


## RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 14/07/2023.

**Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP**  
**Faculdade de Ciências e Tecnologia**

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais  
POSMAT



**Síntese *in situ* de nanopartículas de ouro em microfibras  
de celulose (CMF/AuNPs) e sua aplicação na  
descontaminação de águas**

**Nome: Andressa Silva Gomes**  
**Orientador: Prof. Dr. Aldo Eloizo Job**  
**Coorientador: Dr. Guilherme Dognani**

**Andressa Silva Gomes**

**Síntese *in situ* de nanopartículas de ouro em microfibras  
de celulose (CMF/AuNPs) e sua aplicação na  
descontaminação de águas**

Dissertação apresentada para o Exame de Defesa como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais (POSMAT) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” sob orientação do Prof. Dr. Aldo Eloizo Job e coorientação do Dr. Guilherme Dognani.

**Orientador: Prof. Dr. Aldo Eloizo Job**

**Coorientador: Dr. Guilherme Dognani**

Presidente Prudente

2022

G633s      Gomes, Andressa Silva  
Síntese in situ de nanopartículas de ouro em microfibras de celulose (CMF/AuNPs) e sua aplicação na descontaminação de águas. / Andressa Silva Gomes. -- Presidente Prudente, 2022  
151 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente  
Orientador: Aldo Eloizo Job  
Coorientador: Guilherme Dognani

1. Microfibras de Dialdeído Celulose Catiônica. 2. Adsorção. 3. Corantes. 4. Nanopartículas de Ouro. 5. Descontaminação de água. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**ATESTADO DE APROVAÇÃO - DEFESA**

Atestamos que **ANDRESSA SILVA GOMES**, RA nº: POS190772, RG nº 45.508.544-4, expedido pela SSP/SP, defendeu, no dia 14/01/2022, a dissertação intitulada "**Síntese in situ de nanopartículas de ouro em microfibras de celulose (CMF/AuNPs) e sua aplicação na descontaminação de águas**", junto ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, Curso de Mestrado Acadêmico, tendo sido 'APROVADA'.

Atestamos ainda que a obtenção do título dependerá de homologação pelo Órgão Colegiado competente.

Bauru, 14 de janeiro de 2022



**Caroline E. Bolla Ruggeri**  
Supervisor Técnico de Seção  
Seção Técnica de Pós-graduação.

*À minha família e amigos,  
que me fortalecem todos os dias.*

## Agradecimentos

Aos meus pais João e Lúcia, que tanto fizeram por mim desde a minha criação, todo amor, conselhos e apoio imprescindíveis para determinar as minhas escolhas. Obrigada por depositarem confiança em mim quando eu mesma duvidei. As ligações diárias foram muito importantes para me manter firme até aqui, principalmente, considerando o contexto pandêmico somado a distância, vocês não me deixaram me sentir só. Obrigada irmã e cunhado pelos finais de semana agradáveis que passamos em família e pudemos colocar os assuntos em dia, muitas vezes rindo e comendo muito. Amo vocês de toda a minha alma, é a melhor família que eu poderia ter.

Ao meu orientador Aldo, que me convidou para fazer parte do LTBA e me oferecer a oportunidade de iniciar a vida científica e pela confiança em permitir que no mestrado eu mudasse a linha de pesquisa. Por comemorar com alegria as pequenas conquistas acompanhadas de um “Show, cientista!” e me lembrar sempre que a vida acadêmica não deve ser a única e que devo procurar ser feliz. Obrigada por todo o apoio e a amizade desses anos, sou muito grata. Ao meu coorientador, Guilherme, que foi fundamental para o término deste trabalho e planejamento de trabalhos futuros. Dividimos o laboratório e discussões extremamente enriquecedoras que me fizeram acreditar que o meio acadêmico pode ser acessível e harmonioso. Agradeço por ter um líder e parceiro tão responsável e preocupado com o meu desenvolvimento. Que em meio aos seus vários afazeres conseguiu orientar a mim e ao nosso grupo com muito zelo. Diante das turbulências eu já sabia que conversar com ele resolveria grande parte das minhas preocupações e que no final viria uma solução acompanhada de “pensa pelo lado positivo, já é terça-feira”. Obrigada pela amizade, por se importar com o bem estar de todos e dividir seu conhecimento. As amigas e companheiras do nosso pequeno grande grupo *Clean Water* Gabi e Mavi pelas contribuições nas reuniões, ajuda nos experimentos e canal livre para conversar, desabafar e rir muito. Dividir o laboratório com vocês é muito leve, gostoso e engraçado. Amo e agradeço por poder trabalhar com vocês, temos muito o que compartilhar no futuro.

Aos professores, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Maria Pires, Prof. Dr. Leandro, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Caroline Silva Danna, Prof. Dr. Flávio Camargo Cabrera, pela importante contribuição fornecida nos exames de qualificação e defesa deste trabalho. Tive uma verdadeira aula com todos! Aos professores, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Flora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Beatriz E. Goi, que ajudaram proporcionando medidas importantíssimas para o desenvolvimento deste trabalho. Ambas me acolheram e me ajudaram como puderam, mostrando o afeto não menos esperado como excelentes professoras

e facilitadoras desse caminho tão árduo. Meus agradecimentos também ao Prof<sup>o</sup> Dr. Miguel Jafellici e seu aluno Rodolfo Piazza do IQ-UNESP de Araraquara-SP, pela disponibilidade e auxílio para o preparo das minhas amostras.

Aos amigos e vizinhos do laboratório LLumes, Felipe, Prof<sup>o</sup> Sérgio, Leonardo e Renan que foram companhia diversas vezes nos almoços do Morumbi e proporcionaram conversas leves e engraçadas, além de empréstimo de equipamentos e troca de ideias sobre a pesquisa. Aos amigos do vôlei com quem divido até hoje momentos de descontração e o amor pelo esporte, tão importante para recarregar as minhas energias e me manter feliz. Alguns deles mais próximos, Miriam, Matheus, Mayk, Luiz Gui, Shino, Gabs, Fabs, Rafa, Henry, Kakozu, Yan e Enrico. Não irei citar todos, mas saibam que estão no meu coração.

Aos amigos de graduação que foram importantes para chegar até aqui. Ao grupinho das meninas Andressa, Aline e Kathia que tive o prazer de estudar na biblioteca e ir até o final da graduação juntas nos apoiando, desabafando e rindo muito em todos os lugares da UNESP, obrigada meus amores. Miriam, minha amiga que durante a graduação teve papel importante em me acalmar, incentivar, me fortalecer e dividir dias e madrugadas de estudo sem deixar de esquecer de me divertir. A rep do meu coração, Yan, Henry, Fernanda e Kakozu, que me acolheram pelo tempo que precisei até o início do mestrado e a quem sou grata pelos momentos de felicidade, cumplicidade, almoços e cantorias que tivemos. Aos amigos Gabs, Fabs, Matheus, Shirley, Pedro, Kátia Flávia (Zys), China, Ricardão e Murillo, turminha que se reunia pelo *discord* para jogar WW, beber, conversar e aliviar a angústia de não nos vermos pessoalmente, com conversas regadas a muita risada e nenhum propósito sério. Obrigada meus amores, a aldeia venceu.

A minha família de rep, Tamy, Shirley e Felipe cada qual com a sua importância. A Tamy, vulgo meu chuchu ou *my teacher*, por dividir sua visão de mundo menos preconceituoso, mais leve e me lembrando de me cobrar menos. Que me ensina inglês com leveza e alegria, me lembra de ser corajosa e comemorar pequenas conquistas. A Shirley, vulgo Shirly, que dividimos frustrações e alegrias da quarentena quase que diariamente por videoconferência. Fomos motivadas pela presença uma da outra na tela para estudar durante a pandemia e de vez em quando ver um filme e cozinhar para fugir de tudo isso, força, companheirismo e amor importantes para me fazer continuar. Felipe, vulgo Fe, que dividiu a casa, *marshmallows*, cantorias, conversas em inglês e seu conhecimento comigo, me ajudando até mesmo a entender meu trabalho. Pelos cafés, piadas internas e filmes que tivemos juntos sempre aliviando o peso da rotina. Sua paciência e afeto foram muito importantes. Obrigada, amo vocês.



Aos amigos de caminhada no parque do povo, Matheus e Henry, onde dividimos a rotina de exercícios, desejos de dias melhores e a preocupação pelo nosso bem estar mental.

Aos nenês, começando pelo o Henry, pela cumplicidade e disposição em dividir suas reflexões sobre o mundo, em cuidar de mim quando precisei e se fazer presente em meio a correria, foi lindo. E terminando pelo Yan, que foi meu vizinho, irmão, companheiro, cuidou de mim mais do que eu posso lembrar e sofreu comigo quando eu sofri. Permaneceu do meu lado dividindo histórias e momentos que nunca vou esquecer, um olhar e a gente se entende. Me lembrou de confiar na palavra dos Orixás que nos guiam, de confiar em mim e nas escolhas que eu estava fazendo. Ao meu bem, Matheus, que foi a pessoa que mais me deu segurança durante a pandemia e me lembrava de sempre optar pelo o que é confortável e seguro pra mim, me acalmando e se doando como podia para me visitar e me fazendo sentir segura. Me amparou, me ouviu horrores em muitos momentos de desespero total e nunca mentiu sobre o que ia me esperar pela frente no mestrado, sempre com muito sarcasmo regado de compaixão e carinho.

Ao meu irmão de coração, Luiz Felipe, que sempre aparece na hora e lugar certo para me ouvir, me amparar, me fazer rir e reconhecer o caminho percorrido. Mesmo distantes a conexão não muda, continuamos irmãos e torcendo um pelo outro. Obrigada, você estava certo, deu tudo certo. A minha fofinha, Fer, que eu não imagino mais não ter sua presença diária, me dando “bom dia”, pedindo desculpa pelos áudios em “nível *podcast*” para me motivar no início do dia que vai dar tudo certo ou que está dando tudo errado, mas vai melhorar. Que é minha maior fã e motivadora que não me permite me autocriticar tanto. Consegue transmitir carinho e abraços mesmo à distância e segue me enviando força e amor diariamente. Eu amo a gente.

Ao governo nenhum agradecimento, foi o causador do pior cenário possível, afetou psicologicamente e financeiramente pela frequente instabilidade política e de saúde pública, associado ao negacionismo científico em meio à pandemia. Apesar de tudo isso, este trabalho foi concluído. Agradeço a Umbanda, minha religião que tanto me amparou nos momentos de maior confusão e solidão que passei unindo as preocupações acadêmicas e de contexto pandêmico. A Oxalá a que tanto orei para encontrar minha calma e pedir proteção por aqueles que eu amo. A minha Orixá em que busquei força e perseverança diariamente, a quem sempre agradecei por não me sentir sozinha, obrigada minha mãe! Eparrey Oyá!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Meus agradecimentos finais aos outros colegas que aqui não citarei, ao POSMAT e a Capes.

*Never too late to write the best of your story, remember  
to breathe or else you're gonna be sorry...*

*Kroeger, C.; Tamposi, A. (2017)*

## RESUMO

### **Síntese *in situ* de nanopartículas de ouro em microfibras de celulose (CMF/AuNPs) e sua aplicação na descontaminação de águas**

Com o decorrer dos anos aumenta-se a dificuldade em assegurar que a água de nossas torneiras esteja livre de contaminantes emergentes, como pesticidas, medicamentos e corantes. Além de potencialmente tóxicos à saúde humana estes contaminantes são persistentes aos tratamentos convencionais. Tal fato, incita a necessidade de renovar os protocolos já estabelecidos nas estações de tratamento de água e também promover a reflexão da indústria através do apelo econômico e socioambiental. O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um novo material que tenha simples aplicação e eficiente ação descontaminante de águas residuais da indústria têxtil. Dessa forma, sintetizou-se dois materiais a partir da celulose obtida de bagaço de cana-de-açúcar: (i) microfibras de dialdeído celulose catiônica (cDAC) e (ii) microfibras de cDAC com nanopartículas de ouro ancoradas (CMF/AuNPs). A caracterização dos materiais incluiu técnicas de espectroscopia de absorção na região do ultravioleta e luz visível (UV-Vis), na região do infravermelho (FTIR) e de ressonância magnética nuclear (RMN), microscopias eletrônicas de varredura (MEV) e transmissão (MET), microscopia óptica (MO), calorimetria exploratória diferencial (DSC), análise termogravimétrica acoplada a espectroscopia de absorção na região do infravermelho (TGA-FTIR), análise química (grau de oxidação). A partir das fibras de cDAC, avaliou-se sua capacidade de adsorção para o corante aniônico Preto de Eriocromo T (EBT) utilizado em indústria têxtil. A investigação incluiu testes variando pH, tempo e concentração do corante EBT. Resultados mostraram alta eficiência de adsorção no pH 2 (92,6% de adsorção). A cinética seguindo o modelo de Elovich ( $R^2 = 0,92605$  para EBT a  $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) e o modelo não linear de Langmuir ( $R^2 = 0,94542$ ,  $q_m = 563,30 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) aplicado para variação da concentração, foram os modelos que melhor descreveram o comportamento de adsorção. Como uma alternativa para viabilizar o uso do material, sua reciclabilidade mostrou-se favorável até o quarto ciclo. Além da aplicação na adsorção do corante, as microfibras se mostraram como uma alternativa na redução de nanopartículas de ouro. Estes híbridos (CMF/AuNPs) foram testados quanto sua eficiência em fotodegradação de corantes. Testes utilizando luz branca e luz UV apresentaram, respectivamente, degradação de 35% e 55% do corante EBT ( $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), valores de três e oito vezes maior comparado com mesmo sistema na ausência do material. Desta forma, os materiais produzidos apresentam uma perspectiva promissora para se tornarem uma nova alternativa, limpa e socio-ambientalmente correta, para a descontaminação de efluentes contendo corantes.

**Palavras-chave:** Microfibras de Dialdeído Celulose Catiônica; Adsorção; Corantes; Nanopartículas de Ouro; Descontaminação de água.

## ABSTRACT

### ***In situ* synthesis of gold nanoparticles on cellulose microfibers (CMF/AuNPs) and its application in water decontamination**

Over the years, the difficulty of obtaining safe water from our taps, free of emergent contaminants such as pesticides, drugs, and dyes, has increased. In addition to being potentially toxic to human health, these contaminants are persistent to conventional water treatments. This fact incites the need to renew protocols currently established in the water treatment plants as well to promote a reflection by the industry about that through economic and socio-environmental appeal. This present work intended to develop new material with a simple application, and efficient action decontaminant of dye-contaminated wastewater. In this way, two materials were synthesized by the cellulose obtained from sugarcane bagasse: (i) cationic dialdehyde cellulose microfibers (cDAC) and (ii) gold nanoparticles reduced on cationic dialdehyde cellulose microfibers surface (CMF/AuNPs). The materials characterization included the UV-Vis absorption spectroscopy, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy, scanning electronic microscopy (SEM), transmission electronic microscopy (TEM), optic microscopy (OM), differential scanning calorimetry (DSC), thermogravimetric analysis coupled to Fourier transform infrared spectroscopy (TGA-FTIR) and, chemical analysis (oxidation degree). The cDAC was evaluated about the adsorption capacity of the anionic dye Eriochrome Black T (EBT) used in the textile industry. The results showed adsorption high-efficiency in pH 2 (92.6% of adsorption). The kinetic followed the Elovich model ( $R^2 = 0.92605$  for  $EBT = 100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) and non-linear Langmuir model ( $R^2 = 0.94542$ ,  $q_m = 563.30 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) applied to variation of time and EBT concentration, respectively, showed to be the most suitable models to describe the adsorption behavior. As an alternative for enabling the use of this material, its recyclability showed favorable until the fourth cycle. Besides application in the dye adsorption, the microfibers were demonstrated as a new pathway to gold nanoparticles reduction. These hybrids (CMF/AuNPs) were evaluated on dyes' photodegradation effect. Tests using white-light and UV-light showed dye degradation over 35% and 55%, three and eight folds of the same systems without CMF/AuNPs, respectively. In this sense, this work presents a promisor material to become a new, clean, and environmentally friendly alternative for effluent decontamination-containing dyes.

**Keywords:** Dialdehyde Microfibers Cationic Cellulose; Adsorption; Dyes; Gold Nanoparticles; Water decontamination.

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Representação genérica para uma molécula contendo grupo azo (Autor).....	29
<b>Figura 2.</b> Representação estrutural da molécula de Preto de Eriocromo T (Autor). ....	31
<b>Figura 3.</b> (A) Imagem da estrutura e quitosana e (B) da carboximetilcelulose (Adaptado de LAM, B. et al. [153])......	38
<b>Figura 4.</b> Representação da unidade básica da estrutura da Celulose (Autor). ....	40
<b>Figura 5.</b> Representação esquemática das modificações químicas da nanocelulose (Adaptado de LIN, N. et al. [186]) .....	42
<b>Figura 6.</b> Representação do mecanismo de fotodegradação via degradação indireta do corante (Adaptado de SAEED, M. et al. [195]). ....	45
<b>Figura 7.</b> Representação esquemática do mecanismo fotocatalítico de degradação de corante sobre AuNP/g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> sob luz branca (CHENG, N. et al. [198])......	46
<b>Figura 8.</b> Representação esquemática do sistema para a etapa de deslignificação do bagaço de cana-de-açúcar e obtenção da celulose (Autor).....	51
<b>Figura 9.</b> Representação esquemática do sistema para a etapa de branqueamento da celulose (Autor). ....	52
<b>Figura 10.</b> Representação esquemática do sistema para a oxidação da celulose e obtenção da dialdeído celulose (DAC) (Autor). ....	53
<b>Figura 11.</b> Representação esquemática do sistema para a cationização da celulose e obtenção da dialdeído celulose catiônica (cDAC) (Autor). ....	54
<b>Figura 12.</b> Representação esquemática do sistema para a síntese in situ de CMF/AuNPs (Autor). ....	55
<b>Figura 13.</b> Imagens de microscopia óptica das fibras de bagaço de cana-de-açúcar após etapa de secagem e micronização na lente objetiva de 4x (A, B) e 10x (C, D) (Autor).....	68
<b>Figura 14.</b> Representação da estrutura lignocelulósica presente nas fibras vegetais (Adaptado de BOUDET, A. M. et al. [212])......	69
<b>Figura 15.</b> Imagens de microscopia óptica das fibras de celulose branqueada após os processos de deslignificação e branqueamento na lente objetiva de 4x (A); 10x (B); e de 20x (C, D) (Autor). ....	70
<b>Figura 16.</b> Imagens de microscopia óptica das microfibras de dialdeído celulose (DAC) na lente objetiva de 4x (A); 10x (B); e 20x (C, D) (Autor).....	72

<b>Figura 17.</b> Imagens de microscopia óptica das microfibras de dialdeído celulose catiônica (cDAC) na lente objetiva de 4x(A); 10x (B); e 20x (C, D) (Autor).....	73
<b>Figura 18.</b> Representação esquemática da formação de fibrilas a partir da celulose (Autor). 75	
<b>Figura 19.</b> Imagens de microscopia eletrônica de varredura em aumento de 500x das microfibras de celulose branqueada (A); DAC (B); e cDAC (C). Em (D) uma imagem em tamanho real das amostras de celulose branqueada (1,8% m/m), DAC (0,1% m/m) e cDAC (0,1% m/m) expostas em cubetas (Autor). .....	75
<b>Figura 20.</b> Imagens de microscopia eletrônica de varredura das fibras de celulose branqueada em aumento de 100X (A) e 15.000X (B) (Autor). .....	77
<b>Figura 21.</b> Imagens de microscopia eletrônica de varredura das microfibras DAC em aumento de 100X (A) e 15.000X (B) (Autor). .....	77
<b>Figura 22.</b> Imagens de microscopia eletrônica de varredura das microfibras cDAC em aumento de 100X (A) e 15.000X (B) (Autor). .....	78
<b>Figura 23.</b> Curva de calorimetria exploratória diferencial (DSC) para celulose branqueada, DAC e cDAC (Autor).....	81
<b>Figura 24.</b> (A) Espectros FTIR das amostras de bagaço de cana de açúcar, celulose branqueada, DAC e cDAC e (B) imagem da representação das moléculas de celulose, DAC e cDAC (Autor). .....	83
<b>Figura 25.</b> Espectros de FTIR para as amostras de bagaço de cana de açúcar, celulose branqueada, DAC e cDAC no intervalo de 600-1800 $\text{cm}^{-1}$ (Autor).....	85
<b>Figura 26.</b> (A) Espectros FTIR para as amostras de cDAC, cDAC/EBT e EBT e (B) as respectivas representações de suas respectivas estruturas (Autor).....	87
<b>Figura 27.</b> Espectros FTIR para as amostras de cDAC e cDAC/EBT no intervalo de 600-1700 $\text{cm}^{-1}$ (Autor). .....	88
<b>Figura 28.</b> Espectros de ressonância magnética nuclear de celulose branqueada, DAC e cDAC (Autor). .....	90
<b>Figura 29.</b> (A) Espectros no UV-Vis para o corante Preto de Eriocromo T (EBT) em concentração de 5,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ nos diferentes pHs 2, 4, 5*, 6, 8 e 10 e a (B) imagem das amostras analisadas (Autor).....	92
<b>Figura 30.</b> Representação dos níveis de energia e as possíveis transições eletrônicas para o corante EBT nos pHs 2, 4, 6, 8 e 10 (Adaptado de MIESSLER, G. L. et al. [94] ). .....	94
<b>Figura 31.</b> (A) Gráfico da capacidade de adsorção no equilíbrio ( $q_e$ ) do corante EBT a 5,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 7,5 $\text{mg}$ da suspensão de cDAC, volume final de 15 mL em função dos pHs 2, 4, 6, 8 e 10 e	

suas respectivas eficiências de remoção. (B) Imagem das amostras analisadas em todos pHs e (C) o antes e depois da adsorção em pH 2 (Autor).....	95
<b>Figura 32.</b> Representação das moléculas de EBT entre pH 2 e 10 em meio aquoso: suas respectivas cores observadas e destaque de prováveis contribuições eletrônicas para a absorção de luz visível (Autor).....	96
<b>Figura 33.</b> Capacidade de adsorção para interação cDAC/EBT em função do tempo ( $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; pH 2; volume final 15 mL; 7,5 mg de suspensão de cDAC, de 0 – 90 min) e modelos de Elovich, pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem (Autor). ....	99
<b>Figura 34.</b> Gráfico de eficiência de remoção (%) em função da concentração inicial de corante EBT (7,5 mg de suspensão de cDAC; pH 2; 30 min) (Autor). ....	101
<b>Figura 35.</b> Capacidade de adsorção no equilíbrio em função da concentração de equilíbrio do corante EBT e a tendência dos modelos não lineares de Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich (Autor). ....	102
<b>Figura 36.</b> Representação dos possíveis sítios ativos nas microfibras cDAC em pH 2 (Autor). ....	104
<b>Figura 37.</b> Imagens das amostras analisadas nas concentrações abaixo de $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de EBT (A) sem as microfibras (B), com as microfibras (7,5 mg de suspensão de cDAC; pH 2; 20 min) durante o processo de adsorção e (C) após o período de adsorção e precipitação das fibras (Autor). ....	106
<b>Figura 38.</b> Imagem das soluções o corante EBT a $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ antes e depois da adição das microfibras de cDAC (7,5 mg) (Autor). ....	107
<b>Figura 39.</b> Capacidade de adsorção do corante EBT em função da variação da força iônica dos sais NaCl, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ e NaCl/ $\text{Na}_2\text{SO}_4$ (EBT a $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; microfibras a 7,5 mg de suspensão de cDAC; pH 2; 30 min). * significa diferença significativa entre as médias testadas (Autor)..	109
<b>Figura 40.</b> Representação da dimerização das moléculas de EBT na presença de NaCl (Autor). ....	110
<b>Figura 41.</b> Eficiência de dessorção (%) em solução de NaOH ( $0,5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) em função do tempo (Autor). ....	112
<b>Figura 42.</b> Eficiência de remoção (%) do corante EBT pelas microfibras recicladas por 5 ciclo de adsorção/dessorção (Autor). ....	114
<b>Figura 43.</b> Curva de TGA e DTG para as amostras de (A) cDAC, (B) EBT e (C) cDAC/EBT. ....	115

<b>Figura 44.</b> Espectro 3D de FTIR para os gases liberados a partir das amostras de (A) EBT e (B) cDAC/EBT. Espectros FTIR para os gases liberados a partir das amostras de EBT e cDAC/EBT (C) (Autor).....	117
<b>Figura 46.</b> Espectros de absorção no UV-Vis do coloide AuNPs e da suspensão de CMF/AuNPs (Autor).....	120
<b>Figura 47.</b> Imagens de Microscopia Eletrônica de Transmissão das microfibras de CMF/AuNP mostrando (A) nanopartículas isoladas e (B) em diferentes formatos, (C) da fibra isolada e (D) uma porção de fibras menores depositadas no grid como um casting (Autor).....	121
<b>Figura 48.</b> Imagem do sistema para teste de fotodegradação (A) visão de frente ao sistema, (B) ao lado e (C) acima (Autor).....	123
<b>Figura 49.</b> Razão entre a concentração final e inicial do corante EBT em função do tempo de irradiação sob luz branca (7,5 mg de suspensão de CMF/AuNPs; pH 1,8; volume final 15 mL) (Autor).....	124
<b>Figura 50.</b> Porcentagem de eficiência de degradação em função do tempo de irradiação sob luz branca para o corante EBT (7,5 mg de suspensão de CMF/AuNPs; pH 1,8; volume final 15 mL) (Autor).....	125
<b>Figura 51.</b> Razão entre a concentração final e inicial do corante EBT em função do tempo de irradiação sob luz UV (7,5 mg de suspensão de CMF/AuNP; pH 1,8; volume final 15 mL) (Autor).....	126
<b>Figura 52.</b> Eficiência de degradação (%) em função do tempo de irradiação sob luz UV para o corante EBT (7,5 mg de suspensão de CMF/AuNPs; pH 1,8; volume final 15 mL) (Autor).	127



## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1.</b> Resultados da análise química das microfibras DAC e cDAC (Autor).....	79
<b>Tabela 2.</b> Atribuições e valores das bandas típicas dos espectros de FTIR apresentados na Figura 24 e Figura 25(Autor).....	85
<b>Tabela 3.</b> Atribuições e valores das bandas típicas dos espectros de FTIR baseadas na dialdeído celulose catiônica (cDAC) (Autor).....	88
<b>Tabela 4.</b> Atribuições e valores dos típicos deslocamentos químicos dos espectros de RMN (Autor).....	90
<b>Tabela 5.</b> Observações dos espectros de absorção na região do UV-Vis para o EBT em diferentes pHs (Autor).....	93
<b>Tabela 6.</b> Parâmetros dos modelos de Elovich, pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem para a adsorção do EBT (Autor).....	100
<b>Tabela 7.</b> Parâmetros dos modelos não lineares de Freundlich, Langmuir e Dubinin-Radushkevich para adsorção do corante EBT (Autor).....	103
<b>Tabela 8.</b> Comparação da capacidade máxima de adsorção ( $q_m$ ) do corante EBT em diversos adsorventes com comportamento de Langmuir não linear (Autor).....	108
<b>Tabela 9.</b> Atribuições e valores dos típicos deslocamentos químicos dos espectros de FTIR para os gases liberados a partir das amostras de EBT e cDAC/EBT (Autor).....	117

## Lista de Siglas

**ABIT** – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção.

**ANA** – Agência Nacional de Águas.

**AOPs** – Processos de oxidação avançados (do inglês *advanced oxidation processes*).

**AuNPs** – Nanopartículas de Ouro.

**cDAC** – Dialdeído Celulose Catiônica.

**cDAC/EBT** – Interação entre Dialdeído Celulose Catiônica e o corante Preto de Eriocromo T.

**CMF** – Microfibras de Celulose.

**CMF/AuNPs** – Microfibras de Celulose funcionalizadas com Nanopartículas de Ouro ancoradas.

**CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

**DAC** – Dialdeído Celulose.

**DNA** – Ácido Desoxirribonucleico (do inglês *Deoxyribonucleic acid*).

**DSC** – Calorimetria Exploratória Diferencial (do inglês *Differential Scanning Calorimetry*).

**DTG** – Curva da Derivada Termogravimétrica

**EBT** – Preto de Eriocromo T (do inglês *Eriochrome Black T*).

**EDTA** – Ácido Etilenodiamino Tetra-acético (do inglês *Ethylene Diamine Tetraacetic Acid*).

**FCT/UNESP** – Faculdade de Ciências e Tecnologia/Universidade Estadual Paulista.

**FTIR** – Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (do inglês *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*).

**GO** – Grau de Oxidação.

**GT** – Girard T.

**INMETRO** – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

**IQSC/USP** – Instituto de Química de São Carlos/Universidade de São Paulo.

**IUPAC** – União Internacional da Química Pura e Aplicada (do inglês *International Union of Pure and Applied Chemistry*).

**LaCOM** – Laboratório de Catálise Organometálica e Materiais.

**LTBA** – Laboratório de Tecnologia de Borracha e Aplicações.

**MET** – Microscopia Eletrônica de Transmissão.

**MEV** – Microscopia Eletrônica de Varredura.

**ONU** – Organização das Nações Unidas.

**RMN** – Ressonância Magnética Nuclear

**TG** – Curva Termogravimétrica

**TGA** – Análise termogravimétrica

**UFSCar** – Universidade Federal de São Carlos.

**UNICEF** – Fundo das Nações Unidas para a Infância.

**UV** – Ultravioleta.

**UV-Vis** – Espectrofotometria de absorção na região do Ultravioleta e Visível.

# Sumário

1. Introdução.....	20
2. Revisão da Literatura.....	22
2.1. Água e seus principais usos.....	22
2.2. A indústria como agente de contaminação.....	23
2.2.1. A indústria têxtil.....	25
2.2.2. Corantes.....	28
2.2.3. O Preto de Eriocromo T (EBT).....	30
2.3. Meios de descontaminação de águas.....	33
2.3.1. Descontaminação por adsorção.....	36
2.3.2. Utilização de biomateriais como adsorventes.....	38
2.3.3. Celulose.....	39
2.3.4. Funcionalização da Celulose como potencial biossorvente.....	41
2.3.5. Fotodegradação aplicada à descontaminação.....	44
3. Objetivos.....	48
4. Experimental.....	49
4.1. Reagentes e soluções.....	49
4.2. Obtenção das microfibras celulose e suas funcionalizações.....	50
4.2.1. Micronização do bagaço de cana-de-açúcar.....	50
4.2.2. Deslignificação do bagaço de cana-de-açúcar.....	51
4.2.3. Branqueamento da Celulose.....	52
4.2.4. Obtenção da DAC.....	52
4.2.5. Obtenção da cDAC.....	54
4.2.6. Reação <i>in situ</i> para obtenção da CMF/AuNP.....	54
4.3. Caracterização.....	55
4.3.1. Microscopia Óptica (MO).....	55
4.3.2. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	56
4.3.3. Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET).....	56
4.3.4. Caracterizações Químicas das CMF (GO e Rendimento).....	56
4.3.5. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).....	58
4.3.6. Espectroscopia vibracional de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).....	58
4.3.7. Ressonância Magnética Nuclear (RMN).....	58
4.4. Análise Termogravimétrica acoplada a FTIR.....	59
4.5. Comportamento espectroscópico do corante.....	59
4.5. Capacidade de adsorção.....	60
4.5.1. Teste de adsorção variando pH.....	60

4.5.2. Curva de calibração .....	60
4.5.3. Teste cinético de adsorção.....	61
4.5.4. Teste de adsorção variando concentração.....	62
4.5.5. Teste de adsorção variando a força iônica.....	63
4.5.6. Teste de reciclabilidade das CMF .....	64
4.5.6. Teste de fotodegradação do EBT.....	66
5. Resultados e discussão .....	68
5.1. Caracterização das Microfibras de Celulose (CMF) .....	68
5.1.1. Microscopia Óptica (MO) .....	68
5.1.2. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	74
5.1.3. Caracterização Química das CFM (GO e rendimento).....	79
5.1.4. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).....	80
5.1.5. Espectroscopia Vibracional de Absorção na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) .....	83
5.1.4. Ressonância Magnética Nuclear (RMN).....	89
5.2. Testes de adsorção .....	91
5.2.1. Comportamento espectroscópico do corante .....	91
5.2.2. Teste de adsorção em função do pH.....	95
5.2.3. Teste de adsorção em função do Tempo .....	98
5.2.4. Teste de adsorção em função da concentração .....	101
5.2.5. Teste de adsorção variando a força iônica.....	109
5.2.6. Teste de reciclabilidade das CMF .....	111
5.2.7. Mecanismo de adsorção via análise termogravimétrica acoplada ao FTIR.....	115
5.3. Caracterização das Microfibras de Celulose funcionalizadas com Nanopartículas de Ouro (CMF/AuNPs) .....	120
5.3.1. Espectroscopia na região do ultravioleta e luz visível (UV-Vis).....	120
5.3.2. Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET).....	121
5.3.2. Teste de fotodegradação .....	123
6. Conclusões.....	129
7. Considerações Finais .....	131
8. Referências .....	133

# 1. Introdução

A contaminação dos recursos hídricos é um problema que acompanha o desenvolvimento das civilizações ao longo da história e, conseqüentemente, aumenta a necessidade de se investir constantemente em métodos de tratamento e descontaminação para o uso da água de forma mais segura e barata. Recentes estudos têm apresentado técnicas alternativas aos procedimentos atualmente utilizados nas estações de tratamento de água [1]. Nesse sentido, materiais baseados em celulose têm se mostrado promissores, com diversas propriedades como ação bactericida [2], propriedades ópticas [3], entre outras. Destacam-se trabalhos utilizando nanofibras de celulose como um biossorvente de substâncias tóxicas [4], [5]. A possibilidade de funcionalizá-las e variar a sua eficiência de acordo com o alvo de descontaminação é outro ponto positivo a ser observado nestes materiais, proporcionando inúmeras aplicações [1,6].

Este trabalho faz parte de uma nova linha de pesquisa ligada ao Laboratório coordenado pelo Prof. Dr. Aldo E. Job, que busca utilizar materiais oriundos de resíduos agroindustriais no processo de descontaminação de águas. Ao longo dos anos, o grupo tem trabalhado fortemente no desenvolvimento de novos materiais utilizando resíduos como aditivo e/ou carga na composição de novos compósitos, redirecionando estes materiais para aplicações mais “nobres” do que sua queima e/ou direcionamento para aterro. Dentre estes trabalhos estão o uso de resíduo proveniente da indústria de celulose [7–9], da indústria sucroalcooleira [10–12], da indústria de curtimento de couro [13–15] e outros [16,17]. A síntese e utilização de nanopartículas em materiais também já é bem difundida pelo grupo, que publicou trabalhos com a utilização do látex como agente redutor de nanopartículas [18,19], membranas de látex com a ancoragem de nanopartículas visando aplicação médica [20] e eletrônica [21], entre outros [22].

Desta forma, esta nova linha de pesquisa pretende produzir novos materiais a partir da utilização de resíduos e testá-los em diferentes condições de adsorção de contaminantes em meio aquoso. Para este trabalho, microfibras de celulose foram produzidas a partir de bagaço de cana-de-açúcar e funcionalizadas por meio de rota química em fibras de dialdeído celulose catiônica (cDAC). Estas microfibras foram utilizadas para a redução *in situ* de ouro, sem a utilização de agentes redutores comumente utilizados, obtendo um material híbrido de microfibras de celulose decoradas com nanopartículas de ouro (CMF/AuNPs). A capacidade na adsorção do corante Preto de Eriocromo T e sua eficiência como catalisador da fotodegradação deste contaminante também foram avaliadas, demonstrando ser um material alternativo para o tratamento de águas contaminadas pelo corante estudado.

## 6. Conclusões

No presente trabalho as microfibras de celulose catiônica (cDAC) obtidas a partir do bagaço de cana-de-açúcar, um resíduo agroindustrial, se mostrou um bioissorvente eficaz para a remoção do corante Preto de Eriocromo T (EBT) de soluções aquosas. Observou-se que a adsorção é substancialmente influenciada pelo pH da solução com remoção máxima de 92,6% em pH ótimo igual a 2,0. Modelos cinéticos não lineares foram estudados para entender o comportamento dos dados experimentais encontrando como mais adequado o modelo de Elovich, indicando a quimissorção como mecanismo de interação entre cDAC/EBT em superfície heterogênea. O mecanismo de adsorção para a variação de concentração do corante EBT apresentou como melhor ajuste a isoterma de Langmuir que define a formação de monocamadas, cuja capacidade máxima de adsorção obtida foi de  $563,30 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , tornando as microfibras cDAC aptas para a aplicação em remoção de corante aniônico. Seguindo os conceitos de economia circular e química sustentável, este trabalho contribuiu para disponibilizar um material alternativo aos tratamentos convencionais de água, com baixo custo, simples aplicação e de reciclabilidade de até 4 ciclos sem diminuir consideravelmente sua eficiência.

Partindo da celulose modificada, proposta neste trabalho, foi possível obter com sucesso um híbrido de CMF/AuNPs por meio da redução *in situ* de nanopartículas de ouro com tamanhos em torno de 30 nm na superfície das microfibras, sem a utilização de agentes redutores e/ou dispersantes que são comumente utilizados, podendo categorizá-la como síntese verde. A partir das CMF/AuNPs avaliou-se o seu efeito fotocatalítico na degradação do corante EBT ( $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) cuja eficiência de degradação sob luz branca e UV foi, respectivamente, de 35% e 55%, três e oito vezes maior do que quando na ausência de CMF/AuNPs.



Assim, com aplicação da CMF é garantido uma remoção eficiente do corante EBT nas condições estudadas. O híbrido de CMF/AuNPs possibilitou a fotodegradação do corante, este trabalho de mestrado lança alternativas sustentáveis para a remoção/degradação de corantes presentes em meio aquoso.

## 7. Considerações Finais

Parte dos resultados apresentados no Exame Geral de Defesa de Mestrado foram apresentados no 1ª Reunião Técnica Virtual do POSMAT, por meio de painel intitulado “Microfibras de Celulose Catiônica como novo adsorvente para o Preto de Eriocromo T” (07 de dezembro de 2020, em plataforma virtual).

Foram apresentados resultados no XIX Brazil MRS Meeting – SBPMat, por meio de apresentação em painel intitulada “Modified cellulose microfiber for textile dye adsorption: A new approach for wastewater treatment” (entre os dias 30 de agosto e 03 de setembro de 2021, em plataforma virtual).

Foi divulgado o trabalho realizado pelo grupo de pesquisa no III Simpósio de Pesquisa em Química na FCT/UNESP a apresentação intitulada “Projetos do Grupo de Pesquisa Clean Water (Água Limpa)” (entre dia 21 e 24 de setembro de 2021, via plataforma virtual).

Em colaboração com o grupo também foram apresentados os trabalhos:

“Desenvolvimento de concreto permeável modificados com nanopartículas de ZnO aplicados na fotodegradação e tratamento de efluentes industriais” da Doutoranda Gabrieli Roefero Tolosa e “Estudo da remoção do herbicida glifosato de meio aquosos utilizando microfibras de celulose catiônica” da aluna de Iniciação Científica Maria Vitória Guimarães Leal apresentados no III Simpósio de Pesquisa em Química na FCT/UNESP - campus de Presidente Prudente-SP entre dia 21 e 24 de setembro de 2021, via plataforma virtual.

Apresentação do trabalho intitulado “Estudo do efeito do pH na remoção do herbicida glifosato de meio aquoso utilizando microfibras de celulose catiônica” de autoria de Maria Vitoria Guimaraes Leal submetido e apresentado no evento XXXIII Congresso de Iniciação Científica da Unesp - FCT/Presidente Prudente, realizado entre os dias 03 e 05 de novembro, via plataforma virtual.

Atualmente o primeiro artigo científico referente a este trabalho foi submetido a publicação em jornal indexado internacional conforme referência abaixo.

GOMES, A. S.; GUIMARÃES, M. V. L.; TOLOSA, G. R.; CABRERA, F. C.; DOGNANI, G.; JOB, A.E. Cellulose-based adsorbent for Eriochrome Black T removal from wastewater. (*submetido*)

Outros trabalhos desenvolvidos em parceria foram publicados durante o período deste mestrado, sendo as referências abaixo:

MUTTI, A.M.G.; SANTOS, J.A.O.; CAVALCANTE, D.G.S.M.; GOMES, A.S.; JOB, A.E.; PIRES, A.M.; LIMA, S.A.M. Decorated silica particles with terbium complexes as luminescent biomarker for cell imaging. *Optical Materials*, v. 90, p. 57-63, 2019.

SANTOS, N.M.; GOMES, A.S.; CAVALCANTE, D.A.G.S.M.; SANTOS, L.F.; TEIXEIRA, S.R.; CABRERA, F.C.; JOB, A.E. Green synthesis of colloidal gold nanoparticles using latex from *Hevea brasiliensis* and evaluation of their in vitro cytotoxicity and genotoxicity. *IET Nanobiotechnology*, v. 13, p. 307-315, 2019.

ARAUJO, C.S.; CAVALCANTE, D.G.S.M.; BRAGA, N.O.; GOMES, A.S.; YOSHIHARA, E.; KERCHE, L.E.; JOB, A.E. In vitro assessment of cytotoxicity and oxidative stress parameters of natural rubber latex membranes stabilized with different concentrations of ammonia in CHO-K1 cells. *Colloquim vitae*, v. 11, p. 32-40, 2019.

MUTTI, A.M.G.; SANTOS, J.A.O.; CAVALCANTE, D.G.S.M.; GOMES, A.S.; JOB, A.E.; TEIXEIRA, G.R.; PIRES, A.M.; LIMA, S.A.M. Design of a red-emitter hybrid material for bioimaging: europium complexes grafted on silica particles. *Materials Today Chemistry*, v. 14, p. 100204, 2019.

## 8. Referências

- [1] D. Wang, “A critical review of cellulose-based nanomaterials for water purification in industrial processes,” *Cellulose*, vol. 26, no. 2, pp. 687–701, 2019.
- [2] C. K. Kang *et al.*, “Antibacterial cotton fibers treated with silver nanoparticles and quaternary ammonium salts,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 151, pp. 1012–1018, 2016.
- [3] A. Sharma, M. Thakur, M. Bhattacharya, T. Mandal, and S. Goswami, “Commercial application of cellulose nano-composites – A review,” *Biotechnol. Reports*, vol. 21, no. 2018, p. e00316, 2019.
- [4] P. R. Sharma *et al.*, “Nanocellulose from Spinifex as an Effective Adsorbent to Remove Cadmium(II) from Water,” *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 6, no. 3, pp. 3279–3290, 2018.
- [5] P. Liu, P. F. Borrell, M. Božič, V. Kokol, K. Oksman, and A. P. Mathew, “Nanocelluloses and their phosphorylated derivatives for selective adsorption of Ag<sup>+</sup>, Cu<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> from industrial effluents,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 294, pp. 177–185, 2015.
- [6] S. F. Soares, T. Fernandes, T. Trindade, and A. L. Daniel-da-Silva, “Recent advances on magnetic biosorbents and their applications for water treatment,” *Environ. Chem. Lett.*, vol. 18, no. 1, pp. 151–164, 2020.
- [7] N. L. Bittencourt *et al.*, “Natural rubber composites reinforced with Dregs residue from cellulose Kraft industry,” *Prog. Rubber, Plast. Recycl. Technol.*, vol. 36, no. 2, pp. 102–114, 2020.
- [8] G. B. Bacarin *et al.*, “Natural rubber composites with Grits waste from cellulose industry,” *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, vol. 22, no. 4, pp. 1126–1139, 2019.
- [9] G. R. Tolosa, S. V. M. Souza, G. B. Bacarin, F. C. Cabrera, and A. E. Job, “Reuse of lime mud waste as filler in gypsum composites,” *Proc. Inst. Civ. Eng. - Waste Resour. Manag.*, pp. 1–21, 2020.
- [10] X. Huang, G. Dognani, P. Hadi, M. Yang, A. E. Job, and B. S. Hsiao, “Cationic Dialdehyde Nanocellulose from Sugarcane Bagasse for Efficient Chromium(VI) Removal,” *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 8, no. 12, pp. 4734–4744, 2020.
- [11] F. F. G. de Paiva *et al.*, “Sugarcane bagasse fiber as semi-reinforcement filler in natural rubber composite sandals,” *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, vol. 21, no. 2, pp. 326–335, 2019.
- [12] G. B. Torres, G. Dognani, F. C. Cabrera, E. Prado, and S. R. Teixeira, “Sustainable blends of LDPE / NR and sugarcane bagasse ashes with PE-g-MA thermomechanical relationships Misturas sosteníveis de PEBD / BN e cinzas de bagaço da cana de açúcar Com PE-g- AM relações termomecânicas,” *Rev. Mater.*, vol. 24, no. 3, 2019.
- [13] M. R. Ruiz, P. L. S. Cabreira, E. R. Budemberg, E. A. P. Dos Reis, F. S. Bellucci, and A. E. Job, “Chemical evaluation of composites natural rubber/carbon black/leather tannery projected

- to antistatic flooring,” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 133, no. 27, pp. 1–10, 2016.
- [14] D. G. S. M. Cavalcante *et al.*, “Composites Produced from Natural Rubber and Chrome-Tanned Leather Wastes: Evaluation of their In Vitro Toxicological Effects for Application in Footwear and Textile Industries,” *J. Polym. Environ.*, vol. 26, no. 3, pp. 980–988, 2018.
- [15] N. G. Balarim, D. G. S. M. Cavalcante, A. S. Gomes, F. C. Cabrera, and A. E. Job, “Dechroming: An alternative treatment for leather shavings, to obtain a biocompatible collagen without environmental impacts,” *Mater. Sci. Forum*, vol. 930 MSF, pp. 535–540, 2018.
- [16] M. J. Silva *et al.*, “Study of thermal and mechanical properties of a biocomposite based on natural rubber and 45S5 Bioglass® particles,” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 131, no. 1, pp. 735–742, 2018.
- [17] F. de M. Borges *et al.*, “Substantially increased electrical conductivity of polyaniline through blending with babassu oil in the presence of dichloromaleic anhydride,” *Mater. Chem. Phys.*, vol. 237, no. July, 2019.
- [18] F. C. Cabrera *et al.*, “Green synthesis of gold nanoparticles with self-sustained natural rubber membranes,” *J. Nanomater.*, vol. 2013, 2013.
- [19] N. M. Santos *et al.*, “Green synthesis of colloidal gold nanoparticles using latex from *Hevea brasiliensis* and evaluation of their in vitro cytotoxicity and genotoxicity,” *IET Nanobiotechnology*, vol. 13, no. 3, pp. 307–315, 2019.
- [20] C. S. Danna *et al.*, “Silver Nanoparticles Embedded in Natural Rubber Films: Synthesis, Characterization, and Evaluation of in Vitro Toxicity,” *J. Nanomater.*, vol. 2016, 2016.
- [21] F. C. Cabrera, A. F. A. A. Melo, J. C. P. De Souza, A. E. Job, and F. N. Crespilho, “A flexible lab-on-a-chip for the synthesis and magnetic separation of magnetite decorated with gold nanoparticles,” *Lab Chip*, vol. 15, no. 8, pp. 1835–1841, 2015.
- [22] F. C. Bellucci, Felipe Silva; Budemberg, Eduardo Roque; Deuber Lincon Agostini; Cabrera, M. A. L. Nobre, M. Rodríguez-Pérez, L. Salmazo, and R. J. dos Santos, “Mechanical Properties of Vulcanized Natural Rubber Nanocomposites Containing Functional Ceramic Nanoparticles,” *Sci. Adv. Mater.*, vol. 5, no. 6, pp. 637–646, 2013.
- [23] Agência Nacional de Águas (ANA), “Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil, Informe Anual, 2018.,” 2018.
- [24] Unicef.org, “1 em cada 3 pessoas no mundo não tem acesso a água potável, dizem o UNICEF e a OMS.,” 2019. [Online]. Available: <https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/1-em-cada-3-pessoas-no-mundo-nao-tem-acesso-agua-potavel-dizem-unicef-oms>. [Accessed: 04-Nov-2020].
- [25] Agência Nacional de Águas (ANA), “Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – 17 Objetivos para transformar o nosso mundo.,” 2017. [Online]. Available: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNmRkN2JjMzctMzU2Mi00ODBmLTk3NDgtODFm>

- MWQ4OWViOGUwIiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItNDY5YS04YjRkLTY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9. [Accessed: 01-Nov-2020].
- [26] Ibge.gov.br., “Tabela 6579: População residente estimada.” 2017. [Online]. Available: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6579#resultado>. [Accessed: 03-Nov-2020].
- [27] U. Nations, “Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 2010.,” in *General Assembly*, 2010, p. 3.
- [28] United Nations of Water, “Water, Food and Energy.” [Online]. Available: <https://www.unwater.org/water-facts/water-food-and-energy/>.
- [29] S. and C. O. United Nations Educational, “The United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change,” 2020.
- [30] J. W. B. Lopes and J. C. de Araújo, “Simplified method for the assessment of siltation in semiarid reservoirs using satellite imagery,” *Water (Switzerland)*, vol. 11, no. 5, pp. 1–18, 2019.
- [31] C. J. Vörösmarty, P. Green, J. Salisbury, and R. B. Lammers, “Global Water Resources : Vulnerability from Climate Change and Population Growth Contemporary Population Relative to Demand per Discharge,” *Science (80-. )*, vol. 289, no. 5477, pp. 284–288, 2000.
- [32] B. Ray and R. Shaw, “Implications of Water Insecurity and Future Prospects in Asian Cities,” 2019.
- [33] S. Rodrigues, S. C. Antunes, B. Nunes, and A. T. Correia, “Histopathological effects of the antibiotic erythromycin on the freshwater fish species *Oncorhynchus mykiss*,” *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 181, no. May, pp. 1–10, 2019.
- [34] F. Turan, M. Eken, G. Ozyilmaz, S. Karan, and H. Uluca, “Heavy metal bioaccumulation, oxidative stress and genotoxicity in African catfish *Clarias gariepinus* from Orontes river,” *Ecotoxicology*, vol. 29, no. 9, pp. 1522–1537, 2020.
- [35] F. A. Affandi and M. Y. Ishak, “Impacts of suspended sediment and metal pollution from mining activities on riverine fish population—a review,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 26, no. 17, pp. 16939–16951, 2019.
- [36] Q. F. Zhang, Y. W. Li, Z. H. Liu, and Q. L. Chen, “Reproductive toxicity of inorganic mercury exposure in adult zebrafish: Histological damage, oxidative stress, and alterations of sex hormone and gene expression in the hypothalamic-pituitary-gonadal axis,” *Aquat. Toxicol.*, vol. 177, pp. 417–424, 2016.
- [37] B. Clasen, V. L. Loro, C. R. Murussi, T. L. Tiecher, B. Moraes, and R. Zanella, “Bioaccumulation and oxidative stress caused by pesticides in *Cyprinus carpio* reared in a rice-fish system,” *Sci. Total Environ.*, vol. 626, pp. 737–743, 2018.
- [38] J. W. Lee *et al.*, “Toxic effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune responses in fish: A review,” *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, vol.

- 68, no. March, pp. 101–108, 2019.
- [39] M. S. Sanjay, D. Sudarsanam, G. A. Raj, and K. Baskar, “Isolation and identification of chromium reducing bacteria from tannery effluent,” *J. King Saud Univ. - Sci.*, vol. 32, no. 1, pp. 265–271, 2020.
- [40] M. Nur-E-Alam, M. A. S. Mia, F. Ahmad, and M. M. Rahman, “An overview of chromium removal techniques from tannery effluent,” *Appl. Water Sci.*, vol. 10, no. 9, pp. 1–22, 2020.
- [41] J. Liu *et al.*, “High contamination risks of thallium and associated metal(loid)s in fluvial sediments from a steel-making area and implications for environmental management,” *J. Environ. Manage.*, vol. 250, no. August, 2019.
- [42] X. Zhu, A. Zeng, M. Zhong, J. Huang, and H. Qu, “Multiple impacts of environmental regulation on the steel industry in China: A recursive dynamic steel industry chain CGE analysis,” *J. Clean. Prod.*, vol. 210, pp. 490–504, 2019.
- [43] M. L. Rahman *et al.*, “Poly(hydroxamic acid) ligand from palm-based waste materials for removal of heavy metals from electroplating wastewater,” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 138, no. 2, pp. 1–16, 2021.
- [44] X. Cai *et al.*, “Microbial characterization of heavy metal resistant bacterial strains isolated from an electroplating wastewater treatment plant,” *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 181, pp. 472–480, 2019.
- [45] Z. Wang *et al.*, “Magnetic supramolecular polymer: Ultrahigh and highly selective Pb(II) capture from aqueous solution and battery wastewater,” *Chemosphere*, vol. 248, p. 126042, 2020.
- [46] S. M. Abdelbasir, C. T. El-Sheltawy, and D. M. Abdo, “Green Processes for Electronic Waste Recycling: A Review,” *J. Sustain. Metall.*, vol. 4, no. 2, pp. 295–311, 2018.
- [47] O. M. Rodriguez-Narvaez, J. M. Peralta-Hernandez, A. Goonetilleke, and E. R. Bandala, “Treatment technologies for emerging contaminants in water: A review,” *Chem. Eng. J.*, vol. 323, pp. 361–380, 2017.
- [48] A. Sharma *et al.*, “Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem,” *SN Appl. Sci.*, vol. 1, no. 11, pp. 1–16, 2019.
- [49] M. Kamata, Y. Matsui, and M. Asami, “National trends in pesticides in drinking water and water sources in Japan,” *Sci. Total Environ.*, vol. 744, 2020.
- [50] M. de L. P. Barreto *et al.*, “Gray water footprint assessment for pesticide mixtures applied to a sugarcane crop in Brazil: A comparison between two models,” *J. Clean. Prod.*, vol. 276, 2020.
- [51] J. A. M. de Castro Lima *et al.*, “‘Modern agriculture’ transfers many pesticides to watercourses: a case study of a representative rural catchment of southern Brazil,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 27, no. 10, pp. 10581–10598, 2020.
- [52] K. Damasio, “Liberação recorde reacende debate sobre uso de agrotóxicos no Brasil.

- Entenda.,” *National Geographic*, 2019. [Online]. Available: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2019/07/liberacao-recorde-reacende-debate-sobre-uso-de-agrotoxicos-no-brasil-entenda>. [Accessed: 27-Dec-2020].
- [53] Y. Kong, Y. Huang, C. Meng, and Z. Zhang, “Sodium dodecylsulfate-layered double hydroxide and its use in the adsorption of 17 $\beta$ -estradiol in wastewater,” *RSC Adv.*, vol. 8, no. 55, pp. 31440–31454, 2018.
- [54] C. F. Couto, L. C. Lange, and M. C. S. Amaral, “Occurrence, fate and removal of pharmaceutically active compounds (PhACs) in water and wastewater treatment plants—A review,” *J. Water Process Eng.*, vol. 32, no. April, p. 100927, 2019.
- [55] M. N. H. Rozaini *et al.*, “Molecularly imprinted silica gel incorporated with agarose polymer matrix as mixed matrix membrane for separation and preconcentration of sulfonamide antibiotics in water samples,” *Talanta*, vol. 199, no. February, pp. 522–531, 2019.
- [56] J. F. Saldarriaga, N. A. Montoya, I. Estiati, A. T. Aguayo, R. Aguado, and M. Olazar, “Unburned material from biomass combustion as low-cost adsorbent for amoxicillin removal from wastewater,” *J. Clean. Prod.*, no. xxxx, 2020.
- [57] I. Anastopoulos, A. Katsouromalli, and I. Pashalidis, “Oxidized biochar obtained from pine needles as a novel adsorbent to remove caffeine from aqueous solutions,” *J. Mol. Liq.*, vol. 304, p. 112661, 2020.
- [58] A. Cabral, M. V. Bercovich, and A. Fonseca, “Implications of poor-regulated wastewater treatment systems in the water quality and nutrient fluxes of a subtropical coastal lagoon,” *Reg. Stud. Mar. Sci.*, vol. 29, p. 100672, 2019.
- [59] J. Dou and X. Han, “How does the industry mobility affect pollution industry transfer in China: Empirical test on Pollution Haven Hypothesis and Porter Hypothesis,” *J. Clean. Prod.*, vol. 217, pp. 105–115, 2019.
- [60] L. G. Galatti and J. Baruque-Ramos, “Brazilian potential for circular fashion through strengthening local production,” *SN Appl. Sci.*, vol. 1, no. 11, pp. 1–10, 2019.
- [61] C. G.-B. V. Buscio, V. López-Grimau, M. D. Álvarez, “Reducing the Environmental Impact of Distribution,” *Chem. Eng. J.*, vol. 373, pp. 161–170, 2019.
- [62] N. Nørup, K. Pihl, A. Damgaard, and C. Scheutz, “Development and testing of a sorting and quality assessment method for textile waste,” *Waste Manag.*, vol. 79, pp. 8–21, 2018.
- [63] A. Bartl, “Fiber Recycling : Potential for Saving Energy and Resources,” in *Energy*, 2007.
- [64] M. Shahbandeh, “Leading cotton producing countries worldwide in 2019/2020,” *Statista*, 2020. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/263055/cotton-production-worldwide-by-top-countries/>. [Accessed: 20-Dec-2020].
- [65] S. Zulfiquar, M. A. Yasin, K. Bakhsh, R. Ali, Samiullah, and S. Munir, “Environmental and economic impacts of better cotton: a panel data analysis,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 26,



- no. 18, pp. 18113–18123, 2019.
- [66] T. Karthik and D. Gopalakrishnan, “Environmental Analysis of Textile Value Chain: An Overview,” in *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing, Textile Science and Clothing Technology*, no. December, 2014, pp. 153–188.
- [67] N. M. Sivaram, P. M. Gopal, and D. Barik, “Toxic waste from textile industries,” in *Energy from Toxic Organic Waste for Heat and Power Generation*, Elsevier Ltd., 2018, pp. 43–54.
- [68] M. L. Parisi, E. Fatarella, D. Spinelli, R. Pogni, and R. Basosi, “Environmental impact assessment of an eco-efficient production for coloured textiles,” *J. Clean. Prod.*, vol. 108, no. PartA, pp. 514–524, 2015.
- [69] P. Chanikya, P. V. Nidheesh, D. Syam Babu, A. Gopinath, and M. Suresh Kumar, “Treatment of dyeing wastewater by combined sulfate radical based electrochemical advanced oxidation and electrocoagulation processes,” *Sep. Purif. Technol.*, vol. 254, p. 117570, Jan. 2021.
- [70] A. M. Morita, C. C. S. Moore, A. R. Nogueira, L. Kulay, and M. A. da S. S. Ravagnani, “Assessment of potential alternatives for improving environmental trouser jeans manufacturing performance in Brazil,” *J. Clean. Prod.*, vol. 247, 2020.
- [71] P. A. Carneiro, G. A. Umbuzeiro, D. P. Oliveira, and M. V. B. Zanoni, “Assessment of water contamination caused by a mutagenic textile effluent/dyehouse effluent bearing disperse dyes,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 174, no. 1–3, pp. 694–699, 2010.
- [72] ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção, “Relatório de Atividades,” 2019.
- [73] ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção, “Indústria Têxtil e de Confecção Brasileira - Cenários, Desafios, Perspectivas e Demandas,” Brasília, 2013.
- [74] CONAMA, “Resolução CONAMA nº 357,” in *Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.*, 2005.
- [75] S. Kiran, S. Adeel, S. Nosheen, A. Hassan, M. Usman, and M. A. Rafique, “Recent Trends in Textile Effluent Treatments: A Review,” *Adv. Mater. Waste Water Treat.*, pp. 29–49, 2017.
- [76] F. R. Abe, A. M. V. M. Soares, D. P. d. Oliveira, and C. Gravato, “Toxicity of dyes to zebrafish at the biochemical level: Cellular energy allocation and neurotoxicity,” *Environ. Pollut.*, vol. 235, pp. 255–262, 2018.
- [77] T. Ito, Y. Adachi, Y. Yamanashi, and Y. Shimada, “Long-term natural remediation process in textile dye-polluted river sediment driven by bacterial community changes,” *Water Res.*, vol. 100, pp. 458–465, 2016.
- [78] J. I. N. Rocha Gomes, “QUÍMICA DA COR E DOS CORANTES de Jaime I. N. Rocha Gomes Braga, Dezembro 2000,” 2000.
- [79] M. V. B. Zanoni and H. Yanamaka, *Corantes: Caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento.* 2016.

- [80] Conselho Regional de Química - IV Região (CRQ - IV), “Corantes e pigmentos,” 2011. [Online]. Available: [https://www.crq4.org.br/quimicaviva\\_corantespigmentos](https://www.crq4.org.br/quimicaviva_corantespigmentos). [Accessed: 24-Nov-2020].
- [81] W. Lang *et al.*, “Characterization of a new oxygen-insensitive azoreductase from *Brevibacillus laterosporus* TISTR1911: Toward dye decolorization using a packed-bed metal affinity reactor,” *Bioresour. Technol.*, vol. 150, pp. 298–306, 2013.
- [82] Y. S. Oon *et al.*, “Microbial fuel cell operation using monoazo and diazo dyes as terminal electron acceptor for simultaneous decolourisation and bioelectricity generation,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 325, pp. 170–177, 2017.
- [83] John McMurry, *Organic Chemistry*, 8<sup>a</sup> Edition. Brooks Cole, 2012.
- [84] M. E. Studies, P. Exposed, N. A. C. Author, C. Source, E. H. Perspectives, and S. Url, “Historical and Modern Epidemiological on Populations Exposed to Aryl N-substituted Compounds,” *Environ. Health Perspect.*, vol. 49, pp. 13–19, 1983.
- [85] M. Solís, A. Solís, H. I. Pérez, N. Manjarrez, and M. Flores, “Microbial decolouration of azo dyes: A review,” *Process Biochem.*, vol. 47, no. 12, pp. 1723–1748, 2012.
- [86] G. De Aragão Umbuzeiro *et al.*, “The contribution of azo dyes to the mutagenic activity of the Cristais River,” *Chemosphere*, vol. 60, no. 1, pp. 55–64, 2005.
- [87] Brasil and Agência Nacional de Vigilância Sanitária, “Farmacopeia Brasileira,” 2019.
- [88] ANVISA, “Resolução n<sup>o</sup> 388,” in *Resolução n<sup>o</sup> 388, de 05 de agosto de 1999c.*, 1999, p. 1.
- [89] J. Liu, N. Wang, H. Zhang, and J. Baeyens, “Adsorption of Congo red dye on Fe x Co 3-x O 4 nanoparticles,” *J. Environ. Manage.*, vol. 238, no. January, pp. 473–483, 2019.
- [90] D. Yang, L. Qiu, and Y. Yang, “Efficient Adsorption of Methyl Orange Using a Modified Chitosan Magnetic Composite Adsorbent,” *J. Chem. Eng. Data*, vol. 61, no. 11, pp. 3933–3940, 2016.
- [91] P. Veerakumar, T. Jeyapragasam, S. Surabhi, K. Salamalai, T. Maiyalagan, and K. C. Lin, “Functionalized Mesoporous Carbon Nanostructures for Efficient Removal of Eriochrome Black-T from Aqueous Solution,” *J. Chem. Eng. Data*, vol. 64, no. 4, pp. 1305–1321, 2019.
- [92] S. C. Douglas Skoog, Donald West, James Holler, *Fundamentos de Química Analítica*, 2<sup>a</sup> Edição. 2014.
- [93] Labsynth, “Ficha de Informações de Segurança De Produtos Químicos - Preto de Eriocromo T,” 2017. [Online]. Available: <http://downloads.labsynth.com.br/FISPQ/rv2012/FISPQ- Preto de Eriocromo.pdf>. [Accessed: 09-Dec-2020].
- [94] M. Gary L. Miessler, St. Olaf College, Paul J. Fischer and College., *Inorganic Chemistry*, 5<sup>a</sup> Edition. Pearson, 2014.
- [95] N. B. J. C. de A. O. E. S. G. J. S. Borone, *Química Analítica Quantitativa*, 2<sup>a</sup> Edição. Blucher, 2000.

- [96] D. C. Harris, *Análise Química Quantitativa*, 6ª Edição. 2005.
- [97] R. Ben Arfi, S. Karoui, K. Mougin, and A. Ghorbal, “Adsorptive removal of cationic and anionic dyes from aqueous solution by utilizing almond shell as bioadsorbent,” *Euro-Mediterranean J. Environ. Integr.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–13, 2017.
- [98] P. Senthil Kumar and K. Grace Pavithra, “Water and Textiles,” in *Water in Textiles and Fashion*, Elsevier Ltd., 2019, pp. 21–40.
- [99] S. Yousef, M. Tatariants, M. Tichonovas, Z. Sarwar, I. Jonuškienė, and L. Kliucininkas, “A new strategy for using textile waste as a sustainable source of recovered cotton,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 145, no. November 2018, pp. 359–369, 2019.
- [100] G. Sandin and G. M. Peters, “Environmental impact of textile reuse and recycling – A review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 184, pp. 353–365, 2018.
- [101] A. Beton *et al.*, *Environmental Improvement Potential of textiles (IMPRO Textiles)*, no. January. 2014.
- [102] I. B. de D. do C. Ministério do Meio Ambiente, Ministério da Educação, *Consumo Sustentável: Manual de Educação*. Brasília-DF, 2005.
- [103] EOS - Organização e Sistemas, “Tratamento aeróbio e anaeróbio de efluentes,” 2020. [Online]. Available: <https://www.eosconsultores.com.br/tratamento-anaerobio-aerobio-efluentes/>. [Accessed: 18-Nov-2021].
- [104] Sabesp, “Tratamento de esgotos,” 2009. [Online]. Available: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=49>. [Accessed: 18-Nov-2021].
- [105] Ministério da Saúde, “Portaria Nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011,” in *PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011 - Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.*, 2011, p. 1.
- [106] D. Guo *et al.*, “Fabrication of high-performance composite nanofiltration membranes for dye wastewater treatment: mussel-inspired layer-by-layer self-assembly,” *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 560, pp. 273–283, 2020.
- [107] J. Yun, Y. Wang, Z. Liu, Y. Li, H. Yang, and Z. liang Xu, “High efficient dye removal with hydrolyzed ethanolamine-Polyacrylonitrile UF membrane: Rejection of anionic dye and selective adsorption of cationic dye,” *Chemosphere*, vol. 259, pp. 1–11, 2020.
- [108] T. Tavangar, M. Karimi, M. Rezakazemi, K. R. Reddy, and T. M. Aminabhavi, “Textile waste, dyes/inorganic salts separation of cerium oxide-loaded loose nanofiltration polyethersulfone membranes,” *Chem. Eng. J.*, vol. 385, no. December 2019, p. 123787, 2020.
- [109] Z. Yang, Y. Zhou, Z. Feng, X. Rui, T. Zhang, and Z. Zhang, “A review on reverse osmosis and nanofiltration membranes for water purification,” *Polymers (Basel)*, vol. 11, no. 8, pp. 1–22, 2019.
- [110] E. Sahinkaya, A. Sahin, A. Yurtsever, and M. Kitis, “Concentrate minimization and water

- recovery enhancement using pellet precipitator in a reverse osmosis process treating textile wastewater,” *J. Environ. Manage.*, vol. 222, no. March, pp. 420–427, 2018.
- [111] E. Sahinkaya *et al.*, “Performance of a pilot-scale reverse osmosis process for water recovery from biologically-treated textile wastewater,” *J. Environ. Manage.*, vol. 249, no. August, p. 109382, 2019.
- [112] J. Glater, “Early history of reverse osmosis membrane development,” *Water Supply*, vol. 17, no. 1, pp. 103–115, 1999.
- [113] E. M. Rodríguez, A. Rey, E. Mena, and F. J. Beltrán, “Application of solar photocatalytic ozonation in water treatment using supported TiO<sub>2</sub>,” *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 254, no. April, pp. 237–245, 2019.
- [114] J. Wang and H. Chen, “Catalytic ozonation for water and wastewater treatment: Recent advances and perspective,” *Sci. Total Environ.*, vol. 704, p. 135249, 2020.
- [115] P. Kalivel, R. P. Singh, S. Kavitha, D. Padmanabhan, S. kumar Krishnan, and J. Palanichamy, “Elucidation of electrocoagulation mechanism in the removal of Blue SI dye from aqueous solution using Al-Al, Cu-Cu electrodes - A comparative study,” *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 201, no. February, 2020.
- [116] B. P. Chaplin, “The Prospect of Electrochemical Technologies Advancing Worldwide Water Treatment,” *Acc. Chem. Res.*, vol. 52, no. 3, pp. 596–604, 2019.
- [117] G. Dognani *et al.*, “Effective chromium removal from water by polyaniline-coated electrospun adsorbent membrane,” *Chem. Eng. J.*, vol. 372, no. April, pp. 341–351, 2019.
- [118] Z. Thong, J. Gao, J. X. Z. Lim, K. Y. Wang, and T. S. Chung, “Fabrication of loose outer-selective nanofiltration (NF) polyethersulfone (PES) hollow fibers via single-step spinning process for dye removal,” *Sep. Purif. Technol.*, vol. 192, pp. 483–490, 2018.
- [119] J. Saikia, S. Sarmah, J. J. Bora, B. Das, and R. L. Goswamee, “Preparation and characterization of low cost flat ceramic membranes from easily available potters’ clay for dye separation,” *Bull. Mater. Sci.*, vol. 42, no. 3, 2019.
- [120] H. Fan, J. Gu, H. Meng, A. Knebel, and J. Caro, “High-Flux Membranes Based on the Covalent Organic Framework COF-LZU1 for Selective Dye Separation by Nanofiltration,” *Angew. Chemie - Int. Ed.*, vol. 57, no. 15, pp. 4083–4087, 2018.
- [121] L. Bai, Y. Liu, A. Ding, N. Ren, G. Li, and H. Liang, “Fabrication and characterization of thin-film composite (TFC) nanofiltration membranes incorporated with cellulose nanocrystals (CNCs) for enhanced desalination performance and dye removal,” *Chem. Eng. J.*, vol. 358, no. August 2018, pp. 1519–1528, 2019.
- [122] S. Y. Fang *et al.*, “Construction of highly water-stable metal-organic framework UiO-66 thin-film composite membrane for dyes and antibiotics separation,” *Chem. Eng. J.*, vol. 385, no. October 2019, 2020.

- [123] J. Wills, S. Moazzem, and V. Jegatheesan, *Water Scarcity and Ways to Reduce the Impact*. Springer International Publishing, 2019.
- [124] Y. Chen, X., Qiu, M., Ding, H., Fu, K., & Fan, “Reduced graphene oxide nanofiltration membrane intercalated by well-dispersed carbon nanotubes for drinking water purification,” *Nanoscale*, vol. 8, no. 10, pp. 5696–5705, 2016.
- [125] J. Gao, M. Zhang, J. Wang, G. Liu, H. Liu, and Y. Jiang, “Bioinspired Modification of Layer-Stacked Molybdenum Disulfide (MoS<sub>2</sub>) Membranes for Enhanced Nanofiltration Performance,” *ACS Omega*, vol. 4, no. 2, pp. 4012–4022, 2019.
- [126] Y. Wen, J. Yuan, X. Ma, S. Wang, and Y. Liu, “Polymeric nanocomposite membranes for water treatment: a review,” *Environ. Chem. Lett.*, vol. 17, no. 4, pp. 1539–1551, 2019.
- [127] Agência Nacional de Águas (ANA), “Sistema de Tratamento de Efluentes Industriais por Membranas de Ultrafiltração - VRM,” *Prêmio Ana 2012*, 2022. [Online]. Available: [https://premio.ana.gov.br/Edicao/projeto-detalhe.aspx?id=15&\\$ListID=A2CB8C6D-6FE2-4E67-BD57-5254DBCF88DD](https://premio.ana.gov.br/Edicao/projeto-detalhe.aspx?id=15&$ListID=A2CB8C6D-6FE2-4E67-BD57-5254DBCF88DD).
- [128] S. N. Malik, P. C. Ghosh, A. N. Vaidya, V. Waindeskar, S. Das, and S. N. Mudliar, “Comparison of coagulation, ozone and ferrate treatment processes for color, COD and toxicity removal from complex textile wastewater,” *Water Sci. Technol.*, vol. 76, no. 5, pp. 1001–1010, 2017.
- [129] M. Rodríguez-Peña, J. A. Barrios Pérez, J. Llanos, C. Sáez, M. A. Rodrigo, and C. E. Barrera-Díaz, “New insights about the electrochemical production of ozone,” *Curr. Opin. Electrochem.*, vol. 27, p. 100697, Jun. 2021.
- [130] F. C. Moreira, R. A. R. Boaventura, E. Brillas, and V. J. P. Vilar, “Electrochemical advanced oxidation processes: A review on their application to synthetic and real wastewaters,” *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 202, pp. 217–261, 2017.
- [131] E. Brillas, “A review on the photoelectro-Fenton process as efficient electrochemical advanced oxidation for wastewater remediation. Treatment with UV light, sunlight, and coupling with conventional and other photo-assisted advanced technologies,” *Chemosphere*, vol. 250, 2020.
- [132] W. Huang *et al.*, “Citric acid-crosslinked  $\beta$ -cyclodextrin for simultaneous removal of bisphenol A, methylene blue and copper: The roles of cavity and surface functional groups,” *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 82, pp. 189–197, 2018.
- [133] Y. Zhou, J. Lu, Y. Zhou, and Y. Liu, “Recent advances for dyes removal using novel adsorbents: A review,” *Environ. Pollut.*, vol. 252, pp. 352–365, 2019.
- [134] K. Y. Foo and B. H. Hameed, “Insights into the modeling of adsorption isotherm systems,” *Chem. Eng. J.*, vol. 156, no. 1, pp. 2–10, 2010.
- [135] J. H. Khan *et al.*, “Jute-derived microporous/mesoporous carbon with ultra-high surface area using a chemical activation process,” *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 274, no. June

- 2018, pp. 251–256, 2019.
- [136] K. Li and X. Wang, “Adsorptive removal of Pb(II) by activated carbon prepared from *Spartina alterniflora*: Equilibrium, kinetics and thermodynamics,” *Bioresour. Technol.*, vol. 100, no. 11, pp. 2810–2815, 2009.
- [137] L. Largette and R. Pasquier, “A review of the kinetics adsorption models and their application to the adsorption of lead by an activated carbon,” *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 109, pp. 495–504, 2016.
- [138] G. W. Castellan, *Fundamentos de Físico-Química*, 1ª Edição. LTC, 1986.
- [139] L. Xu, L. C. Campos, J. Li, K. Karu, and L. Ciric, “Removal of antibiotics in sand, GAC, GAC sandwich and anthracite/sand biofiltration systems,” *Chemosphere*, vol. 275, p. 130004, Jul. 2021.
- [140] Y. Zhou, L. Zhang, and Z. Cheng, “Removal of organic pollutants from aqueous solution using agricultural wastes: A review,” *J. Mol. Liq.*, vol. 212, pp. 739–762, 2015.
- [141] I. Ali, M. Asim, and T. A. Khan, “Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater,” *J. Environ. Manage.*, vol. 113, pp. 170–183, 2012.
- [142] M. A. R. S. Rangabhashiyam, R. Jayabalan and P. Balasubramanian, “Elimination of Toxic Heavy Metals from Aqueous Systems Using Potential Biosorbents: A Review,” *Green Build. Sustain. Eng.*, pp. 291–311, 2018.
- [143] D. Pedraza, J. Díez, I. I. Barba, M. Colilla, and M. Vallet-Regi, “Amine-functionalized mesoporous silica nanoparticles: A new nanoantibiotic for bone infection treatment,” *Biomed. Glas.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–12, 2018.
- [144] S. A. Jadhav *et al.*, “Recent advancements in silica nanoparticles based technologies for removal of dyes from water,” *Colloids Interface Sci. Commun.*, vol. 30, no. April, p. 100181, 2019.
- [145] C. Peng, J. Zhang, Z. Xiong, B. Zhao, and P. Liu, “Fabrication of porous hollow  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofibers by facile electrospinning and its application for water remediation,” *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 215, pp. 133–142, 2015.
- [146] Y. Zhang, K. Xia, X. Liu, Z. Chen, H. Du, and X. Zhang, “Synthesis of cationic-modified silica gel and its adsorption properties for anionic dyes,” *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 102, pp. 1–8, 2019.
- [147] I. Cumpstey, “Chemical Modification of Polysaccharides,” *ISRN Org. Chem.*, vol. 2013, pp. 383–406, 2011.
- [148] C. Zhao *et al.*, “Evaluation of a novel dextran-based flocculant on treatment of dye wastewater: Effect of kaolin particles,” *Sci. Total Environ.*, vol. 640–641, pp. 243–254, 2018.
- [149] A. S. K. Kumar and S. J. Jiang, “Synthesis of magnetically separable and recyclable magnetic nanoparticles decorated with  $\beta$ -cyclodextrin functionalized graphene oxide an excellent

- adsorption of As(V)/(III),” *J. Mol. Liq.*, vol. 237, pp. 387–401, 2017.
- [150] I. Ali, O. M. L. Alharbi, Z. A. Alothman, A. Y. Badjah, A. Alwarthan, and A. A. Basheer, “Artificial neural network modelling of amido black dye sorption on iron composite nano material: Kinetics and thermodynamics studies,” *J. Mol. Liq.*, vol. 250, pp. 1–8, 2018.
- [151] R. Sahraei, Z. Sekhavat Pour, and M. Ghaemy, “Novel magnetic bio-sorbent hydrogel beads based on modified gum tragacanth/graphene oxide: Removal of heavy metals and dyes from water,” *J. Clean. Prod.*, vol. 142, pp. 2973–2984, 2017.
- [152] K. Hemmati, A. Masoumi, and M. Ghaemy, “Tragacanth gum-based nanogel as a superparamagnetic molecularly imprinted polymer for quercetin recognition and controlled release,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 136, pp. 630–640, 2016.
- [153] B. Lam, S. Déon, N. Morin-Crini, G. Crini, and P. Fievet, “Polymer-enhanced ultrafiltration for heavy metal removal: Influence of chitosan and carboxymethyl cellulose on filtration performances,” *J. Clean. Prod.*, vol. 171, pp. 927–933, 2018.
- [154] R. R. L. Vidal, J. Desbrières, R. Borsali, and E. Guibal, “Oil removal from crude oil-in-saline water emulsions using chitosan as biosorbent,” *Sep. Sci. Technol.*, vol. 55, no. 5, pp. 835–847, 2020.
- [155] Y. Zhou *et al.*, “Methodology of Redispersible Dry Cellulose Nanofibrils Powder Synthesis under Waterless Condition,” *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 7, no. 12, pp. 10690–10698, 2019.
- [156] C. Ding *et al.*, “Adsorbent for resorcinol removal based on cellulose functionalized with magnetic poly(dopamine),” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 99, pp. 578–585, 2017.
- [157] S. Hokkanen, A. Bhatnagar, V. Srivastava, V. Suorsa, and M. Sillanpää, “Removal of Cd<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> and PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> from aqueous solution by hydroxyapatite-bentonite clay-nanocellulose composite,” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 118, pp. 903–912, 2018.
- [158] M. M. P. NELSON, D. L; COX, *Princípios de bioquímica de Lehninger.*, 6<sup>a</sup> Edição. Porto Alegre-RS, 2014.
- [159] C. Santhosh, V. Velmurugan, G. Jacob, S. K. Jeong, A. N. Grace, and A. Bhatnagar, “Role of nanomaterials in water treatment applications: A review,” *Chem. Eng. J.*, vol. 306, pp. 1116–1137, 2016.
- [160] B. Suárez-Eiroa, E. Fernández, G. Méndez-Martínez, and D. Soto-Oñate, “Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice,” *J. Clean. Prod.*, vol. 214, pp. 952–961, 2019.
- [161] B. Corona, L. Shen, D. Reike, J. Rosales Carreón, and E. Worrell, “Towards sustainable development through the circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 151, no. May 2019, p. 104498, 2019.
- [162] R. Sanguino, A. Barroso, S. Fernández-Rodríguez, and M. I. Sánchez-Hernández, “Current trends in economy, sustainable development, and energy: a circular economy view,” *Environ.*

- Sci. Pollut. Res.*, vol. 27, no. 1, pp. 1–7, 2020.
- [163] N. R. J. Hynes *et al.*, “Modern enabling techniques and adsorbents based dye removal with sustainability concerns in textile industrial sector - A comprehensive review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 272, p. 122636, 2020.
- [164] E. SJÖSTRÖM, *Wood chemistry: fundamentals and applications.*, 2<sup>a</sup> edição. Nova Iorque, 1993.
- [165] A. IMRAN, M.; BANO, S.; NAZIR, S.; JAVID, A.; ASAD, M.J; YASEEN, “Cellulases Production and Application of Cellulases and Accessory Enzymes in Pulp and Paper Industry: A Review,” *PSM Biol. Res.*, vol. 1, no. 4, pp. 336–347, 2018.
- [166] S. Maeda, “Cultivo do Eucalipto – Mercado e Comercialização,” *EMBRAPA*, 2014. [Online]. Available:  
[https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdeproducaof6\\_1ga1ceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaoId=7811&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicoId=8](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaof6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7811&p_r_p_-996514994_topicoId=8). [Accessed: 13-Dec-2020].
- [167] Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social Planejamento - BNDS, *Visão 2035: Brasil, país desenvolvido: Agendas setoriais para alcance da meta.* 2018.
- [168] IBÁ, “IBÁ - Relatório 2019 - Report 2019,” 2019.
- [169] N. Phinichka and S. Kaenthong, “Regenerated cellulose from high alpha cellulose pulp of steam-exploded sugarcane bagasse,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 55–65, 2018.
- [170] P. Sukyai *et al.*, “Effect of cellulose nanocrystals from sugarcane bagasse on whey protein isolate-based films,” *Food Res. Int.*, vol. 107, no. September 2017, pp. 528–535, 2018.
- [171] C. C. Fasanella *et al.*, “Microscopic analysis of sugarcane bagasse following chemical and fungal treatment,” *Cellul. Chem. Technol.*, vol. 52, no. 1–2, pp. 59–64, 2018.
- [172] Carlos Eduardo Freitas Vian, “Árvore do conhecimento - Cana-de-açúcar,” *Agência Embrapa de Informação Tecnológica*. [Online]. Available:  
[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_62\\_22122006154840.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_62_22122006154840.html). [Accessed: 13-Dec-2020].
- [173] R. R. MARGON, R. A.; PINOTI, L. M.; FREITAS, “Enzymatic hydrolysis of eucalyptus biomass for bioethanol production: a bibliometric analysis,” *Res. Soc. Dev.*, vol. 7, no. 4, pp. 1689–1699, 2019.
- [174] T. Senthil Muthu Kumar, N. Rajini, K. Obi Reddy, A. Varada Rajulu, S. Siengchin, and N. Ayrilmis, “All-cellulose composite films with cellulose matrix and Napier grass cellulose fibril fillers,” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 112, pp. 1310–1315, 2018.
- [175] M. Osorio *et al.*, “Development of novel three-dimensional scaffolds based on bacterial nanocellulose for tissue engineering and regenerative medicine: Effect of processing methods,



- pore size, and surface area,” *J. Biomed. Mater. Res. - Part A*, vol. 107, no. 2, pp. 348–359, 2019.
- [176] B. Ram and G. S. Chauhan, “New spherical nanocellulose and thiol-based adsorbent for rapid and selective removal of mercuric ions,” *Chem. Eng. J.*, vol. 331, no. July 2017, pp. 587–596, 2018.
- [177] I. Rocha, N. Ferraz, A. Mihranyan, M. Strømme, and J. Lindh, “Sulfonated nanocellulose beads as potential immunosorbents,” *Cellulose*, vol. 25, no. 3, pp. 1899–1910, 2018.
- [178] Z. Karim, M. Hakalahti, T. Tammelin, and A. P. Mathew, “In situ TEMPO surface functionalization of nanocellulose membranes for enhanced adsorption of metal ions from aqueous medium,” *RSC Adv.*, vol. 7, no. 9, pp. 5232–5241, 2017.
- [179] Y. Wang, X. Wang, Y. Xie, and K. Zhang, “Functional nanomaterials through esterification of cellulose: a review of chemistry and application,” *Cellulose*, vol. 25, no. 7, pp. 3703–3731, 2018.
- [180] F. N. Gómez, M. Y. Combariza, and C. Blanco-Tirado, “Facile cellulose nanofibrils amidation using a ‘one-pot’ approach,” *Cellulose*, vol. 24, no. 2, pp. 717–730, 2017.
- [181] J. A. F. Gamelas *et al.*, “On the morphology of cellulose nanofibrils obtained by TEMPO-mediated oxidation and mechanical treatment,” *Micron*, vol. 72, pp. 28–33, 2015.
- [182] H. Ma, C. Burger, B. S. Hsiao, and B. Chu, “Nanofibrous microfiltration membrane based on cellulose nanowhiskers,” *Biomacromolecules*, vol. 13, no. 1, pp. 180–186, 2012.
- [183] Q. Chen, X. Zheng, L. Zhou, and M. Kang, “Chemical modification of starch microcrystals and their application as an adsorbent for metals in aqueous solutions,” *BioResources*, vol. 14, no. 1, pp. 302–312, 2019.
- [184] S. Hokkanen, E. Repo, T. Suopajarvi, H. Liimatainen, J. Niinimaa, and M. Sillanpää, “Adsorption of Ni(II), Cu(II) and Cd(II) from aqueous solutions by amino modified nanostructured microfibrillated cellulose,” *Cellulose*, vol. 21, no. 3, pp. 1471–1487, 2014.
- [185] K. Singh, J. K. Arora, T. J. M. Sinha, and S. Srivastava, “Functionalization of nanocrystalline cellulose for decontamination of Cr(III) and Cr(VI) from aqueous system: Computational modeling approach,” *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 16, no. 6, pp. 1179–1191, 2014.
- [186] N. Lin, J. Huang, and A. Dufresne, “Preparation, properties and applications of polysaccharide nanocrystals in advanced functional nanomaterials: a review,” *Nanoscale*, vol. 4, no. 11, p. 3274, 2012.
- [187] H. Qiao *et al.*, “Effective removal of cationic dyes using carboxylate-functionalized cellulose nanocrystals,” *Chemosphere*, vol. 141, pp. 297–303, 2015.
- [188] L. Jin, Q. Sun, Q. Xu, and Y. Xu, “Adsorptive removal of anionic dyes from aqueous solutions using microgel based on nanocellulose and polyvinylamine,” *Bioresour. Technol.*, vol. 197, pp. 348–355, 2015.

- [189] W. Zhu *et al.*, “Functionalization of cellulose with hyperbranched polyethylenimine for selective dye adsorption and separation,” *Cellulose*, vol. 23, no. 6, pp. 3785–3797, 2016.
- [190] H. Sehaqui, U. Perez De Larraya, P. Tingaut, and T. Zimmermann, “Humic acid adsorption onto cationic cellulose nanofibers for bioinspired removal of copper(ii) and a positively charged dye,” *Soft Matter*, vol. 11, no. 26, pp. 5294–5300, 2015.
- [191] C. G. Otoni, J. S. L. Figueiredo, L. B. Capeletti, M. B. Cardoso, J. S. Bernardes, and W. Loh, “Tailoring the Antimicrobial Response of Cationic Nanocellulose-Based Foams through Cryo-Templating,” *ACS Appl. Bio Mater.*, vol. 2, no. 5, pp. 1975–1986, 2019.
- [192] B. Wang *et al.*, “Palladium nano-catalyst supported on cationic nanocellulose–alginate hydrogel for effective catalytic reactions,” *Cellulose*, vol. 27, no. 12, pp. 6995–7008, 2020.
- [193] K. Zhang, M. Shen, H. Liu, S. Shang, D. Wang, and H. Liimatainen, “Facile synthesis of palladium and gold nanoparticles by using dialdehyde nanocellulose as template and reducing agent,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 186, no. 16, pp. 132–139, 2018.
- [194] H. K. M. Ng and C. P. Leo, “The coherence between TiO<sub>2</sub> nanoparticles and microfibrillated cellulose in thin film for enhanced dispersal and photodegradation of dye,” *Prog. Org. Coatings*, vol. 132, no. October 2018, pp. 70–75, 2019.
- [195] M. Saeed, M. Muneer, A. ul Haq, and N. Akram, “Photocatalysis: an effective tool for photodegradation of dyes—a review,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, Sep. 2021.
- [196] E. Chatzisyneon, S. Foteinis, D. Mantzavinos, and T. Tsoutsos, “Life cycle assessment of advanced oxidation processes for olive mill wastewater treatment,” *J. Clean. Prod.*, vol. 54, pp. 229–234, Sep. 2013.
- [197] Z. He, R. Liang, C. Zhou, G. Yan, and L. Wu, “Carbon quantum dots (CQDs)/noble metal co-decorated MIL-53(Fe) as difunctional photocatalysts for the simultaneous removal of Cr(VI) and dyes,” *Sep. Purif. Technol.*, vol. 255, p. 117725, Jan. 2021.
- [198] N. Cheng *et al.*, “Au-nanoparticle-loaded graphitic carbon nitride nanosheets: Green photocatalytic synthesis and application toward the degradation of organic pollutants,” *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 5, no. 15, pp. 6815–6819, 2013.
- [199] K. Isozaki *et al.*, “Gold Nanocluster Functionalized with Peptide Dendron Thiolates: Acceleration of the Photocatalytic Oxidation of an Amino Alcohol in a Supramolecular Reaction Field,” *ACS Catal.*, vol. 11, no. 21, pp. 13180–13187, Nov. 2021.
- [200] A. Mahmood and J.-W. Park, “TiO<sub>2</sub>/CdS nanocomposite stabilized on a magnetic-cored dendrimer for enhanced photocatalytic activity and reusability,” *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 555, pp. 801–809, Nov. 2019.
- [201] R. Vinayagam, R. Selvaraj, P. Arivalagan, and T. Varadavenkatesan, “Synthesis, characterization and photocatalytic dye degradation capability of Calliandra haematocephala-mediated zinc oxide nanoflowers,” *J. Photochem. Photobiol. B Biol.*, vol. 203, p. 111760, Jan.

2020.

- [202] M. F. El-Berry, S. A. Sadeek, A. M. Abdalla, and M. Y. Nassar, "Microwave-assisted fabrication of copper nanoparticles utilizing different counter ions: An efficient photocatalyst for photocatalytic degradation of safranin dye from aqueous media," *Mater. Res. Bull.*, vol. 133, p. 111048, Jan. 2021.
- [203] A. Akbari, Z. Sabouri, H. A. Hosseini, A. Hashemzadeh, M. Khatami, and M. Darroudi, "Effect of nickel oxide nanoparticles as a photocatalyst in dyes degradation and evaluation of effective parameters in their removal from aqueous environments," *Inorg. Chem. Commun.*, vol. 115, p. 107867, May 2020.
- [204] M. Chokkalingam *et al.*, "Photocatalytic degradation of industrial dyes using Ag and Au nanoparticles synthesized from *Angelica gigas* ribbed stem extracts," *Optik (Stuttg.)*, vol. 185, pp. 1213–1219, May 2019.
- [205] N. K. Gupta, Y. Ghaffari, S. Kim, J. Bae, K. S. Kim, and M. Saifuddin, "Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants over MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (M = Co, Ni, Cu, Zn) Nanoparticles at Neutral pH," *Sci. Rep.*, vol. 10, no. 1, p. 4942, Dec. 2020.
- [206] M. J. Lysaght and U. Baurmeister, "Dialysis," in *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 1<sup>a</sup>., Columbia University, Ed. Wiley, 2000, pp. 1–20.
- [207] R. Aguado, A. F. Lourenço, P. J. Ferreira, A. Moral, and A. Tijero, "Cationic cellulosic derivatives as flocculants in papermaking," *Cellulose*, vol. 24, no. 7, pp. 3015–3027, Jul. 2017.
- [208] J. He, T. Kunitake, and A. Nakao, "Facile In Situ Synthesis of Noble Metal Nanoparticles in Porous Cellulose Fibers," *Chem. Mater.*, vol. 15, no. 23, pp. 4401–4406, 2003.
- [209] L. Balan, V. Melinte, T. Buruiana, R. Schneider, and L. Vidal, "Controlling the morphology of gold nanoparticles synthesized photochemically in a polymer matrix through photonic parameters," *Nanotechnology*, vol. 23, no. 41, 2012.
- [210] E. S. Madivoli, P. G. Kareru, A. N. Gachanja, S. M. Mugo, and D. S. Makhanu, "Synthesis and characterization of dialdehyde cellulose nanofibers from *O. sativa* husks," *SN Appl. Sci.*, vol. 1, no. 7, p. 723, Jul. 2019.
- [211] Y. Zhang, C. Zhu, F. Liu, Y. Yuan, H. Wu, and A. Li, "Effects of ionic strength on removal of toxic pollutants from aqueous media with multifarious adsorbents: A review," *Sci. Total Environ.*, vol. 646, pp. 265–279, Jan. 2019.
- [212] A. M. Boudet, S. Kajita, J. Grima-Pettenati, and D. Goffner, "Lignins and lignocellulosics: A better control of synthesis for new and improved uses," *Trends Plant Sci.*, vol. 8, no. 12, pp. 576–581, 2003.
- [213] M. Jorfi and E. J. Foster, "Recent advances in nanocellulose for biomedical applications," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 132, no. 14, pp. 1–19, 2015.
- [214] M. . VUORINEN, T., TELEMAN, A., FAGERSTROM, P., BUCHERT, J., e TENKANEN,

- “Selective hydrolysis of hexenuronic acid groups and its application in ECF and TCF bleaching of kraft pulps,” in *INTERNATIONAL PULP BLEACHING CONFERENCE*, 1996, pp. 43–51.
- [215] D. DENCE, C.; e REEVE, “Pulp Bleaching: principles and pratice.,” in *Atlanta: Tappi Press*, 1996, pp. 27–57.
- [216] Q. Q. Wang, J. Y. Zhu, R. Gleisner, T. A. Kuster, U. Baxa, and S. E. McNeil, “Morphological development of cellulose fibrils of a bleached eucalyptus pulp by mechanical fibrillation,” *Cellulose*, vol. 19, no. 5, pp. 1631–1643, Oct. 2012.
- [217] S. Xiao, R. Gao, Y. Lu, J. Li, and Q. Sun, “Fabrication and characterization of nanofibrillated cellulose and its aerogels from natural pine needles,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 119, pp. 202–209, 2015.
- [218] K. BAHRAMI, M. M. KHODAEI, and S. KAMALI, “Selective and Efficient Oxidation of Aldehydes to Their Corresponding Carboxylic Acids Using H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/HCl in the Presence of Hydroxylamine Hydrochloride,” *Chinese J. Chem.*, vol. 26, no. 6, pp. 1119–1121, Jun. 2008.
- [219] W. M. D. Bryant and D. M. Smith, “Improved Hydroxylamine Method for the Determination of Aldehydes and Ketones. Displacement of Oxime Equilibria by Means of Pyridine,” *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 57, no. 1, pp. 57–61, Jan. 1935.
- [220] P. Talik and U. Hubicka, “The DSC approach to study non-freezing water contents of hydrated hydroxypropylcellulose (HPC),” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 132, no. 1, pp. 445–451, Apr. 2018.
- [221] H. Yang, R. Yan, H. Chen, D. H. Lee, and C. Zheng, “Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis,” *Fuel*, vol. 86, no. 12–13, pp. 1781–1788, 2007.
- [222] S. Huang, L. Zhou, M. C. Li, Q. Wu, and D. Zhou, “Cellulose nanocrystals (CNCs) from corn stalk: Activation energy analysis,” *Materials (Basel)*, vol. 10, no. 1, pp. 1–13, 2017.
- [223] J. Sirviö, A. Honka, H. Liimatainen, J. Niinimäki, and O. Hormi, “Synthesis of highly cationic water-soluble cellulose derivative and its potential as novel biopolymeric flocculation agent,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 86, no. 1, pp. 266–270, 2011.
- [224] H. Yang and T. G. M. van de Ven, “Preparation of hairy cationic nanocrystalline cellulose,” *Cellulose*, vol. 23, no. 3, pp. 1791–1801, 2016.
- [225] J. SUN, “Isolation and characterization of cellulose from sugarcane bagasse,” *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 84, no. 2, pp. 331–339, May 2004.
- [226] IUPAC, *Compendium of Chemical Terminology*. Research Triangle Park, NC: International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), 2019.
- [227] N. D. Mu’azu, N. Jarrah, T. S. Kazeem, M. Zubair, and M. Al-Harhi, “Bentonite-layered double hydroxide composite for enhanced aqueous adsorption of Eriochrome Black T,” *Appl. Clay Sci.*, vol. 161, pp. 23–34, Sep. 2018.
- [228] S. Hell, K. Ohkawa, H. Amer, A. Potthast, and T. Rosenau, “‘Dialdehyde Cellulose’

- Nanofibers by Electrospinning as Polyvinyl Alcohol Blends: Manufacture and Product Characterization,” *J. Wood Chem. Technol.*, vol. 38, no. 2, pp. 96–110, Mar. 2018.
- [229] H. Amer *et al.*, “Synthesis and Characterization of Periodate-Oxidized Polysaccharides: Dialdehyde Xylan (DAX),” *Biomacromolecules*, vol. 17, no. 9, pp. 2972–2980, Sep. 2016.
- [230] C. Godoy-Alcántar, A. K. Yatsimirsky, and J.-M. Lehn, “Structure-stability correlations for imine formation in aqueous solution,” *J. Phys. Org. Chem.*, vol. 18, no. 10, pp. 979–985, Oct. 2005.
- [231] J. Yang *et al.*, “Protonated Imine-Linked Covalent Organic Frameworks for Photocatalytic Hydrogen Evolution,” *Angew. Chemie Int. Ed.*, vol. 60, no. 36, pp. 19797–19803, Sep. 2021.
- [232] E. Al-Hyali, R. Al-Abady, and F. Altaie, “Correlation Study for The Determination of pKa of A Number of Schiff Bases Derived from N-Formyl Pyridine using Quantum Mechanical Methods,” *Egypt. J. Chem.*, pp. 0–0, Aug. 2020.
- [233] M. H. Karimi, G. R. Mahdavinia, B. Massoumi, A. Baghban, and M. Saraei, “Ionically crosslinked magnetic chitosan/ $\kappa$ -carrageenan bioadsorbents for removal of anionic eriochrome black-T,” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 113, pp. 361–375, Jul. 2018.
- [234] N. I. Blaisi *et al.*, “Date palm ash-MgAl-layered double hydroxide composite: sustainable adsorbent for effective removal of methyl orange and eriochrome black-T from aqueous phase,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 25, no. 34, pp. 34319–34331, Dec. 2018.
- [235] Z. Xu *et al.*, “Highly porous activated carbon synthesized by pyrolysis of polyester fabric wastes with different iron salts: Pore development and adsorption behavior,” *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 565, pp. 180–187, Mar. 2019.
- [236] M. Mansha, A. Waheed, T. Ahmad, I. W. Kazi, and N. Ullah, “Synthesis of a novel polysuccinimide based resin for the ultrahigh removal of anionic azo dyes from aqueous solution,” *Environ. Res.*, vol. 184, p. 109337, May 2020.
- [237] P. Chen, X. Ma, Z. Zhong, F. Zhang, W. Xing, and Y. Fan, “Performance of ceramic nanofiltration membrane for desalination of dye solutions containing NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,” *Desalination*, vol. 404, pp. 102–111, Feb. 2017.
- [238] L. R. Martins, L. Catone Soares, L. V. Alves Gurgel, and L. F. Gil, “Use of a new zwitterionic cellulose derivative for removal of crystal violet and orange II from aqueous solutions,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 424, p. 127401, Feb. 2022.
- [239] George Socrates, *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies*, 3<sup>a</sup> edição. 2001.
- [240] M. Caetano, C. Valderrama, A. Farran, and J. L. Cortina, “Phenol removal from aqueous solution by adsorption and ion exchange mechanisms onto polymeric resins,” *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 338, no. 2, pp. 402–409, Oct. 2009.
- [241] J. Li *et al.*, “In-situ investigation of dye pollutant adsorption performance on graphitic carbon nitride surface: ATR spectroscopy experiment and MD simulation insight,” *J. Hazard. Mater.*,

vol. 418, p. 126297, Sep. 2021.

- [242] T. Baranyaiová and J. Bujdák, “Effects of Dye Surface Concentration on the Molecular Aggregation of Xanthene Dye in Colloidal Dispersions of Montmorillonite,” *Clays Clay Miner.*, vol. 66, no. 2, pp. 114–126, Apr. 2018.
- [243] X. Xie, J. Liao, X. Shao, Q. Li, and Y. Lin, “The Effect of shape on Cellular Uptake of Gold Nanoparticles in the forms of Stars, Rods, and Triangles,” *Sci. Rep.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–9, 2017.
- [244] B. Viswanathan, “Photocatalytic Degradation of Dyes: An Overview,” *Curr. Catal.*, vol. 7, no. 2, pp. 99–121, Jul. 2018.
-