

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO  
PAULO**

**CÂMPUS AVARÉ**

**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS**

**GABRIELE CAROLINE MIGORANÇA**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE APLICAÇÃO DE KOMBUCHA NA  
DEGRADAÇÃO E ADSORÇÃO DE CORANTE TÊXTIL**

**AVARÉ**

**2024**

**GABRIELE CAROLINE MIGORANÇA**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE APLICAÇÃO DE KOMBUCHA NA  
DEGRADAÇÃO E ADSORÇÃO DE CORANTE TÊXTIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Biosistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - *Campus Avaré*, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Biosistemas.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Marcela Pavan Bagagli

AVARÉ  
2024

Catálogo na fonte  
Instituto Federal de São Paulo – Campus Avaré

Migorança, Gabriele Caroline

Avaliação do potencial de aplicação de Kombucha na degradação e adsorção de corante têxtil / Gabriele C. Migorança - Avaré, 2024.

48 p.

Orientador: Marcela Pavan Bagagli

Monografia (Graduação – Engenharia de Biosistemas) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus Avaré, Avaré, 2023.

1. Efluentes. 2. Kombucha. 3. celulose. 4. Corante. I. Marcela Pavan Bagagli. II. Título.

ATA N.º 1/2024 - CBEB-AVR/DAE-AVR/DRG-AVR/IFSP

### Ata de Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação

No dia 02 de fevereiro de 2024 realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE APLICAÇÃO DE KOMBUCHA NA DEGRADAÇÃO E ADSORÇÃO DE CORANTE TÊXTIL apresentado pela aluna **Gabriele Caroline Migorança (AV3001784)** do Curso **SUPERIOR EM ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS**, (Câmpus Campus Avaré). Os trabalhos foram iniciados às 14:00 pela Professora presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

Membros	IES	Presença (Sim/Não)	Aprovação/Conceito
Marcela Pavan Bagagli (Presidente/Orientador)	IFSP-Campus Avaré	Sim	Aprovado
Adria de Sousa Bentes (Examinador 1)	IFSP - Campus Capivari	Sim	Aprovado
Rafael Aparecido Ferreira (Examinador 2)	IFSP - Câmpus Avaré	Sim	Aprovado

#### Observações:

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo da monografia, passou à arguição da candidata. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pela aluna, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

Aprovado(a)

Reprovado(a)

Nota Final: 9,0

O segundo examinador é avaliador externo:

Sim  Não

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Campus Avaré,

2 de fevereiro de 2024

Documento assinado eletronicamente por:

- **Marcela Pavan Bagagli**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 02/02/2024 17:53:51.
- **Adria de Sousa Bentes**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 02/02/2024 17:59:13.
- **Rafael Aparecido Ferreira**, COORDENADOR(A) - FUC1 - CBEB-AVR, em 02/02/2024 19:19:15.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 02/02/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifsp.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 688280  
Código de Autenticação: fe93ce255f



Dedico esta monografia, a minha mãe, a maior incentivadora deste sonho.

## **AGRADECIMENTOS**

Começo estes agradecimentos, oferecendo-os primeiramente a Deus que me permitiu não esmorecer em nenhum momento.

Agradeço a meu pai Paulo, por mostrar a mais refinada filosofia em sua simplicidade, à minha mãe Marta, por insistir e investir toda uma vida em minha criação e ao meu irmão Otávio por enfrentar todas as gaitadas da vida junto a mim.

Agradeço ao meu companheiro Luiz Antonio, por me apoiar em todos os momentos durante a graduação.

Agradeço às amigas Jéssica, Lígia e Leticia por tornarem a graduação mais suportável. Tornando as manhãs leves, os risos fáceis e os jantares inesquecíveis.

Agradeço a professora Marcela, por tudo o que me proporcionou desde as broncas intermináveis, até os risos que eram ainda maiores. Obrigada pela mão amiga e pelo seu olhar extremamente humano.

Agradeço a equipe de servidores do Campus, em especial ao técnico Luciano Delmondes por todas as oportunidades a mim cedidas. Tenha certeza que você é um professor por honra.

E aos amigos Vanessa e João, saibam que sou imensamente grata pelo destino que quis nos unir, vocês tornaram a vida leve e o trabalho fácil.

Aos demais, mesmo que tentasse citar todos os nomes que marcaram essa trajetória, creio que ainda seria injusta ao esquecer o nome de alguém. Sintam-se abraçados e tenham plena certeza de que sou hoje apenas um relicário guardando um pedaço de todos vocês comigo.

“Todo efeito tem uma causa; todo efeito inteligente tem uma causa inteligente; a potência da causa inteligente está na razão da grandeza do efeito”.

(Allan Kardec, 1869, pág. 173)

## RESUMO

A indústria têxtil de maneira global, apresenta como principal fonte de seus problemas ambientais a produção de efluentes contaminados com a presença de corantes sintéticos que, além de serem potencialmente tóxicos para plantas e animais, acabam impossibilitando o reaproveitamento da água em diferentes processos. Os corantes sintéticos podem ser removidos de diversas maneiras, sendo a biodegradação e a adsorção em biopolímeros uma alternativa eficiente e de baixo custo. Neste trabalho objetivou-se avaliar o uso de uma cultura simbiótica de bactérias e leveduras, denominada SCOBY, de Kombucha no tratamento de soluções com corante têxtil azul dianativo. Inicialmente avaliou-se a ação dos SCOBYs ativos de Kombucha incubados em solução de corante por 30 dias, observou-se que o pH sofreu pouca variação ficando em 2,5 ao final do processo, quanto a absorvância, também se observou pouca variação ao longo do período. Posteriormente os SCOBYs foram tratados termicamente, a fim de que fossem inativadas os microrganismos e enzimas presentes, e o material polimérico seco em estufa por 7 dias e avaliado como adsorvente em pH 3 e 9, sendo que o primeiro apresentou resultados relevantes possibilitando, em média, a remoção de até  $81 \pm 20$  % do corante presente na solução. O bioadsorvente apresentou capacidade de adsorver, em média,  $3,36 \pm 0,44$  mg g<sup>-1</sup> de bioadsorvente em pH 3,0.

**Palavras-chave:** Kombucha; biodegradação; bioadsorventes; corante têxtil; tratamento de efluentes.



## ABSTRACT

The textile industry globally presents as the main source of its environmental problems the production of effluents contaminated with the presence of synthetic dyes which, in addition to being potentially toxic to plants and animals, end up making it impossible to reuse water in different processes. Synthetic dyes can be removed in several ways, with biodegradation and adsorption on biopolymers being an efficient and low-cost alternative. This work aimed to evaluate the use of a symbiotic culture of bacteria and yeast, called SCOBY, of Kombucha in the treatment of solutions with dianative blue textile dye. Initially, the action of active Kombucha SCOBYs incubated in a dye solution for 30 days was evaluated. It was observed that the pH underwent little variation, remaining at 2.5 at the end of the process. As for absorbance, little variation was also observed throughout of the period. Subsequently, the SCOBYs were heat treated, in order to inactivate the microorganisms and enzymes present, and the polymeric material was dried in an oven for 7 days and evaluated as an adsorbent at pH 3 and 9, with the first presenting relevant results, allowing, on average, removing up to  $81 \pm 20\%$  of the dye present in the solution. The bioadsorbent showed the capacity to adsorb, on average,  $3.36 \pm 0.44$  mg g<sup>-1</sup> of bioadsorbent at pH 3.0.

**Keywords:** Kombucha; bioadsorbents; textile dye; wastewater treatment; biodegradation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Descarte de efluentes têxteis sem tratamento.....	15
<b>Figura 2</b> - Divisão dos corantes sintéticos.....	20
<b>Figura 3</b> - Sistema adsorvente em equilíbrio.....	23
<b>Figura 4</b> - Materiais de baixo custo com potencial de adsorver corantes.....	25
<b>Figura 5</b> - Processo Fermentativo da Kombucha.....	29
<b>Figura 6</b> - Ensaio de biodegradação de corante azul dianativo HFG por SCOBY ativo de Kombucha.....	32
<b>Figura 7</b> - Biofilme produzido por SCOBY de Kombucha (a) após cultivo em chá verde adoçado; (b) picado em tiras; (c) picado em cubos; (d) após cozimento (e) após cozimento e desidratação.....	33
<b>Figura 8</b> - Colunas de adsorção.....	34
<b>Figura 9</b> - Absorbância a 625 nm e pH médios da solução aquosa de azul dianativo HFG a 20 ppm (m:v) inoculada com SCOBY de Kombucha.....	35
<b>Figura 10</b> - Soluções aquosa de azul dianativo HFG a 20 ppm (m:v) inoculada com SCOBY ativo de Kombucha no tempo inicial (0 h) e ao término do ensaio (648 h). 36	
<b>Figura 11</b> - Concentração e pH das soluções aquosa de azul dianativo HFG a 20 ppm (m:v) antes e após passagens consecutivas pelo bioadsorvente de Kombucha em pH (a) 3,0 e (b) 9,0.....	37
<b>Figura 12</b> - Imagens (a) das soluções aquosas de azul dianativo HFG a 20 ppm (m:v) em pH 3,0 antes e após 3 passagens pelas colunas de adsorção e (b) do bioadsorvente após as 3 passagens da solução corante em pH 3,0.....	38

**Figura 13** - Colunas de adsorção durante o ensaio de quantificação da massa de corante adsorvida pelo biofilme celulósico de SACOBY de Kombucha..... 39

**Figura 14** - Bioadsorvente após ensaio de quantificação de massa adsorvida do corante azul dianativo HFG em pH 3,0..... 39

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Exemplos de Corantes.....	21
<b>Tabela 2</b> – Informações sobre o corante avaliado.....	31

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abit - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção

C - Celsius

CM - Carboximetilcelulose

CNI - Confederação Nacional da Indústria

DP - Diâmetro de Poros

g - Gramas

IEMI - Instituto de Estudos e Marketing Industrial

KF - Constante de Adsorção

M - Massa

NaCl - Cloreto de Sódio

NaOH - Hidróxido de Sódio

Nm - Nanômetros

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU - Organização das Nações Unidas

PCZ - Ponto de Carga Zero

POA - Processos Oxidativos

SCOBY - *Symbiotic Culture of Bacteria and Yeasts*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>1.1 Problematização</b> .....	17
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	17
<b>2.1 Objetivo Geral</b> .....	17
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	17
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	18
<b>3.1 Indústrias Têxteis</b> .....	18
<b>3.2 Corantes Têxteis</b> .....	19
<b>3.3 Tratamento de efluentes contendo corantes têxteis</b> .....	22
3.3.1 <i>Adsorção em biomateriais</i> .....	24
3.3.2 <i>Biodegradação</i> .....	27
<b>3.5 Kombucha</b> .....	27
3.5.1 <i>Biofilme celulósico de SCOBY de Kombucha</i> .....	29
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	30
<b>4.1 Corantes</b> .....	30
<b>4.2 Kombucha</b> .....	31
<b>4.3 Ensaios de Biodegradação do corante azul</b> .....	32
<b>4.4 Ensaios de bioadsorção</b> .....	32
<b>4.5 Quantificação da massa de corante adsorvido pelo biofilme de Kombucha</b> .....	34
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	35
<b>5.1 Determinação do comprimento de onda máximo da solução de corante e ponto de carga zero do bioadsorvente</b> .....	35
<b>5.2 Ensaio de Biodegradação do corante azul</b> .....	35
<b>5.3 Ensaio de bioadsorção do corante azul pelo biofilme do SCOBY de Kombucha</b> .....	36
<b>5.4 Quantificação da massa de corante adsorvido pelo biofilme celulósico de SCOBY de Kombucha</b> .....	38
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	42

## 1 INTRODUÇÃO

Os corantes têxteis causam grande impacto na economia mundial, e são também um dos maiores problemas ambientais deste setor, principalmente por serem, em sua grande maioria, moléculas de difícil degradação que mesmo em concentrações próximas de 1 ppm podem ser detectadas a olho nu, inviabilizando um ciclo de reuso da água dentro da indústria (Guaratini; Zanoni, 2000).

**Figura 1** - Descarte de efluentes têxteis sem tratamento.



Fonte: LIMA, 2017.

A arte da tinturaria iniciou-se há milhares de anos, originando uma alta disponibilidade de cores e tipos de corantes para a indústria, sendo estes compostos de estruturas moleculares diversificadas. Algumas destas podem causar avarias à vida humana, fauna e flora, por apresentar entre seus componentes a presença de metais pesados. O grau de exposição a esses componentes vai ditar o quão significativo serão esses riscos (Guaratini; Zanoni, 2000; Jaikumar; Ramamurthi, 2009; Cunha, 2014).

Devido às implicações ambientais, novas tecnologias vêm sendo buscadas para a degradação ou imobilização de compostos tóxicos em efluentes têxteis. Procedimentos como a troca iônica, precipitação química, osmose reversa e filtração por membrana. Entretanto, os processos que apresentam maior destaque são a coagulação, processos oxidativos e processos de adsorção. Os métodos de biossorção são altamente explorados uma vez que propõem a utilização de biomassas de origem vegetal ou microbiana e têm apresentado alta eficiência ao final do

tratamento, sendo atraente do ponto de vista ecológico e econômico (Kunz *et al.*, 2015).

Ricaczek (2017) utilizou celulose de origem bacteriana produzida pela *Gluconacetobacter hansenii* como biossorvente, atingindo remoções de 95% e 94% em pHs 1 e 2, respectivamente. A celulose bacteriana mostrou-se altamente eficiente quando aplicada em um efluente real, sendo capaz de remover 80,66% da mistura de corantes presentes no efluente de origem industrial.

Além do uso da biomassa microbiana, o próprio microrganismo pode degradar corantes presentes em efluentes. Pereira *et al.* (2010) avaliaram a biodegradação de Remazol Brilliant Blue R, Reactive Yellow 145, Reactive Red 195 por três fungos filamentosos, sendo eles *Lentinula edodes*, *Paraconiohyrium estuarinum* e *Geotrichum candidum* isolado de tanque de aeração de indústrias têxteis, observando que o primeiro foi capaz de degradar todos os corantes, o segundo apenas os corantes amarelo e vermelho e o último não degradou eficientemente os corantes.

A Kombucha é um alimento de crescente consumo no mundo, sendo o mercado estimado para 2029 de 13,41 bilhões de dólares (crescimento de 25% em relação à 2020) segundo relatório da Exactitude Consultancy. A bebida possui origem asiática, com registros desde o ano de 221 a.C., e é obtida a partir de um chá fermentado através de um consórcio microbiano composto por diversas bactérias e leveduras, o qual é denominado de SCOBY (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeasts*). Após o processo fermentativo ela transforma-se em uma bebida gaseificada repleta de vitaminas, enzimas, probióticos e ácidos com diversos benefícios para a saúde (Paludo, 2017). O processo de fermentação leva a formação de uma película de celulose (um biofilme) com elevada capacidade de retenção de água, sintetizada principalmente por bactérias do gênero *Acetobacter* (Villarreal-Soto *et al.*, 2018). Inúmeros estudos sobre o SCOBY de Kombucha vem sendo realizados, a fim de explorar todas as possibilidades de utilizar esta matriz de celulose como matéria-prima na indústria alimentícia, na produção de biomateriais, moda, biotecnologia, entre outros (Laavanya *et al.*, 2021). Além disso, os microrganismos presentes no SCOBY podem utilizar moléculas diversas em seus metabolismos e liberar enzimas capazes de alterar outras estruturas, como é o caso da despolimerização de compostos fenólicos presentes em chás (Villarreal-Soto *et al.*, 2018).



Este projeto objetivou aplicar o SCOBY ativo de Kombucha para degradação de corante têxtil, bem como a matriz de celulose microbiana do SCOBY como bioadsorvente para a remoção de corante têxtil azul dianativo HFG (Reactive Blue 4), em um sistema modelo em soluções aquosas.

### **1.1 Problematização**

A indústria têxtil promove uma grande geração de efluentes contaminados, os mesmos podem prejudicar a vida de forma geral no planeta, além de inviabilizar o reuso da água pela indústria. Com a ascensão do consumo de Kombucha pela população eleva a disponibilidade da cultura simbiótica, permitindo a aplicação em áreas além da produção de alimentos, tal como a degradação de moléculas complexas. Ainda neste cenário, estudos que conduzem a aplicação da matriz celulósica, vêm ganhando espaço pois boa parte do material simbiótico é descartado incorretamente (Martini, 2022). Como um biomaterial de fácil obtenção e baixo valor econômico, o SCOBY de Kombucha é uma matriz de celulose que pode apresentar boa capacidade de adsorção de substâncias diversas, podendo ser utilizado pela indústria têxtil para tratamento de seus efluentes contendo corantes.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Neste projeto objetivou-se aplicar o SCOBY de Kombucha ativo para degradação de corante têxtil azul dianativo HFG (Reactive Blue 4), bem como a aplicação da celulose microbiana produzida pelo SCOBY de Kombucha como um material adsorvente do mesmo corante, contribuindo, assim, com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), em especial o ODS 12 (consumo e produção responsáveis) e o ODS 6 (água potável e saneamento).

### **2.2 Objetivos Específicos**

De forma específica, os objetivos foram:

- Avaliar a biodegradação de corante têxtil azul dianativo HFG (Reactive Blue 4), em solução aquosa, por SCOBY de Kombucha;

- Avaliação da capacidade de adsorção de corante têxtil azul dianativo HFG (Reactive Blue 4), em solução aquosa, em diferentes pHs, pelo biofilme do SCOBY de Kombucha (celulose microbiana), determinando a massa de corante adsorvido por massa de material adsorvente.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Indústrias Têxteis

O setor têxtil compõe parte importante da economia mundial, com a criação das máquinas a vapor este se expandiu principalmente na Inglaterra. Até meados do século XIX todos os corantes eram provenientes de origem natural, os primeiros corantes sintéticos surgiram por volta do início do século XX popularizando e expandindo assim a produção de têxteis (Guaratini; Zanoni, 2000).

Historicamente o setor têxtil compõe parte importante da economia nacional, desde o descobrimento do Brasil o país tem sido fonte importante no mercado têxtil, assim como tem sua história relacionada à produção de corantes, sendo por tempos o principal fornecedor do índigo natural extraído da anileira (*Indigofera tinctoria*) (Guaratini; Zanoni, 2000).

Segundo dados fornecidos pela Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecções (Abit), os segmentos têxteis são um dos mais complexos e tradicionais dentro dos setores industriais no mundo. Contabilizando mais de 33 mil empresas em território nacional (CNI, 2017).

O setor industrial ocasiona significativos impactos ambientais, gerando diversos resíduos sólidos, emissões atmosféricas e efluentes líquidas. Tais efluentes podem conter uma vasta carga de compostos orgânicos, elevado teor de sais orgânicos, pH variável, corantes sintéticos entre outros (Guaratini; Zanoni, 2000; Cunha, 2014; Kumar; Saravanan, 2017; Yaseen; Scholz, 2019).

A utilização de recursos hídricos dentro da indústria têxtil é variada, mas em geral elevada. Cerca de 15% da água doce disponível é consumida por este setor. Devido a carga de substâncias contidas o reaproveitamento da água na indústria pode não ser viável, gerando um ciclo de geração contínuo de efluentes (Silva, 2005; Kumar; Saravanan, 2017; Yaseen; Scholz, 2019).

### 3.2 Corantes Têxteis

A grande maioria das cores que vemos hoje provém de corantes sintéticos, estes são compostos químicos sintetizados em laboratórios, responsáveis por adicionar cor a uma variedade de materiais como têxteis, plásticos, alimentícios, cosméticos e materiais de impressão. A maior parte dos corantes sintéticos são chamados de corantes de alcatrão de hulha, pois até pouco tempo estes só eram obtidos a partir de tal substância (Ajmal, Anila *et al.*, 2016).

Estudos do IEMI- Inteligência de Mercado (para a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção - Abit), mostraram que a produção nacional de vestuário em 2022 foi de 150,3 bilhões, com um aumento de 0,5% em relação ao ano de 2021 (Abit, 2022).

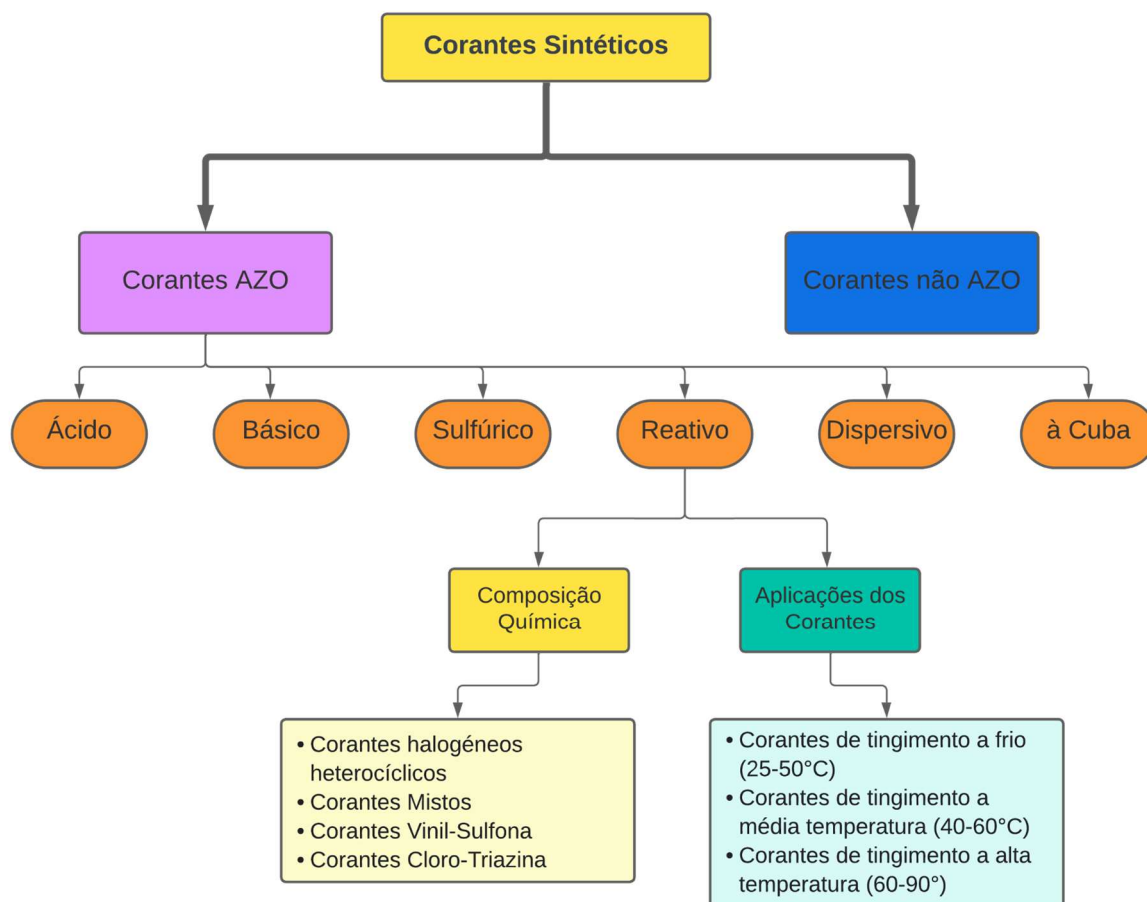
Segundo dados reunidos por Hussain (2018), considerando a produção em uma fábrica de modelo convencional, para cada 1 tonelada de tecidos tingidos são necessários cerca de 150 m<sup>3</sup> de água. Uma fábrica de tamanho médio com processamento de 8000 kg de tecidos por dia consome 1,6 milhões de litros de água diariamente, onde cerca de 280000 toneladas de corantes têxteis serão dispersas como efluentes industriais por ano. Cerca de 3600 tipos de corantes e 8000 produtos químicos diversos estão disponíveis para aplicação nas etapas do beneficiamento dos tecidos, o que inclui as fases desde o branqueamento até a fase de acabamento (Hussain, 2018).

Anualmente são produzidas mais de 800 mil toneladas de corantes e ao final do processo de tinturaria, 90% desses resíduos são descartados em vias hídricas limpas mesmo que tenham passado por tratamentos obrigatórios (Jamee; Siddique, 2019). A indústria têxtil atualmente é responsável por cerca de 20% da poluição de cursos d'água associados a atividades industriais no mundo, a mesma indústria utiliza cerca de 387 bilhões de litros de água potável por ano (Carvalho, 2016).

A maior parte dos corantes, mesmo que devidamente tratados, podem apresentar cor visível aos olhos, danos à saúde humana, fauna e flora. Além de comprovado caráter mutagênico e carcinogênico de algumas substâncias (Zanoni; Carneiro, 2000).

Os corantes são subdivididos de acordo com a sua estrutura química e suas propriedades, conforme ilustra de forma sucinta a figura 2.

**Figura 2** - Divisão dos corantes sintéticos.



Fonte: Adaptado de Vaiano e De Marco, 2023.

A indústria têxtil prioriza a utilização de corantes com base em sua forma de fixação, sendo assim os corantes do tipo AZO os mais utilizados e, entre eles, os corantes do tipo ácido, básico, reativos, diretos e dispersivos.

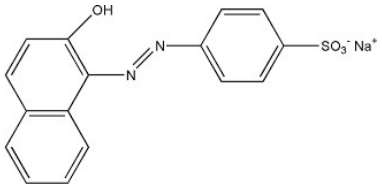
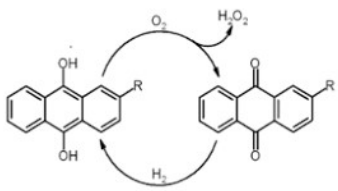
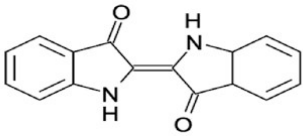
Os corantes denominados reativos, possuem um grupo eletrofílico fazendo ligações covalentes com hidroxilas, grupos tióis e aminas, sendo frequentemente utilizados para o tingimento de materiais de base celulósica, podendo também serem utilizados em lã e nylon (Guaratini; Zanoni, 2000; Ardila-Leal *et al.*, 2021; Diniz, 2015; Teodoro, 2015; Yamanaka, 2016; Vaiano; De Marco, 2023). Os cromóforos dos corantes reativos apresentam função azo e antraquinona, combinados com diferentes

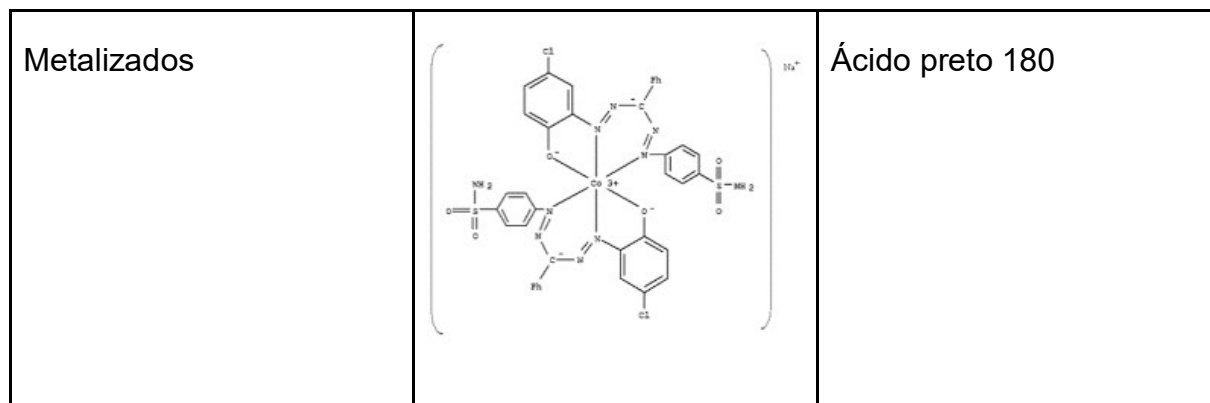
tipos de grupos reativos, entre eles clorotriazinilina e sulfatoetilsulfonila (Guaratini & Zanoni, 2000).

Os corantes classificados como ácidos possuem características aniônicas, pois contém em sua composição grupos sulfônicos (Guaratini & Zanoni, 2000; Diniz, 2015; Teodoro, 2015).

A tabela 1 apresenta estruturas de corantes sintéticos bem como exemplos de corantes comerciais que apresentam essas estruturas.

**Tabela 1-** Exemplos de Corantes

Classe química do corante	Estrutura	Exemplos
Azo		Laranja de metila Vermelho congo Laranja G
Antraquinona		Azul brilhante reativo X- Brazul reativo 4 Vermelho de alizarina S
Indigoide		Índigo Carmim Púrpura de Tiro



Fonte: Adaptado de Ardila-Leal *et al.*, (2021); Zaroni; Yamanaka (2016).

### 3.3 Tratamento de efluentes contendo corantes têxteis

Existe uma diversidade de estudos realizados em torno dos efluentes contaminados com corantes têxteis, cuja finalidade é degradar e/ou removê-los antes dos efluentes serem despejados nos corpos de recepção (Yaseen; Scholz, 2019; Al-Tohamy *et al.*, 2022).

Entre os tipos de tratamentos aplicados neste tipo de efluentes, podemos citar os processos oxidativos avançados (POA), processos de coagulação, eletroquímicos de degradação microbiana aeróbica e anaeróbica, além de processos físicos como a separação por membranas. Todavia, nem sempre esses processos tornam-se aplicáveis às indústrias, seja por motivos econômicos ou técnicos (Teodoro, 2015; Cunha, 2014).

A adsorção é um fenômeno físico e químico no qual componentes de uma fase gasosa ou líquida são transferidos para a superfície de uma fase sólida. O componente ligado à superfície é chamado de adsorvato, e a fase sólida que retém o adsorvato é chamada de adsorvente. O processo de remoção de material de uma superfície é chamado de dessorção. A força motriz para a migração destes componentes de uma fase para outra é a diferença de concentração entre o interior do fluido e a superfície adsorvente. Como os adsorvatos estão concentrados na superfície do adsorvente, quanto maior for a superfície, maior será a eficiência de adsorção (Massel, 1996; Brunch, 1997; SÁ, 2016).

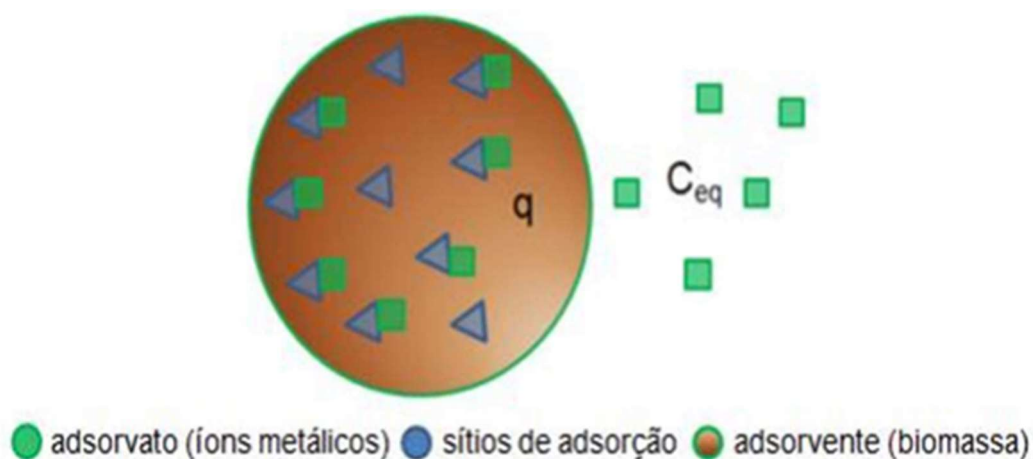
Existem basicamente dois tipos de interação entre o material a ser adsorvido e o adsorvente. O primeiro deles é relacionado a uma operação física, com interações

do tipo forças de Van der Waals. A segunda está relacionada à interação química entre as moléculas e o adsorvente, através do compartilhamento ou transferência de elétrons (Nascimento *et al.*, 2020). É importante salientar que os processos de adsorção envolvendo materiais orgânicos e/ou inorgânicos dependem de fenômenos de transferência de massa e são amplamente aplicados no tratamento de efluentes (Nascimento *et al.*, 2020; Purnhagen *et al.*, 2016).

Inúmeros fatores podem vir a influenciar o processo de adsorção, como por exemplo a combinação de forças envolvidas, sejam elas físicas ou químicas; a área superficial do material adsorvente, o pH do meio, a temperatura de operação, a natureza do solvente e as propriedades do adsorvente e do adsorvato. Uma das principais vantagens do método reside no fato da possibilidade de reutilização do adsorvente, que pode ser regenerado por processo de dessorção (Veneu, 2010; Nascimento *et al.*, 2020).

A figura 3, elaborada por Veneu (2010), apresenta um breve esquema do processo de adsorção em estado de equilíbrio, tendo como adsorvato íons metálicos, em que “ $C_{eq}$ ” é a concentração de equilíbrio de íons ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e “ $q$ ” é a quantidade de material adsorvido ( $\text{mg g}^{-1}$ ).

**Figura 3** - Sistema adsorvente em equilíbrio.



Fonte: VENEU, 2010.

A utilização de materiais adsorventes compostos por biomateriais vêm sendo uma resposta alternativa, apresentando eficientes resultados econômicos e técnicos quando comparados a métodos convencionais (Teodoro, 2015). Materiais como bagaço de cana, palha de arroz, biomassa fúngica e carvão apresentaram resultados

significativos para o tratamento de efluentes contendo corantes (Jaikumar; Ramamurthi, 2009).

### 3.3.1 Adsorção em biomateriais

Muitos biomateriais podem ser utilizados como biossorventes (ou bioadsorvertes) no tratamento de águas residuárias, incluindo as contaminadas com corantes (Almeida, 2016). No entanto, os processos ainda apresentam como limitante os processos de dessorção, que demandam preparações trabalhosas (Aragaw; Bogale, 2021).

A figura 4, adaptada por Aragaw e Bogale (2021) de Siddiqui *et al.* (2018), apresenta exemplos de materiais de baixo custo com potencial para adsorver corantes, contemplando materiais inorgânicos naturais, biomassas microbianas e resíduos.

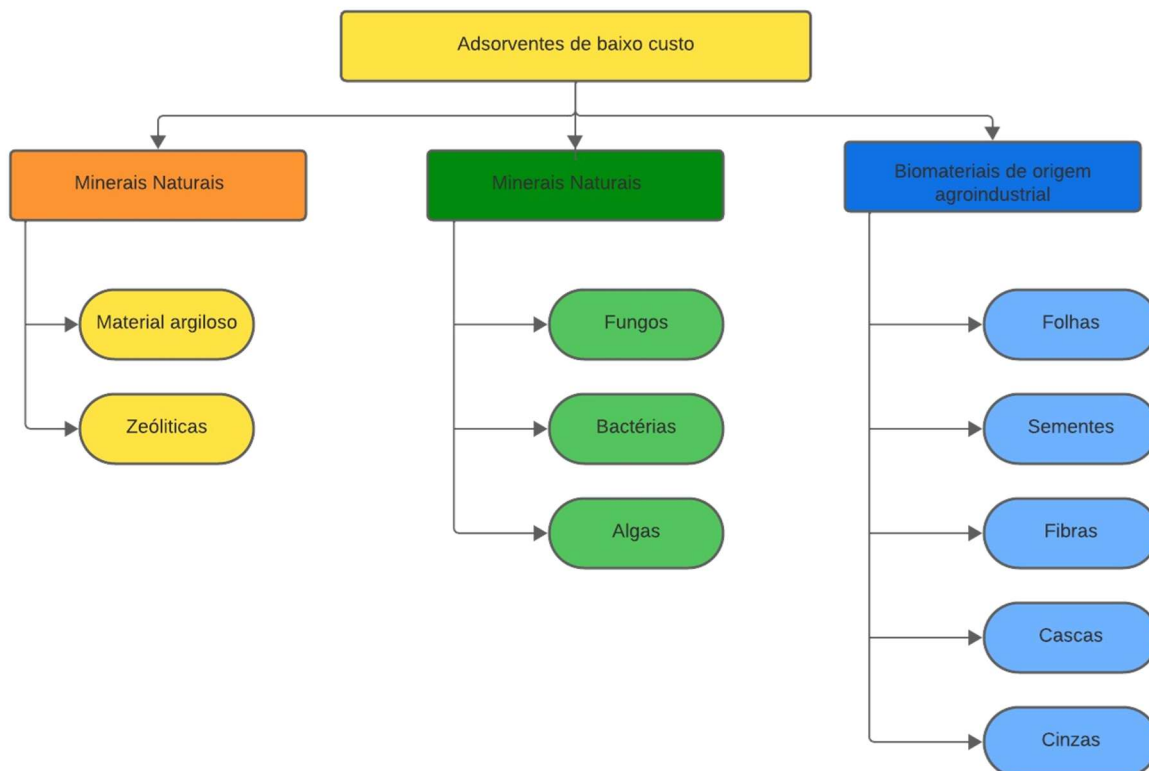
Cardoso (2010) utilizou como adsorvente a casca de pinhão *in natura* e carbonizada para remoção do corante azul de metileno em solução aquosa sendo observado que em pH 8,5 a 25 °C foram adsorvidos 252 mg g<sup>-1</sup> e 529 mg g<sup>-1</sup> respectivamente.

A remoção do mesmo corante foi avaliada por Khan *et al.* (2023) utilizando folhas de *Platanus orientalis* (plátano) em pó não tratadas e seu biochar, sendo verificado que na condição de equilíbrio mais de 99% do corante foi removido da solução aquosa para as 2 matrizes. O material não tratado apresentou monocamada de adsorção de 1,53 mg g<sup>-1</sup> e o biochar do material de 1,02 mg g<sup>-1</sup>.

Palha de milho e bainha de palmito pupunha foram avaliados quando a biossorção do corante azul de metileno apresentando capacidade máxima de adsorção de 102,8 mg g<sup>-1</sup> e 50,9 mg g<sup>-1</sup> respectivamente (Honorato *et al.*, 2015).



**Figura 4** - Materiais de baixo custo com potencial de adsorver corantes.



Fonte: Adaptado de Aragaw e Bogale (2021).

Santos (2023) apresenta em seu trabalho a utilização da biomassa do fungo filamentoso *Aspergillus niger*, como solução alternativa de tratamento para efluentes provenientes da indústria têxtil. Em meio de cultivo líquido o fungo foi capaz de remover até 95 % do corante azul de metileno presente na solução aquosa.

Freitas (2018) avaliou a adsorção do corante azul reativo 198 em leveduras descartadas do processo cervejeiro e em cascas de arroz, biomassas amplamente disponíveis e de baixo custo. Os bioadsorventes foram modificados quimicamente através de tratamentos ácidos e alcalinos, para avaliar o efeito no processo de adsorção sendo observadas reduções médias de até 90% para os dos biomateriais.

A utilização de hidrogéis também tem sido uma alternativa para tratamento de efluentes contendo corantes. Biomateriais como o colágeno e a quitosana possuem um bom grau de intumescimento devido aos grupos funcionais que interagem com a água. Esses materiais apresentaram remoção eficiente do corante azul de metileno em soluções aquosas, sendo em média de 40 mg g<sup>-1</sup> em hidrogéis com quitosana e

2,9 mg g<sup>-1</sup> para o colágeno após 180 min de contato, conforme relatado por Almeida (2016).

Blackburn (2004) avaliou o uso de polissacarídeos catiônicos para a remoção de corantes de efluentes têxteis, sendo verificado que a quitina, quitosana, goma guar, locuste e acácia apresentaram resultados satisfatórios removendo, em média, 60% da coloração do corante azul 193 ácido. Recorrentemente é possível encontrar trabalhos com carboidratos insolúveis poliméricos que atuam numa onda crescente de estudos para a remoção de corantes de resíduos têxteis (CRINI, 2005).

Bai *et al.* (2023), avaliou um compósito formulado com celulose bacteriana e vermiculita para remoção de azul de metileno em sistema aquoso, observando que o material foi capaz de adsorver até 92,16 mg g<sup>-1</sup> do corante.

O biofilme celulósico produzido pela SCOBY de Kombucha é um subproduto do processo de fermentação da bebida Kombucha (Silva *et al.*, 2023). A matriz de celulose tem sido utilizada como matéria-prima em diversas áreas (alimentos, biomateriais, moda, entre outros) tendo como vantagens frente a celulose vegetal o fato de apresentar estrutura mais densa, maior resistência mecânica e maior capacidade de retenção de água (Lavanya *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2023).

Alp Arici (2021) avaliou a eficácia da matriz de celulose SCOBY de Kombucha como um bioissorvente de corante violeta de metila catiônico, e constatou que a bioissorção do corante é dependente do pH das soluções. O melhor resultado foi observado em pH 9,0 e a máxima capacidade de adsorção foi de 1180,09 mg g<sup>-1</sup>.

A matriz celulósica produzida pela SCOBY de Kombucha cultivada em chá preto adoçado e posteriormente desidratada a 70 °C, foi utilizada para adsorver os corantes azul de metileno e verde brilhante, sendo identificado 100% de remoção dos corantes em solução após contato com 1 g do biomaterial por 3 h (Sigiro; Maksum; Dhaneswara, 2023).

### 3.3.2 Biodegradação

Os resíduos da indústria têxtil caracterizam-se por sua baixa degradabilidade, sendo considerados recalcitrantes (resíduos que não são biodegradáveis ou sua taxa de biodegradação é muito lenta). Devido aos altos custos dos métodos comuns de degradação, cresce o interesse por métodos biodegradação.

A aplicação de fungos, especialmente basidiomicetos degradadores de lignina, vem sendo amplamente utilizados no tratamento de efluentes devido a produção de enzimas ligninolíticas de baixa especificidade que podem ser aplicadas na degradação de compostos fenólicos presentes em corantes (Pereira, *et al.*, 2010).

Santana *et al.* (2017) apresenta a utilização de 3 macrofungos do gênero *Geastrum* como biorremediadores na degradação de resíduos industriais, principalmente corantes sintéticos. Os resultados demonstram que a espécie *G. Subiculosum* foi a mais promissora quanto à oxidação do substrato e a degradação do corante Remazol Brilliant Blue R (RBBR), sendo assim a mais indicada para estudos biotecnológicos de degradação.

Bumpus *et al.* (2004) apresenta resultados positivos ao utilizar fungos *Aspergillus niger* e *Phanerochaete chrysosporium* como biodegradadores para os corantes verde malaquita, nigrosina e fucsina básica. De acordo com os resultados do experimento, o fungo *A. niger* e *P. chrysosporium* apresentaram excelente desempenho na degradação das diferentes estruturas químicas, apresentando resultados de até 83,25%, 90,15%, 89,8% para cada corante utilizado nos testes realizados.

## 3.5 Kombucha

A Kombucha é uma bebida fermentada de origem incerta, porém atribuída a povos orientais. O primeiro registro foi encontrado durante a dinastia Qin, em 200 a.c, segundo esse registro a bebida teria sido criada pelo Imperador Qin Shi Huangdi, que acreditava ter encontrado o elixir da imortalidade (Young, 2019).

O processo de produção da Kombucha é feito a partir da infusão de chá verde ou preto (*Camellia sinensis*), tradicionalmente, e é adoçada com açúcar, que é um substrato para fermentação. Adiciona-se ao chá adoçado um volume de SCOBY que serão responsáveis pelo início do processo de fermentação.

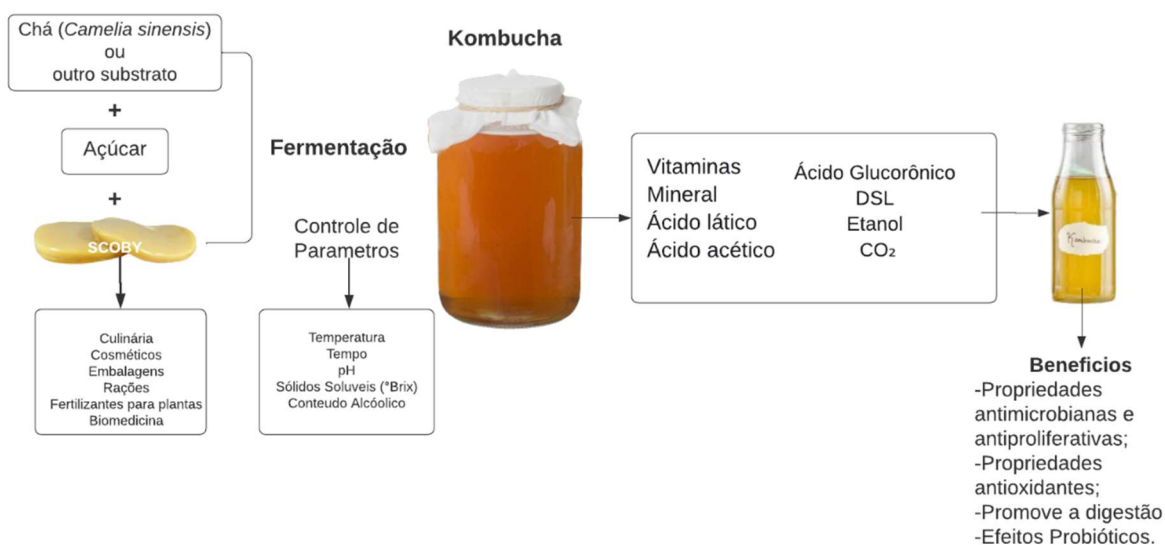
O SCOBY é basicamente composto por bactérias ácido lácticas, acéticas e leveduras, sendo que alguns desses microrganismos podem produzir um biofilme

celulósico e nele ficar aderidos (Villarreal-Soto *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2023). A cada nova fermentação é criado um novo biofilme de SCOBY, e uma parte deste deve ser guardada para a próxima fermentação juntamente com parte do líquido fermentado.

Durante o processo de fermentação o chá começa a liberar bolhas de gás e um aroma ácido e picante, indicando a presença de ácidos orgânicos e etanol. As características do produto final variam de acordo com o tipo de chá e açúcar utilizados na fermentação, dos microrganismos presentes no SCOBY e do tempo de fermentação (Jayabalan *et al.*, 2014).

O tempo de produção varia de 7 a 12 dias, sendo as condições ideais de temperatura entre 22 a 30 °C. O valor do pH é decrescido durante a fermentação atingindo valores entre 2,5 e 3,0 (Dufresne; Farnworth, 2000) e seu consumo tem sido associado a benefícios à saúde, tais como presença de probióticos, antibióticos, aminoácidos, polifenóis, vitaminas e uma variedade de micronutrientes, bem como descrevem suas propriedades medicinais, desintoxicantes, energizantes e seu consumo associado no tratamento e prevenção de doenças. Vários estudos demonstram, em modelos biológicos, evidências científicas em relação as suas propriedades antioxidantes, atividades antimicrobianas, resultados promissores no tratamento de doenças metabólicas, redução de problemas inflamatórios, propriedades anticarcinogênica, dentre outros (Coelho *et al.*, 2020; Dos Santos, 2017). A figura 5 mostra uma breve descrição do processo de obtenção da Kombucha bem como alguns de seus benefícios e aplicações do SCOBY sólido (biofilme).

**Figura 5 - Processo Fermentativo da Kombucha**



Fonte: Adaptado de Coelho *et al.*, 2020.

### 3.5.1 Biofilme celulósico de SCOBY de Kombucha

O SCOBY é constituído por uma vasta gama de microrganismos, sendo comumente pertencentes aos gêneros *Gluconobacter*, *Acetobacter*, *Zygosaccharomyces*, *Saccharomyces* e *Schizosaccharomyces*, os quais são denominados microrganismos de base (Teoh *et al.*, 2004; Jayabalan *et al.*, 2014; Coelho *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2023). No processo fermentativo cria-se destaque para a cepa de *Acetobacter xylinum* a qual é majoritariamente responsável pela síntese de celulose extracelular a partir de glicose. Sendo assim, ela é encontrada em abundância na película superior, denominada de biofilme (Coelho *et al.*, 2020).

A produção do biofilme de celulose produzido pelas bactérias auxilia na fixação e proteção das células em situações desfavoráveis e desafios ambientais, sendo importante fator na exposição constante de bactérias a meios aeróbicos (Silva *et al.*, 2023).

Embora com estrutura molecular idêntica à celulose vegetal, a celulose produzida por bactérias apresenta estrutura mais cristalina, maior grau de polimerização, elevada capacidade de retenção de água, maior pureza, elevada porosidade além de boa adaptação biológica, sendo um material biocompatível, biodegradável e com elevada capacidade de renovação (Dutta; Patel; Lim, 2019; Coelho *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2023).

A celulose microbiana tem sido utilizada na substituição da celulose vegetal, pois sua constituição é feita a partir de microfibrilas 100 vezes menores quando comparadas à celulose vegetal. A celulose produzida a partir da matriz microbiana tem ganhado espaço na produção do éter, carboximetilcelulose (CMC), produto de grande demanda comercial na indústria alimentícia e farmacêutica (Behera; Bunushree *et al.*, 2019).

A celulose microbiana do SCOBY é uma fonte promissora de biomaterial para diversas áreas podendo ser utilizado em bioplásticos, na geração de bioenergia, formulação de alimentos e embalagens, como substituto de couro, engenharia de tecidos humanos, tratamento de efluentes entre outros (Chawla *et al.* 2009; Dutta; Patel; Lim, 2019; Coelho *et al.*, 2020; Alp Arici, 2021; Silva *et al.*, 2023).

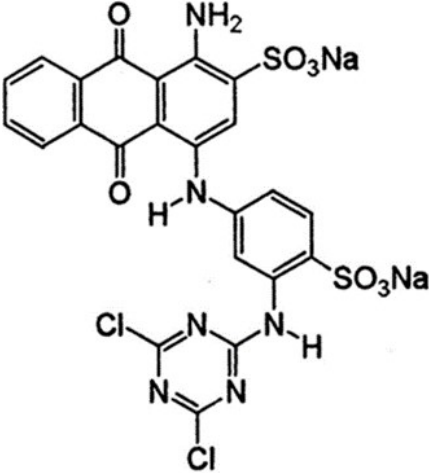
## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Corantes**

O corante têxtil azul dianativo HFG (Reactive Blue 4), foi gentilmente doado pela empresa Danny Color Corantes. Este corante é uma antraquinona de massa molecular 681,39 g/mol. O comprimento de onda de máxima de absorção ( $\lambda_{\text{máx}}$ ) pelo corante foi determinada fazendo uma análise de varredura de absorção entre 200 e 800 nm em espectrofotômetro UV-VIS (GENESYS™ 10S, Thermo Fisher Scientific). Foi construída uma curva padrão relacionando a concentração de corante e a absorbância da respectiva solução no  $\lambda_{\text{máx}}$ .

O corante avaliado apresenta as características conforme a tabela 2 (os dados apresentados nos foram oferecidos pela empresa).

Tabela 2 – Informações sobre o corante avaliado

Corante	Azul Dianativo HFG
Nome	C.I. Reactive Blue 4, C.I.61205
Classificação	Corante Reativo
Estrutura molecular	Antraquinona
Fórmula molecular	$C_{23}H_{12}Cl_2N_6Na_2O_8S_2$
Massa Molecular (g/mol)	681,39
Molécula	

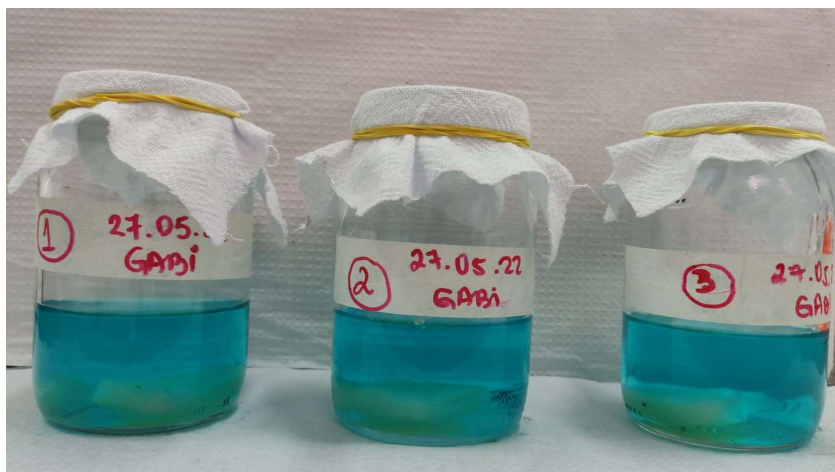
## 4.2 Kombucha

O SCOBY de Kombucha foi adquirido em comércio especializado (Kefir Life Super Food), sendo mantido em extrato adoçado de chá verde trocado a cada 20 dias. Para o preparo do extrato, 500 ml de água adicionados de 100 g de açúcar foram fervidos, após ebulição aproximadamente 3 g de chá verde desidratado foram infundidas e mantidas em presença de chama por 2 min, e posteriormente sem presença de chama por mais 15 min, por fim, o chá foi removido através do processo de filtração e o extrato foi mantido em descanso até atingir temperatura ambiente.

### 4.3 Ensaios de Biodegradação do corante azul

Para os ensaios de biodegradação, foi utilizado o biofilme ativo de Kombucha das fermentações, os quais foram cortados em pedaços de 10 g e acomodados em frascos de vidro contendo 100 ml de solução aquosa a 20 ppm (m:v) do corante azul e contendo 2% (m:v) de sacarose. O frasco foi fechado com tecido de algodão e elástico. O ensaio foi realizado em triplicata e o SCOBY foi incubado sem controle de temperatura por 30 dias. Neste período foram retiradas alíquotas com cerca de 12 ml, aproximadamente a cada 72 h, para avaliação do pH e absorbância no  $\lambda_{\text{máx}}$  após centrifugação a  $-4^{\circ}\text{C}$  por 10 min. A figura 6 mostra o processo de incubação do ensaio de biodegradação.

**Figura 6** - Ensaio de biodegradação de corante azul dianativo HFG por SCOBY ativo de Kombucha



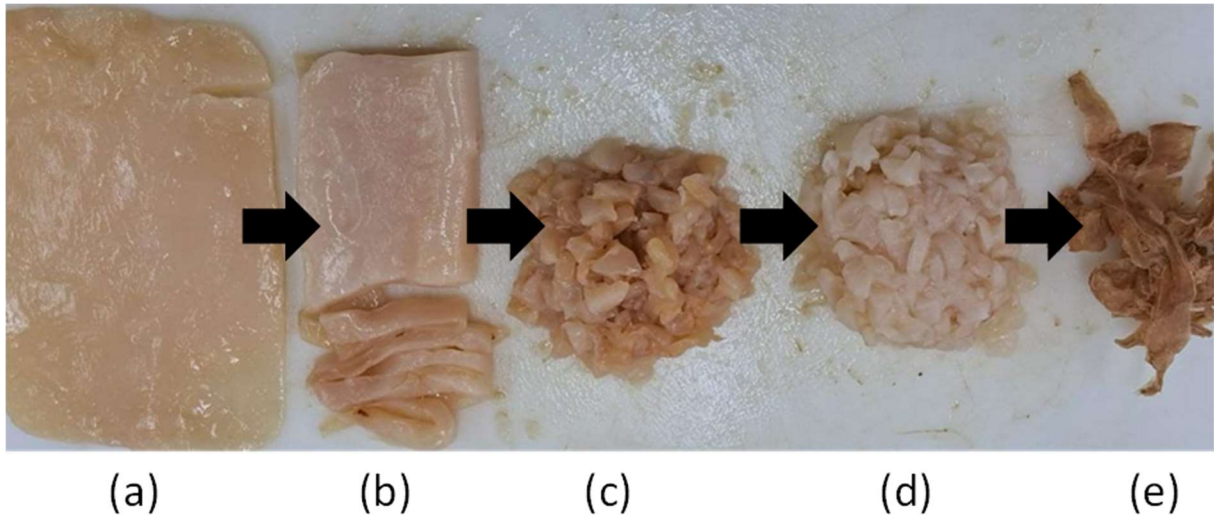
Fonte: autoria própria.

### 4.4 Ensaios de bioadsorção

Antes da utilização nos experimentos de bioadsorção, o biofilme obtido pela fermentação do SCOBY de Kombucha foi picado em pequenos pedaços. Em seguida, os pedaços foram submetidos a temperatura de  $80^{\circ}\text{C}$  por 20 min, a fim de inativar os microrganismos e enzimas presentes, e então filtrados em papel filtro qualitativo. O permeado foi descartado e ao retentado adicionou-se água destilada e foi novamente aquecido e filtrado. Ao final do segundo cozimento, foi desidratado em estufa ( $70^{\circ}\text{C}$  por 7 dias) e mantido em dessecador até o momento de uso, sendo este material o bioadsorvente. As etapas de preparo do material podem ser observadas na figura 7.



**Figura 7** - Biofilme produzido por SCOBY de Kombucha (a) após cultivo em chá verde adoçado; (b) picado em tiras; (c) picado em cubos; (d) após cozimento (e) após cozimento e desidratação.



Fonte: autoria própria.

Foi avaliado o ponto de carga zero ( $\text{pH}_{\text{PCZ}}$ ) do biomaterial, sendo este incubado por 24 h em soluções aquosas 1% com pH entre 2,0 e 9,0, ajustado com NaOH 0,1M ou HCl 0,1M. Após incubação, o material foi filtrado e o pH do permeado foi medido, sendo o  $\text{pH}_{\text{PCZ}}$  determinado pelo ponto onde a variação do ( $\Delta\text{pH}$ ) se iguala a zero.

As colunas de adsorção foram montadas em seringas de 20 ml adicionadas cerca de 1 g do bioadsorvente, o qual foi retido na coluna por uma camada de algodão e gaze. Foram montadas 2 colunas, uma com pH 3,0 e outra com pH 9,0, sendo que o material foi lavado com solução aquosa nos respectivos pHs até estabilização. A figura 8 apresenta as colunas de adsorção.

**Figura 8** - Colunas de adsorção.

Fonte: autoria própria.

Em seguida, 100 ml de solução aquosa do corante azul a 20 ppm (m:v) foi passada pela coluna 3 vezes, sendo o intervalo entre cada aplicação de 24 horas. Foi medida a absorvância da solução no  $\lambda_{\text{máx}}$  e pH após cada passagem pelo bioadsorvente. A porcentagem de remoção (%R) do corante foi calculada pela equação 1.

$$\%R = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad \text{eq (1)}$$

Onde  $C_i$  é a concentração inicial de corante e  $C_f$  a concentração final.

#### 4.5 Quantificação da massa de corante adsorvido pelo biofilme de Kombucha

Para o ensaio de quantificação da quantidade de corante azul adsorvido pelo biofilme do SCOBY de Kombucha foi utilizada uma solução 50 ppm (m:v) a qual passada pela coluna até que a solução permeada apresentasse absorvância no  $\lambda_{\text{máx}}$  próxima ao limite inferior da curva padrão. Atingido este ponto, uma nova quantidade da solução foi adicionada, até que a coluna não fosse mais capaz de reter o pigmento. Neste momento, lavou-se a coluna com água destilada, com volume conhecido, até que novamente a absorvância da solução coletada estivesse abaixo do limite inferior

da curva padrão. Foi então quantificada a massa de corante adicionada na coluna e retida por ela.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

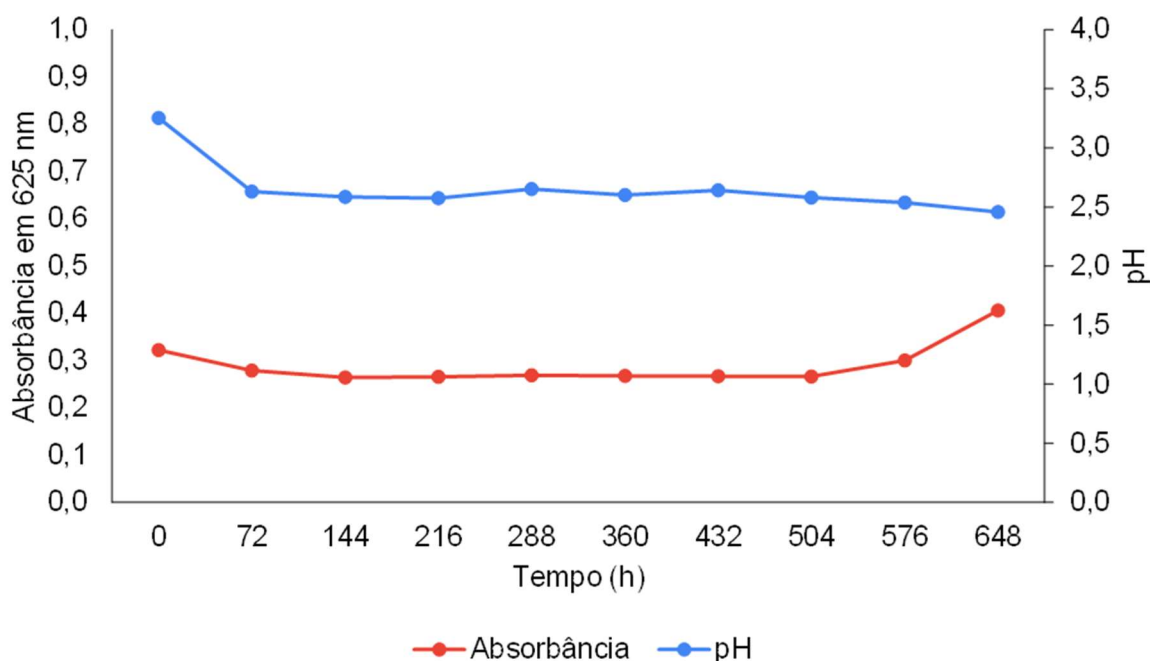
### 5.1 Determinação do comprimento de onda máximo da solução de corante e ponto de carga zero do bioadsorvente

O comprimento de onda de máxima absorção para o corante em questão foi de 625 nm. O  $pH_{PCZ}$  do adsorvente foi de 3,0.

### 5.2 Ensaio de Biodegradação do corante azul

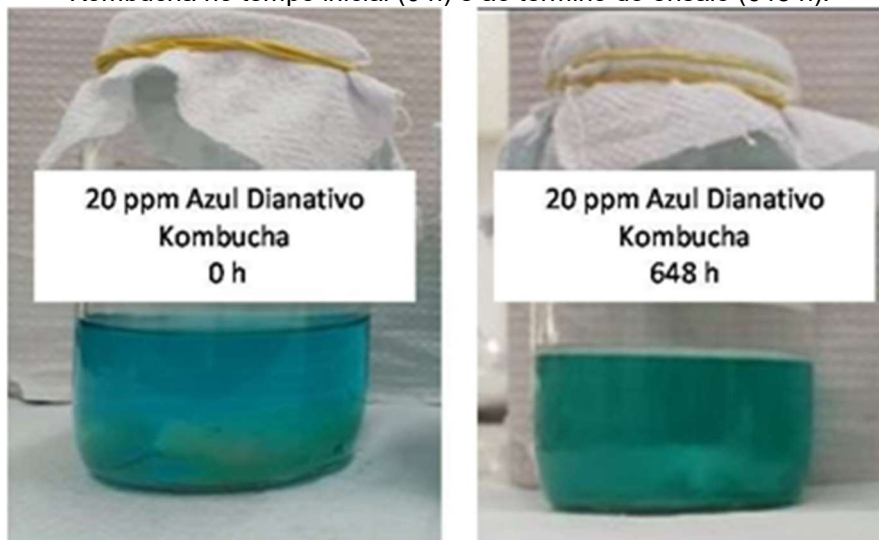
A figura 9 apresenta a variação do pH e da absorbância 625 nm da solução corante durante a incubação com o biofilme ativo de Kombucha. Pode-se observar que o pH sofreu pouca variação, estando em torno de 2,5 ao final do processo.

**Figura 9** - Absorbância a 625 nm e pH médios da solução aquosa de azul dianativo HFG a 20 ppm (m:v) inoculada com SCOBY de Kombucha.



Em relação à absorbância, também se observou pouca variação ao longo do período, sendo que ao final do processo houve uma elevação no valor, provavelmente devido à liberação de compostos aderidos ao SCOBY que acabaram por escurecer a solução, conforme pode ser observado de acordo com a figura 10.

**Figura 10** - Solução aquosa de azul dianativo HFG a 20 ppm (m:v) inoculada com SCOBY ativo de Kombucha no tempo inicial (0 h) e ao término do ensaio (648 h).



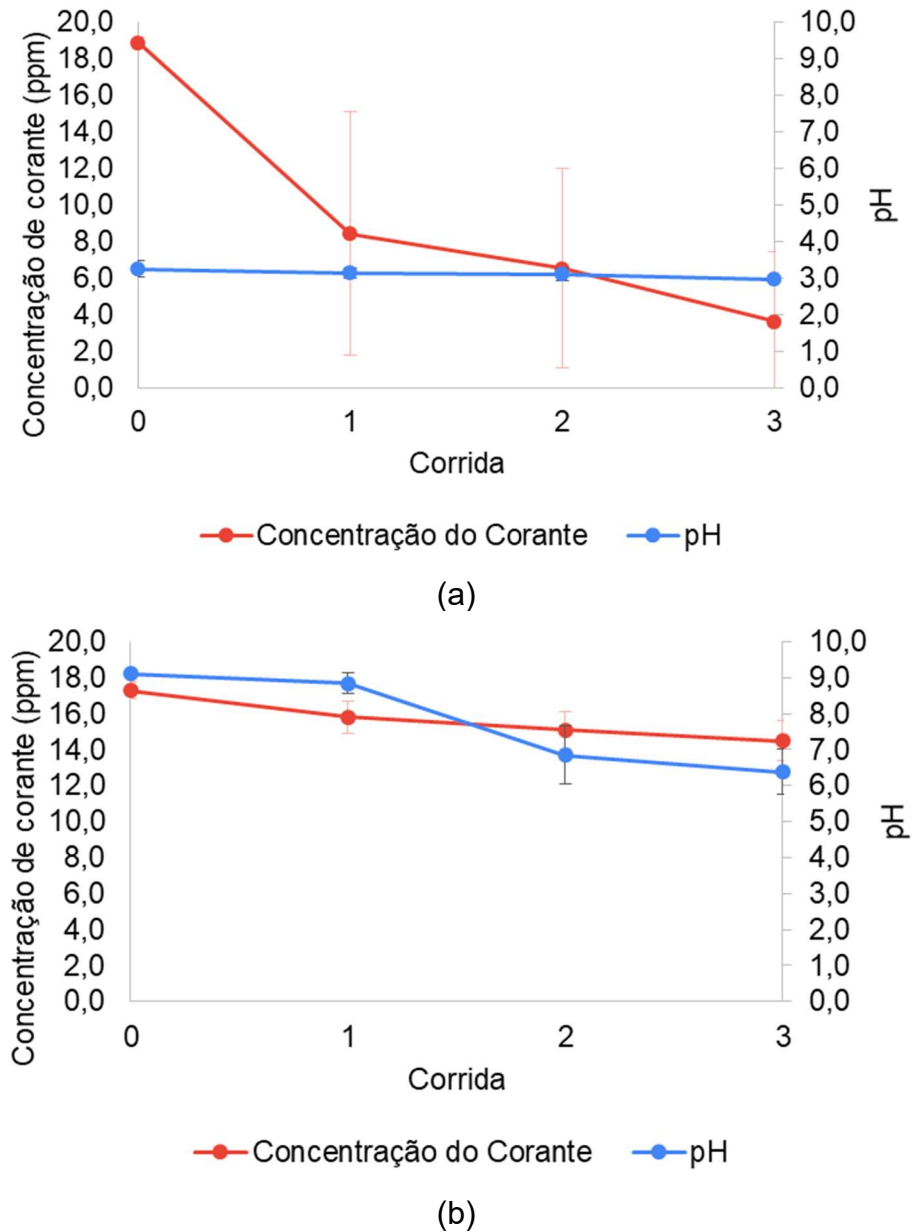
Fonte: autoria própria.

Xavier *et al.* (2022) avaliaram a degradação do corante azul dianativo HFG pela ação de grãos de Kefir de água viáveis, sendo observado remoção de até 94% da massa de corante após incubação de 48 h a 30°C e 50 rpm.

### **5.3 Ensaio de bioadsorção do corante azul pelo biofilme do SCOBY de Kombucha**

A figura 11 apresenta o acompanhamento da absorvância de 625 nm das amostras coletadas, bem como o valor do pH para cada passagem das soluções pelas colunas (corridas). Observou-se que o bioadsorvente foi capaz de reter 100% do corante em solução com pH 3,0, após 3 passagens da solução pelas colunas. No entanto, apenas 28% do corante foi retido para a solução com pH 9,0.

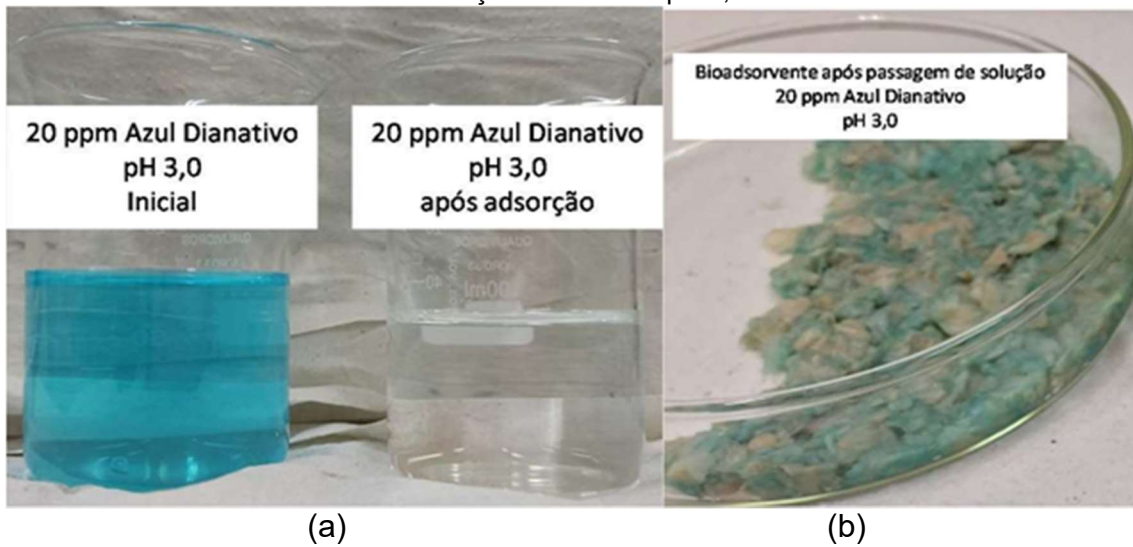
**Figura 11** - Concentração e pH médios das soluções aquosa de azul dianativo HFG a 20 ppm (m:v) antes e após passagens consecutivas pelo bioadsorvente de Kombucha em pH (a) 3,0 e (b) 9,0.



Desta forma, tem-se o indicativo de que a matriz polimérica com carga global neutra (no  $pH_{PCZ}$  de 3,0) foi capaz de absorver melhor o corante em questão do que quando carregada negativamente (o que ocorre em pH 9,0), sendo a maior porcentagem de remoção média observada de  $81 \pm 20 \%$ , após terceira passagem na coluna. No entanto, a variação do processo em pH 3,0 foi maior do que em pH 9,0.

A figura 12 apresenta a comparação visual entre as soluções aquosas de azul em pH 3,0, antes e após 3 passagens pelas colunas de adsorção, bem como o adsorvente removido da coluna.

**Figura 12** - Imagens (a) das soluções aquosas de azul dianativo HFG a 20 ppm (m:v) em pH 3,0 antes e após 3 passagens pelas colunas de adsorção e (b) do bioadsorvente após as 3 passagens da solução corante em pH 3,0.



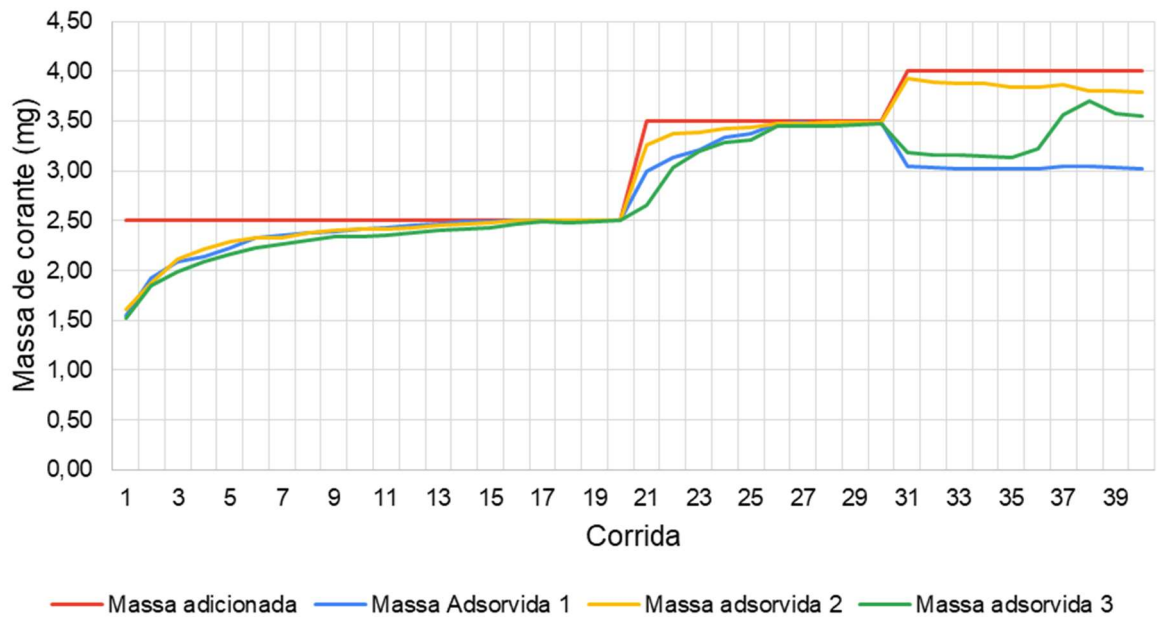
Fonte: autoria própria.

Nota-se que o bioadsorvente ainda apresentou regiões em que o corante não ficou adsorvido.

#### 5.4 Quantificação da massa de corante adsorvido pelo biofilme celulósico de SCOBY de Kombucha

O ensaio foi realizado apenas em pH 3,0, dado que a adsorção em pH 9,0 foi baixa. A figura 13 apresenta o acompanhamento da adsorção do corante nas colunas, sendo apresentado cada uma das réplicas.

**Figura 13** - Colunas de adsorção durante o ensaio de quantificação da massa de corante adsorvida pelo biofilme celulósico de SCOBY de Kombucha



Ao final, observou-se que, em média, o biofilme celulósico do SCOBY de Kombucha, tratado termicamente para eliminação dos microrganismos e enzimas e desidratado, foi capaz de adsorver  $3,36 \pm 0,44$  mg de corante azul dianativo HFG por grama do material adsorvente. O coeficiente de variação dos ensaios ficou em 13,2%, indicando que houve variação entre os ensaios, porém está ainda é aceitável. A figura 14 apresenta o material bioadsorvente após a lavagem final realizada no ensaio, ilustrando o material saturado pelo corante.

**Figura 14** - Bioadsorvente após ensaio de quantificação de massa adsorvida do corante azul dianativo HFG em pH 3,0.



Fonte: autoria própria.

A técnica de adsorção vem sendo amplamente propagada a fim de imobilizar substâncias contaminantes em efluentes diversos e, devido aos altos custos da maioria dos processos químicos, a utilização de materiais orgânicos de baixo custo são de interesse industrial (Piquet, *et. al.*, 2022).

Bezerra (2022) utilizou quitosana como adsorvente do corante azul de metileno sendo que o melhor resultado foi obtido para um tempo de contato de 60 minutos, 0,8 g de quitosana e concentração de corante de 14 ppm. A taxa de remoção foi de 87,81%.

Stefano (2019), realizou em seu trabalho ensaios de adsorção utilizando um biopolímero de celulose, os ensaios de adsorção foram realizados com o corante azul de metileno como adsorvato, para que se verificasse a capacidade de remoção do corante em solução aquosa nas concentrações de 60 mg L<sup>-1</sup> e 70 mg L<sup>-1</sup> do bioadsorvente. A capacidade de remoção foi de 57,42 % para o corante azul de metileno, após 180 minutos de reação, apresentando-se como um potencial bioadsorvente de corantes.

Ribas (2019) avaliou a aplicação do resíduo de casca de trigo na bioadsorção do corante azul reativo em solução aquosa. Foi observado que o pH inicial igual a 3,0 foi o melhor para adsorção do corante a 25°C sob agitação de 90 rpm. Foi verificado ainda que o tempo de equilíbrio ocorreu em torno de 12 horas de contato em processo em batelada. Os resultados obtidos apontam o potencial da casca de trigo como bioadsorvente em sistemas de tratamento de efluentes contendo o corante azul reativo.

Alcides (2021) avaliou a aplicação de exopolissacarídeos produzidos a partir de grãos de kefir (BioAdk) como adsorventes de corantes têxteis Vermelho Dianacil M e Azul Dianativo HFG em soluções aquosas em 3 valores de pH, sendo eles 5,0 (abaixo do pHP<sub>CZ</sub>), 7,0 (no pHP<sub>CZ</sub>) e 9,0 (acima do pHP<sub>CZ</sub>), nas concentrações de corante de 5, 12,5 e 20 ppm. Ao final do experimento constatou-se que o BioAdk apresentou maior afinidade pelo corante azul nas condições experimentais avaliadas, em pH 9,0, sendo adsorvido em média 1,64 mg g<sup>-1</sup> de BioADK, e removendo até 90% do corante presente em solução.

Bazzanella (2021) desenvolveu membranas de nanocelulose bacteriana carboximetilada (NCB-CMC) e nanocelulose bacteriana carboximetilada e lignina



(NCB-CMC-LIG) para avaliar a capacidade de tratamento de águas residuais têxteis por adsorção. A capacidade máxima de adsorção do biocompósito NCB-CMC-LIG para o azul de metileno foi de 28,89 mg g<sup>-1</sup>, e a capacidade máxima de adsorção do biocompósito NCB-CMC de 25,60 mg g<sup>-1</sup>.

## **6 CONCLUSÃO**

A Kombucha viva mostrou-se ineficiente no tratamento da solução aquosa contendo o corante azul dianativo HFG. No entanto, o biofilme que envolve os microrganismos, composto basicamente por celulose bacteriana, apresentou resultados relevantes em relação à adsorção do pigmento avaliado, sendo que em pH 3,0 foi possível adsorver até 81% do corante em solução aquosa, sendo o material adsorvente capaz de adsorver em média 3,36 mg de corante por grama de material, sendo um potencial material de baixo custo com aplicação no tratamento de efluentes têxteis.

Como sugestões para trabalhos futuros pode-se avaliar o tratamento de superfície para a celulose microbiana, bem como outras condições de pH e temperatura para a adsorção, bem como avaliar o efeito em outros tipos de corantes.

## REFERÊNCIAS

A REVUE SPIRITE. França: Allan Kardec, 1869.

AJMAL, Anila; MAJEED, Imran; MALIK, Riffat; IQBAL, M.; NADEEM, Muhammad; HUSSAIN, Irshad; SHEIKH, Zeshan; MUSTAFA, Ghulam; ZAFAR, Mazhar; NADEEM, Muhammad. (2016). Photocatalytic degradation of textile dyes on Cu<sub>2</sub>O-CuO/TiO<sub>2</sub> anatase powders. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 4. 10.1016/j.jece.2016.03.041.

ALCIDES, Mayara. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE APLICAÇÃO DE POLISSACARÍDEO INSOLÚVEL DE KEFIR COMO BIOADSORVENTE DE CORANTES TÊXTEIS**. 2021. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Biosistemas, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, 2021.

ALMEIDA, E. A. **Remoção de corantes de efluentes industriais utilizando hidrogéis**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão/PR, 2016.

ALP ARICI, Tugba. The effective and eco-friendly tea fungus for the biosorption of dye pollutant from aqueous solutions. *Adiyaman University Journal of Science*, v.11, n. 2, p. 370 - 384, 2021.

AL-THOHAMY, Rania, *et al.* A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.231, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113160>.

ARDILA-LEAL, L.D.; POUTOU-PIÑALES, R.; PEDROZA-RODRIGUEZ, A.M.; QUEVEDO-HIDALGO, B.E. A brief history of colour, the environmental impact of synthetic dyes and removal by using laccases. **Molecules**, v.26, p. 3813 - 3853, 2021.

ARTIFON, S. E. S.; *et al.* Adsorção de azul de metileno em hidrogéis de quitosana e hidrogéis compósitos de quitosana/magnetita. Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2018.

BAI, Xiuzhi; LIU, Zhongxiang; LIU, Pengfei; ZHAND, Yijiun; HU, Linfeng; SU, Tongchao. An eco-friendly adsorbent based on bacterial cellulose and vermiculite composite for efficient removal of methylene blue and sulfanilamide. **Polymers**, v.15, p. 2342, 2023. <https://doi.org/10.3390/polym15102342>

BASTIAN, Elza Y. O. Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil, São Paulo: CETESB – SINDITÊXTIL, 2009.

BAZZANELLA, Jéssica Fernanda de Oliveira *et al.* **Biocompósito nanocelulose/lignina para remoção de corantes de efluentes industriais**. 2021.

BEHERA, Bunushree; SUPRAJA, Kolli Venkata; PARAMASIVAN, Balasubramanian. Integrated microalgal biorefinery for the production and application of biostimulants in circular bioeconomy. **Bioresource Technology**, v. 339, p. 125588, 2021.

BEZERRA, Marina Rodrigues. **Estudo da remoção do corante azul de metileno, em soluções aquosas, utilizando quitosana como adsorvente**. 2022.

BLACKBURN, R. Natural polysaccharides and their interactions with dye molecules: Applications in effluent treatment. **Environ. Sci. Technol.**, v. 38, p. 4905 – 4909, 2004.

BRUCH, L. W., M. W. COLE, AND E. ZAREMBA.; "Physical Adsorption: Forces and Phenomena, The International Series of Monographs on Chemistry, eds., 1997).

BUMPUS, John A. *et al.* Biodegradation of azo dyes by fungi. Mycology Series, v. 21, p. 457-470, 2004.

CARDOSO, N.F. **Remoção do Corante Azul de Metileno de Efluentes Aquosos Utilizando Casca de Pinhão in natura e carbonizada como adsorvente**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2010.

CHAWLA, Prashant R. *et al.* Celulose microbiana: produção fermentativa e aplicações. Tecnologia de Alimentos e Biotecnologia, v. 47, n. 2, 2009.

CNI. O setor têxtil e de confecção e os desafios da sustentabilidade. Confederação Nacional da Indústria, Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. Brasília: CNI, 2017, 102 p.

COELHO, Raquel Macedo Dantas *et al.* Kombucha. **Revista Internacional de Gastronomia e Ciência Alimentar**, v. 22, p. 100272, 2020.

CRINI, G. Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment. **Prog. Polym. Sci.**, v.30, pp. 38 – 70, 2005.

CUNHA, Bruna dos Santos. UTILIZAÇÃO DE BIOSSORVENTES ALTERNATIVOS NA REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS. 2014. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014. Disponível em:

[https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12626/2/MD\\_COEAM\\_2014\\_2\\_02.pdf](https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12626/2/MD_COEAM_2014_2_02.pdf).

Acesso em: 15 out. 2023.

DE SOUSA JABBOUR, Ana Beatriz Lopes *et al.* Modelos de negócios de economia circular e gestão de operações. **Revista de produção mais limpa**, v. 235, p. 1525-1539, 2019.

DINIZ, G.F.D. **Emprego de fungos na descoloração e redução da toxicidade de corantes têxteis**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de São João Del Rei, Sete Lagoas, 2015.

DOS SANTOS, W.; BARBOSA, C.; LACERDA, I. Obtenção e caracterização de Kombucha de chá preto. **Departamento de alimentos, Universidade Federal de Minas Gerais**, 2017.

DUFRESNE, C. FARNWORTH, E. Chá, Kombucha e saúde: uma revisão. **Pesquisa alimentar internacional**, v. 6, pág. 409-421, 2000.

DULLIUS, Carlos Henrique. **Utilização de fungos para biodegradação de corantes têxteis sintéticos**. 2004.

DUTTA, Sayan Deb; PATEL, Dinesh K.; LIM, Ki-Taek. Functional cellulose-based hydrogels as extracellular matrices for tissue engineering. **Journal of Biological Engineering**, v.13, n. 55, 2019. <https://doi.org/10.1186/s13036-019-0177-0>

FREITAS, Maria Paula Aguiar. **Biossorção de corante reativo utilizando biomassa residual de origem lignocelulósica e fúngica**. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

GUARATINI, Cláudia CI; ZANONI, Maria Valnice B. Corantes têxteis. **Química nova**, v. 23, pág. 71-78, 2000.

GUARATINI, C.C.I. ZANONI, M.V.B. Corantes têxteis. *Química Nova*, v.23 (1), pp.71-78, 2000. HONORATO, A.C; MACHADO, J.M.; CELANTE, G.; BORGES, W.G.P., Dragunski, D.C., Caetano, J. Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19 (7), pp. 705 – 710, 2015.

HONORATO, A.C; MACHADO, J.M.; CELANTE, G.; BORGES, W.G.P., Dragunski, D.C., Caetano, J. Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19 (7), pp. 705 – 710, 2015. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878450X20301499>

JAIKUMAR, V.; RAMAMURTHI, V. Effect of biosorption parameters kinetics isotherm and thermodynamics for acid green dye adsorption from aqueous solution by brewery waste. **International Journal of Chemistry**, v. 1(1), pp. 2 – 12, 2009.

JAYABALAN, Rasu *et al.* Biochemical characteristics of tea fungus produced during Kombucha fermentation. **Food Science and Biotechnology**, v. 19, p. 843-847, 2010.

JAYABALAN, Rasu *et al.* A review of Kombucha tea – microbiology, composition, fermentation, beneficial effects, toxicity and tea fungi. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, v. 13, n. 4, pág. 538-550, 2014.

KHAN, Afiro-os Acham; BHAT, Mustaf Ahmad; ARIF, Nathan Mohd; FAROOQUI, Mazahar. A comparative study of adsorption of methylene blue dye onto untreated *Platanus orientalis* (chinar tree) leaves powder and its biochar - equilibrium, kinetic and thermodynamics study. **Orbital: Electronic journal of chemistry**, v.15, n. 3, p. 63 - 170, 2023. <http://dx.doi.org/10.17807/orbital.v15i3.18358>.

Kombucha: Review, *International Journal of Gastronomy and Food Science*, Kumar, Ponnusamy Senth; SARAVANAN, Anbalagan. Sustainable wastewater treatments in textile sector. In: MUTHU, Subramanian Senthilkannan (Editor). **Sustainable Fibres and Textiles**. Woodhead Publishing, 2019. p. 323-346. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102041-8.00011-1>.

KUNZ, A. *et al.* Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. *Química Nova*, v. 25, n. 1, p. 78–82, jan. 2002.

LAAVANYA, D.; SHIRKOLE, Shivanand; BALASUBRAMANIAN, P. Desafios atuais, aplicações e perspectivas futuras da celulose SCOBY da fermentação do Kombuchá. **Revista Produção Mais Limpa**, v. 295, p. 126454, 2021.

LIMA, Renata Silva de. **Adsorção de azul de metileno em biocarvão do endocarpo do fruto do ouricuri**. 2017. 75 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Química, Universidade Estadual de Alagoas, Maceió, 2017. Disponível em: [/www.repositorio.ufal.br](http://www.repositorio.ufal.br). Acesso em: 11 out. 2023.

LÖBACH, Bernd. *Design industrial*. pág, 94. **São Paulo: Edgard Blücher**, 2001.

MARTINI, Giulia Valar *et al.* Perspectivas de reaproveitamento de celulose bacteriana de kombucha por hidrólise enzimática para obtenção de açúcares. 2022.

MUKADAM, Tehmeena Ashraf *et al.* Isolation and characterization of bacteria and yeast from Kombucha tea. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 5, n. 6, p. 32-41, 2016.

NASCIMENTO, R. F; *et al.* 2020. Adsorção [livro eletrônico]: aspectos teóricos e aplicações ambientais. E-book. 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, Estudos da pós-graduação, 4749 Kb: il. Color, PDF.

PALUDO, Natália. <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/174899>. 2017. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/174899>. Acesso em: 03 out. 2023.

PEIXOTO, Fabia Pinho; MARINHO, Gloria; RODRIGUES, Kelly. Corantes têxteis: uma revisão. *Holos*, v. 5, p. 98-106, 2013.

Pereira, A. R. B., Bueno, F. L., Santos, S. C., Lima, C. A. A., & Dias, A. L. T. (2010). BIODEGRADAÇÃO DE CORANTES E EFLUENTES TÊXTEIS POR FUNGOS. *Holos Environment*, 10(2), 165–179. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/holos.v10i2.2156>.

PIQUET, A. B. M.; MARTELLI, M. C. Bioadsorventes produzidos a partir de resíduos orgânicos para remoção de corantes: uma revisão. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, [S. l.], v. 3, pág. e27311326506, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i3.26506. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/26506>. Acesso em: 17 jan. 2024.

PURNHAGEN, G.; *et al.* Análise da eficiência de adsorção de corantes têxteis por carvão ativado obtido do mesocarpo da flor de abril (*Dillenia Indica* L.). Projeto final de Iniciação Científica. Instituto Federal Catarinense – Campus Araquari, Araquari/SC, 2016.

RIBAS, Marielen Cozer *et al.* Estudo da remoção do corante azul reativo por biossorção com casca de trigo. In: **Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2º. Anais 2º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. 2019.

RICACZESKI, Cecília Claudete. **Aplicação de Celulose Bacteriana produzida por *Gluconacetobacter hansenii* para remoção do corante amarelo reativo B2R**. 2017. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Química - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, Brasil 2017.

SÁ, Igor Coreixas de. **Quantificação do corante carmim de índigo em bala industrializada através da análise de imagens digitais**.

SANTANA, Marcos Diones Ferreira *et al.* Fenoloxidase e biodegradação do corante têxtil Azul Brillhante de Remazol R (RBBR) para três espécies de macrofungos coletadas na Amazônia. *SaBios-Revista de Saúde e Biologia*, v. 11, n. 2, p. 53-60, 2016.

SANTOS, Amanda da Silva *et al.* **Biossorção do corante azul de metileno por fungo filamentoso *Aspergillus niger* como estudo alternativo para remediação da contaminação de águas residuais com corantes têxteis**. 2023.

SIGIRO, Leonard Mateus; MAKSUM, Ahmad; DHANESWARA, Donanta. Utilization of cellulose symbiotic culture of bacteria & yeast (SCOBY) with sweet tea media as methylene blue and brilliant green biosorbent material. **Journal of Materials Exploration and Findings**, v.2, n. 1, p.10-16, 2023.

SILVA, A.T. **Influência da temperatura na adsorção do corante azul de metileno utilizando serragem de Pinus Elliottii como um adsorvente alternativo: um modelo para o tratamento de efluentes têxteis**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2005.

SILVA, Paula Juliana; CAZARIM, Heloísa Rubim Moro; TOMAZINI, Jennifer Fidelix; GIULIANGELI, Vanessa Cipriani; CALLIARI, Caroline Maria; MARESTONI, Luiz Diego; SHIRAI, Marianne Ayumi. Celulose bacteriana de cultura simbiótica de bactérias e leveduras (SCOPY). In: EVANGELISTA-BARRETO, Norma Suely; CORDEIRO, Calors Alberto Martins (Org.). **Ciência e tecnologia de alimentos: o avanço da ciência no Brasil - Volume 4**. Editora Científica Digital; 2023. p. 64-75. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.37885/230613504>.

SILVA, Maria Cristina. **Degradação de corantes e remediação de efluentes têxteis por extrato bruto de peroxidase de nabo**. 2011.

STEFANO, Thales Sarturi; DA SILVA, Aline Marques; DA SILVA, William Leonardo. Utilização do biopolímero de celulose para a aplicação na adsorção de corantes em meio aquoso. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 20, n. 1, p. 71-84, 2019.

TEODORO, F.S. **Adsorção de metais e corantes em celulose modificada com anidrido trimelítico**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2015.

TEOH, Aí Leng; HEARD, Gillian; COX, Juliano. Ecologia de leveduras da fermentação do Kombucha. **Revista Internacional de Microbiologia Alimentar**, v. 95, n. 2, pág. 119-126, 2004.

VAIANO, Vincenzo; De MARCO, Iolanda. Removal of Azo Dyes from wastewater through heterogeneous photocatalysis and supercritical water oxidation. *Separations*, v.10, p. 230, 2023. <https://doi.org/10.3390/separations10040230>

VENEU, D. M. **Tratamento de soluções aquosas contendo zinco, cobre e cádmio por processo combinado de biossorção/bioflotação**. Dissertação de mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

VILLARREAL-SOTO, SA, Beaufort, S., BOUJILA, J., Souchard, J.-P.; TAILLANDIER, P., Understanding Kombucha Tea Fermentation: A Review. **Journal of Food Science**, v.83, p. 580-588, 2020. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14068>.

XAVIER, Ingrid Lorena Pereira; ALCIDES, Mayara; BARBOSA, Nathália Soares; BAGAGLI, Marcela Pavan. Evaluation of the application of water kefir grains in the discoloration of solutions containing textile dye. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.16, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.18011/bioeng.2022.v16.1083>.

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

Young, S. P (2019). Kombucha: Revered For Millennia, But Is It Really A Life Saving Brew? Disponível em: <https://www.ancient-origins.net/myths-legends-asia/Kombucha-0011948>. Acesso em 15 out. 2023.

ZANONI, M. V. B.; CARNEIRO, P. A. Corantes Têxteis e Meio Ambiente. **Ciência Hoje**, v. 29, n. 174, p. 61-64, 2001.

ZANONI, MARIA V. BOLDRIN; YAMANAKA, HIDEKO. Caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento. 2016.