



A Produção do Conhecimento na Engenharia Química

**Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)**

Atena
Editora
Ano 2019



A Produção do Conhecimento na Engenharia Química

**Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)**

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
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. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
P964	A produção do conhecimento na engenharia química [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-747-5 DOI 10.22533/at.ed.475190611 1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. CDD 660.76
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A Engenharia Química, devido preocupação em desenvolver produtos e processos de produção, é responsável por pesquisas e projetos em relação aos materiais que passam por mudanças físicas e químicas, adquirindo outras características. A manipulação de compostos e substâncias para se criar novos produtos é o foco da Engenharia Química. Estes produtos proporcionam uma melhoria na qualidade de vida humana, pois além de pesquisas relacionadas, existe a preocupação em viabilizar as invenções, criar métodos baratos e eficientes de fabricação em massa, implementar processos químico-industriais cada vez melhores, mais econômicos e mais ecológicos.

O mercado de trabalho na área da Engenharia Química volta-se, por exemplo, para as áreas de energias renováveis (biocombustíveis), para a extração de óleos vegetais e para a produção de ração animal. Há espaço nas indústrias de tintas prediais e automotivas (máquinas agrícolas), nas indústrias têxteis, de cosméticos e higiene pessoal, assim como nas indústrias de tratamento de superfícies metálicas e não metálicas. Os profissionais também podem atuar nas indústrias de transformação dos polímeros, de gemas e joias, de erva-mate, frigoríficas e em laticínios, bem como nas indústrias farmacêuticas e de medicamentos.

Neste volume, organizado para você, apresentamos a produção de conhecimento na Engenharia Química através da realização de pesquisas diversas que abrangem desde nanomateriais na indústria de fármacos, métodos para degradação de poluentes, recuperação e purificação de compostos tanto de origem orgânica ou inorgânica, métodos de adsorção de corantes, até síntese de materiais, como óxido de grafeno e zeólita sodalita, por questões ambientais e energéticas.

Com base nestes trabalhos, convidamos você a aprimorar seus conhecimentos na área da Engenharia Química. Os trabalhos selecionados oportunizam uma nova visão de materiais, métodos e técnicas, mostrando a produção de conhecimento na área bem como o impacto tecnológico no desenvolvimento da indústria e sua relação direta com a sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
NANOMATERIAIS NA INDÚSTRIA DE FÁRMACOS	
Marlucia Ribeiro Barbosa Bourguignon	
Mariana César	
Iara Sperandio	
Damaris Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.4751906111	
CAPÍTULO 2	11
PRODUÇÃO DE FOTOCATALISADORES PARA DEGRADAÇÃO DOS HORMÔNIOS 17 β -ESTRADIOL E 17 α -ETINILESTRADIOL	
Ramiro Picoli Nippes	
Sérgio Ursulino Junior	
Tháisa Frossard Coslop	
Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante	
DOI 10.22533/at.ed.4751906112	
CAPÍTULO 3	22
MICROENCAPSULAMENTO DE ÓLEOS ESSENCIAIS: CONCEITOS E APLICAÇÕES	
Lidiane Diniz do Nascimento	
Márcia Moraes Cascaes	
Kauê Santana da Costa	
Eloisa Helena de Aguiar Andrade	
Elisângela Lima Andrade	
Cristiane Maria Leal Costa	
Lênio José Guerreiro de Faria	
DOI 10.22533/at.ed.4751906113	
CAPÍTULO 4	36
ANÁLISE TERMODINÂMICA DA FORMAÇÃO DE HIDROGÊNIO E GÁS DE SÍNTESE AO LONGO DA REAÇÃO DE GASEIFICAÇÃO COM ÁGUA SUPERCRÍTICA DO GLICEROL	
Julles Mitoura dos Santos Junior	
Annamaria Doria Souza Vidotti	
Reginaldo Guirardello	
Antônio Carlos Daltro de Freitas	
DOI 10.22533/at.ed.4751906114	
CAPÍTULO 5	49
PERFORMANCE OF A CYCLONE ADAPTED WITH WATER SPRAYERS	
Ana Clara Alves Justi	
Gabriel Henrique Justi	
Mônica Lopes Aguiar	
DOI 10.22533/at.ed.4751906115	

CAPÍTULO 6 62

SISTEMAS AQUOSOS BIFÁSICOS: UMA PLATAFORMA PARA A EXTRAÇÃO E PURIFICAÇÃO DE COMPOSTOS

Luan Vittor Tavares Duarte de Alencar
Laís Maria Santos Passos
Ricardo Porto Santos
Cleide Mara Faria Soares
Álvaro Silva Lima
Ranyere Lucena de Souza

DOI 10.22533/at.ed.4751906116

CAPÍTULO 7 75

AValiação DO EQUILÍBRIO DE ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO EM BIOCARVÃO PREPARADO POR PIRÓLISE DE CASCA DE EUCALIPTO

Lucas Destefani Paquini
Ueslei Giori Favero
Ruan de Oliveira Alves
Cynthia Pereira dos Santos
Jean Cota Coura
Renato Ribeiro Passos
Luciene Paula Roberto Profeti
Demetrius Profeti

DOI 10.22533/at.ed.4751906117

CAPÍTULO 8 85

INFLUÊNCIA DA AGITAÇÃO, pH E TEMPERATURA NO ESTUDO DA CINÉTICA E EQUILÍBRIO DE ADSORÇÃO DO CORANTE VERMELHO CONGO

Priscila Pereira Silva
Bruno Henrique Peressin Lanzoni
Evandro Roberto Alves

DOI 10.22533/at.ed.4751906118

CAPÍTULO 9 99

TINGIMENTO DE POLIAMIDA ADICIONANDO β -CICLODEXTRINA AO BANHO DE TINGIMENTO

Ana Luísa Alves Musialak
Bruna Thaisa Martins Ferreira
Washington Luiz Félix Santos

DOI 10.22533/at.ed.4751906119

CAPÍTULO 10 106

PREPARAÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFITE PARA PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS $\text{Cu}@\text{TIO}_2/\text{RGO}$ UTILIZADOS COMO FOTOCATALISADORES

Jean César Marinozi Vicentini
Eduardo Sbardellati Barbieri
Gimerson Weigert Subtil
Nathalia Caputo da Silva
Fernanda Ribeiro Gaspar Branco da Silva
Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante

DOI 10.22533/at.ed.47519061110

CAPÍTULO 11 118

SÍNTESE DE ZEÓLITA TIPO SODALITA A PARTIR DA CINZA VOLANTE

Emerson Cardoso Rodrigues
José Antônio da Silva Souza
Emanuel Negrão Macêdo
Carlos Augusto da Rocha Junior
Alice dos Prazeres Pinheiro
Romero Moreira de Oliveira
Dilson Nazareno Pereira Cardoso
Wenderson Gomes dos Santos
Bruno Maués Farias

DOI 10.22533/at.ed.47519061111

SOBRE A ORGANIZADORA..... 132

ÍNDICE REMISSIVO 133

INFLUÊNCIA DA AGITAÇÃO, PH E TEMPERATURA NO ESTUDO DA CINÉTICA E EQUILÍBRIO DE ADSORÇÃO DO CORANTE VERMELHO CONGO

Priscila Pereira Silva

Universidade Federal do Triângulo Mineiro,
Departamento de Engenharia Química
Uberaba - MG

Bruno Henrique Peressin Lanzoni

Universidade Federal do Triângulo Mineiro,
Departamento de Engenharia Química
Uberaba - MG

Evandro Roberto Alves

Universidade Federal do Triângulo Mineiro,
Departamento de Engenharia de Alimentos
Uberaba - MG

RESUMO: O vermelho congo é um corante que quando descartado em corpos hídricos provoca desequilíbrios gerando sério impacto ambiental. Com o intuito de comparar a eficiência de remoção de algumas superfícies adsorventes, este trabalho teve como objetivo estudar a adsorção de vermelho congo utilizando carvão ativado e outros dois resíduos, o bagaço de cana-de-açúcar e o couro *wetblue*. Para cada um dos adsorventes, foram verificadas a influência da agitação, pH e temperatura na eficiência de remoção utilizando-se 0,10 L de uma solução de corante 40 mg.L⁻¹ em 2 g de adsorvente a uma velocidade de 200 rpm durante 2 horas. Foi também estudada a cinética de adsorção utilizando-se concentrações correspondentes a 5, 10, 15, 20 e 40 mg.L⁻¹. Os resultados

mostraram que a agitação teve influência positiva na eficiência de remoção, sendo mais de 8% para o bagaço de cana e o carvão ativado e mais de 15% para o couro. O valor de pH igual a 2 foi considerado adequado tanto para o carvão ativado como para o couro *wet blue* e, para o bagaço de cana-de-açúcar o melhor pH foi 10. A temperatura de adsorção em carvão ativado e em bagaço de cana foi a de 45 °C, sendo que a mesma não interferiu na adsorção pelo couro. O carvão ativado e o bagaço de cana-de-açúcar se ajustaram ao modelo cinético de pseudo-segunda-ordem e o couro ao modelo cinético de difusão intrapartícula. Para as isotermas, todos os modelos se ajustaram melhor ao de Langmuir.

PALAVRAS-CHAVE: Carvão ativado, bagaço de cana, couro *wetblue*, cinética, isotermas.

INFLUENCE OF AGITATION, PH AND TEMPERATURE IN THE STUDY OF THE KINETICS AND ADSORPTION BALANCE OF CONGO RED DYE

ABSTRACT: Congo red is a dye that when disposed of in water bodies causes imbalances with a serious environmental impact. In order to compare the removal efficiencies of some adsorbent surfaces, this work aimed to study the adsorption of congo red using activated

carbon and two other residues, sugarcane bagasse and *wetblue* leather. For each of the adsorbents, the influence of agitation, pH and temperature on the removal efficiency was verified by using 0,10 L of a 40 mg.L⁻¹ dye solution in 2 g of adsorbent at a speed of 200 rpm during 2 hours. The adsorption kinetics was also studied using concentrations corresponding to 5, 10, 15, 20 and 40 mg.L⁻¹. The results showed the agitation had a positive influence on the removal efficiency, being more than 8% for sugarcane bagasse and activated charcoal and more than 15% for leather. The pH value of 2 was considered adequate for both activated charcoal and *wetblue* leather and for sugarcane bagasse the best pH was 10. The temperature for adsorption in activated charcoal and sugarcane bagasse was 45 °C, which did not interfere in the adsorption by leather. Activated charcoal and sugarcane bagasse were adjusted to the pseudo-second order and leather kinetic model was adjusted intraparticle diffusion. For isotherms, all models were better adjusted to Langmuir's model.

KEYWORDS: Activated carbon, cane bagasse, *wetblue* leather, kinetics, isotherms.

1 | INTRODUÇÃO

Corantes são compostos químicos que se fixam a um substrato alterando a sua cor. Essas substâncias são amplamente utilizadas em indústrias de cosméticos, alimentos, farmacêuticas e têxteis. O Vermelho Congo é um corante de caráter aniônico de fórmula $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$, e massa molecular 696,68 g.mol⁻¹. Sua estrutura contém anéis aromáticos de difícil degradação química e microbiana e é classificado como diazo por possuir dois grupos de ligações estáveis azo (-N=N-). Em relação ao seu comportamento em solução, apresenta cor roxa em valores de pH menores que 3 e vermelha acima de 5. O vermelho congo é tóxico, mutagênico e cancerígeno (UMBUZEIRO *et al.*, 2007).

Uma das preocupações a respeito das indústrias têxteis são os resíduos gerados durante as operações de tintura e tingimento. Os efluentes estão entre os mais poluentes, principalmente em relação a sua composição e quantidade de volume gerado. Em função dos problemas gerados pelo descarte inadequado de efluentes, a busca por métodos alternativos e de baixo custo que visam o tratamento eficiente dos corpos hídricos é um aspecto relevante. Diversos métodos são utilizados, tais como floculação, filtração com membrana e adsorção. A adsorção é um processo de aderência de moléculas (adsorvido) de um fluido em uma superfície sólida (adsorvente). A adesão é realizada através do contato entre o fluido e o adsorvente e pode ser física (fisissorção) ou química (quimissorção). Na adsorção física, a adesão ocorre devido as forças intermoleculares de Van der Waals e, na quimissorção, há a formação de uma ligação química entre o soluto e os sítios ativos (FOGLER, 2002).

Atualmente, diversos bioadsorventes têm sido avaliados em técnicas de bioadsorção para remoção de corantes, como por exemplo, o uso de bagaço de cana-de-açúcar, fibras de coco verde, caroço de manga, casca de banana, dentre outros.

O grau de adsorção depende de parâmetros como temperatura, pressão e área da superfície do adsorvente. A descoloração pode ser um resultado de mecanismos de adsorção e troca iônica, os quais são influenciados por fatores físico-químicos, tais como a interação corante-adsorvente, tamanho da partícula, pH e tempo de contato (NIGAM *et al.*, 2001).

O carvão ativado é constituído basicamente por carbono que contém milhares de poros em sua estrutura, conferindo a capacidade de coletar seletivamente gases, líquidos ou impurezas, por meio de processos adsorptivos. Os usos mais comuns de carvão ativado são para a produção de filtros de adsorção de gases e no tratamento de águas (SHANNON, 2000).

Um dos subprodutos gerados nos processos de moagem e obtenção de álcool e açúcar é o bagaço em que, uma das aplicações na agroindústria sucroenergética é a combustão para a geração de energia. No entanto, a utilização do bagaço como fonte de energia gera poluentes como monóxido e dióxido de carbono, material particulado, óxidos de nitrogênio e cinzas residuais. Outra forma de utilização desse resíduo é o uso como material biossorvente para a remoção de contaminantes em efluentes industriais (MAPA, 2015).

Outro material que vem sendo explorado quanto a sua capacidade de adsorção é o couro *wetblue*. Este resíduo difere do couro natural somente pela presença de cromo. Nesse caso, o cromo tem a função de agir como ponte entre os grupos proteicos do couro, conferindo maior estabilidade química e mecânica ao produto. A presença do cromo amplia a capacidade de adsorção pelo fato dele aumentar as possibilidades de interações iônicas entre o couro *wetblue* e os corantes. A indústria do couro produz grande quantidade de resíduos sólidos a partir dos processos de beneficiamento com cromo para a obtenção do couro *wetblue*. Parte considerável do couro é perdida na forma de serragem e aparas, as quais, na maioria das vezes, não são descartadas de forma adequada, levando a contaminação ambiental devido a toxicidade do metal (PICCIN *et al.*, 2013).

O estudo da cinética de adsorção é essencial para o tratamento de efluentes pois torna possível determinar a velocidade com que o processo ocorre além do tempo em que o equilíbrio é atingido. A isoterma de adsorção é outra ferramenta importante que nos permite representar a capacidade adsorptiva para uma matriz sólida adsorvente. Dentre os modelos de isotermas mais utilizados, encontram-se o de Langmuir e Freundlich (SCHIMMEL, 2008).

Os principais objetivos deste trabalho são: avaliar e comparar a eficiência de adsorção do corante vermelho congo no bagaço de cana-de-açúcar, couro *wetblue* e carvão ativado através da espectrofotometria UV-vis e realizar o levantamento cinético e do equilíbrio do processo de adsorção a fim de analisar os parâmetros que influenciam a velocidade e seu comportamento.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Matérias primas

O bagaço de cana-de-açúcar utilizado foi obtido como um resíduo de um vendedor de caldo de cana-de-açúcar na cidade de Uberaba/MG. O resíduo de couro *wetblue* foi fornecido por um curtume situado na cidade de Franca/SP na forma de placas enroladas. O carvão ativado granular e corante vermelho congo foi obtido no laboratório F4 da unidade II da UFTM/ICTE.

2.2 Preparo e caracterização dos adsorventes

Os adsorventes foram lavados abundantemente com água destilada e, posteriormente, encaminhados a etapa de secagem ao sol durante 2 dias. O bagaço de cana-de-açúcar e o couro foram moídos e submetidos a um processo de separação granulométrica (4 mesh) para a obtenção de diferentes frações. O carvão ativado não foi peneirado por já conter granulometria adequada e homogênea (entre 3,5 e 4 mesh). Ao final, os sólidos foram reservados em frascos hermeticamente fechados. Para determinar as características físico-químicas, os adsorventes foram submetidos a análises em triplicata do teor de umidade, teor de cinzas, densidade aparente e massa específica conforme Di Bernardo e Dantas (2005).

2.3 Varredura espectral e curva de calibração

A fim de se confirmar o comprimento de onda de máxima absorção do corante vermelho congo, foram realizadas medidas em um espectrofotômetro, equipado com cubeta de vidro de 1 cm. Para a varredura espectral entre 320 a 800 nm foi utilizada solução de 40 mg.L⁻¹ de corante vermelho congo. A curva de calibração foi feita utilizando-se soluções do corante de concentrações que variaram de 0 a 40 mg.L⁻¹, após o comprimento de onda de máxima absorção ter sido ajustado. O branco analítico foi composto por água destilada.

2.4 Adsorção e eficiência de remoção

Foi preparada uma solução aquosa (40 mg.L⁻¹) do corante para simular a concentração em um efluente têxtil. Os parâmetros físicos temperatura, pH e influência de agitação foram estudados após o equilíbrio de adsorção ter sido atingido. Em todos os experimentos foram utilizados béqueres de 500 mL contendo 2,0 g de material adsorvente em 100 mL da solução do corante. Ao final do intervalo de tempo de equilíbrio, as amostras foram decantadas durante 5 minutos e, em seguida, analisadas em espectrofotômetro. O cálculo da eficiência de remoção foi realizado por meio da Equação 1.

$$R = \left(\frac{C_0 - C_F}{C_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

Em que C_0 equivale a concentração inicial da solução de vermelho congo (40 mg.L^{-1}), C_F a concentração final, obtida logo após o período de 2 horas. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.5 Influência da agitação

As amostras foram submetidas à diferentes taxas de agitação e repouso. O pH foi fixado como da própria solução do corante e a temperatura a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Foram utilizados agitadores magnéticos com velocidade de rotação de 200 rpm.

2.6 Influência do pH

As superfícies adsorventes foram mergulhadas separadamente em béqueres contendo a solução do corante e submetidas a diferentes condições de pH, cujos valores variaram entre 2 e 10. Os valores de pH foram obtidos com o auxílio de soluções de HCl e NaOH, ambas de concentrações $0,10 \text{ mol.L}^{-1}$. O pH de cada solução foi medido após o sistema ter atingido o equilíbrio. A agitação de 200 rpm foi mantida em todos os experimentos.

2.7 Influência da temperatura

Para a avaliação da temperatura, foram selecionados os valores de 25, 35 e $45 \text{ }^\circ\text{C}$. A escolha desses valores foi em função da temperatura de descarte da maioria dos efluentes. A agitação foi fixada em 200 rpm.

2.8 Cinética de adsorção

Para os testes cinéticos foram utilizadas concentrações distintas de solução de vermelho congo, ($5,0$; $10,0$; $15,0$; $20,0$ e 40 mg.L^{-1}). Alíquotas foram sendo retiradas em determinados intervalos de tempo, sendo que durante os 30 primeiros minutos, as amostras foram retiradas de 1 em 1 minuto. Em seguida, as alíquotas foram retiradas de 10 em 10 minutos até que o ensaio completasse 60 minutos de duração. Para os testes que duraram mais que 60 minutos, as amostras foram retiradas em intervalos de 15 minutos, até que o equilíbrio fosse atingido. Na Tabela 1 estão apresentados os modelos cinéticos juntamente com descrição do comportamento adsorativo.

Modelos	Langmuir	Freundlich
Equação	$q_e = \frac{q_{m\acute{a}x}K_L C_e}{1 + K_L C_e}$	$q_e = K_F C_e^{1/n_F}$
Característica	Adsorção em sítios específicos e homogêneos do adsorvente	Heterogeneidade da superfície da adsorvente: adsorção em multicamadas

Tabela 1. Modelos cinéticos

Fonte: Freitas e Zeferino, 2012.

Sendo q_e a quantidade de corante adsorvida no equilíbrio (mg/g), q a quantidade de corante adsorvida (mg.g⁻¹), K_1 a constante de velocidade de primeira-ordem (min⁻¹), K_2 é a constante de velocidade de segunda ordem (g.mg⁻¹.min⁻¹), h a velocidade de adsorção inicial (mg.g⁻¹.min⁻¹) no tempo t_0 , K_{dif} é o coeficiente de difusão intrapartícula (mg.g⁻¹.min^{-0,5}); C a constante de difusão (mg.g⁻¹).

2.9 Isotermas de adsorção

Para estudo das isotermas foram propostos 2 modelos que são apresentados na Tabela 2.

Modelos	Langmuir	Freundlich
Equação	$q_e = \frac{q_{m\acute{a}x}K_L C_e}{1 + K_L C_e}$	$q_e = K_F C_e^{1/n_F}$
Característica	Adsorção em sítios específicos e homogêneos do adsorvente	Heterogeneidade da superfície da adsorvente: adsorção em multicamadas

Tabela 2. Isotermas de adsorção

Fonte: Freitas e Zeferino, 2012.

Em que q_0 é a quantidade de corante adsorvida no equilíbrio (mg.g⁻¹), C_e é a concentração de adsorvato presente na solução em equilíbrio (mg.L⁻¹); $q_{m\acute{a}x}$ é a capacidade máxima de adsorção do adsorvente (mg/g), K_L (L.mg⁻¹) a constante de Langmuir; n_F (adimensional) representa o quanto um processo de adsorção é favorável, e K_F (L.mg⁻¹) a constante de Freundlich.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos adsorventes

Os resultados a respeito da caracterização dos adsorventes estão dispostos na Tabela 3.

	Umidade (%)	Cinzas (% b.s.)	Densidade real (kg.m ⁻³)	Massa específica (kg.m ⁻³)
CAG	5,136 ± 0,544	0,261 ± 0,027	460,510 ± 2,954	487,822 ± 1,127
BCA	6,560 ± 1,073	0,202 ± 0,043	120,578 ± 1,354	2483,578 ± 2,945
CWB	7,877 ± 0,465	5,760 ± 0,005	252,223 ± 2,632	321,456 ± 2,569

Tabela 3. Propriedades físicas dos adsorventes

Nota: CAG: Carvão ativado granular; BCA: bagaço de cana-de-açúcar; CWB: Couro *wetblue*.

O couro apresentou o maior valor de umidade dentre os adsorventes. Godinho (2006) e Bahillo *et al.* (2004) apresentaram teores de umidade nas raspas de couro de 14,1% e 13,3%. Esses valores se devem as diferentes condições e tratamentos que o couro foi submetido, além da sua própria composição. A umidade para o carvão ativado foi de 6,68% cujo valor está próximo ao resultado encontrado por Barcellos (2007). O teor de cinzas encontrado por Godinho (2006) e Bahillo *et al.* (2004) para o couro foram 5,8% e 5,25%, respectivamente, indicando que não há diferença experimental quando comparado a este trabalho. O resultado referente à massa específica do bagaço de cana foi semelhante ao encontrado por Sales e Lima (2010).

3.2 Varredura espectral e curva de calibração

A curva de calibração do vermelho congo foi realizada utilizando-se o comprimento de onda de máxima absorção, cujo valor foi o de 500 nm. A varredura espectral e a curva de calibração estão representadas na Figura 1.

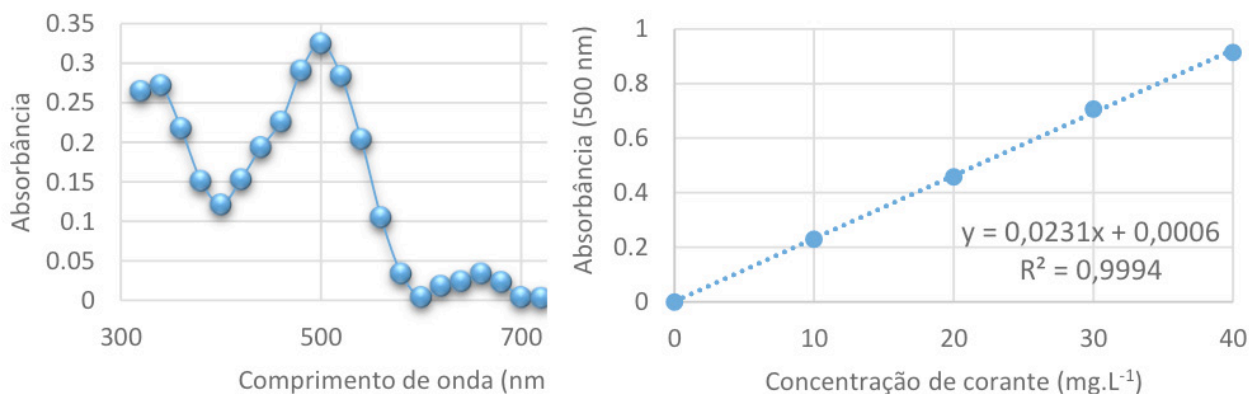


Figura 1. (a) Varredura espectral e (b) curva de calibração

3.3 Influência da Agitação

Os resultados referentes ao efeito da agitação no processo de adsorção estão apresentados na Tabela 4.

	Sem agitação	Com agitação
CAG	62,39 ± 2,09%	70,77 ± 2,56%
BCA	74,31 ± 2,98%	83,18 ± 2,24%
CWB	78,52 ± 1,74%	93,50 ± 1,21%

Tabela 4. Eficiência de adsorção influenciada pela agitação

Nota: CAG: Carvão ativado granular; BCA: bagaço de cana-de-açúcar; CWB: Couro *wetblue*.

A agitação influencia de forma significativa o processo de adsorção, sendo que para o carvão e bagaço de cana ocorreu um aumento de 8% na eficiência de remoção do corante, enquanto que para o couro *wetblue* foi em torno de 15%. Esse aumento de eficiência se deve, provavelmente, pelo fato da agitação aumentar a probabilidade das moléculas do corante se ligarem aos sítios ativos dos materiais adsorventes, facilitando, dessa forma, que o equilíbrio seja atingido mais rapidamente (MCKAY *et al.*, 1980). O couro *wetblue* foi o que apresentou maior capacidade de adsorção. Este material é composto por longas cadeias monoméricas de alfa-amino-ácidos ($R-CH(NH_2)COOH$, onde R é um grupo orgânico) conectadas por ligações amídicas ($-CO-NH-$), podendo apresentar elevado teor de cromo devido ao tratamento pelo qual foi submetido. A presença desse metal no couro proporciona maior estabilidade química e mecânica e, por ser um cátion, o cromo viabiliza o aumento da probabilidade de ocorrerem interações iônicas entre o couro *wetblue* e os corantes.

3.4 Influência do pH

A capacidade adsorptiva do corante em função do pH é apresentada na Tabela

5.

	pH				
	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
CAG	82,9 ± 1,52%	70,74 ± 1,92%	65,43 ± 3,05%	60,02 ± 1,84%	46,69 ± 2,31%
BCA	42,30 ± 2,10%	66,38 ± 2,87%	82,29 ± 2,17%	83,02 ± 3,16%	83,22 ± 3,47%
CWB	95,71 ± 1,44%	94,17 ± 1,23%	93,14 ± 1,42%	90,01 ± 1,71%	88,12 ± 1,22%

Tabela 5. Eficiência de adsorção influenciada pelo pH

Nota: CAG: Carvão ativado granular; BCA: bagaço de cana-de-açúcar; CWB: Couro *wetblue*.

Para o carvão ativado a capacidade de adsorção apresentou melhor desempenho em pH igual a 2, enquanto a menor capacidade de remoção foi observada para a solução de pH igual a 10, confirmando que condições ácidas favorecem o processo adsorptivo. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato do corante possuir carga superficial negativa devido aos grupos sulfonados e da superfície do adsorvente estar carregada positivamente em condições ácidas, havendo assim maior atração entre as respectivas superfícies. Valores de pH acima de 7, há formação de uma camada superficial eletrostática carregada negativamente no adsorvente, repelindo as moléculas do corante, prejudicando dessa forma, o processo de adsorção. Com relação ao bagaço de cana foi verificado que o aumento do pH melhorava a eficiência de remoção de corante da solução. De acordo com Peruzzo (2003) a eficiência de remoção em pH básico é mais efetiva por conta da maior concentração de íons H^+ nos sítios ativos no sólido. Dessa forma há uma competição entre os íons protonados do corante e os íons H^+ pelos sítios ativos desocupados no adsorvente. Em relação ao couro *wetblue* foi observado efeito de remoção de corante similar ao carvão ativado, de forma que em valores de pH ácidos a remoção é maior e, conforme o pH é aumentado (alcalino), a eficiência de remoção do corante diminui. Esse fenômeno pode ser explicado em função de que em pH ácidos há um aumento do caráter catiônico na superfície molecular do couro *wetblue*, pela dissociação de grupos amino ($-NH_3^+$) presentes em sua estrutura, beneficiando a adsorção de corantes aniônicos, como é o caso do corante vermelho congo.

3.5 Influência da temperatura

Os resultados obtidos para a eficiência de adsorção em diferentes temperaturas estão apresentados na Tabela 6.

	Temperatura (°C)		
	25	35	45
CAG	66,86 ± 2,54%	70,74 ± 3,12%	78,43 ± 2,87%
BCA	75,30 ± 1,87%	79,38 ± 1,98%	82,29 ± 4,14%
CWB	95,71 ± 2,11%	94,17 ± 1,74%	93,14 ± 2,87%

Tabela 6. Eficiência de adsorção influenciada pela temperatura com agitação

Nota: CAG: Carvão ativado granular; BCA: bagaço de cana-de-açúcar; CWB: Couro *wetblue*.

Para o carvão ativado e o bagaço de cana foi observado que conforme aumentava a temperatura, também aumentava a eficiência de remoção. O mesmo comportamento foi observado por Peruzzo (2003) na adsorção dos corantes verde malaquita e cristal violeta explicado pelo aumento na solubilidade do corante e a diminuição do potencial químico. Aksu e Tezer (2005) explicam que a capacidade de remoção é aumentada pela intensificação da agitação das moléculas em solução, tornando a quimissorção mais eficiente em maiores temperaturas. O couro *wetblue* apresentou resultados significativos em relação à remoção do corante em solução, independentemente da temperatura. O fato do couro ser composto por cadeias poliméricas e apresentar elevado teor de cromo, proporciona maior estabilidade térmica, sendo que a temperatura afeta minimamente o fenômeno da adsorção.

3.6 Cinética de adsorção

O estudo da cinética tem como finalidade determinar o tempo de equilíbrio de adsorção do corante vermelho congo. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 7 a 9.

Conc	Pseudo-primeira-ordem		Pseudo-segunda-ordem			Difusão intrapartícula		
	K_1	R^2	K_2	h	R^2	K_{dif}	C	R^2
5	0,2385	0,8685	2,6123	0,5520	0,9997	0,0835	0,2586	0,9823
10	0,2258	0,9058	1,4587	0,5899	0,9998	0,0697	0,3052	0,9285
15	0,1787	0,8903	0,4877	0,6254	0,9995	0,0412	0,4877	0,9321
20	0,0644	0,9233	0,1843	0,7852	0,9998	0,0286	0,6820	0,9125
40	0,0125	0,8755	0,0636	0,8566	0,9996	0,0144	0,7588	0,9254

Tabela 7. Parâmetros cinéticos do carvão ativado granular

Nota: Conc (mg.L⁻¹); k_1 (min⁻¹); k_2 (g.mg⁻¹.min⁻¹); h (g.mg⁻¹.min⁻¹); k_{dif} (mg.g⁻¹.min^{-0.5}); C (mg.g⁻¹)

Para o carvão ativado granular, observa-se que os valores de K_1 , K_2 e K_{dif} decrescem com o aumento da concentração do corante e que a adsorção é mais rápida para menores concentrações de corante. Nota-se que a melhor correlação foi obtida para o modelo de pseudo-segunda-ordem sendo, a quimissorção como

etapa limitante da velocidade da reação pelo fato de não haver compartilhamento ou troca iônica entre a superfície do sólido e o corante (MALL *et al.*, 2006).

Conc	Pseudo-primeira-ordem		Pseudo-segunda-ordem			Difusão intrapartícula		
	K_1	R^2	K_2	h	R^2	K_{dif}	C	R^2
5	0,4788	0,8477	3,9875	0,5893	0,9994	0,0863	0,3048	0,8126
10	0,1219	0,8566	1,2256	1,4978	0,9999	0,1083	0,9047	0,8421
15	0,0133	0,9251	0,9177	3,5182	0,9992	0,1363	2,6987	0,9022
20	0,0087	0,8896	0,3612	8,9236	0,9981	0,5231	4,6352	0,8755
40	0,0052	0,8874	0,1398	10,8561	0,9993	0,9872	5,2187	0,8236

Tabela 8. Parâmetros cinéticos do bagaço de cana

Nota: Conc (mg.L⁻¹); k_1 (min⁻¹); k_2 (g.mg⁻¹.min⁻¹); h (g.mg⁻¹.min⁻¹); k_{dif} (mg.g⁻¹.min^{-0.5}); C (mg.g⁻¹)

É possível notar que para o bagaço de cana o modelo que mais se adequou aos dados cinéticos foi o de pseudo-segunda-ordem e que o parâmetro de velocidade inicial de adsorção (h) cresce com a concentração da solução. Isso é explicado pelo fato de existir maior quantidade de corante disponível para aderir a superfície do sólido adsorvente. Além disso, o processo apresenta como etapa limitante a quimiossorção.

A Tabela 9 apresenta os resultados cinéticos do couro *wetblue*.

Conc	Pseudo-primeira-ordem		Pseudo-segunda-ordem			Difusão intrapartícula		
	K_1	R^2	K_2	h	R^2	K_{dif}	C	R^2
5	0,1336	0,9025	4,6875	1,3668	0,9564	0,0251	0,2780	0,9999
10	0,0947	0,8452	3,6889	1,0029	0,9444	0,0312	0,3269	0,9999
15	0,0698	0,9136	1,2569	0,8771	0,9458	0,0378	0,4583	0,9997
20	0,0458	0,9231	0,8745	0,4322	0,9425	0,0896	0,5921	0,9998
40	0,0115	0,9112	0,8144	0,3256	0,9263	0,0953	0,7855	0,9996

Tabela 9. Parâmetros cinéticos do couro *wetblue*

Nota: Conc (mg.L⁻¹); k_1 (min⁻¹); k_2 (g.mg⁻¹.min⁻¹); h (g.mg⁻¹.min⁻¹); k_{dif} (mg.g⁻¹.min^{-0.5}); C (mg.g⁻¹)

Para o couro *wetblue*, os valores de R^2 indicam que a adsorção é controlada pela difusão intrapartícula. O fato de a adsorção nesse sólido ter acontecido mais rápido que os outros indica que a resistência a transferência de massa é mínima e por isso, o transporte do corante é relativamente rápido.

3.7 Isotermas de adsorção

Foram testados dois modelos de isotermas e os ajustes não lineares foram feitos utilizando o *software* Origin 8.0 ®. Os resultados dos parâmetros obtidos são apresentados nas Tabelas 10 a 12 e os gráficos das isotermas são apresentados nas Figuras 2 a 4.

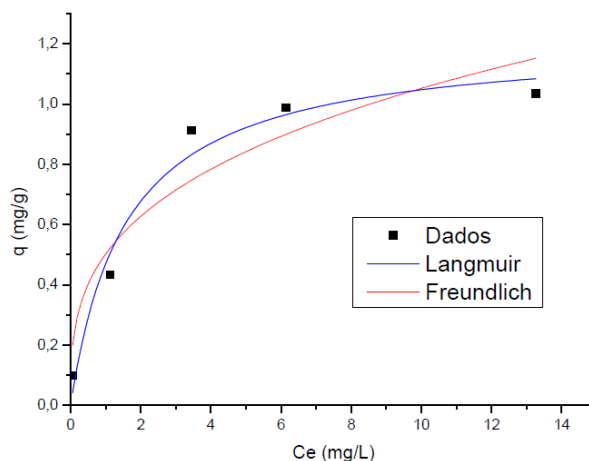


Figura 2. Isotherma de adsorção para o carvão ativado granular

Modelo	$q_{m\acute{a}x} \left(\frac{mg}{g}\right)$	Desvio padrˆo	$K_i \left(\frac{L}{mg}\right)$	Desvio padrˆo	n_i	Desvio padrˆo	R^2
L	1,2136	0,1040	0,6318	0,2074	-	-	0,9641
F	-	-	0,5020	0,0950	3,1113	0,8975	0,8676

Tabela 10. Parˆmetros das isothermas para o carvão ativado granular

Nota: L: Langmuir; F: Freundlich.

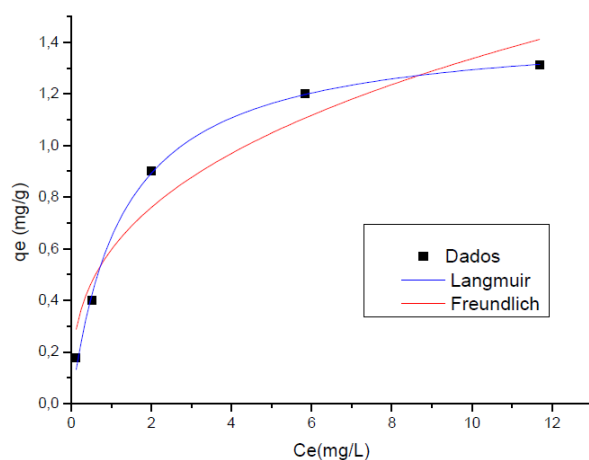


Figura 5. Isotherma de adsorção para o bagaço de cana-de-açúcar

Modelo	$q_{m\acute{a}x} \left(\frac{mg}{g}\right)$	Desvio padrˆo	$K_i \left(\frac{L}{mg}\right)$	Desvio padrˆo	n_i	Desvio padrˆo	R^2
L	1,4569	0,0359	0,7915	0,0744	-	-	0,9963
F	-	-	0,5966	0,0804	$\frac{2,85}{4}$	0,5499	0,9236

Tabela 12. Parˆmetros das isothermas para o bagaço de cana-de-açúcar

Nota: L: Langmuir; F: Freundlich.

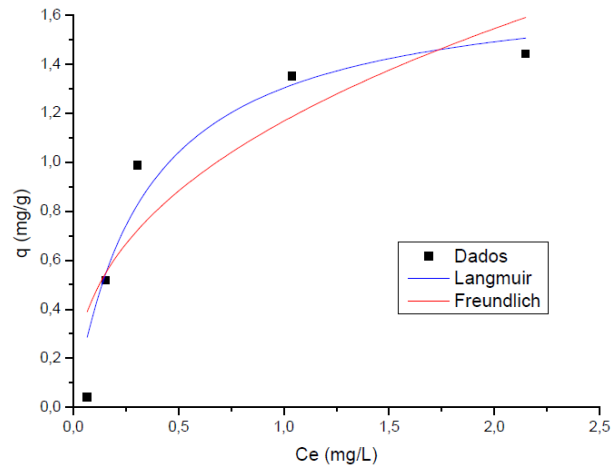


Figura 6. Isoterma de adsorção para o couro *wetblue*

Modelo	$q_{m\acute{a}x} \left(\frac{mg}{g}\right)$	Desvio padrão	$K_i \left(\frac{L}{mg}\right)$	Desvio padrão	n_i	Desvio padrão	R^2
L	1,7432	0,2431	2,9606	1,2765	-	-	0,9874
F	-	-	1,1678	0,1501	2,4742	0,8350	0,8776

Tabela 13. Parâmetros das isotermas para o couro *wetblue*

Nota: L: Langmuir; F: Freundlich.

Analisando os valores de (R^2) observa-se que o modelo que melhor se ajustou aos adsorventes foi o de Langmuir. Provavelmente as superfícies de adsorção são homogêneas, o processo de adsorção ocorre em sítios específicos e a adsorção é máxima quando existe a formação de uma camada monomolecular que cobre a superfície do adsorvente.

4 | CONCLUSÃO

Todos as superfícies adsorventes estudadas se mostraram uma alternativa viável para adsorverem o corante vermelho congo. A agitação foi o parâmetro que se destacou na eficiência de remoção do corante. Relativamente ao pH, a melhor eficiência de adsorção do corante ocorre no bagaço de cana e no carvão ativado em condições ácidas, enquanto a condição alcalina para o couro. A temperatura de 45 °C é adequada quando se utiliza como superfície adsorvente o carvão ativado e bagaço de cana. Em relação à cinética de adsorção é possível inferir que o carvão ativado e o bagaço de cana adequam-se ao modelo de pseudo-segunda-ordem e para o couro, o melhor foi o de difusão intrapartícula. As isotermas de adsorção indicam que, todos os sólidos seguem o modelo de Langmuir. Para o carvão e a cana o processo de adsorção é predominantemente físico e, para o couro *wetblue* as ligações são iônicas (fortes) caracterizando um processo irreversível.

REFERÊNCIAS

- AKSU, Z.; TEZER, S. **Biosorption of reactive dyes on the green alga *Chlorella vulgaris***. Process Biochemistry, v. 40, n. 3-4, p. 1347-1361, 2005.
- BAHILLO, A.; ARMESTO, L.; CABANILLAS, A.; OTERO, J. **Thermal Valorization of Footwear Leather Wastes in Bubbling Fluidized Bed**. Waste Management. 2004.
- BARCELLOS, D. C. **Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. Viçosa, 2007.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Carlos: Rima, 2005.
- FOGLER, S. C., **Elementos de Engenharia das Reações Químicas**, 4ª ed., Editora LTC, 2002.
- GODINHO, Marcelo. **Gaseificação e combustão combinadas de resíduos sólidos da indústria coureiro – calçadista**. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- MALL, I.D., SRIVASTAVA, V.C., KUMAR, N.A., MISHRA, I.M. **Adsorptive removal of malachite green dye from aqueous solution by bagasse fly ash and activated carbon-kinetic study and isotherm analyses**. Colloids Surf. A. Physicochemical. Eng. Aspect, 2006.
- MAPA. **Ministério da Agricultura**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em: 25 jun. 2019.
- MCKAY, G.; OTTERBURN, M. S.; SWEENEY, A. G. **The removal of colour from effluent using various adsorbents – III. Silica: rate processes**. Water Research. v. 14, p. 15-20, 1980
- NIGAM, P.; MCMULLAN, G., MEEHAN, C.; CONNEELY, A.; KIRBY, N.; ROBINSON, T.; BANAT, I.M.; MARCHANT, R.; SMYTH, W.F.; **Microbial decolourisation and degradation of textile dyes**. Applied Microbiology and Biotechnology, 2001.
- PERUZZO, L. C. **Influência de agentes auxiliares na adsorção de corantes de efluentes da indústria têxtil em colunas de leito fixo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química e Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2003.
- PICCIN, J.S., FERIS, L.A., COOPER, M., GUTTERREZ, M. **Dye adsorption by leather waste: mechanism diffusion, nature studies and thermodynamic data**. Journal of Chemical & Engineering Data, p. 873–882, 2013.
- SALES, A.; LIMA, S. A. **Use of brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement**. Waste Management, v.30, n.6, p. 1114-1122, 2010.
- SCHIMMEL, D. **Adsorção dos corantes reativos azul 5G e azul turquesa QG em carvão ativado comercial**. Dissertação de mestrado em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo, 2008.
- SHANNON M. **Ingestion of toxic substances by children**. New England Journal of Medicine, p. 91, 2000.
- UMBUZEIRO, G. A.; OLIVEIRA, D. P.; RECH, C. M.; SALVADORI, D. M. F.; BAZO, A. P.; LIMA, R. O. A. **Mutagenic and carcinogenic potential of a textile azo dye processing plant effluent that impacts a drinking water source**. Science Direct, v. 626 p. 53–60, 2007.

ÍNDICE REMISSIVO

SÍMBOLOS

β -ciclodextrina 99, 100, 101, 104

A

Adsorção 14, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 106, 109

Adsorvente 75, 80, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 90, 93, 95, 97, 131

ATR 106, 107

B

Bagaço de cana 85, 86, 87, 88, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97

Bagasse 49, 51, 60, 86, 98

Biomassa 36, 38, 39, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 68, 71, 75, 78

C

Carvão ativado 75, 78, 85, 87, 88, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 98

Cinética 5, 85, 87, 89, 94, 97, 100, 101, 102, 103, 104, 130

Cogeneration 49

Collection 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60

Compostos de interesse 39, 62

Corantes 62, 67, 69, 70, 71, 75, 76, 77, 86, 87, 92, 93, 94, 98, 100, 102, 104

Couro wetblue 85, 87, 88, 91, 92, 93, 94, 95, 97

D

Dióxido de titânio 11, 13, 18, 109

DRX 106, 107, 123, 125, 126

E

Efficiency 2, 12, 32, 34, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 73, 76, 86

F

Fármacos de liberação controlada 1

Fotocatálise heterogênea 11, 13, 20

G

Glicerol 36, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47

Grafeno 3, 8, 14, 106, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115

H

Hammers modificado 106

I

Irradiação solar 11, 15

Isotermas 75, 79, 80, 81, 83, 85, 87, 90, 95, 96, 97, 103

M

Maximização de entropia 36, 39, 40, 42

Mercado de óleos essenciais 22, 24

Microencapsulação 22, 23, 25, 27, 28, 31, 32

N

Nanopartículas 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 26

Nanotecnologia 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9

P

Particulate material 49, 50, 52, 55, 57

Poliamida 99, 100, 101, 104

Purificação 62, 63, 66, 67, 68, 69, 71, 74, 79

R

Raman 106, 107, 113, 114

Recuperação 62, 70

S

SCWG 36, 37, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47

Síntese hidrotérmica 120, 125

Sistemas aquosos bifásicos 62, 63, 69, 70, 71

Sodalita 118, 119, 120, 121, 125, 126, 127, 128, 129

Spray drying 22, 23, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35

T

Tingimento têxtil 99, 105

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-747-5



9 788572 477475