

The image features a collection of laboratory glassware. In the foreground, there are several test tubes and a round-bottom flask. One test tube on the left contains a bright pink liquid, while another in the center contains a blue liquid. A large round-bottom flask in the background is partially filled with a light blue liquid. The background is a solid blue color with a white geometric shape on the left side.

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

O Ensino de Química 3

 **Atena**
Editora

Ano 2019

Carmen Lúcia Voigt

(Organizadora)

O Ensino de Química 3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Karine de Lima

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E59 O ensino de química 3 [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (O Ensino de Química; v. 3)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-291-3

DOI 10.22533/at.ed.913192604

1. Química – Estudo e ensino. 2. Prática de ensino. 3. Professores de química – Formação I. Voigt, Carmen Lúcia. II. Série.

CDD 540.7

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A qualidade de vida de um povo é decorrência das condições socioeconômicas de seu país que, por sua vez, estão intimamente ligadas à sua produção científica. A universidade tem um papel importante para a sociedade por se constituir, na grande maioria dos países, na instituição que oportuniza, por excelência, a busca do conhecimento, por meio do ensino, da pesquisa e da extensão. A pesquisa pode ser um excelente instrumento educativo na medida em que esta leva os alunos a vivenciarem o processo de conhecer e não apenas analisarem o produto desse processo.

Portanto, a educação superior tem por finalidade estimular a criação cultural e o desenvolvimento do espírito científico e do pensamento reflexivo; formar diplomados nas diferentes áreas de conhecimento, aptos para a inserção em setores profissionais e para a participação no desenvolvimento da sociedade brasileira, e colaborar na sua formação contínua; incentivar o trabalho de pesquisa e investigação científica, visando o desenvolvimento da ciência e da tecnologia e da criação e difusão da cultura, e, desse modo, desenvolver o entendimento do homem e do meio em que vive e promover a divulgação de conhecimentos culturais, científicos e técnicos que constituem patrimônio da humanidade e comunicar o saber através do ensino, de publicações ou de outras formas de comunicação.

Neste terceiro volume, apresentamos trabalhos com pesquisas em diversas áreas da química abrangendo quantificação, desenvolvimento, otimização e validação de novos métodos de análise. Com isso, convidamos você a ampliar seus conhecimentos referentes à pesquisa em química, fornecendo uma base teórica e instrumental para auxílio no conhecimento das abordagens diferenciadas desta ciência.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA DE ANÁLISE-PARA QUANTIFICAÇÃO DO PRODUTO ÁCIDO FÓRMICO POR CROMATOGRAFIA GASOSA DA REAÇÃO DE GLICEROL CATALISADA POR COMPOSTOS DE NIÓBIO EM FLUXO	
Gabriela Santos Caldeira Poliane Chagas Tarsis Vinícius M Santos Stephanie Vertelo Porto Luiz Carlos de Oliveira Patterson Patrício de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.9131926041	
CAPÍTULO 2	15
OTIMIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DE METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE SOLVENTES RESIDUAIS EM RADIOFÁRMACOS POR GC-FID	
Cassiano Lino dos Santos Costa Daleska Pereira Ramos Juliana Batista da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.9131926042	
CAPÍTULO 3	30
ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE PADRÃO INTERNO PARA QUANTIFICAÇÃO DE GLICERINA E IDENTIFICAÇÃO DO CARBONATO DE GLICERINA COMO PRODUTO DA REAÇÃO DE GLICERINA COMERCIAL COM UREIA CATALISADA PELO POLÍMERO DE COORDENAÇÃO 2D ND-5SIS	
Gabriela Santos Caldeira Chris Hebert de Jesus Franco Stephanie Vertelo Porto Renata Diniz Patterson Patrício de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.9131926043	
CAPÍTULO 4	46
COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DE ÍONS CLORETOS EM AMOSTRAS DE LEITE PASTEURIZADO E UHT (“ULTRA HIGH TEMPERATURE”)	
Roberta Pereira Matos Cassiano Lino dos Santos Costa	
DOI 10.22533/at.ed.9131926044	
CAPÍTULO 5	59
ESTUDO SOBRE A OCORRÊNCIA DE <i>BLOWOUT</i> EM TAMPAS DE LATAS DE BEBIDAS CARBONATADAS	
Gabriely Fernanda Bataier Beatriz Maria Curtio Soares Sílvia Tondella Dantas	
DOI 10.22533/at.ed.9131926045	
CAPÍTULO 6	72
QUANTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO INORGÂNICA DO MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO DA CIDADE DE CATALÃO – GO	
Alêssa Gomes Siqueira Lincoln Lucilio Romualdo	

Marcus Vinicius de Oliveira Fernandes

Vanessa Nunes Alves

DOI 10.22533/at.ed.9131926046

CAPÍTULO 7 83

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS BEBEDOUROS DO IFSC – CAMPUS FLORIANÓPOLIS, COM ÊNFASE NA DETERMINAÇÃO DE ALUMÍNIO

Berenice da Silva Junkes

Alexsander Rodrigo Vieira de Oliveira

Bruno Visnadi da Luz

Júlia Ana Brando Souza

DOI 10.22533/at.ed.9131926047

CAPÍTULO 8 97

AVALIAÇÃO DOS RENDIMENTOS DA CASCA DO CAULE DO *Croton Cajucara* BENTH

Alexandre Augusto Moraes de Souza

Cintya Cordovil Rodrigues

Davi do Socorro Barros Brasil

DOI 10.22533/at.ed.9131926048

CAPÍTULO 9 113

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO HIDROLISADO BÁSICO DA CASCA DE CAFÉ

Roberta Oliveira Aguiar de Souza

Boutros Sarrouh

Enio Nazaré de Oliveira Júnior

Ana Maria de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.9131926049

CAPÍTULO 10 129

COMPOSIÇÃO EM ÁCIDOS GRAXOS E ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE CAROTENOIDES POR UPLC- APCI MS/MS EM FILÉS DE TILÁPIA GIFT

Elaine C. Reis

Marília. Bellanda Galuch

Roberta da Silveira

Hevelyse Munise Celestino dos Santos

Cesar Sary

Thiago Ferreira dos Santos Magon

Ricardo Pereira Ribeiro

Jesuí V. Visentainer

Oscar O. Santos

DOI 10.22533/at.ed.91319260410

CAPÍTULO 11 144

DETERMINAÇÃO DE CÁDMIO, ALUMÍNIO E CHUMBO EM *MAYTENUS ILICIFOLIA* PARA USO MEDICINAL

Martha Campos de Castro

Fernanda Caspers Zimmer

Daiany Cristina Vitorassi Lovera

Makoto Matsushita

Nilson Evelázio de Souza

Angela Cláudia Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.91319260411

CAPÍTULO 12	148
DETERMINAÇÃO DE Mg E Zn EM ÓLEOS VEGETAIS POR FAAS APÓS DILUIÇÃO EM ISOPROPANOL	
Priscila Karachinski dos Reis Eduardo Sidinei Chaves	
DOI 10.22533/at.ed.91319260412	
CAPÍTULO 13	164
ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS COMPARATIVAS ENTRE BIODIESEIS DERIVADOS DE ÓLEOS VEGETAIS E UM DILUENTE ASFÁLTICO	
Sônia Maria de Freitas Almeida Alexandre Augusto Moraes de Souza Juliana Fonseca da Silva José de Arimatéia Rodrigues do Rêgo Silvana de Oliveira Silva Trindade Davi do Socorro Barros Brasil	
DOI 10.22533/at.ed.91319260413	
CAPÍTULO 14	172
REMOÇÃO DO CORANTE REATIVO VERMELHO 4B UTILIZANDO COMO BIOSORVENTE A BAINHA DO PALMITO PUPUNHA <i>IN NATURA</i> E MODIFICADO COM <i>Lentinula edodes</i>	
Aline Grahl	
DOI 10.22533/at.ed.91319260414	
SOBRE A ORGANIZADORA	186

REMOÇÃO DO CORANTE REATIVO VERMELHO 4B UTILIZANDO COMO BIORSORVENTE A BAINHA DO PALMITO PUPUNHA *in natura* E MODIFICADO COM *Lentinula edodes*

Aline Grahl

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Toledo, PR.

RESUMO: O grande avanço das indústrias têxteis no Brasil e no mundo vem gerando uma grande preocupação em relação aos efluentes, com alta concentração de corantes, lançados nas águas superficiais. Pensando nisso, este trabalho visa utilização do resíduo agroindustrial de palmito pupunha (*Bactris gasipaes*) *in natura* e após colonização fúngica, com *Lentinula edodes*. Este biossorvente foi usado para remoção do corante Vermelho Reativo 4B de efluente bruto disponibilizado pela Krindges Industrial. Foram realizados testes para verificar o melhor pH de adsorção destes biossorventes e ambos apresentaram melhor resposta em pH 2,0. Após, realizou-se a cinética obtendo um tempo de equilíbrio de 400 min, o modelo cinético seguido foi o de pseudo-segunda ordem para o biossorvente *in natura* e o modificado. Realizou-se os modelos isotérmicos e obteve-se o modelo de Freundlich para o biossorvente palmito pupunha *in natura* e também para o modificado com *Lentinula edodes*. Os estudos termodinâmicos mostraram melhor adsorção em 45 °C. A aplicação do biossorvente no efluente bruto, mostrou que após quatro ciclos foram obtidas porcentagens de adsorção de

93,4 e 94,3 %, para biossorvente *in natura* e modificado com o fungo *Lentinula edodes*, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: vermelho 4B, corante têxtil, palmito, adsorção, *Lentinula edodes*.

ABSTRACT: The significant advance of textile industries in Brazil and the world has been resulting in a considerable concern regarding their effluents, having high concentrations of dyes and discharged into surface waters. In this context, this paper aimed at using the agroindustrial residue of palmito pupunha (*Bactris gasipaes*) *in natura* and after the fungal colonization with *Lentinula edodes*. This biosorbent was used to remove Reactive Red dye 4B from crude effluent available for Industrial Krindges. Testicular tests were performed to verify the best adsorption pH of these biosorbents and both presented better response at pH 2.0. After, the kinetics were obtained obtaining a time of equilibrium of 400 min, the kinetic model followed by a pseudo-second order for the biosorbent *in natura* and the modified. The isothermal models were obtained and the Freundlich model was obtained for the biosorbent palmito pupunha *in natura* and also for the modified one with *Lentinula edodes*. Thermodynamic studies show better adsorption at 45 °C. After performing the physicochemical tests, a raw effluent from the textile industry was

used in one cycle, then after four cycles, removals of 93.4 and 94.3% for the biosorbent *in natura* and the one modified were obtained, respectively.

KEYWORDS: Red 4B, textile dye, palm, adsorption, *Lentinula edodes*.

1 | INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial vem crescendo significativamente a cada ano no Brasil e no mundo. Junto com este desenvolvimento cresce a poluição ambiental. Muitas indústrias, tais como as de tintas, têxtil, papel e plásticos utilizam corantes para o tingimento de seus produtos e também utilizam um volume considerável de água. Como resultado, é gerada uma quantidade enorme de água residuária colorida (CRINI, 2006). Esta água é chamada de efluente e na maioria das indústrias que o geram, não passam por um processo de tratamento e jogam diretamente nas águas superficiais. Grande parte desses efluentes possuem contaminantes orgânicos e inorgânicos que são responsáveis pelos males que nossos ecossistemas vêm sofrendo e, outros muitos que atingem aos homens (MOZETO *et al*, 2002).

Os efluentes mesmo que em baixas concentrações, afetam a vida aquática, assim prejudicando a penetração de luz e conseqüentemente afetando a atividade de fotossíntese. Alguns corantes são cancerígenos e mutagênicos (NAMASIVAVAM *et al*, 2002). A toxicidade dos corantes se deve a ocorrência da clivagem da ligação azo formando aminas aromáticas que são extremamente cancerígenas (MARIA *et al*, 2008). Estima-se que aproximadamente 15% da produção mundial de corantes são perdidas para o ambiente durante a síntese, o processamento ou a aplicação destes. Isto é preocupante, considerando que com essa perda há um lançamento de 1,2 toneladas por dia, isto porque cerca de 10-20% do corante não se fixa a fibra na hora do tingimento de fibras têxteis (GUARATINI *et al*, 2000).

Muitos corantes são de origem sintética e com complexas estruturas aromáticas que os fazem mais estáveis, resistentes ao desbotamento por luz, alta temperatura, e produtos químicos dificultando a degradação (MENON, 2012). Há diversos tipos de corantes, os ácidos, básicos, dispersos, azo, diazo, antraquinona e complexos metálicos. Variedades estruturais de corantes se enquadram em tipo catiônico, aniônico e iônico. Os corantes aniônicos são os corantes diretos, ácidos e reativos. Os corantes ácidos e reativos são solúveis em água, possuem como características cor brilhante, simples e baixo consumo de energia, são classificados como corantes dispersos, pois não se ionizam em meio aquoso (SÁ DE ROCHA *et al*, 2012)(ROBINSON *et al*, 2001).

Os corantes reativos possuem um grupo eletrofílico capaz de ligar-se covalentemente com grupos hidroxila e tióis das fibras protéicas e também com grupos protéicos das poliamidas. Dentre os vários tipos de corantes reativos 16 destacam-se com a função azo e antiquinona com grupos cromóforos, clorotriazinila e sulfatoetilsulfonila com grupos reativos (ASPLAND, 1992).

Um dos corantes reativos mais utilizados nas indústrias têxteis é o corante reativo

aniônico vermelho 4B (Figura 1), este apresenta uma grande reatividade com as fibras e estabilidade da cor (GUARATINI *et al*, 2000).

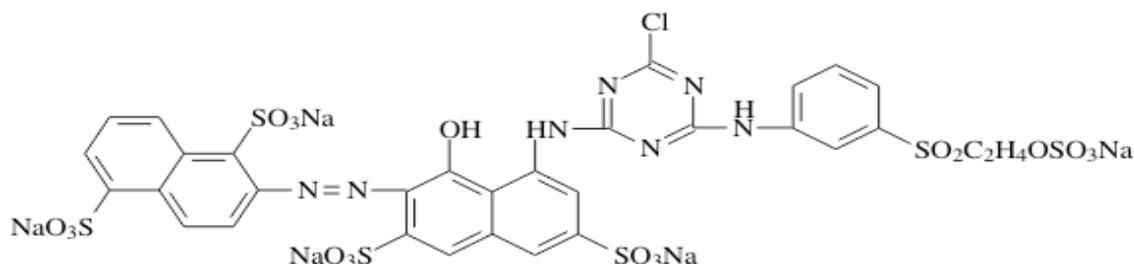


Figura 1: Estrutura molecular do corante vermelho reativo 4B.

Atualmente, os principais métodos utilizados para tratar esses efluentes têxteis são os métodos físico-químicos, concentrando-se em pesquisar alternativas econômicas mais baratas (ROBINSON *et al*, 2001).

Inúmeros processos são utilizados para a remoção de coloração dos efluentes industriais, como: processos de adsorção, precipitação, degradação química, eletroquímica e fotoquímica, biodegradação, entre outros (COOPER, 1995).

Entre as opções de tratamento, a adsorção parece ter um potencial considerável para a remoção de corante dos efluentes, sendo uma das técnicas mais usadas, com sucesso. Mas para que essa remoção seja um sucesso, deve-se escolher um bom adsorvente com alta seletividade e alta capacidade. Este deve ser encontrado com facilidade, alta quantidade e com baixo custo (FIGUEIREDO *et al*, 2000)(MCKAY *et al*, 1999). Esse processo produz um produto de alta qualidade e é economicamente viável, e é influenciado por muitos fatores físico-químicos, como: interação corante/solvente, área superficial do adsorvente, tamanho de partícula, temperatura, pH e tempo de contato (ROBINSON *et al*, 2001).

O carvão ativo é o adsorvente mais utilizado, por apresentar uma alta capacidade de adsorção, mas acaba se tornando inutilizado por ter um custo relativamente alto. Está havendo grande procura por adsorventes renováveis, ou seja, resíduos agroindustriais, como os das bainhas do processamento de palmito (HONORATO *et al*, 2015).

Os resíduos agroindustriais, também conhecidos como biossorventes, apresentam uma elevada eficiência, seletividade, afinidade com íons metálicos, metodologia simples e minimização de resíduos secundários, além disso, são encontrados facilmente no meio ambiente e apresentam baixo custo (MATOUQ *et al*, 2015).

Dentre esses resíduos, encontra-se a bainha do palmito pupunha é um resíduo que pode ser encontrado em altas quantidades sendo descartados, sendo que estes são constituídos por lignina, celulose e outros açúcares (VALDMAN *et al*, 2001). Segundo BARBOSA *et al*. (2011), pesquisas com a pupunheira tem sido intensificadas no Brasil devido ao crescente uso dessa espécie para produção agrícola de palmito,

em substituição à exploração predatória das palmeiras silvestres. Aproveitando os descartes fibrosos da indústria de conservas de palmito. Conforme a Associação Nacional da Agricultura, em 2010 o Brasil alcançou a produção de 116.495 toneladas de palmito.

Neste trabalho, o resíduo do palmito pupunha será usado como bioissorvente para o corante reativo 4B, onde serão comparados o resíduo *in natura* e após a colonização pelo fungo *Lentinula edodes Pegler*, um fungo basidiomiceto pertencente ao grupo dos saprófitas lignocelulolíticos, normalmente utilizado na culinária e com importância gastronômica e funcional (MESSNER *et al*, 1994)(REID *et al*, 1994).

O cogumelo *Lentinula edodes Pegler*, comumente conhecido como shiitake, cresce como saprófita em madeiras de árvores e forma corpos de frutificação a temperaturas variando entre 18 e 22 °C, com condições de umidade próximas a 90 %. Em 2002, o Brasil foi o maior produto da América Latina, produzindo 92% de shiitake, sendo que foram produzidas 870 toneladas ao total. O estado de São Paulo destaca-se sendo o maior produtor nacional de shiitake (MACIEL, 2002).

O cultivo de *L. edodes* pode ser feito de duas maneiras: em forma rudimentar de cultivo em toras de madeira e outra forma, que requer mais tecnologia, que é o cultivo em substratos sintéticos. Estes substratos sintéticos podem ser resíduos agrícolas o que é uma alternativa rentável na produção comercial deste cogumelo, pois além da colheita acontecer mais rapidamente e a eficiência biológica do fungo é mais elevada também (MACIEL, 2002).

Segundo OHGA *et al* (2001), o shiitake representa um cultivo tradicional e importante de cogumelos comestíveis no mundo por apresentar um complexo enzimático capaz de degradar compostos lignocelulósicos e um teor nutricional elevado.

2 | OBJETIVOS

Verificar se o resíduo agroindustrial da bainha do palmito pupunha *in natura* e modificado são eficazes para a remoção do corante Vermelho Reativo 4B de efluente real da indústria têxtil.

3 | METODOLOGIA

Para a realização dos ensaios, o corante vermelho reativo 4B foi disponibilizado pela Krindges Industrial que fica localizado em São Miguel do Iguazu – PR, além do corante a indústria disponibilizou o efluente bruto para a realização do ciclo. O resíduo da bainha do palmito pupunha *in natura* foi seco em estufa a 105 °C e então, triturado e peneirado em uma peneira Bertel de 32 meshs, para obter-se uma granulometria mais homogênea. O cultivo do fungo e a modificação do bioissorvente foram feitos segundo a metodologia de PALIN *et al*. (2016).

Primeiramente foi feita a curva de calibração para obter a equação da reta usando espectrofotometria UV-vis, utilizando-se as concentrações: 2,5; 5; 10; 12,5; 20; 25; 30; 40; 50 e 60 mg.L⁻¹ do corante vermelho reativo 4 B. E as leituras foram realizadas usando um espectrofotômetro *Shimadzu* UV-1601PC (UV-Vis).

Para os ensaios de pH utilizou-se 0,3 g do resíduo para 30 mL de solução do corante com concentração de 0,1 mg.L⁻¹. Os pH's utilizados foram 2, 4, 7 e 9. Para ajustar o pH usou-se soluções de HCl (1,0 mol.L⁻¹) e NaOH (0,5 mol.L⁻¹). Após as soluções prontas, as mesmas foram deixadas em agitação magnética por 24 horas no agitador orbital e então foi feita a leitura no UV-Vis.

O ensaio da cinética também foi utilizado 0,3 g de resíduo de palmito em 30 mL da solução do corante reativo 4 B com concentração de 0,1 mg.L⁻¹ e com pH definido no ensaio anterior. No ensaio da cinética foi utilizado os seguintes tempos de agitação magnética: 10, 40, 80, 120, 160, 200, 260, 320, 400, 500 e 700 minutos. Após foi feita a leitura da absorvância no espectrofotômetro de UV-Vis.

Para avaliar a concentração que a solução entra em equilíbrio com o resíduo foi utilizado o método da isoterma, variando as concentrações como descrito: 20, 40, 60, 80, 100, 200, 400, 600, 800 e 1000 mg.L⁻¹. Ajustou-se os pH's como definido anteriormente e colocou-se em agitação pelo tempo determinado no ensaio anterior.

Após o tempo, foi centrifugada as soluções para retirar o resíduo e então, foi realizada a leitura no UV-Vis. As absorvâncias obtidas são usadas para calcular a quantidade de corante obtido por grama de resíduo, o q_{eq} (Equação 1).

$$q_{eq} = \frac{C_i - C_f}{m} \cdot V \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde: C_i é a concentração inicial da solução, C_f a concentração final, m é a massa do resíduo e V é o volume da solução utilizado.

Utilizando o pH, a concentração e o tempo obtidos nos ensaios anteriores, parte para a termodinâmica, onde o objetivo foi alterar a temperatura do meio para saber em qual temperatura o bioissorvente é mais eficiente. As temperaturas variaram em: 25, 35, 45, 55 e 65 °C.

Após todos os ensaios feitos e todos os parâmetros definidos (pH, tempo, concentração e temperatura) realizou-se a aplicação desses em efluente bruto do corante. Para isso utilizou 50 mL de solução do efluente industrial com pH ajustado e 0,5 g de bioissorvente, colocou em agitação pelo tempo determinado na cinética. O efluente foi reutilizado em cada ciclo e apenas trocado o bioissorvente, sempre mantendo a proporção 10 mL para 0,10 g de bioissorvente, alcançando uma adsorção de 80 a 100%.

Após o ciclo foram feitas as análises da Demanda Química de Oxigênio (DQO), onde utilizou-se ampolas de vidro. Adicionou-se 3,5 mL de preparo de ampola para efluentes e alguns grãos de sulfato manganoso, quantidade quase que insignificante.

Então, adicionou-se 4,0 mL da amostra e tampou-se a ampola de vidro com plástico filme e a tampa própria. Colocou-se para digerir em um Bloco Digestor HACH por 2 horas à 150 °C. Após a digestão, esperou-se esfriar e realizou-se a leitura no Espectrofotômetro HACH no comprimento de onda de 602 nm.

Todos os ensaios foram feitos em duplicata para o resíduo de bainha de palmito pupunha *in natura* e modificado com *Lentinula edodes*, e a absorvância analisada foi de 542 nm, que é o pico do corante reativo vermelho 4B, exceto no DQO que há um comprimento de onda estabelecido para a leitura no espectro.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para testar se o resíduo de palmito pupunha é um bom bioissorvente, realizou-se testes físico-químicos. Para isto, primeiramente foi construída uma curva analítica para avaliar as concentrações obtidas antes e após a adsorção com o resíduo. A equação de reta obtida foi $y = 0,018x + 0,004$ com coeficiente de determinação (R^2) de 0,9994; indicando um bom modelo de ajuste, ou seja, aplica-se a 99,94% dos dados.

Segundo TAGLIAFERRO *et al.* (2011), para entender o mecanismo de adsorção é necessário determinar o ponto de carga zero (pcz) do bioissorvente. No pH_{pcz} a adsorção de cátions é favorecida quando o pH é maior que o pH_{pcz} , enquanto que a adsorção de ânions é favorecida quando o pH é menor que o pH_{pcz} . Para o palmito pupunha *in natura*, o valor do pH_{pcz} foi de 3,5.

Como pH do meio pode interferir na superfície do bioissorvente, realizou-se ensaio do pH para o palmito pupunha *in natura* e colonizado pelo fungo *Lentinula edodes* (Figura 2).

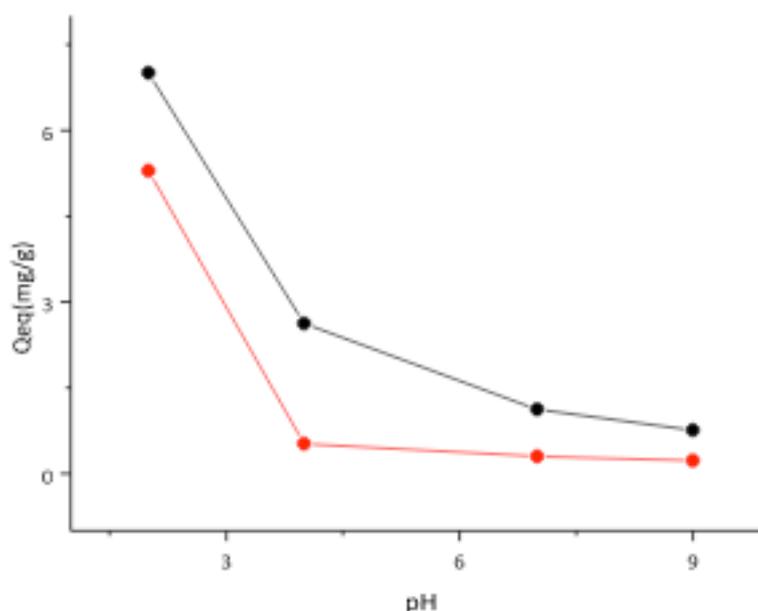


Figura 2: Influência do pH na bioissorção do corante vermelho 4B para os bioissorventes *in natura* (•) e modificado com o fungo *Lentinula edodes* (•), para os pH's 2, 4, 7 e 9, com 24 horas de agitação.

Visualizando a Figura 2, observou-se que em pH 2,0 a adsorção foi maior que os demais pH para ambos biossorventes. Isto se deve possivelmente pela protonação dos grupos do biossorvente, pois o pH_{pcz} do mesmo mostrou que para pH abaixo de 3,5 o biossorvente possui predominância de cargas positivas em sua estrutura, auxiliando na interação das cargas negativas do corante.

Após o estudo do pH do meio, realizou-se a cinética de adsorção, como pode ser visto na Figura 3.

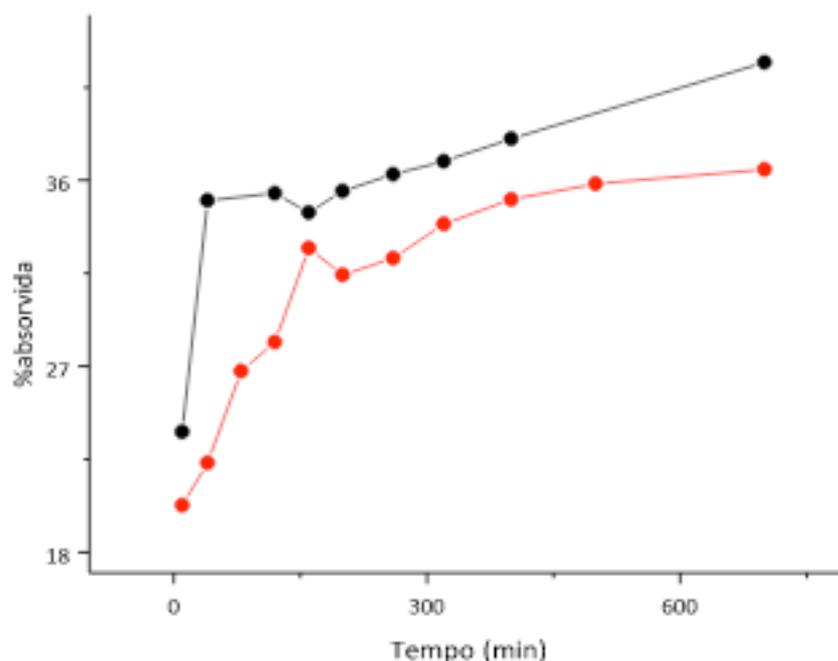


Figura 3: Influência do tempo de contato na biossorção do corante vermelho 4B para o biossorvente in natura (•) e modificado com fungo *Lentinula edodes* (•), nos tempos de 10 à 700 min, com uma concentração inicial do corante de 100 mg/L à 25°C e com pH 2,0.

Na cinética obteve-se pouca variação a partir de 200 min., entretanto optou-se por trabalhar em 400 min. para garantir o tempo de equilíbrio. Para melhor esclarecimento deste mecanismo de adsorção, avaliou-se os modelos cinéticos: pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem, Elovich e Difusão Intra-Partícula, e obteve-se os resultados apresentados na Tabela 1.

Modelos cinéticos		<i>In natura</i>	<i>Lentinula edodes</i>
Pseudo 1		2,99 E	
$\log(q_{eq} - q_t) = \log q_{eq} \frac{1}{2,303}$	$q_{eq}(\text{mg g}^{-1})$	1,1405	9,8969
$\frac{1}{2,303}$	R^2	0,6315	0,9257
$\frac{1}{2,303}$ Ordem	$K_1 (\text{min}^{-1})$	⁻³	$2,3 \text{ E}^{-4}$
$K_x t$			
Pseudo 2ª Ordem	$K_2 (10^{-3}) (\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1})$	$9,52 \text{ E}^{-3}$	$4,9 \text{ E}^{-3}$
$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_{eq}^2} + \frac{t}{q_{eq}}$	$q_{eq}(\text{mg g}^{-1})$	4,0816	3,2669
	²		
	R	0,9948	0,9969
Elovich	A	1,4009	0,7038
	B	0,4009	0,4044
$Q_t = A + B \ln t$	R^2	0,8173	0,8401
Difusão Intra –Partícula q_t	$K_{id}(\text{mg.g}^{-1}.\text{min}^{-1/2})$	0,0660	0,0637
$= K_{id} t^{1/2} + C_i$	$C_i(\text{mg g}^{-1}) R^2$	2,4708	1,8278
		0,6563	0,6718

q_{eq} e q_t – Quantidade de adsorvato adsorvido em um determinado tempo (t); K_1 e K_2 – Constante pseudo primeira e segunda ordem, respectivamente; A e B – Constantes de Elovich; K_{id} – Taxa constante de difusão intra-partícula; C – constante que indica o efeito da camada limite.

Tabela 1: Modelos cinéticos aplicados para o adsorvente palmito *in natura* e modificado com *Lentinula edodes*.

A análise dos resultados foi feita observando qual o modelo possui o melhor ajuste do coeficiente de determinação (R^2) e, também, a proximidade dos valores de q_{eq} calculado com os valores obtidos experimentalmente.

Para ambos os bioadsorventes o modelo que mais se ajustou foi o pseudo-segunda ordem com um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9948 para o *in natura*, e R^2 de 0,9969 para o bioadsorvente modificado com *Lentinula edodes*, indicando uma forte interação entre o bioadsorvente e o corante. Além disso, o valor de q_{eq} deste modelo ficou próximo ao obtido experimentalmente para o *in natura* ($4,065 \text{ mg.g}^{-1}$) e *Lentinula edodes* ($3,195 \text{ mg.g}^{-1}$).

Após analisar a velocidade de adsorção, realizou-se o estudo da isoterma de adsorção. Segundo LETTERMAN (1999), a isoterma de adsorção é a relação de equilíbrio entre a concentração na fase fluida e a concentração nas partículas do bioadsorvente a uma dada temperatura. Algumas características, tais como a natureza do sólido (sítios ativos e distribuição dos poros) e natureza do adsorvato (dipolos, forma e tamanho molecular) são determinantes para o equilíbrio.

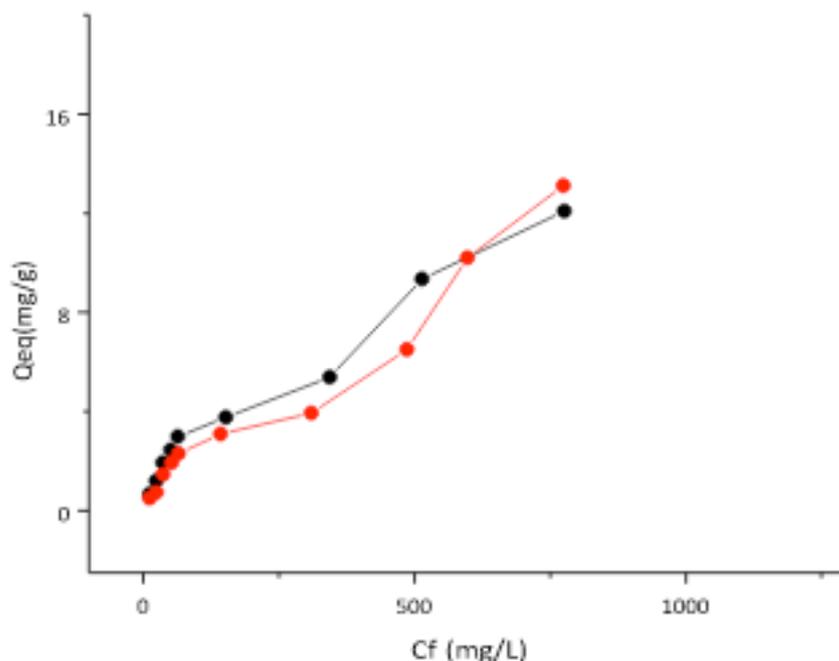


Figura 4: Isotherma de adsorção do palmito pupunha in natura (•) e modificado com *Lentinula edodes* (•), variando as concentrações de 20 à 1000 mg/L, com pH 2,0 à 25°C com agitação por 400 minutos.

Pode-se dizer que houve pouca diferença na capacidade adsorptiva para ambos adsorventes em relação a concentração, entretanto o biossorbente *in natura* apresentou um ligeiro aumento em relação ao modificado. Com a finalidade de avaliar o mecanismo de adsorção dos mesmos, aplicou-se os modelos isotérmicos: Freundlich, Langmuir, Temkin e Dubine (DER), como pode ser visto na Tabela 2.

Modelos isotérmicos		<i>In natura</i>	
		<i>Lentinula edodes</i>	
Constante de Langmuir	$q_m(\text{mg g}^{-1})$	23,7530	⁻³ 2,1 E-3 15,5521
$\frac{C_{eq}}{q_{eq}} = \frac{1}{q_m b} + \frac{C_{eq}}{q_m}$	$b(\text{L mg}^{-1})$	1,19 E	
	R^2	0,5713	0,5973
Constante de Freundlich	$K_f(\text{mg g}^{-1})$	0,0902	0,1056
	N	2,8345	1,4663
$\log q_{eq} = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_{eq}$	R^2	0,9509	0,9467
		0,0410	-3,1220
$q_{eq} = \frac{1}{a} + \frac{1}{c} B$	R	0,7664	0,7241
Dubinini (DER)	q_d	4,3435	124241,0
$\ln q_e = \ln \frac{B}{1 - B_d E^2}$	B		
	R		
Temkin	$k_t(\text{KJ mg}^{-1})$		
	$B_1(\text{dm}^3 \text{mg}^{-1})$	3,0096	2,8037
$B \ln k + B \ln$	2		
$= \ln q$	d_2	0,56035 E ⁻⁵	0,4930-7 E ⁻⁵

Tabela 2: Modelos isotérmicos do corante Vermelho 4B para o resíduo do palmito *in natura* e modificado com o fungo *Lentinula edodes*.

b – Constante de equilíbrio de adsorção; q_m – Quantidade máxima de adsorvato por unidade de massa do bioissorvente; K_f e n – Constante de Freundlich; K – Constante de equilíbrio de ligação, correspondente à energia de ligação máxima; B_1 – Calor de adsorção; B_d Constante relacionada à energia livre média de adsorção por mols do adsorvato; q_s – Capacidade de saturação teórica.

Para ambos bioissorventes o modelo de melhor ajuste foi o de Freundlich, com um R^2 de 0,9509 para o *in natura* e 0,9467 para o modificado. Segundo NASCIMENTO *et al.* (2014), uma adsorção favorável tende a ter uma constante de Freundlich (n) entre 1 e 10. Quando menor ser o valor de $(1/n)$, ou seja, maior ser o “ n ”, mais forte será a interação entre o adsorvato e o bioissorvente. Neste modelo admite-se uma adsorção em multicamadas, implicando em uma distribuição de energia para os sítios de adsorção do tipo exponencial.

Foram realizados também os ensaios termodinâmicos (Figura 5) para avaliar a influência da temperatura no processo de adsorção.

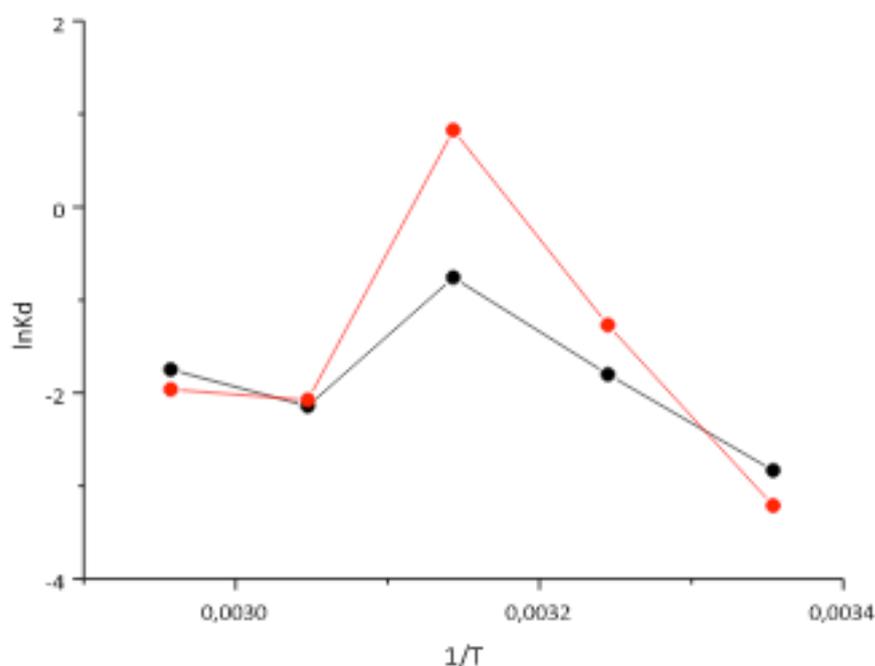


Figura 5: Influência da temperatura na bioissorção do corante vermelho 4B para os bioissorventes *in natura* (•) e modificado com *Lentinula edodes* (•). Utilizou-se a solução de concentração inicial de 100 mg/L, em pH 2,0 por 400 minutos.

Para ambos os bioissorventes, palmito pupunha *in natura* e modificado, a temperatura que mais adsorveu foi em 45°C. Para verificar a espontaneidade da reação foi calculada a energia de Gibbs (ΔG), entalpia (ΔH) e entropia (ΔS). Primeiramente foi esboçado o gráfico de $\ln K_d$ versus $1/T$, onde o coeficiente angular é ΔH e o linear é ΔS (Equação 2). Após calculou-se a energia livre de Gibbs (Equação 3).

$$\ln(Kd) = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT} \quad (\text{Equação 2})$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (\text{Equação 3})$$

Utilizando a Equação 3, conforme OLIVEIRA; *et al.* (2009), uma vez que é obtido ΔG deve ser sempre negativo para que um processo seja termodinamicamente favorável.

Temperatura (°C)	ΔG (<i>in natura</i>)	ΔG (<i>Lentinula edodes</i>)
25	7026,01 J/mol	7966,22 J/mol
35	4615,88 J/mol	3255,29 J/mol
45	2010,11 J/mol	- 2175,80 J/mol
55	5848,49 J/mol	5666,74 J/mol
65	4915,11 J/mol	5516,81 J/mol

Tabela 3: Energia livre de Gibbs para cada temperatura e cada bioissorvente.

Como pode ser observado na Tabela 3 o bioissorvente mais termodinamicamente favorecida foi o modificado a 45°C, seguido do *in natura* também a 45°C. Entretanto para os ensaios com o efluente bruto, optou-se por trabalhar com a temperatura ambiente, pois nos processos de tintura apesar de ocorrer o aquecimento durante o processo, esse efluente chega ao final deste em temperatura ambiente, não sendo viável seu aquecimento para remoção do corante. Desta forma, a remoção do corante no efluente bruto foi realizado no pH 2,0, tempo de adsorção de 400 minutos e temperatura de 25°C. A Figura 6 mostra os testes adsortivos aplicando 4 ciclos de adsorção para verificar quanto ciclos são necessários para remoção de pelo menos 80% do corante.

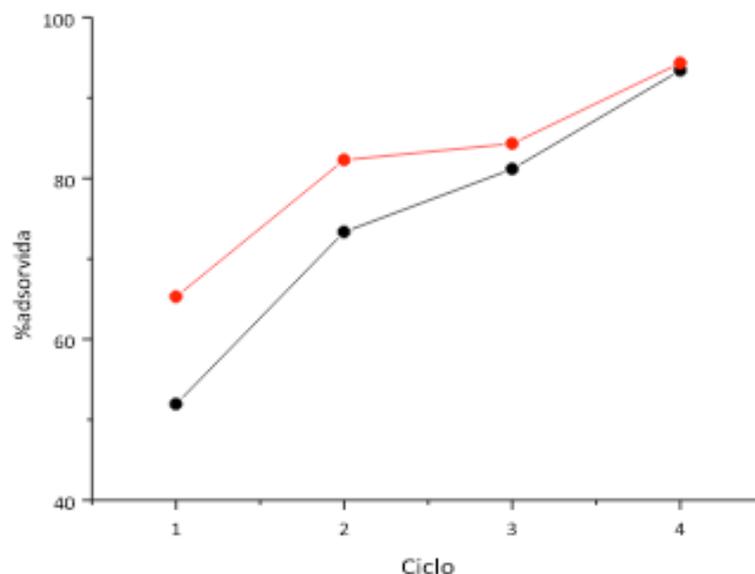


Figura 6: Ciclo do efluente bruto com o palmito pupunha in natura (•) e o modificado com *Lentinula edodes* (•). Utilizou-se no ciclo pH 2,0 tempo de agitação de 400 min. em 25°C.

Pode-se observar que para os dois primeiros ciclos houve maior adsorção para o bioadsorvente modificado, ou seja, após dois ciclos de adsorção o modificado adsorveu mais de 80% do corante, sendo que o *in natura* necessitou de três ciclos para adsorver 81%. Entretanto no final de quatro ciclos ambos bioadsorventes apresentaram adsorção superior a 90%, sendo 93,4% para o *in natura* e 94,3% para o modificado. Isto significa que tanto o bioadsorvente *in natura* quanto o modificado com o fungo *Lentinula edodes*, possuem uma alta porcentagem de adsorção após quatro ciclos em pH 2,0 à 25°C.

Após os ciclos de adsorção, foram realizadas análises de Demanda Química de Oxigênio (DQO), que consiste da quantidade de oxigênio molecular necessária para a estabilização da matéria orgânica via agentes químicos oxidantes.

	Efluente bruto pH 9,3	Efluente bruto pH 2,0	Efluente no quarto ciclo
<i>In natura Lentinula edodes</i>	8715,0 mg/L	8790,6 mg/L	51975,0 mg/L 24412,6 mg/L

Tabela 4: Demanda Química de Oxigênio do efluente bruto e do efluente após a realização do ciclo.

Pode-se observar na Tabela 4 que após adsorção do corante houve um aumento na DQO presente no efluente, entretanto o aumento foi menor para o bioadsorvente *in natura*, isso pode ter ocorrido, pois o fungo *Lentinula edodes* é um fungo lignocelulósico, ou seja, retira lignina e celulose do bioadsorvente, não deixando disponível para o meio. Apesar do aumento na DQO e o ajuste do pH, os resíduos mostraram-se promissor para aplicação em efluente bruto, dando destaque ao modificado, pois além do aumento na adsorção e menor DQO em relação ao *in natura*, ainda possui a vantagem de ter sido usado no cultivo de fungos para alimentação humana.

5 | CONCLUSÃO

Os ensaios realizados confirmaram que os bioissorventes palmito pupunha *in natura* e modificado com *Letinula edodes* possuem propriedades adsorptivas boas para a adsorção do corante reativo vermelho 4B em que ambos bioissorventes apresentaram adsorção superior a 90% após quatro ciclos de adsorção.

REFERÊNCIAS

- Aspland, J. R., **Reactive dyes and their application**, *Text. Chem. Color.*, vol. 24, no. 5, pp. 31–36, 1992.
- Barbosa, J. R.; *et al.*, **Avakualçai da composição e dos parâmetros tecnológicos de farinhas produzidas a partir de subprodutos agroindustriais**, pp. 21–28, 2011.
- Cooper, P., **Removing colour from dyehouse waste Waters**, *Asian Text. J.*, vol. 3, no. 4, pp. 52–56, 1995.
- Crini, G., **Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review**, *Bioresource Technology*, vol. 97, no. 9, pp. 1061–1085, 2006.
- Figueiredo, S. A.; Boaventura, R. A.; Loureiro, J. M., **Color removal with natural adsorbents: Modeling, simulation and experimental**, *Sep. Purif. Technol.*, vol. 20, no. 1, pp. 129–141, 2000.
- Guatarini, C. I.; Zanoni, M. V. B., **Corantes têxteis**, *Quim. Nova*, vol. 23, no. 1, pp. 71–78, 2000.
- Honorato, C.; Machado, J. M. Machado; Celante, G.; Borges, W. G. P.; Dragunski, D. C.; Caetano, J., **Bioissorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais**, *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.*, vol. 19, no. 7, pp. 705–710, 2015.
- Letterman, S., **Adsorção**, pp. 43–58, 1999.
- Maciel, W. P., **Cultivo de *Lentinula edodes* em diferentes condições de substrato e temperatura**, vol. 19, pp. 25–27, 2002.
- Maria, F.; Chequer, D., **Comparação da mutagenicidade dos dos azo corantes Disperse Red 1 , Disperse Orange 1 e Disperse Red 13 utilizando o teste de mutagenicidade com Salmonella**, *Usp - Rp*, pp. 1–28, 2008.
- Matouq, M.; Jildeh, N.; Qtaishat, M.; Hindiyeh, M.; Al Syouf, M. Q., **The adsorption kinetics and modeling for heavy metals removal from wastewater by Moringa pods**, *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 775–784, 2015.
- McKay, G.; Porter, J. F.; Prasad, G. R., **The Removal of Dye Colours from Aqueous Solutions by Adsorption on Low-cost Materials**, *Water. Air. Soil Pollut.*, vol. 114, no. 3, pp. 423–438, 1999.
- Menon, F. N.; Memon, S., **Calixarenes : A Versatile Source for the Recovery of Reactive Blue-19 Dye from Industrial Wastewater**, vol. 13, no. 2, pp. 148–158, 2012.
- Messner, K.; Srebotnik, E., **Biopulping: {An} overview of developments in an environmentally safe paper-making technology**, *FEMS Microbiol. Rev.*, vol. 13, pp. 351–364, 1994.
- Mozeto, A.; Jardim, W. D. F., **A química ambiental no Brasil**, *Quim. Nova*, vol. 25, no. SUPPL. 1, pp. 7–11, 2002.

Namasivayam; Kavitha, D., **Removal of Congo Red from water by adsorption onto activated carbon prepared from coir pith , an agricultural solid waste Removal of Congo Red from water by adsorption onto activated carbon prepared from coir pith**, vol. 54, no. July 2015, pp. 47–58, 2002.

Nascimento, R. F.; Lima, A. C. A.; Vidal, C. B.; Melo, D. de Q.; Raulino, G. S. C., **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais**, 2014.

Ohga, S.; Royse, D. J., **Transcriptional regulation of laccase and cellulase genes during growth and fruiting of Lentinula edodes on supplemented sawdust**, *FEMS Microbiol. Lett.*, vol. 201, no. 1, pp. 111–115, 2001.

Oliveira, V. F.; Franca, A. S., **Estudo da cinética e da termodinâmica de adsorção da torta prensada de crambe (Cambre Abyssinica) em sua aplicação como biosorvente em soluções aquosas de corante**, *An. do VIII Congr. Bras. Eng. Química em Iniciação Científica*, vol. 1, pp. 1–6, 2009.

Palin *et al.*, **Evaluation of Pb (II) biosorption utilizing sugarcane bagasse colonized by Basidiomycetes**, *Environ. Monit. Assess.*, vol. 188, no. 5, 2016.

Reid, D.; Paice, M. G., **Biological bleaching of kraft pulps by white-rot fungi and their enzymes**, *FEMS Microbiol. Rev.*, vol. 13, no. 2–3, pp. 369–375, 1994.

Robinson, T.; McMullan, G.; Marchant, R.; Nigam, P., **Remediation of dyes in textile effluent: A critical review on current treatment technologies with a proposed alternative** *Bioresour. Technol.*, vol. 77, no. 3, pp. 247–255, 2001.

Sá Da Rocha, O. R.; Do Nascimento, G. E.; Campos, N. F.; Da Silva, V. L.; Duarte, M. M. M. B., **Avaliação do processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante cinza reativo BF-2R**, *Quim. Nova*, vol. 35, no. 7, pp. 1369–1374, 2012.

Tagliaferro, G. V.; Pereira, P. H. F.; Rodrigues, L. Á.; Pinto da Silva, M. L. C., **Adsorção de chumbo, cádmio e prata em óxido de nióbio (v) hidratado preparado pelo método da precipitação em solução homogênea**, *Quim. Nova*, vol. 34, no. 1, pp. 101–105, 2011.

Valdman, E.; Erijman, L.; Pessoa, F. L. P.; Leite, S. G. F., **Continuous biosorption of Cu and Zn by immobilized waste biomass Sargassum sp.**, *Process Biochem.*, vol. 36, no. 8–9, pp. 869–873, 2001.

SOBRE A ORGANIZADORA

Carmen Lúcia Voigt - Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-291-3

