

**Franciele Bonatto
Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)**

Impactos das Tecnologias nas Engenharias 4



**Franciele Bonatto
Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta**
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias nas Engenharias

4

**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 Geraldo Alves

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)

134 Impactos das tecnologias nas engenharias 4 [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Bonatto, Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias nas Engenharias; v. 4)

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-85-7247-194-7
DOI 10.22533/at.ed.947191503

1. Engenharia. 2. Inovações tecnológicas. 3. Tecnologia.
I. Bonatto, Franciele. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Dallamuta, João.
CDD 658.5

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

Caro leitor(a)

Nesta obra temos um compendio de pesquisas realizadas por alunos e professores atuantes em engenharia e tecnologia. São apresentados trabalhos teóricos e vários resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens de simulação, projetos e caracterização no âmbito da engenharia e aplicação de tecnologia.

Tecnologia é o pilar mais importante da engenharia. Os profissionais que se dedicam a pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e processos não estão preocupados com todos os aspectos da tecnologia, mas com a tecnologia existente, bem como com a tecnologia futura considerada viável. Uma visão ampla de tecnologia é portanda fundamental para engenheiros. É esta amplitude de áreas e temas que procuramos reunir neste livro.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Franciele Bonatto
Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Tecnologia e Engenharia em Foco

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO TÉRMICO DO SISTEMA DE UM FREIO	
<i>Franklin Lacerda de Araújo Fonseca Júnior</i> <i>David Domingos Soares da Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915031	
CAPÍTULO 2	9
DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DA DUREZA E DA MICROESTRUTURA DO AÇO AISI 5160 NA CONDIÇÃO PADRÃO E ESFEROIDIZADO	
<i>Anelise Pereira da Silva</i> <i>Suelen de Fátima Felisberto</i> <i>Amir Rivaroli Junior</i> <i>Cristina de Carvalho Ares Elisei</i> <i>Jorge Luiz Rosa</i> <i>Sérgio Roberto Montoro</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915032	
CAPÍTULO 3	17
INOVAÇÕES EM BROCA: UTILIZAÇÃO DE JATO DE ÁGUA COM ALTO CONTEÚDO ENERGÉTICO E ALARGADORES MECÂNICOS COMO PRINCÍPIO DE ESCAVAÇÃO	
<i>Rafael Pacheco dos Santos</i> <i>Lidiani Cristina Pierri</i> <i>Jair José dos Passos Junior</i> <i>Anderson Moacir Pains</i> <i>Marcos Aurélio Marques Noronha</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915033	
CAPÍTULO 4	25
ESTUDO DE UM CONTROLADOR DE UM BRAÇO ROBÓTICO COM DOIS GRAUS DE LIBERDADE COM BASE EM LMI	
<i>Márcio Roberto Covacic</i> <i>Ruberlei Gaino</i> <i>Cesar Capobianco</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915034	
CAPÍTULO 5	33
INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA POTÊNCIA DE SOLDAGEM NO PROCESSO DE SOLDAGEM A LASER NO AÇO BLAR	
<i>Ana Paula Alves de Oliveira</i> <i>Francisco Cardoso de Melo Junior</i> <i>Amir Rivaroli Junior</i> <i>Emerson Augusto Raymundo</i> <i>João Maurício Godoy</i> <i>Marcelo Bergamini de Carvalho</i> <i>Sérgio Roberto Montoro</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915035	

CAPÍTULO 6	42
IMPLEMENTAÇÃO DE UMA TÉCNICA DE CONTROLE PREDITIVO NÃO LINEAR PRÁTICA NO ACIONAMENTO DE UM MOTOR CC	
<i>Cleber Asmar Ganzaroli</i>	
<i>Douglas Freire de Carvalho</i>	
<i>Luiz Alberto do Couto</i>	
<i>Rafael Nunes Hidalgo Monteiro Dias</i>	
<i>Wesley Pacheco Calixto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915036	
CAPÍTULO 7	55
IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE PRESENÇA USANDO LEITOR CCD E CRIPTOGRAFIA NO MODELO DE CIFRA DE VIGÊNERE	
<i>Éric Dias Souza</i>	
<i>Victor Francisco Rigolo Fernandes de Almeida</i>	
<i>Wagner dos Santos Clementino de Jesus</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915037	
CAPÍTULO 8	61
MODELAGEM DINÂMICA E CONTROLE PID DE MANIPULADORES ROBÓTICOS COM APLICAÇÃO NO ROBÔ DENSO VP6242G	
<i>Leonardo Augusto Arruda</i>	
<i>Márcio Roberto Covacic</i>	
<i>Ruberlei Gaino</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915038	
CAPÍTULO 9	81
MODELAGEM CINEMÁTICA E SIMULAÇÃO 3D DO MANIPULADOR INDUSTRIAL DENSO VP6242G	
<i>Giovani Augusto de Lima Freitas</i>	
<i>Márcio Roberto Covacic</i>	
<i>Ruberlei Gaino</i>	
DOI 10.22533/at.ed.9471915039	
CAPÍTULO 10	103
PROGRAMAÇÃO LÓGICA INDUTIVA APLICADA À COMPUTAÇÃO MUSICAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA	
<i>Clenio Batista Gonçalves Junior</i>	
<i>Murillo Rodrigo Petrucelli Homem</i>	
DOI 10.22533/at.ed.94719150310	
CAPÍTULO 11	119
ANÁLISE DA MICROESTRUTURA DO FERRO FUNDIDO FC 250 SOB EFEITO DA CORROSÃO EM SOLUÇÃO ÁCIDA	
<i>Lariane Ferreira Sena</i>	
<i>Rafaela Cunha dos Reis</i>	
<i>Aline Alcamin Monteiro</i>	
<i>Paula Luisa Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.94719150311	

CAPÍTULO 12 130

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE CÉRIA DOPADA COM GADOLÍNIA E CO-DOPADA COM ÓXIDO DE COBRE

*Raquel Rodrigues do Nascimento Menezes
Thamyscira Herminio Santos da Silva
Allan Jedson Menezes de Araújo
Erik Benigno Grisi de Araújo Fulgêncio
Lizandra Fernanda Araújo Campos
Ricardo Peixoto Suassuna Dutra
Daniel Araújo de Macedo*

DOI 10.22533/at.ed.94719150312

CAPÍTULO 13 146

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E MICROESTRUTURAL DE LIGAS CU-AL-MN PASSÍVEIS DO EFEITO MEMÓRIA DE FORMA ENVELHECIDAS

*Marcos Barbosa Dos Anjos Filho
Carlos Cássio de Alcântara
José Joelson de Melo Santiago*

DOI 10.22533/at.ed.94719150313

CAPÍTULO 14 153

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DO ADITIVO DE CARBONO MICROGRAF® 9930MA NA CAPACIDADE C-20 DA PLACA NEGATIVA DE BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO

*Lucas Carvalho Santana
André Castilho dos Santos
Cynthia Mayara de Carvalho
Gilberto Augusto de Oliveira Brito
Christiano Jorge Gomes Pinheiro*

DOI 10.22533/at.ed.94719150314

CAPÍTULO 15 162

DETERMINAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS EM SUSPENSÃO NA ÁGUA PRODUZIDA: UMA ANÁLISE A PARTIR DE UMA PRÁTICA LABORATORIAL

*Raul José Alves Felisardo
Gabriela Menezes Silva
César de Almeida Rodrigues*

DOI 10.22533/at.ed.94719150315

CAPÍTULO 16 168

ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO PELO BAGAÇO DE BUTIÁ PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES

*Luciana Machado Rodrigues
Vanessa Rosseto
Clarissa Ferreira Pin
Ethielle Bordignon de Carvalho Prestes*

DOI 10.22533/at.ed.94719150316

CAPÍTULO 17 176

DESENVOLVIMENTO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE UM NOVO ADSORVENTE DE BAIXO CUSTO NA ADSORÇÃO E DESSORÇÃO MONO E MULTICOMPONENTE DE METAIS PESADOS EM COLUNA DE LEITO FIXO

*Gabriel André Tochetto
Danieli Brandler
Deisy Maria Memlak
Francine Caldart
Gean Delise L. P. Vargas
Cleuzir da Luz
Joceane Pigatto
Adriana Dervanoski*

DOI 10.22533/at.ed.94719150317

CAPÍTULO 18 187

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO COMPLEXO OXALATO DE NÍOBIO NA OBTENÇÃO DE BIODIESEL SOB VIA METÁLICA

*Rayane Ricardo da Silva
Carlson Pereira de Souza
Tiago Fernandes Oliveira
Maria Veronilda Macedo Souto
Angelinne Costa Alexandrino*

DOI 10.22533/at.ed.94719150318

CAPÍTULO 19 195

ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE ENTRE RESÍDUO OLEOSO DA INDÚSTRIA DE E & P DE PETRÓLEO E CIMENTO PORTLAND PARA UTILIZAÇÃO EM CONCRETO

*Yane Coutinho Lira
Fernanda Cavalcanti Ferreira
Romildo Alves Berenguer
Rodrigo Mendes Patrício Chagas
Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça
Milton Bezerra das Chagas Filho*

DOI 10.22533/at.ed.94719150319

CAPÍTULO 20 205

RETENÇÃO DE ÍONS METÁLICOS DE COBRE E ZINCO EM CASCA DE MARACUJÁ AMARELO

*Bianca de Paula Ramos
Rosane Freire Boina*

DOI 10.22533/at.ed.94719150320

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 217

RETENÇÃO DE ÍONS METÁLICOS DE COBRE E ZINCO EM CASCA DE MARACUJÁ AMARELO

Bianca de Paula Ramos

Faculdade de Ciência e Tecnologia –
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho” (FCT-UNESP). Presidente Prudente – São
Paulo.

Rosane Freire Boina

Faculdade de Ciência e Tecnologia –
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho” (FCT-UNESP). Presidente Prudente – São
Paulo.

RESUMO: Tendo em vista a problemática da gestão de efluentes industriais com carga metálica, e buscando aliar o desenvolvimento econômico e ambiental, analisou-se a eficiência adsorptiva da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) na remoção de íons metálicos de cobre e zinco. Para realização dos experimentos, o maracujá foi convertido a pó de granulometria 42 tyler (<355um). Foram utilizadas diferentes quantidades mássicas (0,1/1,0/5,0g) no tratamento de soluções sintéticas em diferentes concentrações (0,5/1,0/5, 0ppm), variando o pH em 2, 7 ou 10. Obteve-se eficiência de 92,95% de remoção do íon cobre em pH 7 e 1,0g de adsorvente e 83,49% para o íon zinco – em pH 10 e 5,0g de massa. Realizou-se ajuste matemático aos modelos de cinéticos e isotermas, por

meio de regressão não linear, verificando que ambos os metais foram melhor descritos pelo modelo cinético de pseudo segunda ordem, e que os íons de zinco se ajustaram à isoterma de Freundlich, enquanto que o cobre obteve melhor ajuste à isoterma Langmuir. De forma geral, o tratamento gerou resultados tais que as concentrações metálicas finais, para os dois metais estudados, alcançaram os valores estipuladas pelo CONAMA nº 430/2011.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção. Íons metálicos. *Passiflora edulis f. flavicarpa*.

ABSTRACT: In view of the problems of the management of industrial effluents with metal load, and seeking to combine economic and environmental development, the adsorptive efficiency of yellow passion fruit bark (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) on the removal of copper and zinc metal ions was analyzed. For the accomplishment of the experiments, the passion fruit was converted to powder of granulometry 42 tyler (<355um). Different mass quantities (0,1/1,0/5,0g) were used in the treatment of synthetic solutions at different concentrations (0,5/1,0/5,0ppm), varying the pH to 2, 7 or 10. Efficiency of 92.95% copper ion removal at pH 7 and 1.0g adsorbent and 83.49% for the zinc ion - at pH 10 and 5.0g mass was obtained. A mathematical adjustment was made to kinetic and isothermal models using non-linear

regression, verifying that both metals were better described by the pseudo second order kinetic model, and that the zinc ions conformed to the Freundlich isotherm, whereas the copper obtained better adjustment to the Langmuir isotherm. In general, the treatment generated results such that the final metal concentrations, for the two metals studied, reached the values stipulated by CONAMA n ° 430/2011.

KEYWORDS: Adsorption. Metal ions. *Passiflora edulis f. flavicarpa*.

1 | INTRODUÇÃO

O lançamento de íons metálicos na natureza por via antropogênica tem sido um dos problemas mais sérios que afetam o meio ambiente, em especial, em relação aos recursos hídricos (YOKOTA & COPOLLA, 2015). Estas substâncias possuem alta capacidade de bioacumulação – assimilação com organismos vivos atingindo nível trófico superior – de modo que o prejuízo para a vida aquática se mantém mesmo após a interrupção das fontes poluidoras (VAGHETTI, 2009).

Dentre os metais mais comumente encontrados no dia a dia da população, destacam-se o zinco (Zn) e o cobre (Cu), os quais estão presentes em utensílios domésticos, pilhas, baterias, e agro fertilizantes, moedas, fios, tubulações, entre outros. Estes compostos são essenciais aos organismos vivos, entretanto, em quantidade excessiva desencadeiam uma série de prejuízos à saúde humana (CETESB, 2017).

O consumo de zinco em grandes quantidades provoca cólicas estomacais, náuseas e vômitos. Em caso de ingestão constante, pode causar anemia, danos ao pâncreas e diminuição de lipoproteínas de alta densidade. No tocante a contaminação por inalação, caso seja inalado grandes quantidades do metal (na forma de poeira ou fumos), causa a febre de fumo metálico. Esta cessa com o fim da exposição, contudo não se sabe os efeitos da exposição crônica (KLAASSEN, 2013).

Quanto ao cobre, em altas concentrações, desencadeia, no organismo humano, vômito; letargia; dor abdominal; diarreia; anemia hemolítica aguda; dano renal e hepático e, em casos extremos, morte (KLAASSEN, 2013). A exposição humana a fumos e poeiras de cobre pode provocar irritação no nariz, boca e olhos, cefaleia, náusea, vertigem e diarreia (AZEVEDDO & CHASIN, 2003).

Estes dois metais (Cu e Zn) atingem a natureza por via antropogênica, principalmente por resíduos industriais de mineração, galvanização, fundição e incineração (CETESB, 2018). Vale destacar que, quando em solução, a remoção destes compostos não é compatível com a maioria dos processos de tratamento de efluentes convencionais, uma vez que depende das condições de pH, força iônica, temperatura, presença de ligantes disponíveis, entre outros aspectos (AGUIAR E NOVAIS, 2002), além de possuir alto custo de implantação ou execução e, muitas vezes, geram resíduos que ainda possuem carga tóxica (VIEIRA et al., 2014).

Nesse contexto, o método de adsorção tem ganhado espaço devido a seu

caráter inovador e econômico, sendo inclusive considerado superior a outras técnicas, tanto para reutilização de água quanto para regeneração de muitos adsorventes após seu uso (MENEZES, 2010). Adsorção é o fenômeno no qual moléculas que estão presentes em um fluido, líquido ou gasoso, concentram-se espontaneamente sobre uma superfície sólida (MENEZES, 2010).

Os íons metálicos são retidos na superfície do adsorvente pela ocorrência, individual ou simultânea, de diversos tipos de processos como, por exemplo: quimissorção, complexação, adsorção-complexação nos poros, troca iônica, microprecipitação e adsorção na superfície (VAGHETTI, 2009).

Aproveitar o potencial agroindustrial do Brasil e utilizar os resíduos deste setor para gestão ambiental traria vantagens para o meio ambiente e para a economia do país. Sendo o Brasil um dos maiores produtores de maracujá amarelo (IBGE 2016) e tendo grande parte da produção direcionada à agroindústria de suco (CEPLAC, 2007), que gera como resíduo as cascas da fruta, este seria um material interessante para uso em processos adsorptivos.

As características químicas da casca do maracujá também se adequam a retenção de metais, uma vez que a composição de suas fibras apresenta como maior agente a pectina (CORDOVA et al., 2005), substância que apresenta a capacidade de formação de gel na presença de íons, açúcares e ácidos, fator que reforça o seu potencial de aplicação como material adsorvente (PINHEIRO, 2007).

Quando a pectina contém menos de 50% de seus grupos carboxílicos esterificados, a geleificação ocorre pela formação de ligações entre íons carboxílicos e íons de metal bi ou trivalente, os quais também podem se ligar covalentemente a grupos hidroxila (CHARLEY, 1982). Portanto, o metal passa a atuar como ligante entre as cadeias de pectina, formando a estrutura do gel.

A descrição matemática exata da capacidade de adsorção no equilíbrio, permite prever a confiabilidade dos parâmetros de adsorção e a comparação quantitativa do comportamento das várias condições do sistema. Para tal, utilizam-se as isotermas de adsorção, sendo as de Langmuir e de Freundlich as mais comuns (MENEZES, 2010).

Outro fator relevante é a velocidade com que um sorvato é removido, sua análise possibilita desenvolver e dimensionar sistemas de tratamento apropriados para a remoção de componentes de interesse. Os modelos mais utilizados de cinética adsorptiva são os de pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem (BIZZERRA & SALGADO, 2018).

Busca-se então avaliar a capacidade adsorptiva da casca de maracujá amarelo, e assim formular uma hipótese que possa aliar o desenvolvimento econômico e ambiental a partir do uso de resíduo sólido agroindustrial no tratamento de efluentes industriais líquidos com carga metálica.

2 | OBJETIVO

Analisar a eficiência adsorptiva da casca de maracujá amarelo para os íons cobre e zinco sob diferentes condições de concentração, pH e massa, bem como avaliar o desempenho do tratamento ao longo do tempo e ajusta-lo à modelos matemáticos de cinética e isotermas.

3 | METODOLOGIA

A casca do maracujá foi fragmentada, condicionada em cadinhos e posta para secar em estufa SOLAB, SL100/81 a $100^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ por aproximadamente três horas. Em seguida, o produto foi triturado em um processador de alimentos doméstico e peneirado em malha 42 tyler resultando em um pó de granulometria muito fina, o qual foi condicionado em frasco apropriado. A Figura 1 retrata o procedimento.



Figura 1. Preparo do resíduo da casca de maracujá: A) Casca do maracujá in natura; B) Casca do maracujá seca; C) Pó de casca de maracujá.

Para execução dos ensaios experimentais foram utilizadas diferentes quantidades em massa de pó de casca do maracujá, quais sejam: 0,1/1,0/5,0g. As soluções em tratamento foram preparadas com concentração variando de 0,5/1,0/5,0mg/L, partindo das soluções padrão 1.000ppm (Qhemis High Purity). Essas variações foram necessárias para avaliar qual a relação da massa de maracujá necessária para adsorver determinada concentração metálica.

Também foi analisada a influência do pH das soluções em estudo, determinando assim, o pH ótimo para a realização do tratamento de adsorção para os diferentes íons metálicos. Os testes foram realizados com o pH de 2, 7 e 10, sendo ajustados com soluções de hidróxido de sódio a 0,1N ou ácido sulfúrico a 1,0N, conforme cada condição. O equipamento utilizado foi o pH-metro digital GEHAKA, modelo PG2000.

O material foi condicionado em frascos erlenmeyer, com 100mL da solução metálica para cada quantidade mássica e pH avaliado, sendo agitado pela Mesa Agitadora Orbital da TECNAL, modelo TE-141, por duas horas a 120rpm, e temperatura ambiente.

Após o tratamento em bancada foram executadas análises químicas para a determinação da concentração final das espécies metálicas presente no líquido. Para

isso, as amostras líquidas tratadas foram filtradas, em filtro qualitativo, digeridas em solução nitro-perclórica (3:1) e, novamente, filtradas antes de serem submetidas à análise em espectrofotômetro de absorção atômica da PERKIN-ELMER, modelo AAnalyst200.

O equipamento de espectrometria de absorção atômica foi então ajustado nas condições exigidas para a determinação dos metais de interesse, sendo zero acertado com prova em branco e a curva de calibração determinada conforme a sensibilidade do método, descrita no manual do equipamento.

Com o valor de concentração final metálica – obtido pela leitura em espectrofotômetro de absorção atômica - foi realizado cálculo da eficiência adsorptiva (Equação 1), a fim de avaliar se a casca do maracujá amarelo foi um bom meio adsorvente. Vale ressaltar que as amostras foram feitas em duplicata, sendo utilizado para cálculo o valor médio obtido.

$$E = \frac{(C_o - C_f) * 100}{C_o} \quad \text{Equação 1}$$

Em que: E é a Eficiência de remoção (%); Co é Concentração inicial do metal a ser tratado (mg/L); e Cf é Concentração final do metal tratado (mg/L).

Foi então realizado o estudo cinético, em que 1,0g de adsorvente foi posto em contato com 100mL de solução com pH 7 e concentração de 5,0ppm da espécie metálica de interesse, sendo agitados a 120rpm por 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 100 e 120 minutos. Em cada um destes tempos, foi calculada a taxa de adsorção por unidade de massa (q), de acordo com a Equação 2. Este parâmetro indica a quantidade de metal retira em cada grama de adsorvente.

$$q = \frac{(C_o - C_f)}{m} V \quad \text{Equação 2}$$

Em que: C_o é a concentração inicial (mg/L), C_f a concentração final (mg/L), V o volume (mL), e m a massa (g).

A taxa de adsorção por unidade de massa foi verificada ao longo do tempo, confeccionando gráficos em que é possível verificar o ajuste aos modelos cinéticos. Esse fator foi avaliado de acordo com modelos matemáticos - com auxílio do programa OriginPro 8.5, utilizando os modelos não lineares de pseudo primeira ordem (Equação 3), e pseudo segunda ordem (Equação 4).

$$q_t = q_e \cdot \left(1 - \frac{1}{e^{k \cdot t}}\right) \quad \text{Equação 3}$$

$$q_t = \frac{k \cdot q_e^2 \cdot t}{1 + q_e \cdot k \cdot t} \quad \text{Equação 4}$$

Em que: q_e e q_t são as quantidades de metal adsorvida (mg/g) no equilíbrio e no tempo t (min), respectivamente; k é a constante de velocidade de adsorção(1/min); e é a constante de velocidade de pseudo-segunda-ordem (g/mg.min).

O modelo de pseudo primeira ordem se baseia na capacidade do sólido, e assume que a velocidade de remoção do adsorvato com o tempo é diretamente proporcional à diferença na concentração de saturação e ao número de sítios ativos do sólido, enquanto que o modelo de pseudo segunda ordem considera a velocidade da reação dependente da quantidade do soluto adsorvido na superfície do adsorvente e da quantidade adsorvida no equilíbrio.

Após, foi realizado estudo das isotermas de adsorção, mantendo a massa de 1,0g e o pH 7, e variando a concentração em sendo 0,5/1,0/2,0/3,0/4,0/5,0ppm. Utilizou-se o programa OriginPro 8.5, aplicando ajuste de regressão não linear para verificar o enquadramento às isotermas de Langmuir (Equação 5) ou Freundlich (Equação 6).

$$q_e = \frac{Q_{max} \cdot K_L \cdot C_e^{1-c}}{1 + K_L \cdot C_e^{1-c}} \quad \text{Equação 5}$$

$$q_e = K_f \cdot C_e^n \cdot e^{-c} \quad \text{Equação 6}$$

Em que: q_e é a quantidade adsorvida por massa de adsorvente (mg/g); C_e é a concentração de equilíbrio (ppm); Q_{max} é a quantidade máxima adsorvida por massa de adsorvente (mg/g); K_L é a constante de equilíbrio de Langmuir relacionada com a entalpia; K_f é a constante de Freundlich relacionada com a capacidade de adsorção (mg/L); n é o expoente de Freundlich (adimensional); e c é a constante de integração do modelo.

O modelo de Langmuir é válido para adsorção de monocamada na superfície contendo um número finito de sítios idênticos, enquanto que o modelo de Freundlich, admite-se uma distribuição logarítmica de sítios ativos (MENEZES, 2010).

4 | RESULTADOS

No que se refere aos estudos variando a massa, pH e concentração, a eficiência adsortiva obtida para o metal cobre é ilustrada no gráfico da Figura 2.

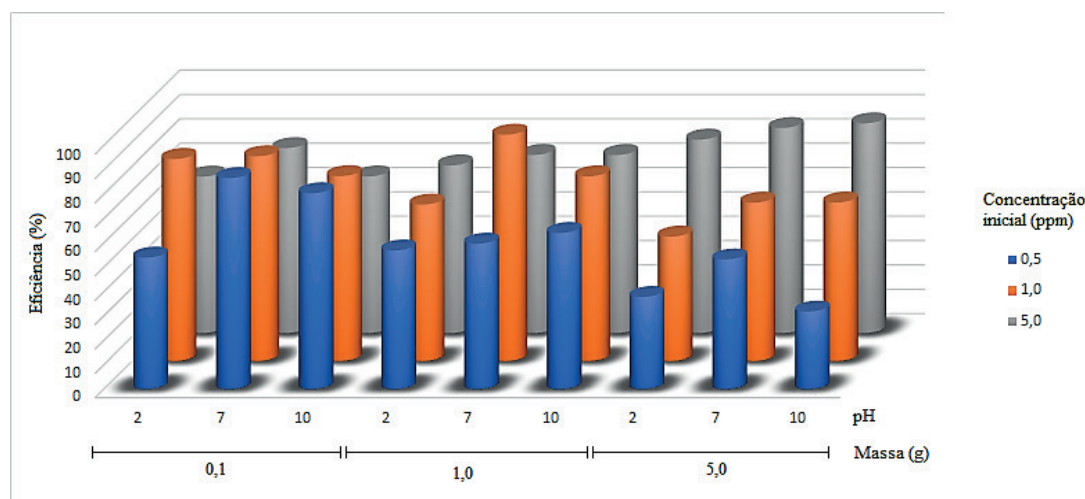


Figura 2: Eficiência adsortiva do cobre em pó de maracujá amarelo.

A análise do gráfico permite observar que em todas as situações o pH ácido foi o de menor eficiência de remoção metálica, enquanto que o pH 7 se sobressaiu na grande maioria dos casos. Isso acontece porque o pH ácido pode protonar a superfície adsorvente, fazendo com que esta adquira carga eletrostática positiva, de modo a haver repulsão entre o adsorvente e os cátions metálicos.

Nota-se ainda que o uso de 5,0g não representa uma vantagem para o processo de tratamento, visto que em duas condições de concentração inicial (0,5ppm e 1,0ppm) gerou queda de eficiência adsortiva. Dessa forma, o aumento de massa influenciou na quantidade de sítios ativos apenas até certo ponto, contudo, com aumento exacerbado pode ocorrer associação entre partículas e assim reduzir o número de pontos de adsorção.

Foram obtidos altos valores de eficiência adsortiva em praticamente todas as condições. A condição que gerou a máxima eficiência foi de: 1,0ppm de concentração inicial, pH 7 e 1,0g de massa, resultando em 92,95% de adsorção de cobre. Vale destacar que em diversas outras situações, este metal obteve taxas de remoção em torno de 80%.

Segundo Ferraz (2007), o índice covalente é uma das propriedades de maior significância estatística na correlação com capacidade máxima de adsorção, garantindo grande eficiência, e o Cu^{2+} , assim como muitos metais de transição, tem característica de ligação iônica intermediária e, por esse motivo, conseguem estabelecer ligações com um caráter covalente maior e mais forte.

No que se refere a adsorção de íons zinco, a Figura 3 apresenta o gráfico que relaciona a eficiência adsortiva do maracujá amarelo para este metal em todas as diferentes condições aplicadas neste estudo.

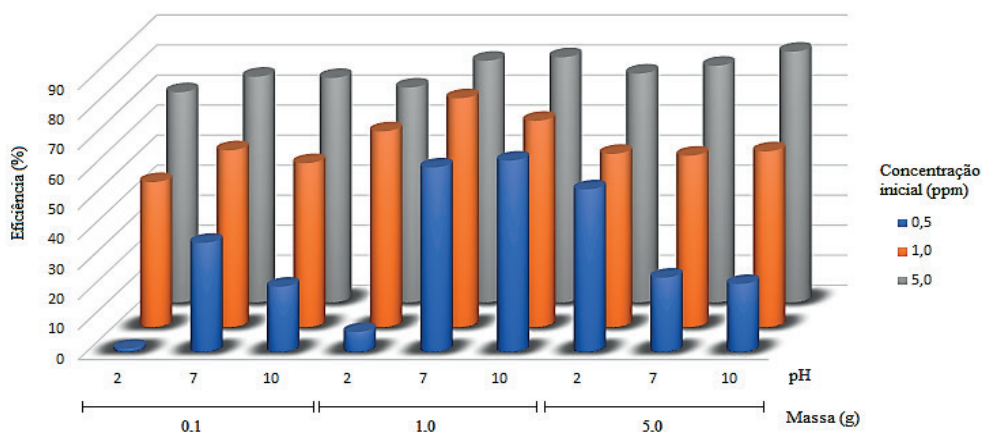


Figura 3: Eficiência adsortiva do cobre em pó de maracujá amarelo.

Pode-se observar que a eficiência de remoção de zinco aumentou juntamente com a concentração metálica, de modo a estabelecer uma relação entre massa, concentração e eficiência: à medida que a concentração aumenta, maiores quantidades mássicas são necessárias ao tratamento.

Para este metal o tratamento apresentou porcentagens de eficiência menores do que aquelas obtidas para o cobre, refletindo o caráter seletivo do material adsorvente. Entretanto, as eficiências obtidas foram significativamente elevadas, variando entre 70% e 80% - quando se empregada a máxima concentração estudada (5,0ppm).

De modo semelhante ao cobre, pode-se notar que o tratamento responde melhor em pH neutro ou básico. Nessas condições a superfície adsorvente pode interagir com o grupo hidroxila, carregando a superfície negativamente, e facilitando a adsorção de ambos os íons metálicos (Cu^{2+} e Zn^{2+}).

A maior porcentagem de eficiência adsortiva de zinco foi de 83,49%, sendo obtida dentro das seguintes condições: 5,0ppm de concentração metálica inicial, 5,0g de pó de maracujá e pH 10.

Para ambos os metais analisados, o tratamento enquadrou-se nas condições de lançamento de efluentes estabelecido pela Resolução CONAMA nº430/2011 (BRASIL, 2011). Para o cobre, a concentração máxima permitida para lançamento é de 2,0mg/L, assim o tratamento proposto enquadrou o lançamento para 5,0ppm com 5,0g, a pH 7 ou 10. Já para o zinco, o máximo permitido é de 5,0mg/L, e por isso em todas as situações – de massa, concentração e pH - o lançamento do efluente se enquadra nas normas legislativas.

O gráfico representado na Figura 4 ilustra o desenvolvimento do processo adsortivo no íon de cobre, ao longo do tempo. Pode-se notar um pico de eficiência máxima em 100 minutos, com taxa de adsorção de 479,55mg/g. Este metal não atingiu equilíbrio adsortivo dentro de duas horas, visto que as taxas de adsorção ainda variaram ao longo do tempo. Este fato dificulta o ajuste aos modelos cinéticos, os quais partem do pressuposto de que o equilíbrio tenha sido atingido.

Nas condições analisadas, o coeficiente de correlação do modelo de pseudo primeira ordem foi negativo (-0,3454), de forma a não haver ajuste, o erro desta análise foi de 0,07536. Quanto ao modelo de pseudo segunda ordem, o R^2 foi de 0,63474, com erro estimado em 0,00073. Assim, para o íon de cobre, o melhor ajuste se deu ao modelo de pseudo segunda ordem.

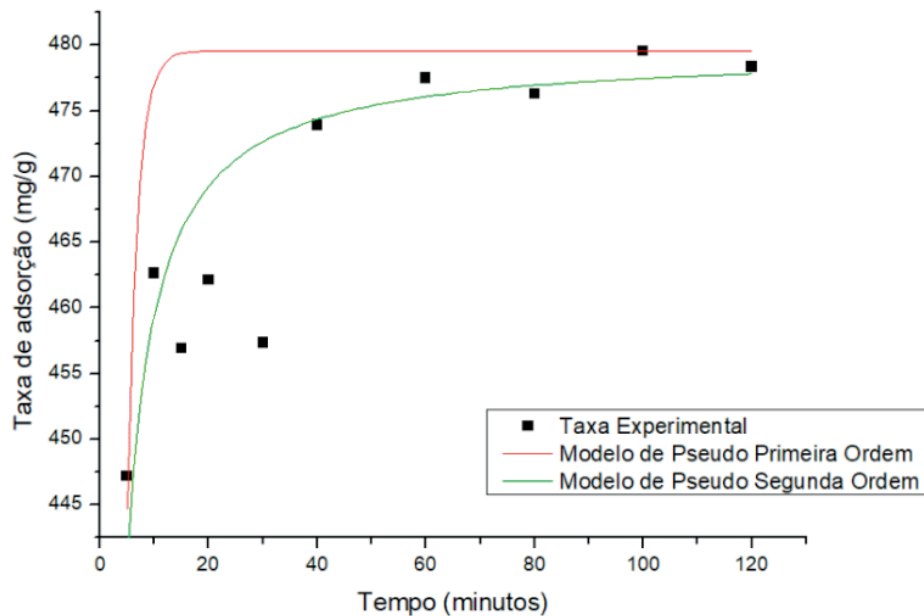


Figura 4: Cinética de adsorção do cobre.

A Figura 5 ilustra a adsorção do íon zinco ao longo do tempo, bem como o ajuste aos modelos de pseudo primeira e pseudo segunda ordem. Nota-se que em 80 minutos foi verificada a máxima adsorção, atingindo 467mg de zinco sendo adsorvidos por grama de maracujá. Este metal também não atingiu o equilíbrio adsorativo dentro das duas horas de análise, sendo indicado o monitoramento do processo em períodos mais prolongados.

O coeficiente de determinação do modelo de pseudo primeira ordem foi de 0,2564 (com erro de 0,06068) enquanto para o modelo de pseudo segunda ordem o R^2 alcançou 0,7967 (erro de 0,00152). Assim, dentro das condições analisadas, o comportamento do zinco é melhor descrito pelo modelo de pseudo segunda ordem.

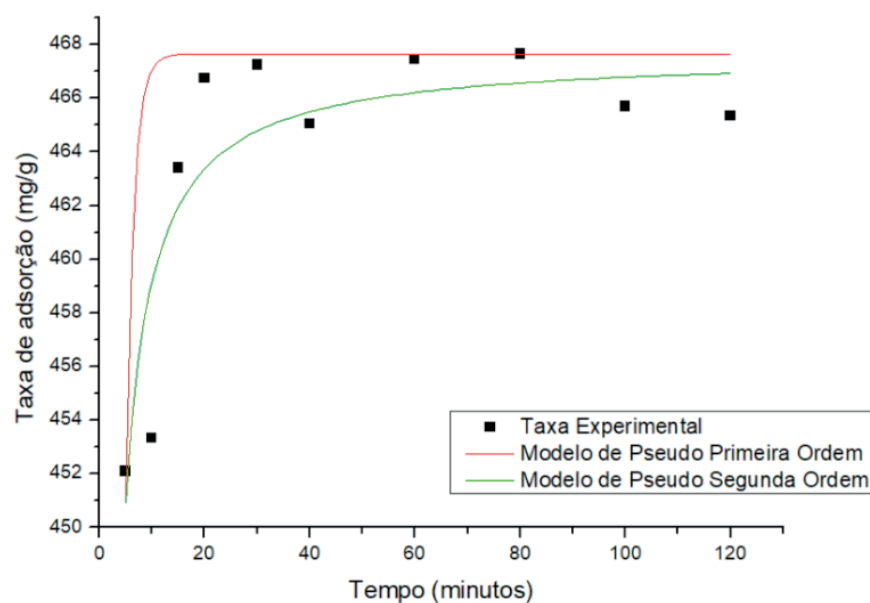


Figura 5: Cinética de adsorção do zinco.

Vale ressaltar que em todas as análises o erro foi consideravelmente baixo, reforçando a validade dos dados apresentados. O melhor ajuste ao modelo de pseudo segunda ordem para ambos os metais prevê que a quimiossorção atua como fator limitante do processo, na qual envolve compartilhamento de forças de valência ou troca de elétrons entre os metais e o adsorvente (SOUZA, 2017).

As isotermas de adsorção do íon de cobre encontram-se representadas na Figura 6. Pode-se notar que as curvas que representam os modelos de Langmuir e Freundlich encontram-se praticamente sobrepostas, de modo a possuir ajuste muito próximo. Para o modelo de Langmuir o R^2 foi de 0,86341 (erro de até 0,71568) enquanto que para Freundlich foi de 0,86237 (erro de até 0,2934). Dessa forma, o íon cobre obteve ajuste levemente maior para a isoterma de Langmuir.

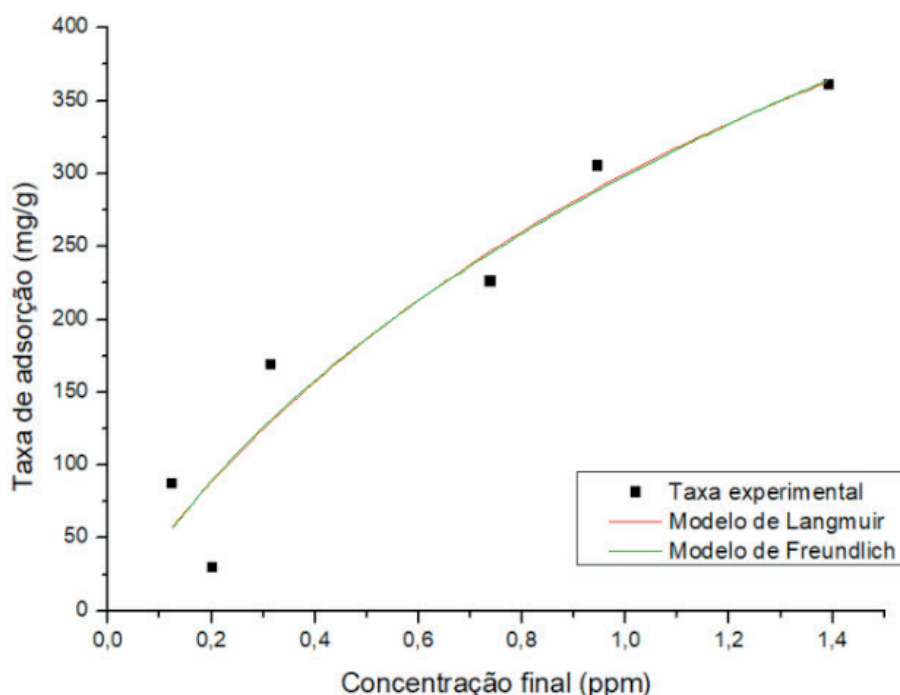


Figura 6: Isotermas de adsorção do cobre.

O melhor ajuste ao modelo de Langmuir prevê adsorção monocamada, em que as moléculas adsorvidas não estão livres para se mover na superfície adsorvente. O modelo dita ainda que todos os sítios de adsorção são energeticamente idênticos e podem abrigar apenas uma espécie adsorvente, não havendo interação entre as espécies.

Quanto ao íon de zinco, as isotermas encontram-se representadas no gráfico da Figura 7. Para este metal, o coeficiente de determinação para o modelo de Langmuir foi de 0,9796 (com erro de 0,64055) enquanto que para o modelo de Freundlich o R^2 foi de 0,9964 (erro de 0,07246). Dessa forma, o íon zinco foi melhor descrito pelo modelo de Freundlich, o qual prevê que a distribuição de energia para os sítios de adsorção deste metal é exponencial.

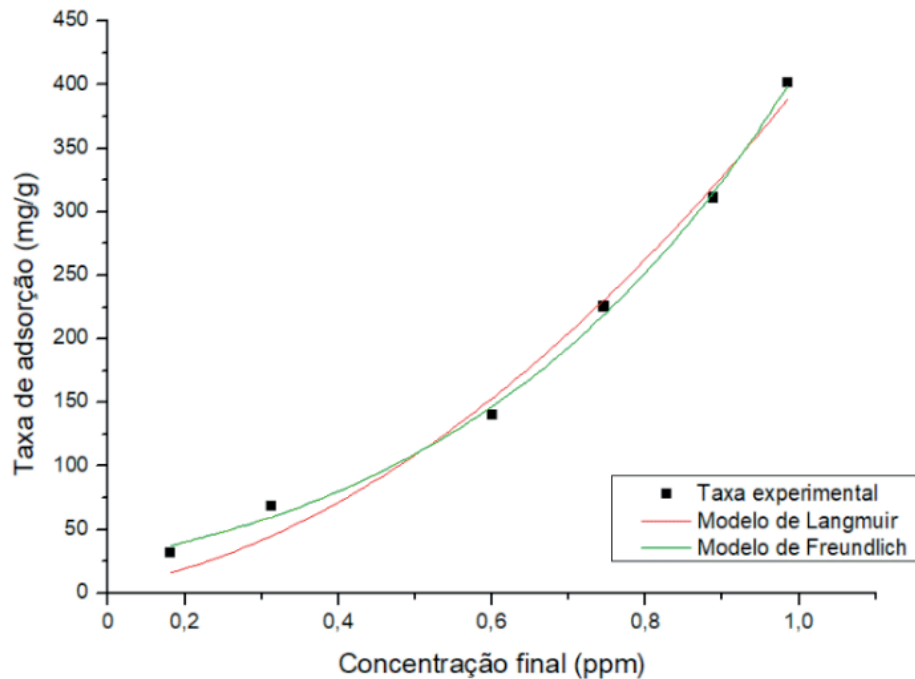


Figura 6: Isotermas de adsorção do zinco.

5 | CONCLUSÃO

Pode-se comprovar a capacidade adsorptiva da casca de maracujá amarelo na retenção dos íons de cobre e zinco, alcançando, respectivamente, 92,95% e 83,49% de eficiência. No tocante ao estudo cinético, embora não tenha sido estabelecido o equilíbrio, ambos os metais puderam ser bem enquadrados ao modelo de pseudo segunda ordem. Quanto as isotermas, o cobre apresentou melhor ajuste ao modelo de Langmuir o zinco ao de Freundlich. Quanto à normativa, ambos os metais estudados se enquadraram nas condições de lançamento de efluentes estabelecido pela Resolução CONAMA nº430/2011 (BRASIL, 2011).

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, F. A; CHASIN, A. A. M. **Metais: Gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Editora Atheneu, 2003. 554p.

BIZZERRA, M. P. SALGADO, B. C. B. Reaproveitamento do resíduo da casca de laranja como biossorvente para remoção de metais pesados da água. **Anais...** XII Encontro Brasileiro de Adsorção. Gramado-RS. Abril de 2018.

BORGES, E. R. **Remoção do corante reativo azul 5g através de processo de separação por membranas e adsorção com carvão ativado**. 2006. 115 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Maringá. Maringá-PR. 2006.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (**CONAMA**). Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/propresol_lanceflue_30e31mar11.pdf> Acesso em 06 de maio de 2016.

CEPLAC. COMISSÃO EXECUTIVA DE PLANEJAMENTO DA LAVOURA CACAUEIRA. **Maracujá**. 2007. Disponível em: <<http://www.ceplac.gov.br/radar/maracuja.htm>> Acesso em: 01/05/2016.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Ficha de informação toxicológica – cobre. 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Cobre.pdf>> Acesso em 22/09/2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Ficha de informação toxicológica – zinco. 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Zinco.pdf>> Acesso em 22/09/2018.

CORDOVA, K. R. V.; GAMA, T. M. M. T. B.; WINTER, C. M. G.; KASKANTZIS NETO, G.; FREITAS, R. J. S. Características físico-químicas da casca do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis Flavicarpa Degener*) obtida por secagem. **Boletim do CEPPA**. Curitiba – PR. v. 23, n. 2, p. 221-230. 2005.

FERRAZ, A. **Utilização de sub-produtos da indústria cervejeira na remoção de crômio trivalente de soluções aquosa**. 2007. 105 f. Dissertação (graduação) em Engenharia Química e Biológica. Escola de Engenharia, Universidade do Minho.

FIORENTIN, D. E. **Remoção de corante de efluentes da indústria têxtil utilizando processos com membranas e adsorção em bagaço de laranja**. 2009. 142 f. Dissertação (Doutorado), Universidade Estadual de Maringá (UEM). Maringá-PR.

GILES, C. H.; MACEWAN, T. H.; NAKHUA, S. N.; SMITH, D. Studies in adsorption. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids. **Journal of the Chemical Society**. London. p. 3973-3993, 1960

KRAEMER, M. E. P. A questão ambiental e os resíduos industriais. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., 2005., Porto Alegre - RS. Brasil **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2005.

MCCABE, W.L., SMITH, J.C., HARRIOT, P. **Units operations of chemical engineering**. Editora McGraw Hill, 5a. ed., p. 810-821, 1993.

MENEZES, M. **Remoção do corante reativo azul 5g a partir de soluções aquosas utilizando o bagaço do maracujá amarelo como adsorvente**. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Maringá (UEM). Maringá – PR. Fevereiro.

PINHEIRO, E. **Pectina da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*): otimização da extração com ácido cítrico e caracterização físico-química**. 2007. 79 f. Dissertação (Pós Graduação) em ciência dos alimentos na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis – SC.

SOUZA, G. R. **Utilização das cascas de ovos como material adsorvente dos metais Zn (II), Ni (II), Cu (II) e Pb (II)**. 2017. 71f. Dissertação (Trabalho de graduação). Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente – SP.

VAGHETTI, J.C.P. **Utilização de Biossorvente para Remediação de Efluentes Aquosos Contaminados com Íons Metálicos**. 2009. 84 p. Dissertação (Doutorado em química) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

VIEIRA, B.; BRAGA, D. M.; JESUS, T. A. Biossorção de Cd (II) utilizando casca de laranja como substrato. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 10, 2014, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 2014, p. 4.

VILAR, V. J. P. **Remoção de íons metálicos em solução aquosa por resíduo da indústria de extração de Agar**. 2006. 512f. Dissertação (Trabalho de graduação em engenharia química) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Porto – Portugal.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Franciele Bonatto - Professora assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)- Campus Guarapuava. Graduação e Mestrado em Engenharia de Produção pela UTFPR. Doutorado em andamento em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: *Supply Chain*, gestão da qualidade e gestão da produção.

Henrique Ajuz Holzmann - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

João Dallamuta - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE *Business School*, Mestre pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, gestão Engenharia da Qualidade, Planejamento Estratégico, Estratégia de Marketing.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-194-7

