

# Princípios de Química

Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)



**Atena**  
Editora  
Ano 2019

**Carmen Lúcia Voigt**  
(Organizadora)

# **Princípios de Química**

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Geraldo Alves  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

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**

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  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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 Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
P957	Princípios de 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 978-85-7247-422-1 DOI 10.22533/at.ed.221192406  1. Química – Estudo e ensino. I. Voigt, Carmen Lúcia.  CDD 540.7
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

Química é a ciência que estuda a estrutura das substâncias, a composição e as propriedades das diferentes matérias, suas transformações e variações de energia. A Química conquistou um lugar central e essencial em todos os assuntos do conhecimento humano, estando interligada com outras ciências como a Biologia, Ciências Ambientais, Física, Medicina e Ciências da Saúde.

Pesquisas na área da Química continuam evoluindo cada dia, sendo benéficas devido maior conscientização de como usar os conhecimentos químicos em prol da qualidade de vida e do desenvolvimento da sociedade; prezando pelo meio ambiente, surgindo assim processos e novas tecnologias com menor agressão e impacto.

Muitas são as fontes degradadoras da natureza, porém os resíduos químicos são considerados os mais agressivos. Ao longo dos anos inúmeros tipos de contaminantes foram lançados no meio ambiente, causando contaminação e poluição em diversos tipos de compartimentos ambientais como solos, rios e mares. O avanço e crescimento industrial no mundo é uma das principais causas da poluição excessiva e liberação de resíduos químicos.

Devido estudos na área da Química é possível realizar remoção de poluentes por diversos processos e o desenvolvimento de técnicas e materiais é abordado neste volume, que trata de processos como adsorção para retirada de contaminantes da natureza. Além destes processos, este volume também trata de novos materiais para aplicação em substituição aos polímeros convencionais, como os biopolímeros, produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, ou seja, possuem um ciclo de vida mais curto comparado com fontes fósseis como o petróleo o qual leva milhares de anos para se formar.

Fatores ambientais e sócio-econômicos estão relacionados ao crescente interesse por novas estratégias que buscam alternativas aos produtos e processos convencionais. Neste enfoque, os trabalhos selecionados para este volume oportunizam reflexão e conhecimento na área da Química, abrangendo aspectos favoráveis para ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1 ..... 1**

PRODUÇÃO DE BIOPOLÍMEROS PELAS BACTÉRIAS GLUCONACETOBACTER HANSENI E KOMAGATAEIBACTER RHATICUS EM MEIOS CONTENDO HIDROLISADO DE ARROZ E MILHO

*Karina Carvalho de Souza*

*Gabriela Rodrigues dos Santos*

*Grazielly Maria Didier de Vasconcelos*

*Paulo Henrique Marrocos de Oliveira*

*Yêda Medeiros Bastos de Almeida*

*Felipe Cunha da Silva Trindade*

*Glória Maria Vinhas*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924061**

### **CAPÍTULO 2 ..... 7**

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE ÓRTESE SUROPODÁLICA DE MEMBRO INFERIOR PRODUZIDO COM POLICLORETO DE VINILA (PVC)

*Heloisa Barbara Rozario Azevedo*

*Fabiane De Oliveira Santana*

*Paula Hortência Santos Magalhães*

*Maria Karoline Silva Souza*

*Caio Cezar Neves Kunrath*

*Menilde Araújo Silva Bião*

*Franco Dani Rico Amado*

*Bruno Souza Fernandes*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924062**

### **CAPÍTULO 3 ..... 12**

OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE DCPD COM INCORPORAÇÃO DO COPOLÍMERO F-127 PELO MÉTODO DE DEPOSIÇÃO ELETROQUÍMICA

*Pablo Eduardo Costa dos Santos*

*Cristiane Xavier Resende*

*Zaine Teixeira Camargo*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924063**

### **CAPÍTULO 4 ..... 19**

CARBOXIMETILCELULOSE-G-OLIGO(ÓXIDO DE ETILENO-CO-ÓXIDO DE PROPILENO): EFEITO DA PORCENTAGEM DE ENXERTIA NAS PROPRIEDADES EM MEIO AQUOSO SALINO

*Nívia do Nascimento Marques*

*Rosângela de Carvalho Balaban*

*Sami Halila*

*Redouane Borsali*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924064**

### **CAPÍTULO 5 ..... 32**

PROPRIEDADES MECÂNICAS, TERMOMECÂNICAS, REOMETRIA DE TORQUE E MORFOLOGIA DE BLENDS PS/PP/PP RECICLADO COMPATIBILIZADAS COM O COPOLÍMERO SEBS

*Carlos Bruno Barreto Luna*

*Eduardo da Silva Barbosa Ferreira*

*Danilo Diniz Siqueira*  
*Edcleide Maria Araújo*  
*Elieber Barros Bezerra*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924065**

**CAPÍTULO 6 ..... 50**

**SÍNTESE E COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE HPAM TERMORRESPONSIVA**

*Bruna Luiza Batista de Lima*  
*Nívia do Nascimento Marques*  
*Marcos Antonio Villetti*  
*Rosângela de Carvalho Balaban*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924066**

**CAPÍTULO 7 ..... 58**

**FILME DE POLICAPROLACTONA REFORÇADOS POR MICROFIBRILAS DE CELULOSE DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea Mart.*)**

*Rachel Margalho Barreira Valentim*  
*Izael Pinho dos Santos*  
*Victor Soares Pereira*  
*Carmen Gilda Barroso Tavares Dias*  
*Marcos Allan Leite dos Reis*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924067**

**CAPÍTULO 8 ..... 64**

**AVALIAÇÃO DA BIODEGRADABILIDADE DE FILMES DE AMIDO REFORÇADOS COM NANOCRISTAIS DE CELULOSE DA FIBRA DE COCO VERDE**

*Ingrid Lessa Leal*  
*Yasmin Carolino da Silva Rosa*  
*Josiane Dantas Viana Barbosa*  
*Janice Izabel Druzian*  
*Bruna Aparecida Souza Machado*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924068**

**CAPÍTULO 9 ..... 74**

**CARACTERIZAÇÃO DE NANOCRISTAIS DE CELULOSE DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA E APLICAÇÃO EM FILMES DE AMIDO E QUITOSANA**

*Marina R. d Andrade*  
*Taynã Isis de S. Santana*  
*Bruna A. S. Machado*

**DOI 10.22533/at.ed.2211924069**

**CAPÍTULO 10 ..... 79**

**EFFECT OF BIOSURFACTANTS IN PATHOGENIC BACTERIA ADHESION ON THE SURFACE OF FLEXIBLE FILMS**

*Michel Zampieri Fidelis*  
*Heitor Suyama*  
*Eduardo Abreu*  
*Denise Milleo Almeida*  
*Giane Gonçalves Lenzi*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240610**

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>93</b>
UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE MALTE NA ADSORÇÃO DE GASOLINA PRESENTE EM CORPOS AQUATICOS: ESTUDO EM LEITO DIFERENCIAL	
<i>Fernanda Vieira Amorim</i>	
<i>Márcia Ramos Luiz</i>	
<i>Ewellyn Silva Souza</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240611</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>105</b>
ESTUDO DA ADSORÇÃO DE COBRE EM LODO RECUPERADO DA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA DE AÇUDE POR ELETROCOAGULAÇÃO/FLOTAÇÃO	
<i>Fábio Erlan Feitosa Maia</i>	
<i>Ronaldo Ferreira do Nascimento</i>	
<i>Eliezer Fares Abdala Neto</i>	
<i>Jefferson Pereira Ribeiro</i>	
<i>Ari Clecius Alves de Lima</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240612</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>117</b>
ADSORÇÃO DE CO <sub>2</sub> EM MATERIAL MEOSPOROSO DO TIPO SBA-16 FUNCIONALIZADO	
<i>Táisa Cristine de Moura Dantas</i>	
<i>Eloy Sanz-Pérez</i>	
<i>Raul Sanz</i>	
<i>Amaya Arencibia</i>	
<i>Guillermo Calleja</i>	
<i>Ana Paula de Melo Alves Guedes</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240613</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>132</b>
CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE FURFURAL PELO ADSORVENTE ARGILA BENTONITA	
<i>Riann Queiroz Nóbrega</i>	
<i>Ana Cláudia Rodrigues De Barros</i>	
<i>Lorena Lucena De Medeiros</i>	
<i>Flávio Luiz Honorato Da Silva</i>	
<i>Joelma Moraes Ferreira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240614</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>140</b>
AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ADSORTIVA DE ARGILA ORGANOFÍLICA ATRAVÉS DE PLANEJAMENTO FATORIAL	
<i>Paulo Henrique Almeida Da Hora</i>	
<i>Líszandra Fernanda Araújo Campos</i>	
<i>Antonio Cícero De Sousa</i>	
<i>Gesivaldo Jesus Alves De Figueiredo</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240615</b>	



**CAPÍTULO 16 ..... 147**

CINÉTICA E MODELAGEM DA CAPTURA DE CO<sub>2</sub> POR MEIO DA REAÇÃO DE CARBONATAÇÃO DO ORTOSILICATO DE LÍTIO

*Suélen Maria de Amorim*  
*Michele Di Domenico*  
*Tirzhá Lins Porto Dantas*  
*Humberto Jorge José*  
*Regina de Fatima Peralta Muniz Moreira*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240616**

**CAPÍTULO 17 ..... 157**

MODIFICAÇÃO TÉRMICA DA ARGILA BRASGEL VISANDO SUA UTILIZAÇÃO NA REMOÇÃO DE NÍQUEL EM SISTEMA DE BANHO FINITO

*Joseane Damasceno Mota*  
*Rochelia Silva Souza Cunha*  
*Patrícia Noemia Mota De Vasconcelos*  
*Meiry Glaucia Freire Rodrigues*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240617**

**CAPÍTULO 18 ..... 166**

REMOÇÃO DO CORANTE DIRECT BLACK 22 ATRAVÉS DE ADSORÇÃO

*Déborah Fernanda Mamedes da Silva*  
*Deivid Sousa de Figueiroa*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240618**

**CAPÍTULO 19 ..... 177**

INFLUÊNCIA DA PRESENÇA DE SAIS NA ADSORÇÃO DO CORANTE VERMELHO PROCION UTILIZANDO ALUMINA ATIVADA

*Nathália Favarin da Silva*  
*Enrique Chaves Peres*  
*Guilherme Luiz Dotto*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240619**

**CAPÍTULO 20 ..... 186**

ADSORÇÃO DE ÍNDIGO CARMINE UTILIZANDO MICROESFERAS DE ALGINATO (AL) E QUITOSANA (QT) PURAS E DOPADAS COM NÍQUEL E FERRO.

*Ana Clara Correia Queiroz da Silva*  
*Francisco Mateus Gomes do Nascimento*  
*Francisco Renan Lima Amorim*  
*Guilherme Augusto Magalhães Júnior*  
*Cícero Pessoa de Moura*  
*Rafael Ribeiro Portela*  
*Mayara Sousa de Oliveira*

**DOI 10.22533/at.ed.22119240620**

**CAPÍTULO 21 ..... 195**

SÍNTESE E APLICAÇÃO DE PENEIRA MOLECULAR ORGANOFÍLICA NA REMOÇÃO DE ÍONS CR(III)

*Paulo Henrique Almeida da Hora*  
*Lizandra Fernanda Araújo Campos*  
*Antonio Cícero de Sousa*

**CAPÍTULO 22 ..... 202**

BIOSSORÇÃO DE ÍONS CR(VI) EM SOLUÇÃO AQUOSA EMPREGANDO CASCA DE BANANA NANICA

*Giovani Santana Silva*

*Ângelo Capri Neto*

*Maria da Rosa Capri*

DOI 10.22533/at.ed.22119240622

**CAPÍTULO 23 ..... 215**

REMOÇÃO DE CROMO HEXAVALENTE PRESENTE EM SOLUÇÕES SINTÉTICAS DILUÍDAS EMPREGANDO CARVÃO ATIVADO COMERCIAL E CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DA CASCA DE ARROZ

*Lúcia Allebrandt da Silva Ries*

*Joyce Helena da Silveira*

DOI 10.22533/at.ed.22119240623

**CAPÍTULO 24 ..... 227**

MANAGEMENT AND CLASSIFICATION OF PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS OF GROUNDWATER

*Sharise Beatriz Roberto*

*Jomar Berton Junior*

*Rúbia Michele Suzuki*

*Elton Guntendorfer Bonafé*

*Makoto Matsushita*

*Edmilson Antonio Canesin*

DOI 10.22533/at.ed.22119240624

**CAPÍTULO 25 ..... 242**

HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMINARES PARA REMOÇÃO DE POLUENTES AQUOSOS

*María Magdalena Costanzo*

*Rocio Belén Garate*

*Nora Alejandra Comelli*

*Nora Andrea Merino*

DOI 10.22533/at.ed.22119240625

**CAPÍTULO 26 ..... 253**

EFEITO DO MÉTODO DE SÍNTESE NAS PROPRIEDADES DO ÓXIDO DE CÉRIO, DESTINADO A FOTOCATÁLISE

*Kimberly Paim Abeta*

*Marie Lídio dos Santos Galvão Ribeiro*

*Larissa Soares Lima*

*Leila Maria Aguilera Campos*

*Sirlene Barbosa Lima*

*Maria Luiza Andrade da Silva*

DOI 10.22533/at.ed.22119240626

<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>267</b>
PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ESTIMATIVA DE INCERTEZA APLICADOS À MEDIÇÃO DE GRANDEZAS QUÍMICAS	
<i>Cassiano Lino dos Santos Costa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240627</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>282</b>
O USO DE REDES SOCIAIS E TECNOLOGIA MÓVEL COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO POR PROFESSORES DA EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA (EAD)	
<i>Eziel Cardoso da Silva</i>	
<i>Antonio Zilverlan Geermano Matos</i>	
<i>Marco Aurélio da Silva Coutinho</i>	
<i>Antônio Araújo Rodrigues</i>	
<i>Francisco Dhiêgo Silveira Figueirêdo</i>	
<i>Davi da Silva</i>	
<i>Dihêgo Henrique Lima Damacena</i>	
<i>Francisco Maycon Soares</i>	
<i>Juciane Maria de Sousa dos Santos</i>	
<i>Jose Adriano Cavalcante Alencar</i>	
<i>Enivaldo Pereira dos Santos</i>	
<i>Julianna de Sousa Santos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.22119240628</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>292</b>

## ESTUDO DA ADSORÇÃO DE COBRE EM LODO RECUPERADO DA CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA DE AÇUDE POR ELETROCOAGULAÇÃO/FLOTAÇÃO

### Fábio Erlan Feitosa Maia

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Química analítica e Físico-Química  
Fortaleza-Ceará

### Ronaldo Ferreira do Nascimento

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Química analítica e Físico-Química  
Fortaleza-Ceará

### Eliezer Fares Abdala Neto

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental  
Fortaleza-Ceará

### Jefferson Pereira Ribeiro

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia de Transportes  
Fortaleza-Ceará

### Ari Clecius Alves de Lima

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental  
Fortaleza-Ceará

**RESUMO:** A crise hídrica no estado do Ceará, localizado na região nordeste do Brasil, chega ao sétimo ano consecutivo. Maior incidência deste fato ocorre na região central do estado onde observamos o açude gavião de maior importância para o abastecimento da capital e regiões metropolitanas com apenas 3,5% de sua capacidade total. Com isso em um futuro não tão distante, moradores da cidade de Fortaleza

e outras localidades no estado necessitarão de métodos de captação e tratamento alternativo de água para abastecimento. Este trabalho visou estudar através do processo eletrocoagulação/flotação a remoção de microalgas do açude Santo Anastácio (ASA) na forma de lodo promovendo a clarificação das águas e utilizar esse lodo gerado no tratamento eletrolítico como método alternativo para a remoção de íons tóxicos  $\text{Cu}^{2+}$  em soluções estoque de 10  $\text{mg.L}^{-1}$  até 400  $\text{mg.L}^{-1}$ . As isotermas de Langmuir e Freundlich foram os modelos adsorptivos utilizados. Foi encontrada capacidade máxima adsorptiva de 18,11  $\text{mg.g}^{-1}$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** Eletroflotação, Clarificação, água, lodo, adsorção

**ABSTRACT:** The water crisis in the state of Ceará, located in northeastern Brazil, reaches the third consecutive year. With this in a not so distant future, residents of the city of Fortaleza and other locations in the state require raising methods and alternative treatment of water for supply. This work was to study through the electrocoagulation / flotation process in removal of microalgae weir St. Anastasius (ASA) in the form of sludge to promote the clarification of waters and use this sludge generated in the electrolytic treatment as an alternative method for removing toxic ions  $\text{Cu}^{2+}$  in solution stock of 5  $\text{mg.L}^{-1}$  to 400  $\text{mg.L}^{-1}$ . The isotherms of Langmuir

and Freundlich were used adsorptive models and found maximum adsorption capacity of 18.11 mg.g<sup>-1</sup>.

**KEYWORDS:** Clarification, turbidity, electrocoagulation/flotation, adsorption, copper.

## 1 | INTRODUÇÃO

A técnica da eletrocoagulação aliada a eletroflotação tem sido utilizada em conjunto com eletrodos de alumínio, aço inox ou eletrodos mistos por décadas como método alternativo no tratamento de efluentes, mas deixada de lado por um longo tempo pelo alto consumo de energia durante o processo (MOLLAH et al., 2004).

Atualmente, essa problemática vem sendo resolvida através da melhoria dos tipos de aço, aumento da pureza dos eletrodos de alumínio, aperfeiçoamento dos eletrodos utilizados, desenvolvimento de circuitos eletrônicos que estão possibilitando reduzir os custos gerados, utilização de energias alternativas como a solar, eólica e o conhecimento mais abrangente das teorias que envolvem os processos eletrolíticos (SANDBANK, 1974, ANEEL, 2015).

O processo da eletrocoagulação/flotação reduz várias etapas no tratamento de um efluente ou servindo como elemento de polimento final no tratamento do mesmo, pois primeiro ocorre a coagulação através da adição de íons  $Fe^{2+}_{(aq)}$  ou  $Al^{3+}_{(aq)}$  gerando hidróxidos liberados através da oxidação de eletrodos submersos no efluente e ligados em série ou paralelo na saída de uma fonte de corrente contínua em uma cela eletrolítica que produz gases e os íons utilizados na técnica como coagulante, seguindo a flotação e a sedimentação (CHELLAM e SARI, 2016).

O estudo sobre o uso concomitante de processos de adsorção e eletroflotação-coagulação, aparece como uma nova alternativa na descontaminação de águas residuais contaminadas por metais pesados. No entanto, poucos trabalhos investigaram sistemas híbridos eletrocoagulação em tratamento de águas residuais. Por outro lado, os resultados encontrados com sistema híbrido combinado são muito promissores.

A biorremediação é tratada como um processo de adsorção por Gadd (2008) e Schmitz, Dal Magro E Colla (2012), na qual a capacidade de biosorção experimental no equilíbrio pode ser calculada experimentalmente.

Os principais modelos de adsorção utilizados nos estudos com biosorventes são o modelo de Langmuir e o modelo de Freundlich (Gadd, 2012 e Nascimento et al., 2014).

O modelo de adsorção de Langmuir parte do princípio que o adsorvente tem o dever de:

- a) Quantidade de sítios adsorptivos existe em número definido.
- b) As moléculas não interagem umas com as outras e os sítios tem energia equivalente.
- c) O processo de adsorção ocorre em monocamada.

d) Cada sítio apenas adsorverá uma molécula.

Para indicar o grau de desenvolvimento do processo de adsorção utiliza-se o fator de separação  $R_L$ . Esse fator é calculado utilizando-se os resultados obtidos na equação de Langmuir,  $K_L$  e  $C_e$ .

De acordo com o resultado, pode-se dizer se a adsorção é ou não favorável.  $R_L$  entre 0 e 1 a adsorção é favorável,  $R_L$  igual a 1 a isoterma é dita linear e  $R_L$  maior que 1 indica que provavelmente o soluto prefere a fase líquida à fase sólida.

A isoterma de Freundlich considera o sólido como heterogêneo e aplica uma distribuição exponencial ao caracterizar os sítios de adsorção.

O contexto social exige a remediação de grandes problemas ambientais, como a disposição de resíduos tóxicos.

A técnica da eletrocoagulação/flotação clarifica a água removendo a maior parte da microbiota na forma de lodo, diminuindo a turbidez das amostras e aplicado na biosorção de cobre em soluções galvânicas como agente de remediação, por ser um procedimento de baixo custo relativo bem pouco resíduo gerado.

Este trabalho tem como objetivo realizar a clarificação e a redução da turbidez da água do açude Santo Anastácio utilizando o método da eletrocoagulação/flotação efetuando a recuperação do lodo (biomassa) gerado no processo eletrolítico para remover íons tóxicos de efluentes galvanoplásticos sintéticos através da adsorção.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A água utilizada para a geração de biosorvente foi coletada no açude Santo Anastácio (UFC). O ponto de coleta da água situa-se em frente ao bloco nº 857 (Engenharia de alimentos da Universidade Federal do Ceará). A escolha desse local foi devido à facilidade de acesso à lâmina de água, e transporte acessível ao laboratório de processos oxidativos avançados (LPOA) onde foram realizadas as análises.

O tratamento da água e a recuperação do material adsorvente produzido através da eletroflotação foram realizados no reator indicado na Figura 1.

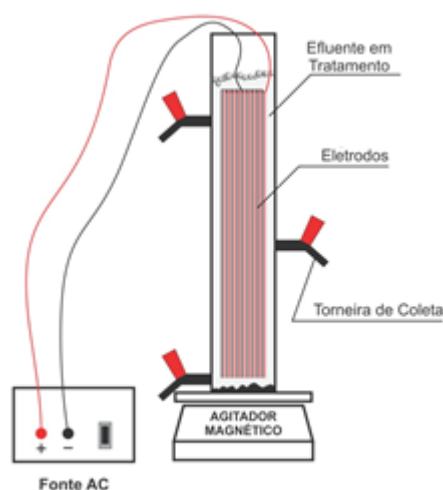


Figura 1. Reator eletrolítico em acrílico.

Os estudos de biosorção de íons  $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$  foram efetuados em duplicata, com agitação constante efetuada em mesa agitadora orbital Marconi MA140 CFT ajustada em 250 rpm e temperatura ambiente ( $28 \pm 2$  °C) utilizando-se uma faixa de concentrações de 10 a 400 mg/L para pH variando de 1 até 6. As concentrações de equilíbrio das soluções de íons cobre foram determinadas por espectrometria com absorção atômica por chama (EAA).

Os estudos de cinética de adsorção das soluções galvânicas de  $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$  em biosorvente foram realizados em duplicata para o período de 120 min. O procedimento envolveu frascos de vidro contendo 25 mL do adsorvato e 0,2g de biosorvente, enquanto as coletas foram realizadas nos tempos 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 120 min. A alíquota coletada, foi agitada, filtrada, posteriormente diluída, acidificada e analisada por EAA (VARIAN AA240FS).

O estudo de isotermas de adsorção e cinética foram realizados em batelada com o lodo, previamente seco em estufa por 2 dias a temperatura de 35 a 45° C e triturado. Para tal 0,2 g do pó finamente dividido, foram postos em contato com o efluente de concentração conhecida por tempo pré-determinado no estudo de cinética.

Para caracterizar a água, foram efetuadas análises de *E. coli*, bactérias mesófilas, turbidez e análise de fitoplâncton. A biomassa foi caracterizada através do potencial de carga zero ( $\text{pH}_{\text{pzc}}$ ), análises de infravermelho e fluorescência de raios-X.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Clarificação da água

Análises de *E. coli* e bactérias mesófilas foram realizadas antes e depois do tratamento eletrolítico da água. Os resultados mostraram a presença de *E. coli* em ambas amostras, porém as análises de mesófilos indicaram redução muito acentuada na quantidade dessas bactérias. Antes do tratamento eletrolítico havia  $1,5 \cdot 10^6$ , após tratamento eletrolítico essa quantidade passou para  $8,6 \cdot 10^3$  demonstrando a eficácia do tratamento eletrolítico em reduzir carga microbiana.

A turbidez decresce com o passar do tempo, mas visualmente durante o tratamento eletrolítico de águas utilizando tanto eletrodos de alumínio como outros tipos de eletrodo, aço inox, aço carbono, esses também removem a turbidez das águas em pequenos intervalos de tempo, porém deixam um residual de coloração branca muito intensa, no caso do alumínio devido a formação do  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , ou marrom que vai se tornando bastante escuro com tempos relativamente maiores do que 45 min para os eletrodos de alumínio e 15min, Figura 2, para os eletrodos que têm o metal ferro na sua composição, o que acabaria gerando insatisfação nas comunidades que eventualmente utilizem desse tratamento na água de abastecimento.

## Eficiência da eletroflotação na redução de turbidez

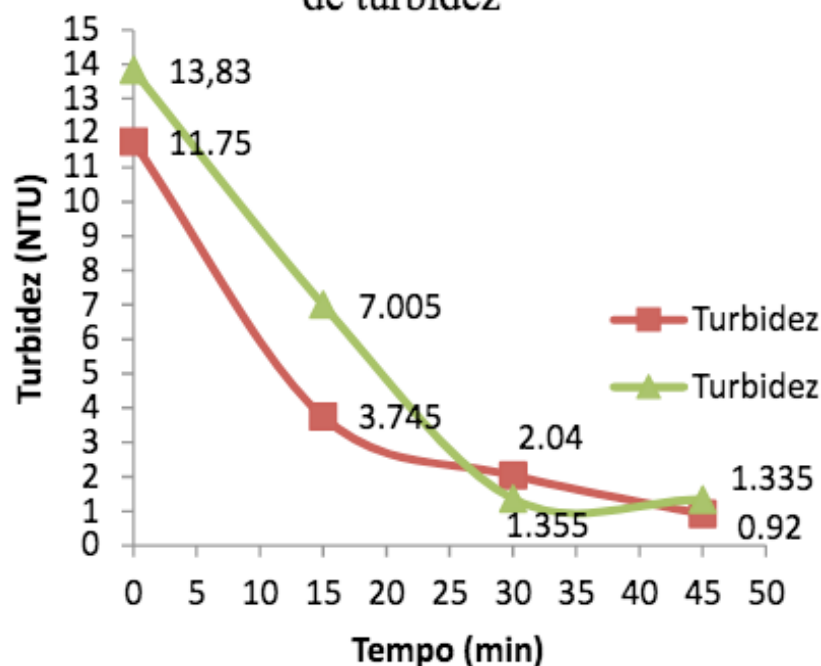


Figura 2. Redução da turbidez com o passar do tempo verificada durante o tratamento eletrolítico.

### 3.2 Caracterização do adsorvente

A análise de carga superficial do biosorvente que foi recuperado através do tratamento eletrolítico foi efetuada conforme Fiol e Villaescusa (2009). O resultado indica que a carga da superfície do lodo seco varia de positivo para negativo em torno do pH 1,90. Isso implica que se o pH de trabalho for realizado em um valor superior a este, a carga negativa da superfície do material adsorvente é predominante e esse material adsorverá partículas com cargas positivas, no caso deste estudo o Cu(II). Em contraste, caso o pH da solução seja abaixo do  $pH_{pzc}$  (1,89) então a superfície do material é mantida positiva e o material poderá adsorver partículas contendo cargas negativas (Figura 3).

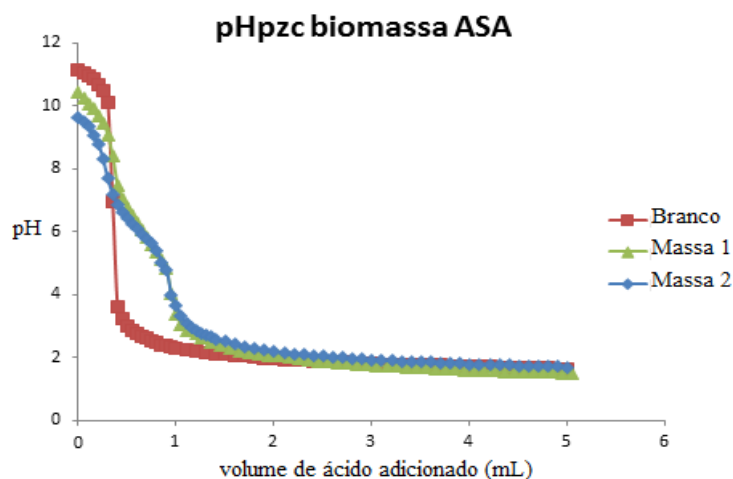


Figura 3.  $pH_{pzc}$  da biomassa em  $KNO_3$  0,03M



Os espectros de infravermelho com transformada de Fourier das amostras de lodo seco foram sobrepostos na Figura 4. As bandas analisadas sugerem a presença de estiramento de N-H (primário ou secundário) em 3431,62 cm<sup>-1</sup>, estiramento de C=C em 2107,38 cm<sup>-1</sup>. Logo após encontra-se a banda 1631,96 cm<sup>-1</sup> que indica o estiramento de C=O de aldeído ou C=C de olefinas.

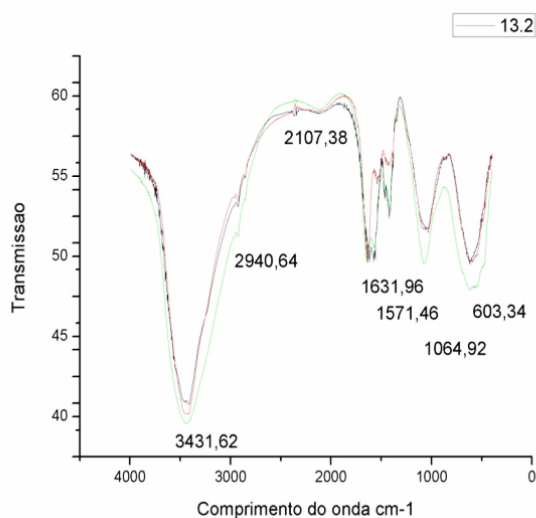


Figura 4. Espectro de infravermelho de amostras do lodo seco.

A banda fraca a médio encontrada em 1571,46 sugestiona o estiramento de C=C de aromático e a banda média em 1064,32 cm<sup>-1</sup> pode indicar a presença de estiramento de C—O de álcool secundário (LOPES e FASCIO, 2004). Já os pequenos ombros próximos de 2940,64 cm<sup>-1</sup> podem indicar estiramento de CH e CH<sub>2</sub> (MAGALHÃES et al, 2012). Em 603,34 cm<sup>-1</sup> ocorre a possível presença de grupamento inorgânico fosfato derivado de apatita (GPUITA et al, 2000; CINDINA e BORODAJENKO, 2012).

Esses grupamentos funcionais dotados de elétrons livres bem como elétrons π em ligações duplas e triplas colaboram significativamente com o processo de adsorção intensificando a atração eletrostática entre adsorvato e adsorvente conforme indicado no teste de pH<sub>pzc</sub>.

O estudo de fluorescência de raios-X, Tabela 1, revelou a possível presença significativa de alumínio no lodo seco após tratamento eletrolítico, mas não identificou a presença de cobre no material adsorvente.

Elemento	Amostras (% em massa)		
	14T	13T	9.2T
Al	5,51	63,34	60,24
Si	58,77	11,66	10,09
Ca	4,88	7,84	14,6
S	-	4,1	2,9
Cl	-	3	2
Mg	10,23	2,432	3,631

Fe	11,36	2,27	1,21
P	-	1,87	4,07
K	4,99	0,97	1,03
Mn	-	0,55	0,59
Zn	-	0,47	-
Sr	-	0,13	0,04
Nb	0,23	0,04	-
Ti	3,12	-	-
Cr	0,8	-	-

Tabela 1. Composição dos lodos produzidos no estudo de eletrocoagulação/flotação obtidos por fluorescência de raios-X

É notável também que a eletrocoagulação/flotação favorece o aparecimento de alumínio, pois pouco é encontrado desse metal em algumas amostras o que significa que o alumínio gerado agrega as microalgas que acabam flotando durante o processo eletrolítico reduzindo a carga biológica bem como a turbidez das águas.

### 3.3 Estudos de adsorção

Os estudos de tempo de contato na adsorção são de grande importância para verificação dos pontos ideais de remoção de materiais poluentes, pois reduzem os custos na indústria e melhora a qualidade do processo adsorptivo. O resultado do estudo de tempo de contato, Figura 5, mostra que cerca de 50% do cobre é removido nos primeiros 5,0 min, pH 5 e 90% de remoção de cobre ocorre nos primeiros 10 min de análise. O equilíbrio é alcançado em torno de 40 min. O tempo de contato de 120 min em pH de 5,0 (tampão de acetato) foram as condições experimentais empregadas no estudo das isotérmicas de adsorção de íons Cu(II).

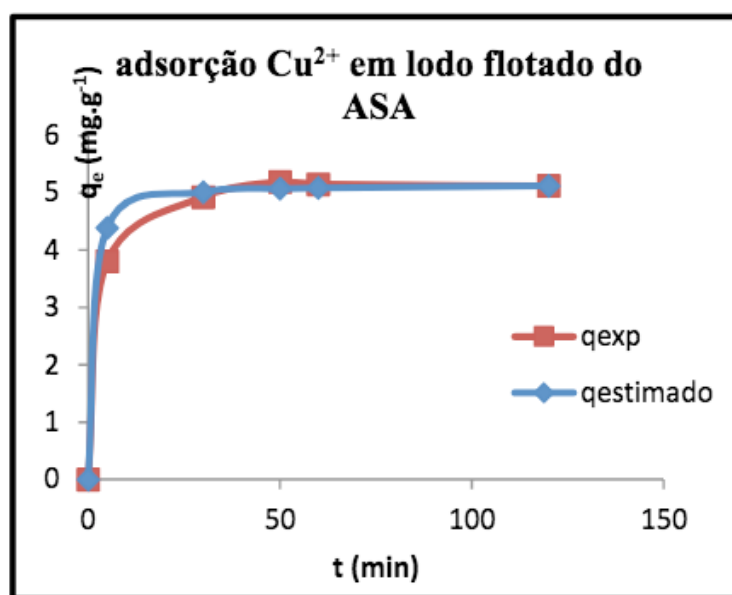


Figura 5. Tempo de contato do adsorvente (lodo) em solução de cobre 100 mg L<sup>-1</sup>, pH =5, dosagem 8g/L, temperatura 28° C, velocidade de agitação 250 RPM, volume de solução 25mL.

### 3.3.1 Modelo de Langmuir

O modelo de adsorção de Langmuir é baseado na suposição de que adsorção máxima corresponde a uma monocamada saturada de soluto na superfície do adsorvente, sem a interação entre os sítios de adsorção vizinhos. A isoterma de adsorção de Langmuir tem sido utilizada com sucesso para explicar a adsorção de metais a partir de soluções aquosas. A expressão do modelo de Langmuir é dada pela equação 01

$$q_e = \frac{q_{\max} \cdot K_L \cdot C_e}{(1 + K_L C_e)} \quad (01)$$

Onde  $q_e$  ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ) e  $C_e$  ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) são a quantidade de adsorvido por unidade de massa do adsorvente e concentração do metal na solução em equilíbrio, respectivamente.  $Q_{\max}$  é a quantidade máxima do metal por unidade de massa de adsorvente para formar uma monocamada completa na superfície do adsorvente.  $K_L$  é uma constante relacionada com a afinidade de sites a ligação ( $\text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$ ). A equação de Langmuir pode ser descrita de forma linear, como mostrado na equação 02.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max}} C_e + \frac{1}{q_{\max} K_L} \quad (02)$$

As constantes de Langmuir ( $q_{\max}$  e  $K_L$ ) foram determinadas das isotermas de adsorção, não linear, Figura 6 apresentado na Tabela 2. Os valores de capacidade de adsorção máxima podem ser obtidos da inclinação do enredo do  $C_e/q_e$  vs  $C_e$ . O valor de  $K_L$  foi encontrado como 0,018 para o adsorvente (lodo). A capacidade de adsorção máxima ( $q_{\max}$ ) foi  $18,334 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  para o adsorvente.

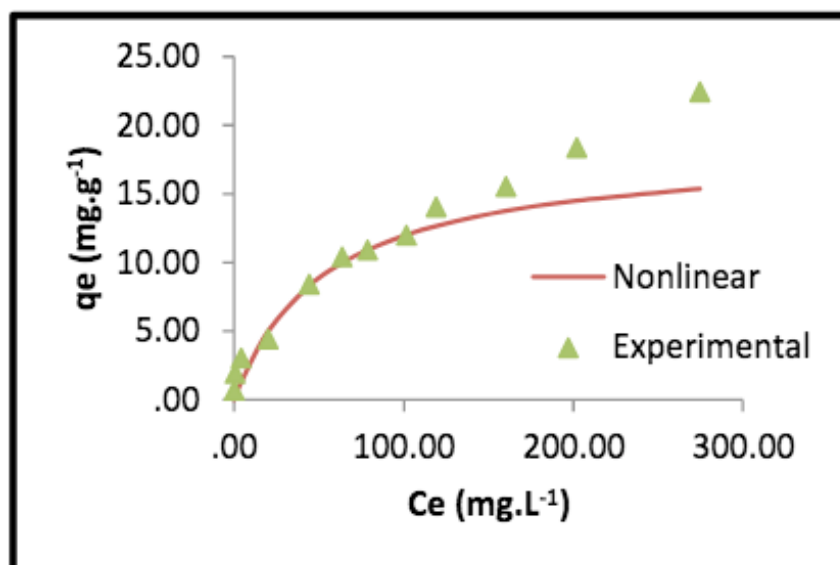


Figura 6. Isotherma de Langmuir não linearizada.

Os valores experimentais foram analisados no software Excel com auxílio do complemento solver para resolver as regressões não lineares e funções de erro. Esses números teóricos foram estimados através da equação de Langmuir não linear equação 01. Esses valores experimentais foram obtidos a partir da equação

$$q_{\text{experimental}} = \frac{(C_i - C_e)V}{M} \quad (03)$$

Parâmetro	Valor
$q_{max}$	18,334
$K_L$	0,018
$R^2$	0,954
ERRSQ	3,208
HYBRD	0,069
MPSD	0,0002
ARE	0,044
EABS	0,0001

Tabela 2. Valores e parâmetros de erros de adsorção obtidos por regressões não lineares.

O coeficiente de correlação,  $R^2$  visto na tabela 2, nesse teste nos permite afirmar que há a possibilidade de ajustamento dos valores experimentais ao modelo de Langmuir, mas observa-se que não ocorre uma boa adequação no gráfico  $q_e$  contra  $c_e$  e valores elevados de erros como na soma dos erros quadrados que se encontra elevado. Por isso foi necessário analisar outros modelos de adsorção para verificar uma melhor correlação desse adsorvente com a remoção do adsorvato descartando o modelo de adsorção em monocamada e superfícies homogêneas como sugere o modelo de Langmuir.

A característica essencial do modelo de Langmuir pode ser expressa em termos de um adimensional fator de separação ( $R_L$ ) dada pela equação 04:

$$R_L = \frac{1}{1 + k_L \cdot C_0} \quad (04)$$

$K_L$  é a constante de Langmuir ( $L \cdot mg^{-1}$ ) e  $C_0$  é a concentração inicial de cobre ( $mg \cdot L^{-1}$ ). Estabeleceu que para adsorção favorável,  $0 < R_L < 1$ ; adsorção desfavorável,  $R_L > 1$ ; adsorção linear,  $R_L = 1$ ; e o processo de adsorção é irreversível se  $R_L = 0$ .

Os valores de  $R_L$  situam-se entre 0,04 e 0,31 para o intervalo de concentração inicial de cobre de 40 a 400  $mg \cdot L^{-1}$  indicando favorável adsorção de cobre no lodo.

O adsorvato prefere a fase sólida (adsorvente) à líquida e a adsorção é dita favorável visto que os valores de  $R_L$  não ultrapassam o valor 1. Quando a concentração

é baixa observa-se que a adsorção é quase linear em que os valores de  $R_L$  seriam iguais à unidade (NASCIMENTO et al., 2014).

### 3.3.2 Isoterma de Freundlich

A isoterma de Freundlich é uma equação empírica utilizada para descrever sistemas heterogêneos. A equação de Freundlich é expressa como a equação 5:

$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n} \quad (05)$$

Onde  $q_e$  é a equilíbrio quantidade adsorvida ( $\text{mg. g}^{-1}$ ),  $C_e$  a concentração de equilíbrio do soluto ( $\text{mg. L}^{-1}$ ).  $K_F$  e  $n$  são constantes de Freundlich relacionados à capacidade de adsorção e intensidade de adsorção, respectivamente. Equação de Freundlich pode ser descrita de forma linear, como mostrado na equação 6.

$$\ln(q_e) = \ln(k_F) + \frac{1}{n} \ln(C_e) \quad (06)$$

Os parâmetros estimados deste modelo foram avaliados por análise de regressão e os resultados são mostrados na tabela 3. Figura 7 mostram que a isoterma de Freundlich obtidos para a adsorção de Cu(II) no adsorvente.

Valores de  $K_F$  e  $n$  valores foram encontrados para 16 e 2,90, respectivamente. O valor numérico de  $n > 1$  representa uma adsorção favorável.

PARÂMETRO	VALOR AJUSTADO
1/n	0,548
$K_F$	0,996
$R^2$	0,995
ERRSQ	0,881
HYBRD	0,114
MPSD	0,003
ARE	0,068
EABS	$1.10^{-4}$

Tabela 3. Valores experimentais ajustados ao modelo de adsorção não linear de Freundlich.

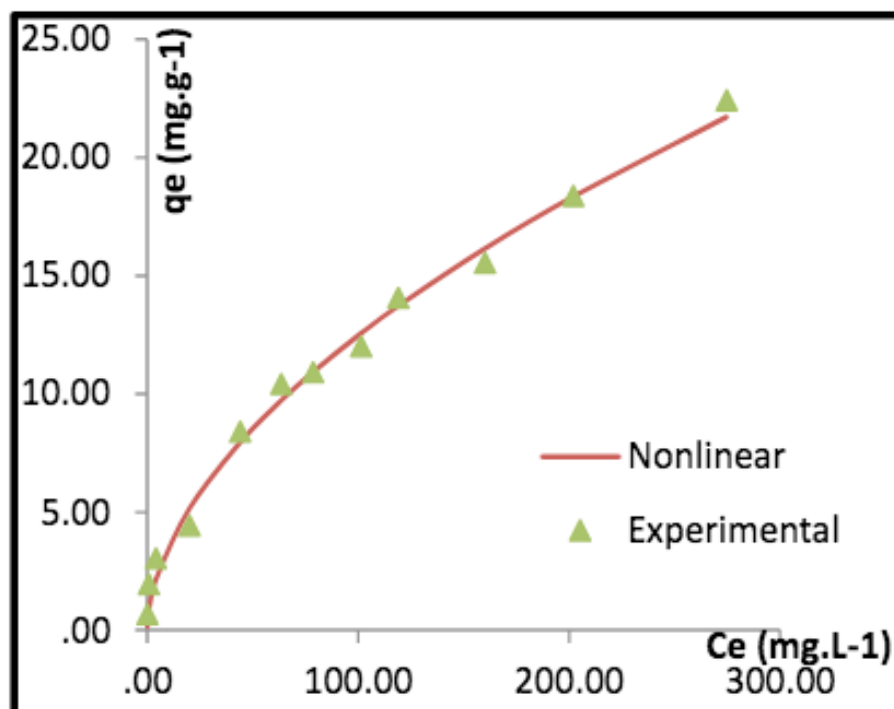


Figura 7. Isoterma de adsorção de Freundlich.

Diferentemente do estudo observado na isoterma de Langmuir, a adequação dos dados experimentais ao modelo de Freundlich mostram excelentes correlação e adequação gráfica, respectivamente, bem como menores valores de erros na regressão não linear.

O valor de  $n$  obtido, 1,82 sugere também que o processo de adsorção é favorável e por ser maior que a unidade indica que há forte atração entre adsorvente e adsorvato.

#### 4 | CONCLUSÃO

O estudo de adsorção mostrou que o lodo obtido a partir do tratamento eletrolítico pode ser empregado como biosorvente alternativo e de baixo custo para ser utilizado na remoção de  $\text{Cu(II)}$ , ocorrendo equilíbrio químico nos primeiros 10 min de contato com o biosorvente e o processo experimental mostrou ainda que os dados se adequam perfeitamente a isoterma de Freundlich.

#### 5 | AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ pela bolsa concedida e ao laboratório de microbiologia de alimentos, UFC, pelas análises microbiológicas.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. **Energia eólica 6**. Disponível em:

[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia\\_eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf). Acessado em 30 de dezembro de 2015.

CHELLAM, S.; SARI, M. A. Aluminum electrocoagulation as pretreatment during microfiltration of surface water containing NOM: A review of fouling, NOM, DBP, and virus control. **Journal of Hazardous Materials**, v. 304, p. 490–501, 5 March 2016.

CIMDINA, L. B.; BORODAJENKO, N. Research of Calcium Phosphates Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy. **Materials Science, Engineering and Technology**, 25 April, 2012.

DAL MAGRO, C. D.; THOME, M. C.; PICCIN, J. S.; COLLA, L. M. Biossorção passiva de cromo (vi) através da microalga *Spirulina platensis*. **Química Nova**, v. 36, n. 8, p.1139-1145, 2013.

FIOL, N.; VILLAESCUSA I. Determination of sorbent point zero charge: usefulness in sorption studies. **Environmental Chemistry Letters**, v. 7, n.1, p.79–84, February 2009.

GADD, G. M. Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 84, p. 13–28, 29 July 2008.

MOLLAH, M. Y. A.; SCHENNACH, R.; PARGA, J. R.; COCKE, D. L. Electrocoagulation (EC)—science and applications. **Journal of Hazardous Materials**, v. 84, n.1, p. 29–41, 1 June 2001.

NASCIMENTO, R.F.; LIMA, A. C. A; VIDAL, C. B. V.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 256 p.

SANDBANK, E.; SHELEF, G.; WACHS, A. M. Improved electroflotation for the removal of suspended solids from algal pond effluents. **Water Research**, v. 8, n. 9, p. 587-592, September 1974.

## **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 978-85-7247-422-1

