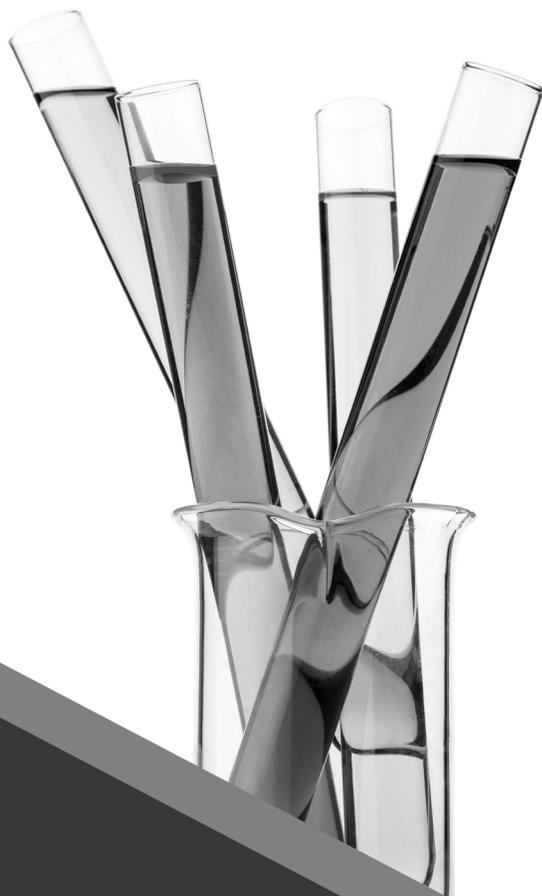




O CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA QUÍMICA 2

Érica de Melo Azevedo
(Organizadora)


Ano 2020



O CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA QUÍMICA 2

Érica de Melo Azevedo
(Organizadora)

Atena
Editora
Ano 2020

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
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. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª 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. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dr. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
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 Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Alborno – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

O conhecimento científico na química 2

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Luiza Alves Batista
Correção: Giovanna Sandrini de Azevedo
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadora: Érica de Melo Azevedo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C749 O conhecimento científico na química 2 / Organizadora Érica de Melo Azevedo. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-563-1

DOI 10.22533/at.ed.631202011

1. Química. 2. Conhecimento científico. I. Azevedo, Érica de Melo (Organizadora). II. Título.

CDD 540

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos.

APRESENTAÇÃO

O livro “O conhecimento científico na Química 2” apresenta artigos na área de ensino de química, tecnologia química, química verde, química ambiental e processos químicos.

O e-book contém 29 capítulos, que abordam temas sobre desenvolvimento e aplicação de jogos didáticos, aprendizagem significativa; análise de livros didáticos; história da química; reaproveitamento de resíduos agroindustriais; desenvolvimento de novos materiais de interesse ambiental; adsorventes sustentáveis; fotocatalise, tratamento de água e efluentes; síntese de líquidos iônicos; hidrólise enzimática e quantificação de enzimas; estudos de toxicidade; análise química de óleos essenciais; aplicação de extratos de frutos da região amazônica na atividade enzimática; desenvolvimento de eletrodo; desenvolvimento de compósitos a partir de resíduos; produção de fertilizantes de liberação controlada; tecnologias e técnicas para aplicação de plasma em química; síntese e aplicação de nanotubos de carbono.

Os objetivos principais do presente livro são apresentar aos leitores diferentes aspectos do conhecimento científico no Brasil e suas relações esta ciência. Nos tempos atuais é perceptível a importância da pesquisa acadêmica no Brasil para o desenvolvimento de novas tecnologias, fármacos e vacinas que auxiliem no combate às doenças e na qualidade de vida. Dessa forma, mais uma vez a Atena Editora reúne o conhecimento científico em forma de ebook, destacando os principais campos de atuação da química no país.

Os artigos constituintes da coleção podem ser utilizados para o desenvolvimento de projetos de pesquisa, para o ensino dos temas abordados e até mesmo para a atualização do estado da arte nas áreas de química, tecnologia química, química ambiental e ensino de química.

Após esta apresentação, convido os leitores a apreciarem e consultarem, sempre que necessário, a obra “O conhecimento científico na Química 2”. Desejo uma excelente leitura!

Érica de Melo Azevedo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A VIAGEM DA TEOBROMINA DO CACAU AO CHOCOLATE: UMA ABORDAGEM QUÍMICA PARA O ENSINO MÉDIO

Jorge Hamilton Sena Dias

DOI 10.22533/at.ed.6312020111

CAPÍTULO 2..... 9

QUÍMICA AMBIENTAL, USO DE IMAGENS E DIALÓGICA DE PAULO FREIRE NO ENSINO MÉDIO TÉCNICO: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA

Priscila Ketlen Negreiros Sousa

Dorian Lesca de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.6312020112

CAPÍTULO 3..... 17

ANÁLISE E ESTUDO DA APLICAÇÃO DO JOGO DIDÁTICO DE QUÍMICA INTITULADO “ UNO ELEMENTAR PERIÓDICO ” PARA O ENSINO MÉDIO DO INSTITUTO FEDERAL DO PARANÁ – CAMPUS PARANAÍ

Maiara dos S. Faria

Glaucio Testa

DOI 10.22533/at.ed.6312020113

CAPÍTULO 4..... 35

O CONCEITO DE LIGAÇÃO QUÍMICA NO LIVRO DIDÁTICO

Olívia Maria Bastos Costa

Gislene Santos Silva

Marcelo Alves Lima Júnior

DOI 10.22533/at.ed.6312020114

CAPÍTULO 5..... 49

A HISTÓRIA DA QUÍMICA COMO ABORDAGEM CONTEXTUALIZADA PARA O APRENDIZADO DE ALUNOS DO ENSINO MÉDIO

Ana Deuza da Silva Soares

Cliciane Magalhaes da Silva

Jamilla de Nazaré de Oliveira Almeida

Daniela Duarte de Sousa

Raimme Paola do Nascimento Pinto

Carlos Arthur Araújo Assunção

DOI 10.22533/at.ed.6312020115

CAPÍTULO 6..... 60

APLICAÇÃO DE JOGO DIDÁTICO COMO FERRAMENTA AUXILIAR NO ENSINO-APRENDIZAGEM DE QUÍMICA ORGÂNICA

Herbert Gonzaga Sousa

Patrícia e Silva Alves

Aline Aparecida Carvalho França

Maciel Lima Barbosa

Gilmânia Francisca Sousa Carvalho
Renata da Silva Carneiro
Dihêgo Henrique Lima Damacena
Beneilde Cabral Moraes
Valdiléia Teixeira Uchôa
Katiane Cruz Magalhães Xavier
Rita de Cássia Pereira Santos Carvalho
Geraldo Eduardo da Luz Júnior

DOI 10.22533/at.ed.6312020116

CAPÍTULO 7..... 72

**O SÉCULO XX E UMA NOVA DIMENSÃO DAS ATIVIDADES CIENTÍFICAS NO BRASIL
POUCO INSERIDAS NOS CONTEXTO DIDÁTICO DOS LIVROS**

Alcione de Nazaré Dias Silva
Débora da Cruz Arruda

DOI 10.22533/at.ed.6312020117

CAPÍTULO 8..... 80

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA PARA PRODUÇÃO DE
NOVOS MATERIAIS: O CONHECIMENTO QUÍMICO À SERVIÇO DO DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL, CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO**

Igor Andrade Rodrigues
Adilson de Santana Santos
Vanessa da Silva Reis
Márcio Souza Santos
Alexilda Oliveira de Souza
Marluce Oliveira da Guarda Souza

DOI 10.22533/at.ed.6312020118

CAPÍTULO 9..... 94

**ESTUDO COMPARATIVO DA CAPACIDADE DE ADSORÇÃO E ATIVIDADE
FOTOCATALÍTICA DE α -Ag₂WO₄ PARA O CORANTE RODAMINA B**

Francisco das Chagas Marques da Silva
Geraldo Eduardo da Luz Júnior

DOI 10.22533/at.ed.6312020119

CAPÍTULO 10..... 105

**DEGRADAÇÃO DA TETRACICLINA EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO PROCESSOS
OXIDATIVOS AVANÇADOS E AVALIAÇÃO DO EFEITO DE INIBIÇÃO SOBRE *Escherichia
coli***

Ismael Laurindo Costa Junior
Marcia Antônia Bartolomeu Agustini
Felipe Augusto Barbieri
Letícia Maria Effting
Cesar Augusto Kappes
Kevin Augusto Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.63120201110

CAPÍTULO 11..... 126

PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO DE CASCA DE LARANJA ATIVADO COM CLORETO DE CÁLCIO E SUA APLICAÇÃO EM TRATAMENTO DE ÁGUA CONTAMINADA COM NITRATO

Lucas Fernandes Domingues
Greice Queli Nardes Cruz
Idel Perpetua de Castro
Isadora Aparecida Archioli
Lorena Cristina Lopes

DOI 10.22533/at.ed.63120201111

CAPÍTULO 12..... 135

PREPARAÇÃO DE NOVOS LÍQUIDOS IÔNICOS ALCANOSULFONATOS DE INTERESSE AMBIENTAL

Michelle Budke Costa
Giselle Back
Melissa Budke Rodrigues
Paulo Rodrigo Stival Bittencourt
Fernando Reinoldo Scremin

DOI 10.22533/at.ed.63120201112

CAPÍTULO 13..... 146

AMIDO DE BATATA DOCE HIDROLISADO COM ENZIMAS DO MALTE DE CEVADA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL

Renata Nascimento Caetano
Felipe Staciaki da Luz
Adrielle Ferreira Bueno
Cinthya Beatriz Fürstenberger
Everson do Prado Banczek

DOI 10.22533/at.ed.63120201113

CAPÍTULO 14..... 158

EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE LIPASE DE GRÃOS DE SOJA

Isabela Cristina Damasceno
Marcela Guariento Vasconcelos
Lívia Piccolo Ramos Rossi

DOI 10.22533/at.ed.63120201114

CAPÍTULO 15..... 172

DETERMINAÇÃO DA CITOTOXIDADE DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Origanum vulgare*

Daiane Einhardt Blank
Gabriela Hörnke Alves
Rogério Antonio Freitag
Silvia de Oliveira Hübner
Marlete Brum Cleff

DOI 10.22533/at.ed.63120201115

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 16..... | 180 |
| AVALIAÇÃO SAZONAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E INIBIÇÃO DE ACETILCOLINESTERASE DO ÓLEO ESSENCIAL DE ALOYSIA GRATISSIMA | |
| Adílio Macedo Santos | |
| Adonias de Oliveira Teixeira | |
| Vilisaimon da Silva de Jesus | |
| Luan Souza Santos | |
| Moacy Selis Santos | |
| Clayton Queiroz Alves | |
| Djalma Menezes de Oliveira | |
| Rosane Moura Aguiar | |
| DOI 10.22533/at.ed.63120201116 | |
| CAPÍTULO 17..... | 192 |
| OBTENÇÃO E ANÁLISE QUÍMICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE ESPÉCIES MEDICINAIS UTILIZADAS NA REGIÃO DE MARABÁ | |
| Aristides Anderson Pereira Reis | |
| Sebastião da Cruz Silva | |
| DOI 10.22533/at.ed.63120201117 | |
| CAPÍTULO 18..... | 198 |
| INFLUÊNCIA DOS EXTRATOS BRUTOS DE AÇÁI E PITANGA SOBRE A ATIVIDADE DE GLUTATIONA S-TRANSFERASE ESPECÍFICA CEREBRAL DE RATO | |
| Tais da Silva Rosa | |
| Felipe Boz Santos | |
| Cristiane Martins Cardoso | |
| DOI 10.22533/at.ed.63120201118 | |
| CAPÍTULO 19..... | 203 |
| SELETIVIDADE E SENSIBILIDADE EM ELETRODOS COMPÓSITOS MODIFICADOS USANDO POLÍMEROS COM IMPRESSÃO MOLECULAR: O CASO DO DICLOFENACO | |
| Priscila Cervini | |
| Abigail Vasconcelos Pereira | |
| Éder Tadeu Gomes Cavaleiro | |
| DOI 10.22533/at.ed.63120201119 | |
| CAPÍTULO 20..... | 216 |
| PRODUÇÃO DE COMPÓSITO TRICOMPONENTE A PARTIR DA CASCA DE AMENDOIM E RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS | |
| Giovanna Coelho Bosso | |
| DOI 10.22533/at.ed.63120201120 | |
| CAPÍTULO 21..... | 231 |
| CELULOSE NANOFIBRILADA FUNCIONALIZADA COM GRUPOS DICIANOVINIL: REDUÇÃO ELETROQUÍMICA DE CO₂ | |
| Robson Valentim Pereira | |
| Thais Eugênio Gallina | |
| Aparecido Junior de Menezes | |

Kênia da Silva Freitas

DOI 10.22533/at.ed.63120201121

CAPÍTULO 22.....242

DETERMINAÇÃO BIOQUÍMICA, FÍSICO-QUÍMICA E MINERAL DE POLPA E CASCA DO FRUTO DE *Endopleura uchi*

Charline Soares dos Santos Rolim

Leonardo do Nascimento Rolim

Régis Tribuzy de Oliveira

Eyde Cristianne Saraiva-Bonato

Maria das Graças Gomes Saraiva

Roseane Pinto Martins de Oliveira

Cláudia Cândida Silva

Carlos Victor Lamarão

DOI 10.22533/at.ed.63120201122

CAPÍTULO 23.....253

DESENVOLVIMENTO DE FERTILIZANTE ALTERNATIVO CONSTITUÍDO DE MICROPARTÍCULAS POLIMÉRICAS CARREADORAS DE NPK

Júnior Olair Chagas

Gilmare Antônia da Silva

Fabiana Aparecida Lobo

DOI 10.22533/at.ed.63120201123

CAPÍTULO 24.....265

SÍNTESE DE COMPOSTOS DE COORDENAÇÃO CONTENDO COBRE(II) COM LIGANTES DICARBOXILATOS: ESTUDO DE SUAS PROPRIEDADES VAPOCRÔMICAS

Eduardo Dias Albino

Bruno Ribeiro Santos

Alessandra Stevanato

DOI 10.22533/at.ed.63120201124

CAPÍTULO 25.....282

NÍVEIS DE COBRE EM AMOSTRAS AMBIENTAIS DA REGIÃO CACAUEIRA NO SUL DA BAHIA POR USO DA MICROEXTRAÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO DISPERSIVA

Mayara Costa dos Santos

Ívero Pita de Sá

Marina Santos de Jesus

Julia Carneiro Romero

Fábio Alan Carqueija Amorim

DOI 10.22533/at.ed.63120201125

CAPÍTULO 26.....292

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMELARES A PARTIR DE ESCÓRIA DE ACIARIA

Josielle Vieira Fontes

Liliane Nogueira Silva

José Augusto Martins Corrêa

DOI 10.22533/at.ed.63120201126

CAPÍTULO 27.....301

LINEARIZAÇÃO DA CURVA DE ESFRIAMENTO DA GLICERINA

Vinicius Canal de Carvalho

Roberto Vargas de Oliveira

Abiney Lemos Cardoso

DOI 10.22533/at.ed.63120201127

CAPÍTULO 28.....306

O PLASMA E SUAS CARACTERÍSTICAS

Leila Cottet

Luís Otávio de Brito Benetoli

Nito Angelo Debacher

DOI 10.22533/at.ed.63120201128

CAPÍTULO 29.....319

NANOTUBOS DE CARBONO – UMA VISÃO GERAL

Leila Cottet

Luís Otávio de Brito Benetoli

Nito Angelo Debacher

DOI 10.22533/at.ed.63120201129

SOBRE A ORGANIZADORA.....333

ÍNDICE REMISSIVO.....334

SELETIVIDADE E SENSIBILIDADE EM ELETRODOS COMPÓSITOS MODIFICADOS USANDO POLÍMEROS COM IMPRESSÃO MOLECULAR: O CASO DO DICLOFENACO

Data de aceite: 01/11/2020

Data de submissão: 20/08/2020

Priscila Cervini

Universidade de São Carlos, Instituto de
Química de São Carlos
São Carlos – São Paulo
<http://orcid.org/0000-0002-8677-9937>

Abigail Vasconcelos Pereira

Universidade de São Carlos, Instituto de
Química de São Carlos
São Carlos – São Paulo
<http://orcid.org/0000-0003-0303-1612>

Éder Tadeu Gomes Cavalheiro

Universidade de São Carlos, Instituto de
Química de São Carlos
São Carlos – São Paulo
<http://orcid.org/0000-0002-5186-3039>

RESUMO: Polímeros com impressão molecular (MIPs) encontram ampla aplicação em química analítica, principalmente no preparo de amostras nas técnicas de separação, mas também podem ser úteis na confecção de eletrodos compósitos modificados, visando aumentar sua sensibilidade e seletividade. No presente caso, polímeros derivados de metacrilato contendo diclofenaco de sódio como molécula molde foram preparados e caracterizados quanto à morfologia e porosidade por microscopia eletrônica de varredura. Também foram preparados polímeros sem impressão molecular (NIPs) para comparação. Esses polímeros foram usados na confecção

de eletrodos compósitos à base de grafite e poliuretana contendo em sua composição 2,5% (modificador, *m/m*) de MIP e/ou NIP. Os eletrodos foram usados na determinação de diclofenaco de sódio contido em três formulações comerciais e urina sintética, usando voltametria de pulso diferencial com redissolução anódica, sob condições otimizadas. Os resultados foram concordantes com aqueles obtidos por HPLC com 95% de confiança (*t*-Student). Os MIPs apresentaram sensibilidade duas vezes maior que o eletrodo não modificado e três vezes maior que o dispositivo contendo os NIPs. Com relação a estudos de seletividade, apesar das interferências não poderem ter sido totalmente eliminadas, devido à similaridade estrutural, os MIPs apresentaram discriminação molecular em relação ao analito, frente a dois potenciais interferentes, o ácido meclofenâmico e o ácido mefenâmico, com estrutura e grupos funcionais similares ao diclofenaco.

PALAVRAS-CHAVE: Polímeros com impressão molecular, Eletrodos compósitos, Diclofenaco, Seletividade, Voltametria de pulso diferencial com redissolução anódica.

SELECTIVITY AND SENSIBILITY IN COMPOSITES ELECTRODES MODIFIED WITH MOLECULARLY IMPRINTED POLYMERS: THE CASE OF THE DICLOFENAC

ABSTRACT: Molecularly imprinted polymers (MIPs) are frequently used in analytical chemistry mainly regarding sample preparation in separation techniques, but are increasing interest in the confection of modified composite

electrodes looking for improved sensitivity and selectivity. Methacrylate polymers containing sodium diclofenac as a template molecule were prepared and characterized by scanning electron microscopy. Non-imprinted polymers were also prepared for comparison. Such polymers were used as modifiers in graphite-polyurethane composite electrodes containing 2.5% MIP and/or NIP (modifier, *m/m*). The resulting devices were used in the determination of sodium diclofenac in three commercial pharmaceutical samples and in synthetic urine, using differential pulse anodic stripping voltammetry, under optimized conditions. The results were in agreement with those from HPLC within 95% of confidence interval according the *t*-Student test. Electrodes containing MIP as modifier presented sensitivities twice larger than the unmodified ones and three times larger than those containing NIPs. Concerning selectivity, although interferences could not be completely avoided due to the structure similarity, MIPs presented molecular discrimination even regarding the meclofenamic and mefenamic acids two potential interferents with structures and functional groups similar to the analyte.

KEYWORDS: Molecularly imprinted polymers, Composite electrodes, Diclofenac, Selectivity, Differential pulse anodic stripping voltammetry.

1 | INTRODUÇÃO

Materiais de carbono têm sido usados na preparação de eletrodos desde o século dezenove, quando Leclanché propôs a substituição dos eletrodos de cobre por carbono nas baterias de Volta, em 1860.

Ainda no final daquele século, Acheson desenvolveu procedimentos para preparar grafite artificialmente, tornando seu custo mais acessível e possibilitando a produção de eletrodos usados como anodos em células cloro-soda, além de diversas outras aplicações para eletrodos à base de carbono. Esse evento também popularizou e permitiu o uso de materiais à base de carbono como eletrodos em técnicas eletroquímicas (KINOSHITA, 1988).

As formas mais comuns de carbono disponíveis para o uso em eletroanálise são o carbono vítreo, fibras de carbono, além de grafites pirolítico e policristalino (MCCREERY e CLINE, 1996). Mais recentemente, o diamante dopado com boro tem sido utilizado com sucesso na confecção de eletrodos para a determinação de compostos orgânicos, em uma ampla faixa voltamétrica (PECKOV, MUSILOV e BAREK, 2009). Outros novos materiais incluem nanotubos de carbono nanoestruturados e grafeno (TANAKA e IJIMA, 2014).

No entanto, o pó de grafite continua sendo a escolha mais popular para o uso na preparação de eletrodos compósitos. A literatura aponta que eletrodos compósitos foram primeiro introduzidos por Adams, em 1958 (ADAMS, 1958), quando esse autor usou pasta de carbono e bromofórmio em uma configuração de poça.

Posteriormente, os eletrodos compósitos foram definidos por Tallman e Petersen (1990, p. 499) como "...um material consistindo de pelo menos uma fase condutora misturada com pelo menos uma fase isolante." Nos dias de hoje, é considerado que a fase isolante atua também como um aglutinante, enquanto a fase condutora é na maioria das vezes, a grafite.

Há muitas vantagens na preparação e uso de eletrodos compósitos à base de grafite e polímeros, tais como, facilidade e custo relativamente baixo de preparação; possibilidade do uso em uma ampla faixa de potenciais, inclusive na região anódica de potencial em que o mercúrio é facilmente oxidado; baixa suscetibilidade à passivação; facilidade de limpeza mecânica e eletroquímica; resistência a solventes; estabilidade mecânica, que permite o uso em análises em fluxo; a possibilidade de modificação tanto da fase condutora quanto da fase isolante, opções para moldagem em uma variedade de formas geométricas e portabilidade, devido ao tamanho pequeno e baixo peso. Além disso, se os polímeros são recicláveis, os dispositivos podem ser compatíveis com os conceitos de química verde.

Várias estratégias diferentes de montagem podem ser usadas, dependendo do polímero usado na preparação do compósito. Os métodos mais comuns são termomoldagem, compressão mecânica de pós em comprimidos, polimerização *in situ* do monômero e grafite, derretimento do aglutinante seguido da mistura e resfriamento, e dissolução do polímero em um solvente apropriado com a adição do grafite e então evaporação do solvente.

Uma dificuldade encontrada foi que alguns desses aglutinantes utilizados na fabricação de eletrodo têm a característica indesejável de inchaço durante seu uso em meio aquoso, provocando problemas na resposta do eletrodo, devido à variação na área ativa do dispositivo. Para minimizar esse problema tem sido proposto o uso de polímeros de poliuretana derivados de óleo vegetal (MENDES, CLARO-NETO e CAVALHEIRO, 2002).

A ligação uretana foi descoberta por Wurtz em 1849 (WURTZ, 1849), enquanto a produção de polímeros de poliuretana foi proposta por Bayer em 1947 (WOODS, 1987). O desenvolvimento das poliuretanas derivadas do óleo de mamona vem desde a década de 1940, quando elas foram usadas como tintas e vernizes.

Com o advento de polióis tipo poliéter de baixo custo derivados de petróleo no fim da década de 1950, o uso de derivados químicos de óleos vegetais se tornou restrito às aplicações especiais (CLARO-NETO, 1997). Mais recentemente, esses materiais têm atraído novamente a atenção, devido à busca por materiais ambientalmente mais amigáveis. O uso de poliuretanas derivadas de óleo vegetal oferece muitas vantagens adicionais àquelas descritas acima para eletrodos compósitos a base de grafite e polímeros. Entre outros benefícios, elas oferecem menor risco ao meio ambiente, porque são matérias-primas naturais, de fontes renováveis; podem ser curadas à baixas temperaturas; por serem bicomponentes, facilitam a preparação e incorporação de modificadores; sua hidrofobicidade auxilia a evitar efeitos de inchaço, tornando-as fáceis de moldar nas formas necessárias e são quimicamente resistentes para uso em solventes não aquosos.

Em comum com as poliuretanas em geral, aquelas derivadas de óleos vegetais apresentam muitos grupos funcionais pendentes em sua estrutura, que podem ser úteis para interações com analitos orgânicos e inorgânicos, atraindo-os para a superfície do eletrodo em um tipo de pré-concentração (MENDES, CLARO-NETO e CAVALHEIRO, 2002).

21 PREPARAÇÃO E MONTAGEM DO ELETRODO COMPÓSITO À BASE DE GRAFITE E POLIURETANA

A preparação do compósito envolve a mistura mecânica de grafite e o polímero, nas proporções adequadas, em um almofariz de vidro. A duração desse procedimento é limitada pelo tempo de cura do polímero. No caso da poliuretana derivada do óleo vegetal, este tempo é em torno de 10 minutos, embora a cura completa ocorra somente após 24 horas, a 25 °C (MENDES, CLARO-NETO e CAVALHEIRO, 2002).

Após a mistura homogeneizada, essa pode ser transferida a uma prensa para extrudar tarugos; ou ser impressa sobre uma matriz, formando um filme; ou em outra forma desejada.

A poliuretana vegetal usada no presente estudo foi uma resina bicomponente, consistindo de um polioli e um pré-polímero (correspondente ao adesivo ou endurecedor, em termos comerciais). A mistura dos componentes permaneceu líquida até a cura, possibilitando que o compósito final fosse moldado, nesse caso, como tarugos. Depois da cura, eles foram cortados no tamanho desejado, anexados a um fio de cobre para contato elétrico, com epóxi de prata e, então, selados com resina epóxi dentro de um tubo de vidro. Finalmente, o excesso dessa resina foi removido da superfície do eletrodo por abrasão com lixa e polimento em um feltro contendo diferentes granulometrias de alumina, seguido por uma limpeza em ultrassom com água e isopropanol.

31 MODIFICAÇÃO DO ELETRODO COMPÓSITO À BASE DE GRAFITE E POLIURETANA

Modificações podem ser feitas para conferir melhor desempenho ao eletrodo em termos de sensibilidade e seletividade, como proposto inicialmente por Kuwana e French (1964) para pastas de carbono. Esses dispositivos, que incluem um modificador na superfície ou no corpo do eletrodo são conhecidos como eletrodos modificados quimicamente (MURRAY, 1992). Os modificadores podem aumentar tanto a sensibilidade quanto a seletividade do eletrodo resultante, podendo ser útil na pré-concentração, extração, prevenção de adsorção e muitos outros procedimentos.

Na maioria das aplicações, a modificação é realizada na superfície do eletrodo, por deposição ou crescimento de filmes. A maior desvantagem dessa estratégia é que quando a superfície é renovada, a camada do modificador é perdida e uma nova modificação deve ser feita, o que pode levar a problemas de reprodutibilidade e aumento de custo e diminuição da frequência analítica (aumento no tempo de análise).

A natureza bicomponente da poliuretana possibilita realizar a modificação na etapa de homogeneização, incorporando o modificador junto com o grafite durante a preparação do compósito que será formado no corpo do eletrodo. Considerando que um material homogeneizado foi obtido, o processo de renovação resulta em uma nova superfície

modificada. O uso de uma composição otimizada leva à exposição de uma quantidade apropriada de modificador após preparação da superfície, por polimento.

4 | POLÍMEROS COM IMPRESSÃO MOLECULAR

A busca pela melhoria na seletividade em sensores analíticos passou por várias estratégias, incluindo a preparação de materiais inspirados pela formação de anticorpos, na qual um antígeno foi usado como molécula-molde para construir uma cadeia polipeptídica. O resultado foi uma estrutura capaz de realizar reconhecimento molecular (PAULING, 1940).

Tal conceito levou à preparação de polímeros com impressão molecular (MIP, do inglês, *molecularly imprinted polymers*), também chamados de materiais biomiméticos (MASQUÉ, MARCÉ e BORRULL, 1998; MAYES e MOSBACH, 1997). Esses materiais consistem de uma estrutura polimérica tridimensional rígida constituída ao redor de uma molécula-molde (também chamada de analito alvo), que poderia atuar de maneira similar ao anticorpo. Isso significa que o MIP poderia desempenhar seletivamente o reconhecimento molecular. A molécula-molde pode interagir com os grupos funcionais pendentes na matriz do polímero por meio de forças covalentes ou atrativas. Após polimerização, a molécula-molde pode ser removida por extração com solvente, gerando uma cavidade com seu tamanho e forma, em que outra molécula pode ser ligada durante a pré-concentração, resultando em uma interação seletiva do MIP com essa molécula.

A preparação de polímeros orgânicos impressos com moléculas-molde orgânicas foi descrita somente em 1972, por Wulff e Sarhan (1972) e Takagishi e Klotz (1972). No mesmo ano, esses últimos autores demonstraram que as ligações de moléculas pequenas em um polímero orgânico poderiam ser melhoradas introduzindo terminações hidrofóbicas e que o tipo de ligação era diferente daquelas de um polímero hidrofílico. Em 1981, Arshady e Mosbach (1981, p. 687) descreveram a preparação de um MIP baseado somente em interações não-covalentes.

Um dos aspectos mais interessantes da impressão molecular é a possibilidade de usar o material resultante na determinação de vários analitos representados por moléculas pequenas, tais como fármacos, pesticidas, aminoácidos, açúcares, entre outros. Entretanto, substâncias orgânicas maiores, tais como pesticidas e proteínas ainda são um desafio (HAUPT e MOSBACH, 2000), devido ao grande número de grupos funcionais, que tornam a impressão pouco seletiva.

A preparação de impressão molecular diretamente na superfície do substrato representa uma solução possível à acessibilidade e transferência de massa de biomoléculas maiores, oferecendo maior controle na orientação e densidade de sítios ativos. Embora isso resulte em uma detecção mais rápida e precisa do analito, ainda não fornece uma regra geral para o procedimento de impressão. Então, protocolos convencionais devem ser adaptados de acordo com a molécula-molde a ser usada.

5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A PREPARAÇÃO E USO DE MIPS NA MODIFICAÇÃO DE ELETRODOS

A aplicabilidade dos MIPS em diferentes áreas da química analítica implica que o procedimento de preparação dos materiais deveria ser escolhido de acordo com a técnica e a molécula-molde. Portanto, a técnica de preparação de um MIP para extração de fase sólida (SPE) é diferente daquela de um MIP para uso como modificador de eletrodo.

A primeira abordagem na preparação do MIP é a escolha do monômero apropriado para a molécula a ser usada. A molécula deve conter grupos funcionais em sua estrutura que possam interagir fortemente com aquelas no monômero, para produzir espécies estáveis. A interação entre o monômero e a molécula pode ser covalente ou não covalente, como ligações de hidrogênio, interações dipolo-dipolo, iônica ou hidrofóbica (AL-KINDY e BADÍA, 2000). Certamente, aqueles preparados a partir de ligações covalentes apresentam mais sítios seletivos, devido à uniformidade resultante da ligação mais específica. Entretanto, este tipo de material é limitado pelas escolhas mais restritas das moléculas-molde. Por outro lado, MIPS resultantes de interações não covalentes entre a molécula-molde e monômeros frequentemente apresentam sítios com tamanhos de cavidades menos uniformes, mas podem ser usados para vários analitos (ANDERSSON, SELLERGREEN e MOSBACH, 1984; D'SOUSA *et al.* 1999). Alternativamente, impressões covalentes e não covalentes podem ser combinadas durante a síntese. Tradicionalmente, MIPS são preparados pela polimerização em *bulk*, seguido de moagem e finalmente as partículas são classificadas por peneiramento. Entretanto, o uso de tal procedimento resulta em partículas cujas dimensões são dependentes do procedimento de moagem e podem resultar em formas irregulares e uma faixa de tamanhos que depende do conjunto de peneiramento.

Outro parâmetro importante a ser considerado na preparação de MIP é o solvente que, além de fornecer um meio em que tanto a molécula quanto o monômero sejam solúveis, também não pode interferir na interação entre eles (TARLEY, SOTOMAYOR e KUBOTA, 2005).

Dependendo da estratégia empregada na preparação do sensor, ela pode envolver o uso de mediadores, tais como enzimas, para promover a transferência eletrônica ou para ser estritamente controlada pela molécula e o transdutor. No segundo caso, o MIP é usado como um suporte para selecionar o analito pela cavidade e não influencia na transferência eletrônica (BLANCO -LOPEZ *et al.* 2004; WARSINKE e NAGEL, 2006). A principal vantagem do uso do MIP como modificador de eletrodo na detecção voltamétrica ou amperométrica é a possibilidade de apresentar seletividade, incluindo enantiosseletividade, como descrito por Trojanowicz e Wcislo (2005).

Quanto à extração da molécula-molde, essa também depende da estratégia de preparação do sensor. Se o MIP é preparado e então incorporado no sensor, a molécula é geralmente extraída por refluxo em um solvente apropriado, sob condições otimizadas de

tempo, temperatura, pH, entre outros. Entretanto, quando o MIP é preparado diretamente na superfície do sensor, a molécula é geralmente removida pela lavagem do filme resultante, em um solvente apropriado, nas condições adequadas, que devem ser otimizadas para cada caso.

A montagem de filmes sobre as superfícies dos eletrodos é certamente a estratégia mais frequentemente usada para a preparação de eletrodos modificados com MIP. Essa montagem pode ser realizada por métodos tais como, preparação de filmes de sistemas sol-gel, eletropolimerização, gotejamento ou *spin coating*, e copolimerização de misturas contendo a molécula-molde e os monômeros. A modificação do corpo do eletrodo também já foi descrita, mas em uma quantidade menor de trabalhos (CERVINI e CAVALHEIRO, 2009; CLARINDO *et al.* 2020; PEREIRA, CERVINI e CAVALHEIRO, 2014). Esse processo está ilustrado na Figura 1, usando o analito diclofenaco como molécula-molde.

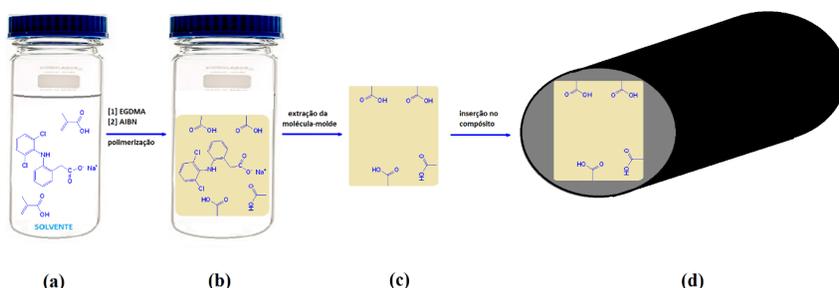


Figura 1 - Montagem do polímero com impressão molecular usado como modificador do eletrodo compósito. a) Mistura de solvente, monômero, agente de polimerização e molécula-molde, usando ácido metacrílico e diclofenaco como exemplo; b) polímero contendo diclofenaco como molécula-molde ligada aos grupos funcionais; c) polímero impresso após extração da molécula-molde, resultando em grupos funcionais pendentes e uma cavidade específica; d) polímero impresso com grupos pendentes e cavidade inserida no compósito de grafite poliuretana.

Dessa forma, grafite e poliuretana foram usados para preparar eletrodos compósitos modificados com MIP, utilizando diclofenaco (DCF) como molécula-molde, depois da otimização do tamanho das partículas e quantidade de MIP no compósito, visando avaliar o efeito da presença do modificador na seletividade e sensibilidade do dispositivo resultante.

Para a caracterização do sensor foram obtidas imagens de microscopia eletrônica de varredura (SEM) das partículas de MIP e NIP, que é o polímero sem impressão molecular, utilizado para comparação, as quais estão apresentadas nas Figuras 2.a,c, respectivamente.

Foi possível observar que as partículas de MIP apresentaram maior porosidade e distribuição irregular de tamanho (Figs. 2.a,c), em relação às partículas de NIP (Fig. 2.b,d), que mostraram um arranjo mais compacto e distribuição regular de tamanho.

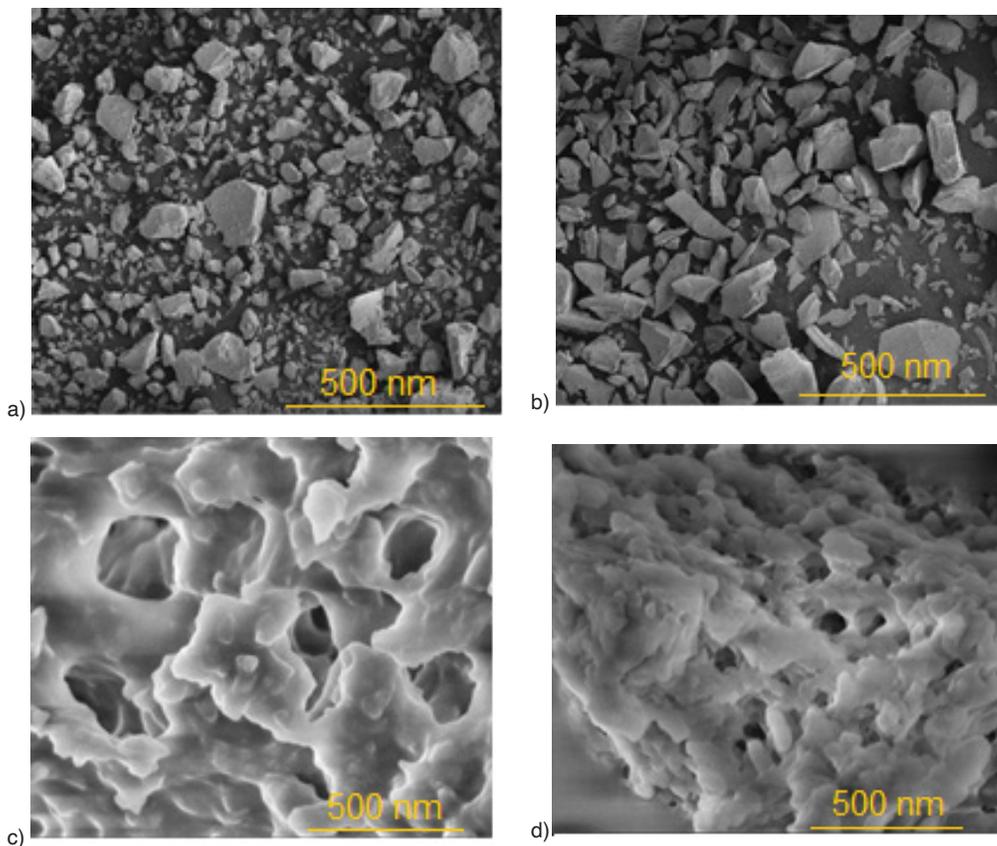


Figura 2 – Micrografias das partículas de MIP (a,c) e NIP (b,d).

Magnificações 250x (a,b) e 200.000x (c,d).

A aplicabilidade desses eletrodos compósitos de grafite e poliuretana modificados com MIP (EGPU-MIP) utilizando diclofenaco como molécula-molde foi demonstrada pela determinação de diclofenaco em amostras farmacêuticas e urina sintética. Os melhores resultados foram obtidos usando 2,5 % (*m/m*) de MIP em uma matriz com tamanho de partícula de 150 μm . Um limite de detecção ao nível de nmol L^{-1} foi encontrado nas condições experimentais otimizadas.

Adicionalmente, houve um ganho de mais de 200 % na intensidade de corrente, quando comparada ao eletrodo compósito de grafite e poliuretana modificados com NIP (EGPU-NIP) e 100 % em relação ao EGPU sem modificação. Isso pode ser explicado pela capacidade de atração do analito pelas cavidades presentes no MIP, as quais não estão presentes no eletrodo EGPU não modificado. Já a presença das partículas de NIP, promove a substituição de sítios eletroativos na superfície do eletrodo, além de não favorecer a pré-concentração do analito, promovendo diminuição da corrente.

O resultado da aplicação desses sensores na determinação de diclofenaco em três formulações farmacêuticas comerciais e urina sintética (LAUBE, MOHR e HESSE, 2001) sob condições otimizadas, usando voltametria de pulso diferencial com redissolução anódica (DPASV) é apresentado na Tabela 1. Tais condições foram velocidade de varredura 10 mV s⁻¹, amplitude de pulso 50 mV, tempo de acumulação 300 s e potencial de acumulação 0,20 V, em ácido perclórico com 10 % de acetonitrila.

| Amostra | Conteúdo por comprimido / mg | | | Erro relativo / % | | | Recuperações |
|---------------------|------------------------------|------------|--------|-------------------|----------------|----------------|--------------|
| | Rotulado | DPASV | HPLC | E ₁ | E ₂ | E ₃ | |
| Biofenac® | 50,0 | 49 ± 5 | 48 ± 1 | -2,1 | -3,8 | 1,5 | 101 ± 3 |
| Diclofenaco Sódico® | 50,0 | 47,2 ± 0,3 | 50 ± 2 | -5,7 | -1,3 | -4,6 | 102 ± 3 |
| Voltaren® | 50,0 | 50 ± 2 | 50 ± 1 | -0,5 | -0,6 | 0,1 | 102 ± 3 |
| Urina sintética | - | - | - | - | - | - | 101 ± 2 |

Tabela 1 - Determinação de diclofenaco em formulações farmacêuticas e urina sintética em DPASV, usando o 2,5 EGPU-MIP

$$E_1 = \text{DPASV vs rotulado: } [(DPASV - \text{rotulado}) / \text{rotulado}] \times 100 \%$$

$$E_2 = \text{HPLC vs rotulado: } [(HPLC - \text{rotulado}) / \text{rotulado}] \times 100 \%$$

$$E_3 = \text{DPASV vs HPLC: } [(DPASV - HPLC) / HPLC] \times 100 \%$$

Os resultados foram concordantes com aqueles obtidos por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), no nível de confiança de 95%, de acordo com o teste *t*-Student. Recuperações entre 101 e 102 % foram obtidas.

Também foi possível discriminar os sinais de moléculas estruturalmente similares, como o ácido meclofenâmico (AMCFN) e o ácido mefenâmico (AMFN), que contém grupos funcionais também presentes no diclofenaco, conforme apresentadas na Figura 3.

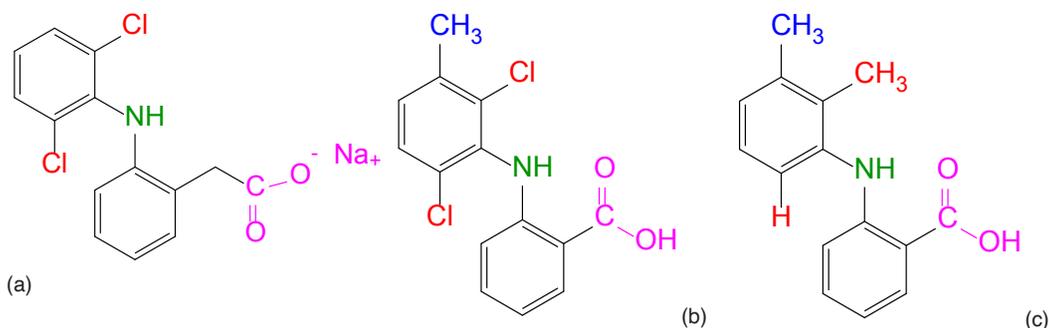


Figura 3 – Fórmula estrutural do (a) DCF, (b) AMCFN e (c) AMFN.

Quando 150 nmol L^{-1} de DCF foram determinados na presença de 75, 150 e 300 nmol L^{-1} de AMCFN, ocorreram interferências em todos os casos, porém, em menor porcentagem, 13,3; 4,00 e 2,30 %, respectivamente, para o eletrodo 2,5 % EGPU-MIP, quando comparadas ao eletrodo 2,5 % EGPU-NIP, com interferências de 44,3; 28,0 e 6,40 %, respectivamente.

Estes resultados sugerem que, mesmo havendo interferência, o MIP forneceu um grau de discriminação maior entre o analito e o interferente quando comparado ao NIP, mesmo com a similaridade entre o DCF e o AMCFN. Portanto, o EGPU modificado com MIP tem sua seletividade aumentada em relação ao dispositivo modificado com NIP, o que demonstra que essa característica pode ser melhorada, nesse caso.

O mesmo procedimento foi realizado com o interferente AMFN. Nesse caso, apesar da maior interferência observada nos dois eletrodos, o dispositivo contendo MIP apresentou melhor desempenho em termos de seletividade, que aquele contendo o NIP. Os resultados de interferência foram -6,20; 77,6 e 323 %, respectivamente, para o eletrodo 2,5% EGPU-MIP e -22,8; 231 e 693 %, respectivamente, para o eletrodo 2,5% EGPU-NIP.

A interferência relativamente elevada foi atribuída à coincidência nos potenciais de pico de oxidação do analito e do interferente. Entretanto, a menor interferência no caso do MIP mostra que o modificador é capaz de promover a discriminação entre analito e interferente com maior eficácia que o NIP, apesar da semelhança estrutural das duas espécies.

Assim, fica demonstrado que não apenas o efeito conformacional apresenta um papel importante na seletividade, mas também a resposta voltamétrica referente aos processos de oxido-redução dos grupos funcionais presentes no interferente, podem afetar a seletividade.

6 | CONCLUSÕES

Foi possível preparar polímeros molecularmente impressos derivados do ácido metacrílico, com o diclofenaco como molécula-molde. A presença das cavidades referentes a esse composto resultou em partículas poliméricas menos uniformes em termos de tamanho e com poros maiores, quando comparado com o mesmo polímero sem a impressão molecular.

Os eletrodos confeccionados usando o polímero com impressão molecular apresentaram maior sensibilidade em relação ao eletrodo não modificado, usando DPASV e condições de composição eletródica e parâmetros experimentais devidamente otimizados.

Com relação à seletividade, talvez a característica mais marcante esperada dos eletrodos modificados com os MIPs seja a discriminação molecular, mesmo na presença de espécies com estrutura muito semelhante à do analito e com resposta voltamétrica em potencial semelhante. As interferências observadas no eletrodo contendo o MIP como

modificador foram significativamente menores que aquelas observadas no dispositivo contendo o NIP. Entretanto, uma vez que foram escolhidos interferentes com grande similaridade estrutural, essas interferências não foram completamente eliminadas.

REFERÊNCIAS

ADAMS, R. N. Carbon Paste Electrodes. **AnalChem**, v. 30, p. 1576-1576, 1958.

AL-KINDY, S.; BADÍA, R. Molecularly imprinted polymers and optical sensing applications. **CritRevAnalChem**, v. 30, n. 4, p. 291–309, Julho. 2000.

ANDERSSON, L.; SELLERGREEN, B.; MOSBACH, K. Imprinting of amino acid derivatives in macroporous polymers. **TetrahedronLett**, v. 25, n. 45, p. 5211–5214, 1984.

ARSHADY, R.; MOSBACH, M. Synthesis of substrate-selective polymers by host-guest polymerization. **MacromolChemPhys**, v. 182, p. 687–692, Setembro. 1981.

BLANCO-LOPEZ, M. C.; GUTIERREZ-FERNANDEZ, S.; LOBO-CASTANON, M. J.; MIRANDA-ORDIERES, A. J.; TUNON-BLANCO, P. Electrochemical sensing with electrodes modified with molecularly imprinted polymer films. **AnalBioanalChem**, v. 378, n. 8, p. 1922–1928, Maio. 2004.

CERVINI, P.; CAVALHEIRO, E. T. G. Evaluation of the Analytical Potentialities of a Composite Electrode Modified with Molecularly Imprinted Polymers. **AnalLett**, v. 42, n. 13, p. 1940-1957, Setembro. 2009.

CLARINDO, J. E. S.; VIANA, R. B.; CERVINI, P.; SILVA, A. B. F.; CAVALHEIRO, E. T. G. Determination of Tetracycline Using a Graphite-Polyurethane Composite Electrode Modified with a Molecularly Imprinted Polymer. **AnalLetters**, v. 53, n. 12, p. 1232-1255, Fevereiro. 2020.

CLARO-NETO, S. **Caracterizações físico-química de um poliuretano derivado de óleo de mamona utilizado para implantes ósseos**. 1997. 153p. Tese (Doutorado em Química (Química Analítica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

D'SOUSA, S. M.; ALEXANDER, C.; CARR, S. W.; WALLER, A. M.; WHITCOMBE, M. J.; VULFSON, E. N. Template-imprinted nanostructured surfaces for protein recognition. **Nature**, v. 398, n. 6728, p. 593–597, Abril. 1999.

HAUPT, K.; MOSBACH, K. Molecularly Imprinted polymers and their use in biomimetic sensors. **ChemRev**, v. 100, n. 7, p. 2495–2504, Junho. 2000.

KINOSHITA, K. **Carbon materials. Carbon-electrochemical and physicochemical properties**. 1 ed. New York: Wiley, 1988. p. 560.

KUWANA, T.; FRENCH, W. H. Electrooxidation or reduction of organic compounds into aqueous solutions using carbon paste electrodes. **AnalChem**, v. 36, n. 1, p. 241-242, Janeiro. 1964.

LAUBE, N.; MOHR, B.; HESSE, A. Laser-probe-based investigation of the evolution of particle size distributions of calcium oxalate particles formed in artificial urines, **JCrystGrowth**, v. 233, n. 1-2, p. 367–374, Novembro. 2001.

- MASQUÉ, N.; MARCÉ, R. M.; BORRULL, F. New polymeric and other types of sorbents for solid-phase extraction of polar organic micropollutants from environmental water. **TrendsAnalChem**, v. 17, n. 6, p. 384–394, Junho-Julho. 1998.
- MAYES, A. G.; MOSBACH, K. Molecularly imprinted polymers: useful materials for analytical chemistry? **TrendsAnalChem**, v. 16, n. 6, p. 321–332, Junho-Julho. 1997.
- MCCREERY, R. L. CLINE, K. K. Carbon electrodes. *In* Kissinger, P. T.; Heineman, W. R. **Laboratory Techniques in electroanalytical chemistry**. New York: Marcel Dekker, 1996, p. 293-332.
- MENDES, R.; CLARO-NETO, S.; CAVALHEIRO, E. T. G. Evaluation of a new rigid carbon–castor oil polyurethane composite as an electrode material. **Talanta**, v. 57 n. 5, p. 909–917, Julho. 2002.
- MURRAY, R. W. **Techniques of Chemistry: Molecular Design of Electrode Surfaces**. 1 ed. New York: Wiley-Interscience, 1992, p. 448.
- PAULING, L. J. A theory of the structure and process of formation of antibodies. **JAmChemSoc**, v. 62, n. 10, p. 2643–2657, Outubro. 1940.
- PECKOV, K.; MUSILOV, J.; BAREK, J. Boron-Doped Diamond Film Electrodes - New Tool for Voltammetric Determination of Organic Substances. **CritRevAnalChem**, v. 39, n. 3, p. 148–172, Julho. 2009.
- TAKAGISHI, T.; KLOTZ, I. M. Macromolecule-small molecule interactions; introduction of additional binding sites in polyethyleneimine by disulfide cross-linkages. **Biopolymers**, v. 11, n. 2, p. 483-491, Janeiro. 1972.
- TALLMAN, D. E.; PETERSEN, S. L. Composite Electrodes for Electroanalysis: Principles and Application. **Electroanal**, v. 2, p. 499-510, Outubro. 1990.
- TANAKA, K.; IJIMA, S. **Carbon Nanotubes and Graphene**. 2 ed. Amsterdam: Elsevier, 2014, p. 458.
- TARLEY, C. R. T.; SOTOMAYOR, M. D. P. T.; KUBOTA, L. T. Polímeros biomiméticos em química analítica. Parte 1: preparo e aplicações de MIP (“Molecularly Imprinted Polymers”) em técnicas de extração e separação. **QuimNova**, v. 28, n. 6, p. 1076–1086, Dezembro. 2005.
- TROJANOWICZ, M.; WCISLO, M. Electrochemical and piezoelectric enantioselective sensors and biosensors. **AnalLett**, v. 38, n. 4, p. 523–547, Março. 2005.
- PEREIRA, A. V.; CERVINI, P.; CAVALHEIRO, E. T. G. Do voltammetry electrodes modified with MIPs really work? The role of large molecules: *folic acid* as a probe. **AnalLett**, v. 6, n. 17, p. 6658-6667, Julho. 2014.
- WARSINKE, A.; NAGEL, B. Towards separation-free electrochemical affinity sensors by using antibodies, aptamers and molecularly imprinted polymers—A review. **AnalLett**. v. 39, n. 13, p. 2507–2556, Fevereiro. 2007.
- WOODS, G. B. **The ICI Polyurethanes Book**. 1 ed. NewYork: John Willey, 1987, p. 344.

WULFF, G.; SARHAN, A. Über die Anwendung von enzymanalog gebauten Polymeren zur Racemattrennung. **AngewChem**, v. 84, n. 8, p. 364–8, Abril. 1972.

WURTZ, A. Justus Liebigs. **AnalChem**, v. 71, p. 326, 1849.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acetilcolinesterase 180, 181, 182, 184, 190

Adsorção 80, 82, 83, 84, 86, 87, 90, 91, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 128, 206, 238, 286

Alcanosulfonatos 135

Aloysia gratissima 180, 181, 182, 184, 185, 189, 190, 191

Alpinia 192, 193, 194, 195

Amilase 146, 148, 152, 157

Aniba canelilla 192, 193, 194, 196, 197

Aprendizagem Contextualizada 1

Aprendizagem Significativa 3, 6, 7, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 48

C

Carvão Ativado 83, 86, 126, 128, 129, 132, 133, 134

Casca de Laranja 126, 129, 134

Compósito Tricomponente 216, 218, 220, 227

D

Degradação 80, 84, 94, 95, 100, 101, 105, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 152, 167, 235, 255, 257, 260, 306, 307, 308, 309, 311, 312, 315, 324, 325, 327, 329

Determinação Bioquímica 242

E

Eletrodos Compósitos 203, 204, 205, 209, 210

Endopleura uchi 242, 243, 244, 249, 250, 251, 252

Ensino de Química 1, 4, 6, 7, 33, 42, 47, 49, 51, 55, 56, 59, 62, 69, 70

Escória de Aciaria 292, 293, 294, 296, 297, 299

Extração 136, 148, 158, 160, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 174, 175, 180, 182, 184, 185, 193, 194, 206, 207, 208, 209, 214, 232, 282, 287, 290

Extrato de Açaí 198

Extrato de Pitanga 198

F

Fármacos Residuais 105, 106

Fermentação Alcoólica 146, 148, 149, 150, 152, 156, 157

Ferramenta de Ensino 17, 18, 21, 32

Fertilizantes 253, 254, 255, 263, 290, 291

Fotocatálise 80, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 91, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 117, 119, 120

G

Glutathione S-Transferase 198

H

Hidrólise Enzimática 146, 147, 148, 152, 156, 157

Hidróxidos Duplos Lamelares 292, 293, 294, 299, 300

J

Jogo Didático 17, 18, 19, 20, 21, 22, 25, 28, 29, 32, 60, 61, 63, 64, 68, 69, 70, 71

L

Ligação Química 26, 35, 36, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48

Lipase 158, 159, 160, 161, 164, 166, 167, 170, 171

Líquidos Iônicos 135, 136, 137, 144, 145

Livro Didático 6, 8, 35, 36, 38, 42, 43, 45, 46, 48, 54, 58, 77, 78

M

Microextração Líquido-Líquido Dispersiva 282, 286, 287

Micropoluentes 106, 108, 113

Modelagem Matemática 257, 301, 302

N

Nanofibrilas de Celulose 231

Nanotubos de Carbono 204, 319, 320, 323, 327, 329

Níveis de Cobre 282

O

Óleo Essencial 134, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 188, 189, 190, 192, 193

P

Plasma 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 322, 324, 325, 327, 328, 329, 330, 331

Polímeros com Impressão Molecular 203, 207

Q

Química Ambiental 9, 10, 16

Química do Chocolate 1, 5, 6

Química do Plasma 306, 313

R

Redução Eletroquímica de CO₂ 231, 233

Resíduos da Agroindústria 80, 83

Rodamina B 94, 100

S

Sensores Vapocrômicos 265

Sistema de Liberação Controlada 253, 255

Sustentabilidade 82, 169, 216, 220, 231, 254

T

Teobromina 1, 2, 3, 4, 5, 6

Tratamento de Água 126, 128, 129, 133, 134, 315

www.atenaeditora.com.br 
contato@atenaeditora.com.br 
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 
www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

O CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA QUÍMICA 2


Ano 2020

www.atenaeditora.com.br 
contato@atenaeditora.com.br 
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 
www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

O CONHECIMENTO CIENTÍFICO NA QUÍMICA 2