

BIOSSORÇÃO DE CORANTES DE SOLUÇÕES AQUOSAS SINTÉTICAS UTILIZANDO *Dryopteris wallichiana* E *Cymbopogon citratus* COMO BIOSSORVENTES

Everton Alberto da Motta – Everton.alberto@edu.pucrs.br
Escola Politécnica da Pontifícia Católica do Rio Grande do Sul
Av. Ipiranga, 6681
90619-900 – Porto Alegre – RS

Gabriel D'avila Haag da Rosa – Gabriel.rosa03@edu.pucrs.br
Pontifícia Católica do Rio Grande do Sul

Polyane Cristina Panzenhagen Resende – Polyane.resende@edu.pucrs.br
Pontifícia Católica do Rio Grande do Sul

Claudio Luis Crescente Frankenberg – Claudio@pucrs.br
Pontifícia Católica do Rio Grande do Sul

Resumo: O setor têxtil, no Brasil, é fundamental no desenvolvimento da indústria, envolvendo desde a produção de fibras até a fabricação e tingimento de roupas, móveis e tapetes, contribuindo significativamente para o PIB global. Atualmente, umas das principais problemáticas são as metodologias usualmente utilizadas para tratar o grande volume de efluente contaminado com diferentes corantes, solventes, metais pesados e agentes químicos que são gerados ao longo da cadeia produtiva. Em relação a isto, muitos métodos de tratamento são utilizados, entre eles a adsorção. Em comparação com a adsorção tradicional, onde frequentemente emprega-se materiais inorgânicos, o método de bioadsorção emprega materiais biológicos, como plantas ou microrganismos. Do ponto de vista econômico, a bioadsorção pode ser mais rentável a longo prazo devido à disponibilidade de recursos naturais e capacidade de reutilização do material. Diante disto, este estudo teve como objetivo testar a capacidade de bioadsorção de dois resíduos vegetais distintos, *Dryopteris wallichiana* e *Cymbopogon citratus*, em soluções aquosas dos corantes, azul de metileno e vermelho do congo, tanto misturados como isolados, além de um efluente têxtil sintético. Com os dados espectrofotométricos e as micrografias obtidas, foi observado que ambas as plantas adsorveram os corantes, sendo que a amostra de *D. wallichiana* teve uma bioadsorção de 87,3% do azul de metileno, enquanto a *C. citratus* removeu 73,5% do vermelho do congo. Nas misturas das plantas, em soluções de bicromia, destaca-se apenas a bicromia com a proporção 80:20, obtendo-se uma remoção de 52,3%, já para remoção do efluente sintético apresentou um rendimento mediano de 41,6%.

Palavras-chave: Bioadsorvente, Indústria têxtil, Adsorção, Tratamento de efluentes.



BIOSORPTION OF DYES FROM SYNTHETIC AQUEOUS SOLUTIONS USING *Dryopteris wallichiana* AND *Cymbopogon citratus* AS BIOSORBENTS

Abstract: The textile sector in Brazil is fundamental in the development of the industry, involving from the production of fibers to the manufacture and dyeing of clothing, furniture and carpets, contributing significantly to the global GDP. Currently, one of the main problems is the methodologies usually used to treat the large volume of effluent contaminated with different dyes, solvents, heavy metals and chemical agents that are generated along the production chain. In relation to this, many treatment methods are used, among them adsorption. Compared to traditional adsorption, where inorganic materials are often used, the biosorption method employs biological materials such as plants or microorganisms. From an economic point of view, biosorption can be more profitable in the long term due to the availability of natural resources and the ability to reuse the material. Thus, this study aimed to test the biosorption capacity of two distinct plant residues, *Dryopteris wallichiana* and *Cymbopogon citratus*, in aqueous solutions of methylene blue and Congo red dyes, both mixed and isolated, using in addition to a synthetic textile effluent. With the spectrophotometric data and micrographs obtained, it was observed that both plants adsorbed the dyes, and the sample of *D. wallichiana* had a biosorption of 87.3% of methylene blue, while *C. citratus* removed 73.5% of Congo red. In the mixtures of the plants, in solutions of bichromy, only bichromy stands out with the ratio 80:20, obtaining a removal of 52.3%, already for removal of the synthetic effluent presented a median yield of 41.6%.

Keywords: Biosorbents, textile industry, adsorption, effluent treatment

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso fundamental e indispensável, tanto para os processos biológicos quanto para os processos industriais, desempenhando papéis essenciais na sustentação da vida e no funcionamento das atividades humanas. Sua conservação e uso consciente são fundamentais para garantir a saúde dos ecossistemas e o desenvolvimento sustentável da sociedade.

Atualmente, inúmeros processos fabris usam grande quantidade de água por dia para dar origem a produtos de consumo indispensáveis para a população. Um exemplo disto, é a indústria têxtil, que é o um setor econômico que engloba o processo de produção de fibras, fios e tecidos para a fabricação de roupas, acessórios e outros produtos relacionados. Segundo Maestri *et al.* (2021), esse setor merece destaque pelo fato de que os produtos de vestuários serem a segunda maior necessidade do ser humano, ficando atrás apenas de produtos de alimentação.

A indústria têxtil é quase sempre associada ao consumo exacerbado de água e a geração de poluentes contaminados, conforme evidenciado por Ramos *et al.* (2020); Polli, (2023) e Tomassoni *et al.* (2022). Como resumido por Leal (2014), o macroprocesso de beneficiamento têxtil tem por objetivo a transformação de matérias-primas como o algodão, a lã, a seda, o linho, entre outros, em tecidos crus, alvejados, tingidos, estampados e acabados. Tal fenômeno é explicado pelas etapas que envolvem a cadeia produtiva do setor. Pode-se dividir o seguimento produtivo da indústria têxtil em três estágios, a partir da obtenção da matéria-prima. As duas primeiras, fiação e tecelagem, são etapas consideradas secas. Já a terceira, chamada de beneficiamento, é onde começa o uso indiscriminado da água.



Durante o processo de tingimento, um dos corantes mais amplamente usados na indústria é o azul de metileno, também chamado internacionalmente de Cloreto de metiltionínio. Güleç *et al.* (2023), alerta sobre esse pigmento catiônico que além de se apresentar como um poluente ambiental, também pode causar males à saúde, tais como queimaduras nos olhos e dificuldades respiratórias. De forma semelhante, o vermelho do congo é um corante catiônico, tóxico e causa dificuldades respiratórias, vômito, diarreia e náuseas, como descreve Gupta *et al.* (2020). Os autores Oliveira e Araújo (2020) ainda alertam para a possibilidade desse corante ser cancerígeno.

O manejo e tratamento desses subprodutos têxteis gerados é de extrema importância ambiental e sanitária, principalmente no que diz respeito a riscos à biota aquática, qualidade de águas residuais, riscos de intoxicação e contaminação para a saúde humana (principalmente riscos ocupacionais). Nesse contexto, existem diversos métodos físico-químicos e biológicos adotados para remediar essa problemática. Entretanto, muitas vezes, fatores como eficiência e custo, são decisivos para a escolha do método (RIBAS; 2022). Mesmo assim, diversos autores tais como Toledo (2023) e Melo (2021) ressaltam o tratamento biológico como uma alternativa barata e com uma boa capacidade de tratar esses efluentes coloridos, além de contribuir para uma maior ecoeficiência, tendo em vista a reutilização de matéria vegetal, por exemplo.

Uma técnica físico-químico que é amplamente usada para tratamento é a adsorção. Segundo a definição de Atkins *et al.* (2018), a adsorção é um fenômeno de superfície onde átomos, íons ou moléculas de uma substância são retidos na superfície de um sólido ou gás. Isso ocorre devido às forças de atração entre as moléculas da substância adsorvida e as moléculas do sólido ou do gás adsorvente. Esse fenômeno pode ser dividido em adsorção física (ou fisissorção) e adsorção química (ou quimissorção), dependendo da natureza das interações envolvidas.

Normalmente, o carvão ativado e seus materiais derivados são ótimos adsorventes e já são largamente usados como ferramentas de tratamento. Contudo, possuem alto custo relacionado a sua implementação, como realçam os autores Almerindo e Rossol (2023). Além do mais, suas baixas capacidades de reutilização são motivos que justificam a busca por materiais mais baratos e que apresente uma boa remoção de corantes residuais.

Diante disso, a biomassa das plantas *Dryopteris wallichiana*, também conhecida como samambaia de madeira alpina, e da *Cymbopogon citratus*, a erva-príncipe ou capim-cidreira apresentam um potencial considerável como bioadsorventes na remoção do azul de metileno, vermelho do congo e soluções de bicromia, isto é, mistura de ambos os corantes, como foi estudado por Grando *et al.* (2017) e há a possibilidade de usá-las para tratamento de efluentes contendo estes corantes.

2. OBJETIVOS

Além do objetivo principal, de testar as duas plantas em diferentes condições de efluentes, este trabalho tem como objetivos específicos:

- I. Avaliar a capacidade de bioadsorção dos resíduos vegetais *Dryopteris wallichiana* e *Cymbopogon citratus* na remoção dos corantes vermelho do congo e azul de metileno em solução aquosa;
- II. Testar a eficiência da mistura (v/v) de ambas as plantas no tratamento em soluções de bicromia nas proporções de mistura de 50:50; 20:80 e 80:20;
- III. Experimentar a mistura das duas plantas na biorremediação de um efluente têxtil sintético.



3. MATERIAIS E MÉTODOS

As plantas usadas nos testes de bio sorção são oriundas do Laboratório de Operações Unitárias da PUCRS, provenientes de diferentes processos de extração de óleos essenciais, sendo resíduos destes referidos processos. As plantas posteriormente foram submetidas a secagem, moagem e peneiramento, sendo estas separadas por granulometria inferior e superior a 250 µm.

Para facilitar o entendimento dos experimentos realizados, as amostras foram codificadas como 31A (*Dryopteris wallichiana*) e 47A (*Cymbopogon citratus*).

Este estudo adotou um método inicialmente proposto por Guleç *et al.* (2023) e Grando *et al.* (2017), adaptando-o para as necessidades específicas da pesquisa.

Primeiramente, avaliou-se a capacidade de bio sorção das plantas de granulometria superior a 250 µm em solução aquosa contendo 25 mg/L de azul de metileno. A dosagem testada foi de 50 mg de bio sorvente para cada 50 mL de solução corante.

Após esta etapa, as amostras ficaram 24h em uma mesa agitadora (Modelo 109 da marca Nova Ética) a 150 rpm. Após o término da agitação foi realizada a filtração usando papel filtro com tamanho dos poros de 25 µm e logo foi realizada a leitura das absorbâncias finais no comprimento de onda 650 nm em um espectrofotômetro (Modelo UV-330G da marca Gehaka).

As mesmas etapas foram seguidas para os testes envolvendo a remoção do corante vermelho do congo (25 mg/L), mudando somente o comprimento de onda para 500 nm para a realização das leituras.

A utilização destes corantes se deu em função de estudos prévios realizados, e por serem corantes de uso corriqueiro na indústria têxtil, conforme estudado por Grando *et al.* (2017).

Em seguida, foram realizados testes, com o intuito de tratar três soluções de bicromia em diferentes proporções de misturas (50:50; 20:80 e 80:20). As bicromias foram preparadas a partir de soluções de concentração 25 mg/L de ambos os corantes. Após as filtrações, as leituras espectrofotométricas foram realizadas no comprimento de 500 nm (este comprimento de onda foi estabelecido experimentalmente nos testes para cada proporção).

Por fim, os bio sorventes foram testados em uma solução de efluente têxtil sintético adaptado de Harbouki e Azambuja (2018). A formulação deste efluente sintético está especificada na Tabela 1.

Tabela 1 - Formulação do efluente têxtil sintético com os reagentes e concentrações.

Reagentes	Concentração (g/L)
Corante Orange II	0,025
Corante Azul de Metileno	0,025
Corante Vermelho do Congo	0,025
Corante Alaranjado de Metila	0,025
Amaciante	0,200
Carbonato de Cálcio	0,100
Hidróxido de Cálcio	0,100

Fonte: Adaptado de Harbouki e Azambuja (2018)



Com a finalidade de calcular o percentual de remoção e a eficácia da bioissorção, utilizou-se a Equação (1):

(1)

$$\text{Percentual de Remoção} = \frac{(C_{\text{Inicial}} - C_{\text{Final}})}{C_{\text{Inicial}}} \times 100$$

onde:

- C_{Inicial} : é a concentração inicial do contaminante na solução antes do processo de adsorção.
- C_{Final} : é a concentração do contaminante na solução após o processo de adsorção.

Para melhor caracterização dos resultados, foram obtidas algumas micrografias através da técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV), antes e depois da superfície do material adsorvente entrar em contato com o adsorvato em meio aquoso.

A MEV é uma técnica qualitativa que pode ser usada para investigar as mudanças da morfologia superficial do bioissorvente antes e depois do fenômeno de bioissorção do adsorbato. (MICHALAK; CHOJNACKA; WITEK-KROWIAK, 2013). As imagens foram obtidas no Laboratório Central de Microscopia e Microanálise (LabCEMM) da PUCRS.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos testes, realizados das adsorções de todos os testes com os bioissorventes, tanto individualmente quanto em misturas, nas soluções aquosas estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos testes realizados.

Bioissorvente	Solução Contaminada	Remoção %
31A (<i>Dryopteris wallichiana</i>)	Azul de Metileno	87,3
31A	Vermelho do Congo	53,8
47A (<i>Cymbopogon citratus</i>)	Vermelho do Congo	73,5
47A	Azul de Metileno	82,3
31A + 47A	Bicromia A (50:50)	24,1
31A + 47A	Bicromia B (20:80)	29,8
31A + 47A	Bicromia C (80:20)	52,3
31A + 47A	Efluente Têxtil Sintético	41,6

Na primeira rodada experimental de tratamento com o azul de metileno, observou-se que o bioissorvente mais eficaz foi o 31A (*Dryopteris wallichiana*), que conseguiu eliminar 87,3% do corante. Em contraste, o bioissorvente 47A (*Cymbopogon citratus*) alcançou uma remoção de 82,3%. Na segunda rodada de tratamento, com vermelho do Congo, foi notada uma remoção mais significativa pelo 47A, alcançando uma taxa de 73,5%. Por outro lado, a amostra 31A apresentou uma remoção de apenas 53,8%.

Já nos testes envolvendo a mistura de ambas as plantas em três soluções de bicromias (50:50; 20:80 e 80:20). Dentre essas, a eficiência da biorremediação da bicromia C (80:20) se destacou, com um percentual de remoção de 52,3%, o que era esperado visto que o rendimento da planta 31A foi muito significativo com o azul de metileno.

No teste realizado no efluente sintético, foi observado que a mistura dos bioissorventes resultou em uma remoção de 41,6%.



Após analisar os resultados percentuais da Tabela 2, foi observada uma diferença significativa em relação aos resultados encontrados por Grando *et al.*, (2017). No caso dos testes com azul de metileno, esperava-se uma remoção do bioissorvente 31A de 98,4%, porém, neste estudo, obteve-se apenas 87,3%. Da mesma forma, para o bioissorvente 47A, esperava-se uma remoção de 97,1%, mas o resultado obtido foi de 82,3%.

Nos experimentos com o corante vermelho do congo, as expectativas eram de uma bioissorção de 84,5% e 93,4% para as amostras 31A e 47A, respectivamente. Entretanto, ao reproduzir esse experimento, os resultados foram diferentes do esperado, com uma remoção de 53,8% para a amostra 31A e 73,5% para a amostra 47A.

Essa discrepância dos resultados esperados dos experimentalmente obtidos sugere a necessidade de um estudo mais aprofundado e que busque explicar essa divergência entre os resultados, além de realizar-se duplicatas dos experimentos. Outro ponto importante é a forma de armazenamento das amostras, visto que estas foram armazenadas em frascos comuns, onde ficaram expostas a luz e umidade, o que pode ter interferido na ocupação dos poros alterando assim sua capacidade de adsorção.

Nos testes envolvendo a mistura de ambas as plantas em soluções de bicromia, obteve-se resultados pouco satisfatórios em relação a remoção dos contaminantes. A maior eficiência foi observada na bicromia B, 80% de vermelho do congo e 20% azul de metileno, que demonstrou 52,3% de remoção, o que pode sugerir uma maior afinidade dos bioissorventes pelo corante catiônico vermelho do congo. Neste ponto também surge a necessidade de mais experimentos, no sentido do entendimento de comportamento das bicromias e das misturas de bioissorventes.

Por fim, o teste com a solução que simula um efluente têxtil real, com a mistura das biomassas, não houve uma remoção de sequer metade dos contaminantes. O que reforça a principal problemática do tratamento de efluentes usando o método de bioissorção, que é a complexidade e diversidade dos contaminantes/corantes presentes nos efluentes residuais, o que dificulta a biorremediação por parte do bioissorvente, como advoga Jain et al. (2003).

Como salientado anteriormente, com o propósito de conhecer a morfologia dos bioissorventes, utilizou-se a MEV. As imagens da superfície dos bioissorventes são apresentadas nas Figuras 1, 2 e 3, ampliadas 2000 vezes. De modo geral, observa-se uma superfície irregular (expondo macro poros disponíveis para auxiliar o processo adsorptivo) e heterogênea nas amostras antes de entrarem em contato com a solução contendo corante. Assim, acredita-se que tais características sejam favoráveis para a adsorção.

Observa-se de forma clara que, em todas as imagens (Figuras 1 a 3), ocorreu uma interação do corante com o bioissorvente. Em outras palavras podemos observar que é possível comparar amostras antes e após a adsorção e é notório a presença do corante, tornando a superfície menos rugosa, ou seja, os poros do bioissorvente que antes estavam disponíveis estão posteriormente preenchidos com o corante testado.

5. CONCLUSÕES

Foi possível perceber por meio dos testes realizados com os corantes azul de metileno e vermelho do congo, tanto separados quanto em mistura, que ambas as plantas avaliadas possuem um potencial de bioissorção destes contaminantes (corantes), apesar de que os resultados obtidos não tenham sido significativos.



Figura 1 – Superfície da amostra 31A antes e depois do contato com azul de metileno

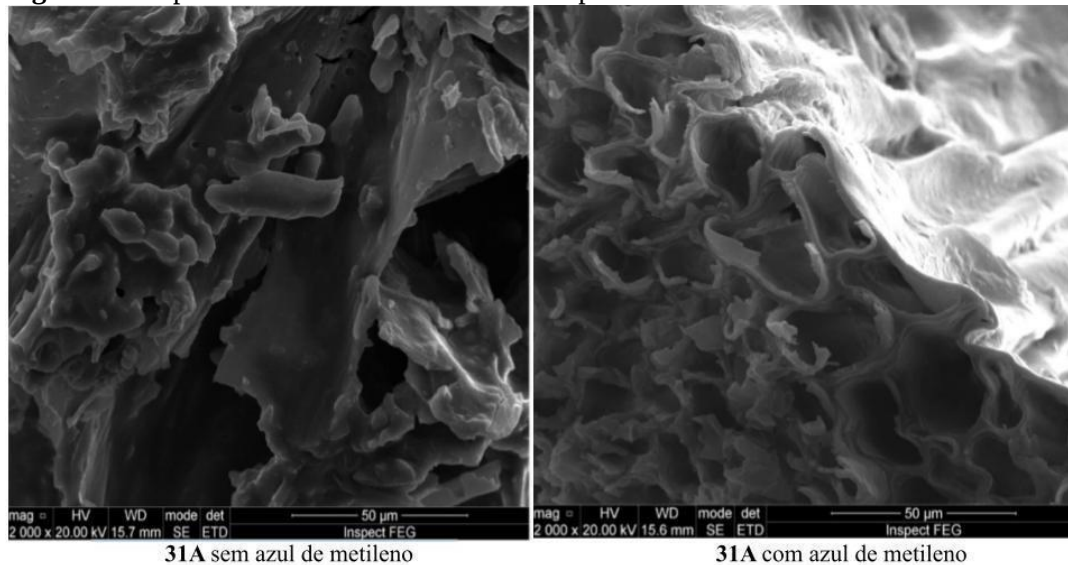


Figura 2 - Superfície da amostra 47A antes e depois do contato com vermelho do congo

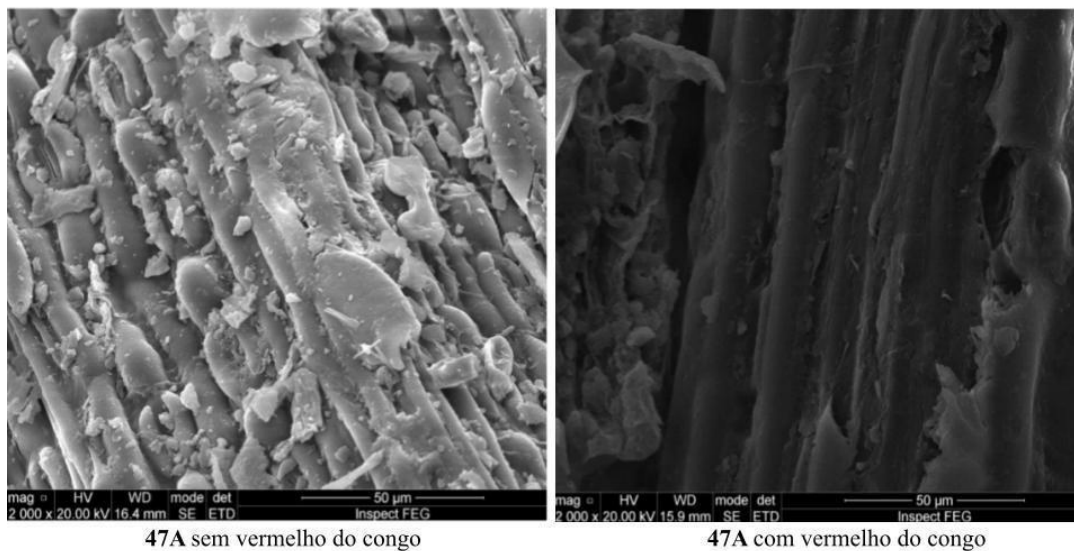
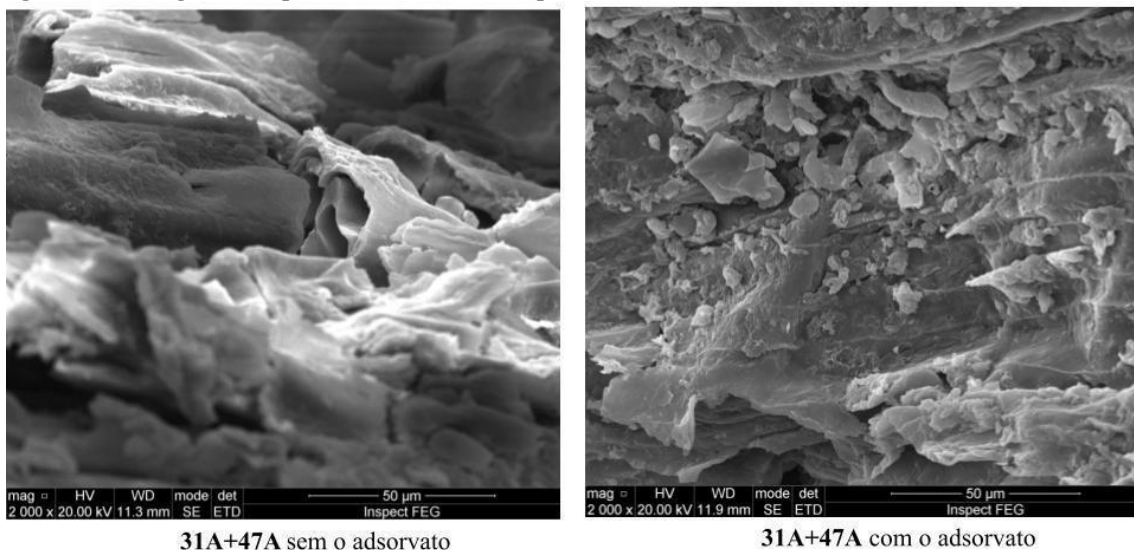


Figura 3 – Imagem comparativa do antes e depois das amostras em contato com a bicromia C



Além disso, o teste com a solução que simula um efluente têxtil real mostrou uma baixa remoção, evidenciando os desafios da biorremediação por bioissorventes em face da complexidade dos contaminantes presentes.

Comparando os resultados obtidos da mistura de ambas as plantas em soluções de bicromia, revelou-se efeitos pouco satisfatórios, destacando-se apenas na bicromia C (80:20), sendo assim, surge a necessidade de mais estudos sobre o comportamento das bicromias e das misturas de bioissorventes. A discrepância entre os resultados esperados e obtidos apontam, como salientado, para a necessidade de estudos mais aprofundados, incluindo a replicação dos experimentos e a consideração das condições de armazenamento das amostras. Além disto, é importante um estudo mais detalhado dos percentuais de plantas (mistura) para um melhor rendimento na remoção de corantes.

6. AGRADECIMENTOS

Nós, autores, gostaríamos de expressar nossa sincera gratidão ao nosso orientador Prof. Cláudio Frankenberg pelas orientações e pela oportunidade de participar dessa bolsa de pesquisa. Agradecer imensamente a Fernanda Abreu, técnica responsável do laboratório de Processos Ambientais, onde essa pesquisa foi realizada, que se mostrou sempre disposta a ajudar e colaborar. Agradecemos a pronta disponibilidade e apoio nas análises por parte do Leonardo Moreira, responsável pelos laboratórios de química da Escola Politécnica da PUCRS. Por fim, mas não menos importante, queríamos agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro que tornou este trabalho possível.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, E. Oliveira de Assis; ARAÚJO, A. Cláudia Vaz. Estudo Estatístico Para O Uso De Material Nanoestruturado na Remoção de Corantes Vermelho Congo e Índigo Carmim em Meio Aquoso. **Scientific Journal of Environmental Sciences and Biotechnology**, v. 6, n. 3, p. 60–70, 2020.

ANGELINE, A. M. et al. Seleção e Uso de Resíduos de Plantas Oriundas de Processo de Extração Para o Tratamento de Efluentes Industriais. In: **12º Encontro Brasileiro Sobre Adsorção**. Gramado, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2018.

ATKINS, P.; DE PAULA, J. **Physical Chemistry**. 11th ed. Oxford University Press, 2018. p. 916- 925.

GÜLEÇ, F. et al. Exploring the Utilisation of Natural Biosorbents for Effective Methylene Blue Removal. **Applied Sciences**, v. 14, n. 1, p. 81, 21 dez. 2023.

GUPTA, V. K. et al. Sequestration Of Toxic Congo Red Dye From Aqueous Solution Using Ecofriendly Guar Gum/Activated Carbon Nanocomposite. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 158, p. 1310–1318, 1 set. 2020.

LUDMILLA FERNANDA ARANTES MELO. **Capacidade Biossortiva de Leveduras *Saccharomyces cerevisiae* em Contato com Corante Violeta Cristal e Viabilidade de Uso na Indústria Têxtil**. Uberlândia - MG: 2021.

MAESTRI, G. et al. **Revoluções Tecnológicas E A Relação Com O Setor Têxtil: Perspectivas Baseadas em Indústria 3.5, Indústria 4.0 e Indústria 5.0** Technological revolutions and the relationship with the textile sector: perspectives based on Industry 3.5, Industry 4.0 and Industry 5.0. v. 13, 2021.

MICHALAK, I.; CHOJNACKA, K.; WITEK-KROWIAK, A. State Of The Art for The Biosorption Process - A Review. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 170, n. 6, p. 1389–1416, jul. 2013.

MOURA, J.; LICKS, L. Efluentes Sintéticos: Elaboração e Uso. In: **19º Salão de Iniciação Científica da PUCRS**, Porto Alegre.

POLLI, L. R. **Métodos Para A Remoção De Corantes No Tratamento De Efluentes Da Indústria Têxtil**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2023.

RAMOS, M. D. N. et al. Critical Analysis Of The Characteristics Of Industrial Effluents From The Textile Sector In Brazil. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 4, p. 913–929, 1 ago. 2020.

RIBAS, F. B. T.; DA SILVA, W. L. Biosorption: A Review of Promising Alternative Methods In Wastewater Treatment. **Revista Materia**, v. 27, n. 2, 2022.

LEAL, Tarcísio Wolff. **Tratamento De Efluentes Têxteis Por Processos Adsorptivos Visando O Reuso Da Água**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.





**12º Simpósio
Internacional de
Qualidade
Ambiental**

**Data do Evento:
04, 05 e 06/11/2024**

**TEMA:
Desafios e soluções
ambientais na
adequação aos
critérios ESG**

TOLEDO, S. M. **Biossorção E Biodegradação Do Corante Têxtil Guarany 16- Azul Marinho em Meio Aquoso Por *Saccharomyces cerevisiae***. Araras - SP, 2023.

TOMASSONI, F. et al. Aplicação Do Método Estatístico DCCR Na Remoção De Corantes Em Efluente Têxtil Por Processo De Adsorção. **Engenharia, Gestão e Inovação** – v.2 – Belo Horizonte - MG, 2022

Realização



ABES-RS

PUCRS



abes-rs@abes-rs.org.br

(51) 999330700

www.abes-rs.org.br

