p. 63-66, 2006.
- DELLAMATRICE, P. M. **Biodegradação e toxicidade de corantes têxteis e fluentes da Estação de Tratamento de Águas Residuárias de Americana, SP**. 2005. 137 p. Tese (Doutor em Ecologia de Adroecossistemas) - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Piracicaba, 2005.
- DIAS, F. F. S.; LIRA, R. J.; CHIAVONE-FILHO, O.; CARVALHO, F. O.; PACHECO, J. G. Degradação de corante Reative Black 5 via processo foto-Felton em reator PTC com modelagem e otimização utilizando RNA. **SCIENTIA PLENA**, v. 9, ed. 10, 2013.
- ETSHINDO, Lourdes A.; TASSIANO-MARTINHON, Priscila; ROCHA, Angelo Sanches; ARAUJO, Lúcia Regina Raddi de; SOUSA, Célia. Potencialidades e uso da

quitosana no tratamento de rejeitos têxteis. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, v. 2, ed. 6, p. 2010-2020, 2018.

FERRARI, L. D F. **REMOÇÃO DE CORANTE DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL UTILIZANDO PROCESSOS COM MEMBRANAS E ADSORÇÃO EM BAGAÇO DE LARANJA**. Orientador: Prof. Dr. Nehemias Curvelo Pereira e Prof^a Dr. Sueli Teresa Davantel de Barros. 2009. 166 p. Tese (Doutor em Engenharia Química) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ, MARINGÁ, 2009.

FILHO, P. S. de J., SÁ, F. P. de. BORGES, E. C. de L. **TRATAMENTO DE EFLUENTE COMPOSTO PELOS CORANTES ALIMENTÍCIOS AMARELO CREPÚSCULO E AZUL INDIGOTINA, UTILIZANDO RADIAÇÃO SOLAR**. Instituto Federal de Goiás.

FORTINO, P. **PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL USANDO COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO COMBINADO COM PROCESSOS DE SEPARAÇÃO POR MEMBRANAS**. Orientador: Prof^a Dr^a. Isabel Cristina Tessaro e Prof^a Dr^a. Liliana Amaral Féris. 2008. 98 p. Dissertação (Mestre em Engenharia) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre, 2012.

FURLAN, F. R. **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO E ADSORÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS**. Orientador: Prof^a Dr^a. Selene M. A. Guelli Ulson de Souza. 2008. 151 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Florianópolis, 2008.

GAYLARDE, C. C.; BELINASSO, M. de L.; MANFLO, G. P. **BIORREMEDIAÇÃO: Aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos**. Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento, São Paulo-SP, BR, v. 34, p. 36-43, 2005.

GOMES, L. M. **Estudo da Otimização de Processo Fenton para o Descoramento de Corantes Azo**. Orientador: Doutora Anabela Sousa Oliveira. 2009. 106 p. Dissertação (Mestrado Tecnologias de Valorização Ambiental e Produção de Energia) - Mestre em Ciências, 2009.

GUARANTINI, C. I., ZANONI, M. V. B. Corantes Têxteis. **Química Nova**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 71-78, jan./fev, 2000.

HARSANTO, B., PRIMIANA, I., SARASI, V., SATYAKTI, Y. Sustainability Innovation in the Textile Industry: A Systematic Review. **Sustainability** 2023, 15, 1549.

HASSEMER, M. E. N., SENS M. L. **TRATAMENTO DO EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA TÊXTIL PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO COM OZÔNIO E COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO**. Artigo técnico.

ICTR 2004 – CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2004, Costão do Santinho – Florianópolis – Santa Catarina. **BIODESCOLORAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS E ALIMENTÍCIOS PELOS FUNGOS PLEUROTUS SAJOR-CAJU E LENTINUS EDODES**. ICTR 2004 – CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. 2004.

III SEMINÁRIO DE I&DT, 2012, Porto Alegre. **Fotocatálise solar na remediação de corantes indigoides usados no tingimento de fios de algodão.** 2012.

INDÚSTRIA TÊXTIL - CRESCIMENTO, TENDÊNCIAS, IMPACTO DO COVID-19 E PREVISÕES (2023 - 2028). Disponível em: <<https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/global-textile-industry---growth-trends-and-forecast-2019---2024>>. Acesso em 19 mar. 2023.

IX SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 2014, Porto Alegre - RS. **PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL USANDO COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO.** 2014.

KAMIDA, H. M.; SOARES, H. C. P.; SANTOS, I. DA S.; UETANABARO, A. P. T. BIODEGRADAÇÃO DE EFLUENTES TÊXTEIS POR FUNGOS BASIDIOMICETOS PRODUTORES DE ENZIMAS LIGNINOLÍTICAS: UMA BREVE REVISÃO. **SITIENTIBUS SÉRIE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**, v. 7, ed. 2, p. 143-149, 2007.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G. DE; NELSON, D. NOVAS TENDÊNCIAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS. **Quim. Nova**, v. 25, ed. 1, p. 78-82, 2002.

LIN, S. H. e LIU, W. Y. **Treatment of Textile Wastewater by Ozonation in a Packed-Bed Reactor.** *Environmental Technology*. v.15, p.299- 311, 1994.

LITORDI, L. R. V.; SANTOS, G.E.; SOUZA, F. H. M.; ANDRADE, G. S. S. **BIOSSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO A PARTIR DE BIOMASSA INATIVA DE *Aspergillus oryzae*.** COBEQ, IC : Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Uberlândia/MG, 2019.

LUCILHA, Adriana Campano; TAKASHIMA, Keiko. **EFEITOS DE AGENTES OXIDANTES E OXIGÊNIO DISSOLVIDO NA DESCOLORAÇÃO DO AZO CORANTE ACID ORANGE 7 POR FOTÓLISE E FOTOCATÁLISE.** *Quim. Nova*, v. 32, ed. 6, p. 1399-1404, 2009.

MACEDO, L. C.; PAULI, E. D.; MANECHINI, B. P.; ZAIA, D. A. M.; SANTANA, H. de. Remediação de águas residuais por Fotocatálise Heterogênea: Estudo dos parâmetros experimentais aplicados a fotocatalise eletroquímica. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 27, ed. 1, p. 11-21, 2006.

MAGRO, C. D.; DEON, M. C.; THOMÉ, A.; PICCIN, J. S.; COLLA, L. M. **BIOSSORÇÃO PASSIVA DE CROMO (VI) ATRAVÉS DA MICROALGA *Spirulina platensis*.** *Quim. Nova*, v. 36, ed. 8, p. 1139-1145, 2013.

MAIA, C. G. **Remediação de Efluentes Modelo de Corantes Têxteis por Processos Oxidativos Avançados.** Orientador: Doutora Anabela Sousa Oliveira. 2012. 158 p. Dissertação (Mestrado Tecnologias de Valorização Ambiental e Produção de Energia) - Instituto Politécnico de Portalegre, 2012.

- MARTINS, L. M. **ESTUDO DA APLICAÇÃO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS VISANDO O SEU REÚSO**. Orientador: Prof. Dr. Carlos Ernando da Silva. 2011. 176 p. Dissertação (Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ (UFPI), 2011.
- MARTINS, L. M.; SILVA, C. E. da; NETO, J. M. M.; LIMA, Á. S.; MOREIRA, R. de F. P. M. Aplicação de Fenton, foto-Fenton e UV/H₂O₂ no tratamento de efluente têxtil sintético contendo o corante Preto Biozol UC. **Eng Sanit Ambient**, v. 16, ed. 3, p. 261-270, 2011.
- MENDES, E. **MODELAGEM CINÉTICA DA ADSORÇÃO E DA DESSORÇÃO DE ÍONS ZINCO POR MICROPARTÍCULAS DE VIDRO RICAS EM SÓDIO NO DESENVOLVIMENTO DE ALUMINOSSILICATOS ANTIMICROBIANOS ATÓXICOS**. Orientador: Prof. Dr. Nivaldo Cabral Kuhnen. 2016. 112 p. Tese (Doutor em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2016.
- MICHALAK, I.; CHOJNACKA, K.; WITEK-KROWIAK, A. State of the Art for the Biosorption Process—a Review. **Appl Biochem Biotechnol**, v. 170, p. 1389-1416, 2013.
- NUNES, G. R. **GERAÇÃO E TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, 2019.
- OIT – Organização Internacional do Trabalho. **Impacto da pandemia no emprego é mais forte do que o esperado - COVID-19: Monitor OIT - 8a. Ed. 2021**. Acesso em 21/06/2023. Disponível em: <https://www.ilo.org/brasilia/noticias/WCMS_824987/lang--pt/index.htm>
- OLIVEIRA, C. A. DA S. **“TRATAMENTO DE CORANTE TÊXTIL POR ELETRÓLISE, FOTÓLISE E FOTOCATÁLISE UTILIZANDO LED UV”**. Orientador: Prof. Dr. Peterson Bueno de Moraes. 2013. 96 p. Dissertação (E Mestra em Tecnologia, área de concentração Tecnologia e Inovação) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, 2013.
- PAULINO, T. R. S.; ARAUJO, R. dos S.; SALGADO, B. C. B. Estudo de oxidação avançada de corantes básicos via reação Fenton (Fe²⁺/H₂O₂). **Eng Sanit Ambient**, v. 20, ed. 3, p. 347-352, 2015.
- PEREIRA, D. N. Eutrofização e de fitoplâncton floração marinho. **Ambiente**, v. 8, ed. 1, 1994.
- Perfil do Setor**. Disponível em: <<https://abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em 19 mar. 2023.

- PIASKOWSKI, K.; ŚWIDERSKA-DĄBROWSKA, R.; ZARZYCK, P. Dye Removal from Water and Wastewater Using Various Physical, Chemical, and Biological Processes. **Journal of AOAC International, Special Guest Editor Section**, v. 101, ed. 5, p. 1371-1384, 2018.
- PINTO, C. V. M. G. **Tratamento de efluentes têxteis, por processos eletroquímicos, para a reutilização em processos de tingimento**. Orientadores: Prof. Doutora Maria José Alvelos Pacheco, Doutora Annabel Dias Barrocas Fernandes. 2023. 132 p. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Beira Interior, 2023.
- Queiroz, M. T. A., Queiroz, C. A., Alvim, L. B., Sabará, M. G., Leão, M. M. D., Amorim, C. C. **Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos**. *Gestão & Produção*, 26(1), e1149. <https://doi.org/10.1590/0104-530X1149-19>, 2019.
- RIBAS, F. B. T.; SILVA, W. L. da. Biossorção: uma revisão sobre métodos alternativos promissores no tratamento de águas residuais. **REVISTAMATÉRIA**, v. 27, ed. 27, 2022.
- RIBAS, M. C.; OLIVEIRA, A. P. de; ANTONIOLLI, C. de A.; SILVEIRA, W. da; PRADO, A. D. do. **ESTUDO DA REMOÇÃO DO CORANTE AZUL REATIVO POR BIOSSORÇÃO COM CASCA DE TRIGO**. 2ºConReSol: 2º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, Foz do Iguaçu-PR, 2019.
- RODRIGUES, R. A. **APLICAÇÃO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NA DEGRADAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS E DE MATÉRIA ORGÂNICA EM EFLUENTE VINÍCOLA**. Orientador: Prof. Dr. Paulo Sergio Tonello. 2022. 87 p. Dissertação (Mestre em Ciências Ambientais) - UNESP, Sorocaba, 2022.
- SANTANA, C. M. **ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE CORANTE TÊXTIL EM MATRIZES AQUOSAS POR MEIO DOS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS O₃-H₂O₂/UV E FOTO-FENTON**. Orientador: Prof. DR. Antonio Carlos Silva Costa Teixeira. 2010. 120 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2010.
- SANTOS, K. M. S.; LIMA, L. M. A.; SANTOS, T. S.; PITANGA, Â. F. Avaliando Métricas em Química Verde de Experimentos Adaptados para a Degradação do Corante Amarelo de Tartrazina para Aulas no Ensino Médio. **Quím. nova esc.: Experimentação no Ensino de Química**, São Paulo-SP, BR, v. 43, ed. 4, p. 411-417, 2021.
- SANTOS, P. K. dos; FERNANDES, K. C.; FARIA, L. A. de; FREITAS, A. C. de; SILVA, L. M. da. DESCOLORAÇÃO E DEGRADAÇÃO DO AZO CORANTE VERMELHO GRLX-220 POR OZONIZAÇÃO. **Quim. Nova**, v. 34, ed. 8, p. 1315-1322, 2011.
- SARASA, J., ROCHE, M. P., ORMAD, M. P., GIMENO, E., PUIG, A. e OVELLEIRO, J. L. Treatment of a Wastewater Resulting from Dyes Manufacturing with Ozone and Chemical Coagulation. **Water Research**. v.32, n.9, p.2721-2727, 1998.

- SHARMA, S.; KAUR, A. Various Methods for Removal of Dyes from Industrial Effluents - A Review. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 11, ed. 12, 2018.
- SILVA, F. M. DA. **DEGRADAÇÃO DO CORANTE AZO ACID BLACK 210 NA POR MEIO DE ELETROOXIDAÇÃO COM ELETRODOS DE GRAFITE**. Orientador: Dr. Fábio Orssatto. 2022. 65 p. Dissertação (Mestre em Tecnologias Ambientais) - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANA, 2022.
- SILVA, J. L. B. C. da; PEQUENO, O. T. B. de L.; ROCHA, L. K. S.; ARAÚJO, E. C. O. de; MARCIEL, T. A. R.; BARROS, A. J. M. BIOSSORÇÃO DE METAIS PESADOS: UMA REVISÃO. **REVISTA SAÚDE E CIÊNCIA On line**, ed. 3, p. 137-149, 2014.
- SILVA, L. D. da; DANTAS, P. R.; NETO, L. M. P.; ARRUDA, V. C. M. de; TAVARES, R. G.; SILVA, V. de P. Eficiência da coagulação, floculação e decantação como tratamento primário de efluente têxtil. **Revista GEAMA – Ciências Ambientais e Biotecnologia**, v. 5, ed. 1, p. 36-40, 2019.
- SILVA, R. P. DA. **TRATAMENTO DE CORANTES REATIVOS EM SOLUÇÃO AQUOSA UTILIZANDO LODO DE ESGOTO SANITÁRIO COMO BIOSSORVENTE EM REATORES CONTÍNUOS**. Orientador: Profa. Dra. Ilda Antonieta Salata Toscano, Profa. Dra. Kátia Messias Bichinho Orssatto. 2012. 100 p. Dissertação (Mestre em Química) - UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, 2012.
- SOUZA, P. C. de; PAULI, E. D.; PEREIRA, N. C.; GONÇALVES, M. S.; FILHO, N. C.; RODRIGUES, P. H.; JAMARIM, V. M. ESTUDO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL ATRAVÉS DE PROCESSOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO E ELETROCOAGULAÇÃO. **E-xacta, Belo Horizonte**, v. 9, ed. 2, p. 123-132, 2016.
- STROHER, A. P. **APLICAÇÃO DOS PROCESSOS DE SEPARAÇÃO COM MEMBRANAS E ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL**. Orientador: Prof. Dr. Nehemias Curvelo Pereira. 2014. 184 p. Dissertação (Doutor em Engenharia Química) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ, MARINGÁ, 2014.
- Textile Market Size, Share & Trends Analysis Report By Raw Material (Cotton, Wool, Silk, Chemical), By Product (Natural Fibers, Nylon), By Application (Technical, Fashion), By Region, And Segment Forecasts, 2022 – 2030**. Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/textile-market>>. Acesso em 19 mar. 2023.
- TORRES, E. Biosorption: A Review of the Latest Advances. **Processes**, v. 8, ed. 1584, 2020.
- TWARDOKUS, R. G. **REUSO DE ÁGUA NO PROCESSO DE TINGIMENTO DA INDÚSTRIA TÊXTIL**. Orientador: Prof. Dr. Antônio Augusto Ulson de Souza. 2004. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2004.

UEDA, A. C. **Aplicação de Micelas Reversas na Remoção de Corantes Têxteis Catiônicos**. Orientador: Prof. Dr. Antônio Augusto Ulson de Souza. 2006. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

Usos da água. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua>>. Acesso em 19 mar. 2023.

VILLELA, S. M. **BIODEGRADAÇÃO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS NA PRESENÇA DE LACASE DE *Aspergillus sp* E PEROXIDASE DE RAIZ FORTE**. Orientador: Carlos Henrique Lemos Soares. 2003. 50 p. Relatório de estágio (Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2003.

XI SEMINÁRIO DE EXTENSÃO E INOVAÇÃO, XXVI SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 2021, Costão do Santinho – Florianópolis – Santa Catarina. **Biossorção de corantes têxteis**. XI Seminário de Extensão e Inovação, XXVI Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica. 2021.

XIV ENCONTRO LUSO-GALEGO DE QUÍMICA, 2000, Braga. **DESCOLORAÇÃO DE UM EFLUENTE TÊXTIL SIMULADO COM CORANTES AZO BIOACESSÍVEIS**. XIV ENCONTRO LUSO-GALEGO DE QUÍMICA. 2000.

YASEEN, D. A.; SCHOLZ, M. Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic efluents: a critical review. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 16, p. 1193-1226, 2019.

ZANONI, M. V. B., YAMANAKA, H. Corantes: Caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento. **1ª edição, Editora UNESP-Cultura Acadêmica**, São Paulo, 2016.

ZOLLINGER, H. Color Chemistry: Syntheses, properties and applications of organic dyes and pigments. 3rd ed., **Wiley-VCH**, Weinheim, 2003.