

Atena
Editora
Ano 2021

Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química 2

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)



Atena
Editora
Ano 2021

Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química 2

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)



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

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 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 com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da 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
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto 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
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª 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 Alfnas

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 Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

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. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

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. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

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 Dra. 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
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª 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. 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. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª 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
Prof^ª 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. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
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
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
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 Albornoz – 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
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Liliansi Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª 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. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
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
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª 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
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª 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

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Vanessa Mottin de Oliveira Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T758 Trabalhos nas áreas de fronteira da química 2 / Organizador
Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa -
PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-822-9

DOI 10.22533/at.ed.229211202

1. Química. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva
(Organizador). 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



Ano 2021

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; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

O E-book intitulado: “Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química” é constituído por dezesseis trabalhos em forma de capítulos que abordam as diferentes áreas da química de forma intra e interdisciplinar, objetivando-se à melhoria da qualidade de vida. Esta coleção trouxe trabalhos que proporcionaram: (i) avaliar as propriedades químicas, físicas e biológicas de óleos essenciais, aromáticos e ácidos graxos extraídos de diferentes partes de plantas (folhas, cascas, tronco e caule) utilizadas na alimentação e que devido a suas propriedades nutricionais, aromáticas e terapêuticas constitui-se em uma área de extrema importância – a Química de produtos naturais; (ii) a eletroanalítica vem se desenvolvendo e aprimorando sensores (dispositivos) com propriedades para: monitorar e detectar substâncias em tempo real, com baixo custo operacional, fácil operação e com ampla aplicação (em especial, detecção e quantificação de contaminantes de interesse emergente em matrizes aquosas); (iii) aplicação de figuras de mérito em técnicas analíticas visando atestar a qualidade de alimentos; e (iv) princípios e contribuições do método QuEChERS e das técnicas de cromatográficas para o estabelecimento dos princípios norteadores da Química Verde em análises químicas; (v) a importância do monitoramento e detecção de metais tóxicos ou potencialmente tóxicos presentes em água e alimentos; (vi) aplicação de processos distintos de tratamento (osmose reversa e processos oxidativos avançados) para remoção de poluentes (corantes e fármacos) em águas de superfície, com o intuito de remover substâncias capazes de desencadear efeitos deletérios a biota aquática e seus organismos.

Neste contexto, a Atena Editora reuniu trabalhos selecionados por membros do corpo editorial que pudesse apresentar temas atuais e em constante discussão, reunindo na forma do E-book: “Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química”, neste volume II.

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

DETERMINAÇÃO DO PERFIL INORGÂNICO DE CHÁS DERIVADOS DA CAMELLIA SINENSIS

Ana Flávia Loureiro Martins Nascimento

Carlos Guilherme Tissi Batista

Cibele Maria Stivanin de Almeida

DOI 10.22533/at.ed.2292112021

CAPÍTULO 2..... 14

INFLUÊNCIA DA IDADE, HABITAT E TÉCNICA DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Psidium myrtoides* O. Berg

Alline Laiane Borges Dias

Cassia Cristina Fernandes

Mayker Lazaro Dantas Miranda

DOI 10.22533/at.ed.2292112022

CAPÍTULO 3..... 24

EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DA CANELA EM CASCA EM SISTEMAS AQUOSOS E ORGÂNICOS VISANDO A OBTENÇÃO DE CINAMALDEÍDO

Adriana da Veiga Torres

Juliana Baptista Simões

DOI 10.22533/at.ed.2292112023

CAPÍTULO 4..... 34

ÁCIDOS GRAXOS VEGETAIS: COMPOSIÇÃO QUÍMICA, ATIVIDADE BIOLÓGICA E POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO

Luana Cristina Diniz Santos

Luciana Alves Rodrigues dos Santos Lima

Ana Hortência Fonseca Castro

DOI 10.22533/at.ed.2292112024

CAPÍTULO 5..... 43

SÍNTESE ELETROQUÍMICA DE ELETRODOS DE CARBONO VÍTREO MODIFICADO COM FILMES DE HEXACIANOFERRATO DE METAIS E ATIVIDADE PARA DETECÇÃO DE COMPOSTOS SULFURADOS

Maria de Lourdes Soprani Vasconcellos

Edervaldo Buffon

Demetrius Profeti

Luciene de Paula Roberto Profeti

DOI 10.22533/at.ed.2292112025

CAPÍTULO 6..... 56

LÍQUIDO IÔNICO PRÓTICO PARA A CONSTRUÇÃO DE SENSOR ELETROQUÍMICO APLICADO NA DETECÇÃO DE PESTICIDA

José Fernando de Macedo

Anderson Alex Conceição Alves

Mércia Vieira da Silva Sant'Anna
Michael Douglas Santos Monteiro
José Carlos dos Santos Junior
Jonatas de Oliveira Souza Silva
José Felipe dos Santos
Pedro Rafael da Cruz Almeida
Frederico Guilherme de Carvalho Cunha
Eliana Midori Sussuchi

DOI 10.22533/at.ed.2292112026

CAPÍTULO 7..... 72

DETECÇÃO DE CIPROFLOXACINA APLICANDO UM SENSOR ELETROQUÍMICO À BASE DE DERIVADO DO GRAFENO E LÍQUIDO IÔNICO

Anderson Alex Conceição Alves
Michael Douglas Santos Monteiro
Pedro Rafael da Cruz Almeida
Jonatas de Oliveira Souza Silva
José Carlos dos Santos Junior
Jose Fernando de Macedo
Mércia Vieira da Silva Sant'Anna
Lucas dos Santos Lima
José Felipe dos Santos
Eliana Midori Sussuchi

DOI 10.22533/at.ed.2292112027

CAPÍTULO 8..... 85

BIOCARVÃO ATIVADO E ÓXIDO DE GRAFENO REDUZIDO APLICADOS EM SENSOR ELETROQUÍMICO PARA A DETERMINAÇÃO DE PARAQUATE

Mércia Vieira da Silva Sant'Anna
Ava Gevaerd
Jonatas de Oliveira Souza Silva
Lucas dos Santos Lima
José Fernando de Macedo
Michael Douglas Santos Monteiro
Alberto Wisniewski Jr
Márcio Fernando Bergamini
Eliana Midori Sussuchi

DOI 10.22533/at.ed.2292112028

CAPÍTULO 9..... 99

PREPARAÇÃO ELETROQUÍMICA DE NANOBASTÕES DE Co-Ni POR MEMBRANAS DE POLICARBONATO

Bruna Maria Rodrigues Gonçalves
Elton Patrick Barbano

DOI 10.22533/at.ed.2292112029

CAPÍTULO 10..... 112

PREPARAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO ELETROQUÍMICA E APLICAÇÃO DE ELETRODOS

MODIFICADOS COM FILMES HÍBRIDOS DE HEXACIANO FERRATO DE METAIS

Edervaldo Buffon

Maria de Lourdes Soprani Vasconcellos

Demetrius Profeti

Luciene de Paula Roberto Profeti

DOI 10.22533/at.ed.22921120210

CAPÍTULO 11..... 128

EFEITO DE MATRIZ E FIGURAS DE MÉRITO NA DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS METÁLICOS EM QUEIJO DE MINAS ARTESANAL POR ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA DE CHAMA

Emanueli do Nascimento da Silva

Tercio Paulo Felix Xisto

Ana Carolina Ferreira Castelo Borges

Emylle Emediato Santos

Roberta Eliane Santos Froes

DOI 10.22533/at.ed.22921120211

CAPÍTULO 12..... 140

CONTRIBUIÇÃO DO MÉTODO QuEChERS E DAS TÉCNICAS CROMATOGRÁFICAS PARA CONSOLIDAR OS PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE EM ANÁLISES QUÍMICAS

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

DOI 10.22533/at.ed.22921120212

CAPÍTULO 13..... 153

BIOACESSIBILIDADE DE ELEMENTOS TRAÇOS ESSENCIAIS E POTENCIALMENTE TÓXICOS

Wagna Piler Carvalho dos Santos

Rita Maria Weste Nano

Daniele Cristina Muniz Batista dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.22921120213

CAPÍTULO 14..... 167

METAIS POTENCIALMENTE TÓXICOS E SEUS IMPACTOS NA ÁGUA E NOS ALIMENTOS: UM OLHAR PARA A LITERATURA

Geilson Rodrigues da Silva

Hygor Rodrigues de Oliveira

João Vítor de Andrade dos Santos

Jussara de Oliveira Ferreira

Daniely Alves de Souza

Angela Kwiatkowski

Ramon Santos de Minas

Mariana Messias Soares

Mariane Ocanha

DOI 10.22533/at.ed.22921120214

CAPÍTULO 15..... 178

SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DE OSMOSE DIRETA: ALTERAÇÃO DA COR E

CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE UMA SOLUÇÃO DE CORANTE UTILIZANDO-SE UMA MEMBRANA PERMEÁVEL DE ACETATO DE CELULOSE

Ani Caroline Weber
Sabrina Grando Cordeiro
Bruna Costa
Aline Botassoli Dalcorso
Gabriela Vettorello
Aline Viana
Elisete Maria de Freitas
Eduardo Miranda Ethur
Lucélia Hoehne

DOI 10.22533/at.ed.22921120215

CAPÍTULO 16..... 184

COMPARAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FÁRMACOS EM ÁGUAS SUPERFICIAIS POR PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
Ivo Amildon Ricardo
Eduardo Oliveira Marson
Vinicius Alexandre Borges de Paiva
Alam Gustavo Trovó

DOI 10.22533/at.ed.22921120216

SOBRE O ORGANIZADOR..... 198

ÍNDICE REMISSIVO..... 199

SÍNTESE ELETROQUÍMICA DE ELETRODOS DE CARBONO VÍTREO MODIFICADO COM FILMES DE HEXACIANO FERRATO DE METAIS E ATIVIDADE PARA DETECÇÃO DE COMPOSTOS SULFURADOS

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 13/11/2020

Maria de Lourdes Soprani Vasconcellos

Universidade Federal do Espírito Santo
Departamento de Química
Vitória – Espírito Santo

Edervaldo Buffon

Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”
Instituto de Química de Araraquara
Departamento de Química Analítica
Araraquara – São Paulo

Demetrius Profeti

Universidade Federal do Espírito Santo
Departamento de Química e Física
Alegre – Espírito Santo

Luciene de Paula Roberto Profeti

Universidade Federal do Espírito Santo
Departamento de Química e Física
Alegre – Espírito Santo

RESUMO: Neste trabalho, eletrodos modificados com hexacianoferrato metálico (M = Co, Ni, Cu) foram sintetizados e caracterizados por voltametria cíclica. O CoHCF, NiHCF e CuHCF exibiram respostas eletroativas às moléculas que contém enxofre, usadas como drogas, aditivos alimentares e encontradas como contaminantes em águas residuais. Os estudos foram direcionados para fornecer informações para o desenvolvimento futuro de um método analítico específico para a determinação de

sulfanilamida, ciclamato de sódio e tiouréia. A influência de cátions (K^+ , Na^+ e Li^+) e ânions (Cl^- , NO_3^- e SO_4^{2-}) presentes no eletrólito de suporte foi investigada, bem como os processos que ocorrem na superfície do filme. Verificou-se que os filmes apresentam boa estabilidade e as reações redox superficiais apresentaram grande reversibilidade na presença do K^+ , que possui maior capacidade de inserção na estrutura complexa. A determinação dos compostos com teor de enxofre (sulfanilamida, ciclamato de sódio e tiouréia) usando os filmes CoHCF, NiHCF e CuHCF foi realizada. A técnica de amperometria foi utilizada para determinar sulfanilamida e tiouréia na faixa linear de $8,0 \times 10^{-5}$ a 16×10^{-5} mol L^{-1} , 5×10^{-4} a 30×10^{-4} mol L^{-1} , e voltametria cíclica foi usado para o ciclamato de sódio no intervalo linear de 8 a 16×10^{-5} e 5 a 30×10^{-4} . Foi possível encontrar um limite de detecção de $5,80 \times 10^{-5}$ mol L^{-1} ; $5,15 \times 10^{-3}$ mol L^{-1} e $2,82 \times 10^{-3}$ para sulfanilamida, ciclamato e tiouréia, respectivamente. Foi demonstrada a viabilidade de quantificar as moléculas com teor de enxofre de forma simples e de baixo custo.

PALAVRAS-CHAVE: Hexacianoferrato de metais; eletrodo quimicamente modificado, sulfanilamida; ciclamato de sódio, tiouréia.

ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF METALS-HEXACYANOFERRATE MODIFIED GLASSY CARBON ELECTRODES AND ACTIVITIES FOR DETECTION OF SULFUR-CONTAINING COMPOUNDS

ABSTRACT: In this work, modified electrodes with metallic hexacyanoferrate (M = Co, Ni, Cu)

were synthesized and characterized by cyclic voltammetry. The CoHCF, NiHCF, and CuHCF displayed electroactive responses to sulfur-containing molecules, used as drugs, food additives, and found as contaminants in wastewater. The studies were addressed to provide information for future development of a specific analytical method for the determination of sulfanilamide, sodium cyclamate, and thiourea. The influence of cations (K^+ , Na^+ , and Li^+) and anions (Cl^- , NO_3^- , and SO_4^{2-}) present in the supporting electrolyte was investigated, as well as the processes that occur on the film surface. It was verified that the films present good stability and the superficial redox reactions presented great reversibility in the presence of the K^+ , which has a higher capacity for insertion in the complex structure. The determination of sulfur-content compounds (sulfanilamide, sodium cyclamate, and thiourea) using the CoHCF, NiHCF, and CuHCF films was performed. The amperometry technique was used to determine sulfanilamide and thiourea in the linear range of $8,0 \times 10^{-5}$ to $16 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$, 5×10^{-4} to $30 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$, and cyclic voltammetry was used for the sodium cyclamate in the linear range of 8 to 16×10^{-5} , and 5 to 30×10^{-4} . It was possible to find a detection limit of $5.80 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$; $5.15 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ and 2.82×10^{-3} for sulfanilamide, cyclamate, and thiourea, respectively. It was demonstrated the feasibility of quantifying the sulfur-containing compounds in a simple and low-cost way.

KEYWORDS: Hexacyanoferrate of metals; chemically modified electrode, sulfanilamide; sodium cyclamate, thiourea.

1 | INTRODUÇÃO

Eletrodos formados por diferentes materiais, como ouro, platina, carbono vítreo, entre outros, consistem em uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento de métodos eletroanalíticos por permitir o uso de propriedades elétricas, quando se aplicam perturbações controladas ao sistema (HARRIS, 2005; SKOOG *et al.*, 2006). A funcionalidade desses eletrodos pode ser reduzida por fatores indesejáveis, tais como: velocidade lenta da reação eletroquímica, sobrepotencial e precipitação ou adsorção de espécies indesejáveis, os quais diminuem a eletroatividade do eletrodo. Esses fenômenos podem ser controlados manipulando a superfície do eletrodo, ou seja, modificando sua natureza química (MURRAY, 1984). Sendo assim, modificar um eletrodo consiste em atribuir e controlar novas propriedades físico-químicas ao eletrodo de trabalho por meio do acoplamento de espécies químicas ativas a sua superfície.

O termo Eletrodos Quimicamente Modificados (EQM's) foi primeiramente adotado por Moses, Wier, e Murray (1975), desde então a modificação da superfície de um eletrodo passou a ser feita por vários métodos, tais como: adsorção, ligação covalente e eletrodeposição. A aplicabilidade dos EQM's é baseada no fenômeno de eletrocatalise, a qual tem por finalidade reduzir a energia de ativação de reações eletroquímica, e consequentemente aumentar a velocidade das reações. Dentre as espécies inorgânicas que podem modificar a superfície de eletrodos convencionais, há um destaque para os hexacianoferratos de metais (MHCF), os quais são análogos do Azul da Prússia (hexacianoferrato de ferro).

A formação de filmes finos de Azul da Prússia foi descrita pela primeira vez por Neff (1978) que comprovou grande potencialidade, estabilidade química, facilidade de preparação do EQM, bem como baixo custo (MATSUURA *et al.*, 2009). Por estes motivos, os EQM's com os análogos do Azul da Prússia têm contribuído amplamente para desenvolvimento de análises em diversas áreas, como meio ambiente, saúde, biotecnologia, e indústria alimentícia (PRABAKAR *et al.*, 2008; HAN *et al.*, 2013; TIMOFEEV *et al.*, 2018). Em paralelo, pesquisadores (ABBASPOUR; GHAFARINEJAD, 2008; SHARMA *et al.*, 2013; MATTOS; GORTON, 2001) vêm alertando para o consumo de compostos que possuem grupos sulfetos em sua composição, sendo eles: medicamentos, conservantes alimentícios, e pesticidas uma vez que estes são bioacumulativos e tóxicos para o ser humano.

Desta maneira, é de fundamental importância desenvolver sensores capazes de identificar e quantificar moléculas como: (i) sulfanilamida; (ii) ciclamato de sódio e (iii) tiocarbamida. A sulfanilamida é encontrada em medicamentos que atuam no combate de doenças bacterianas (ARAÚJO *et al.*, 2015), enquanto que o ciclamato de sódio é muito usado como aditivo alimentar (HONORATO *et al.*, 2013). A tiocarbamida, também conhecida como tiouréia, é um produto de degradação de fungicidas ditiocarbamatos, e pode estar presente como contaminante dos recursos hídricos (TIAN *et al.*, 2013). Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo modificar eletrodos de carbono vítreo com hexacianoferrato de metais, visando à utilização como sensores eletroquímicos para a determinação das moléculas supracitadas.

2 | PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Reagente e soluções

Todas as soluções empregadas nesse estudo foram preparadas a partir de reagentes de grau analítico e água deionizada obtida a partir de um sistema de purificação MEGAPURITY MEGA RO/UP. Ao longo do trabalho utilizou-se $K_3Fe(CN)_6$, $CoCl_2$, $Ni(NO_3)_2$, $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$, KCl , KNO_3 , K_2SO_4 , $NaNO_3$, $NaCl$, e $LiCl$.

2.2 Instrumentação eletroquímica e eletrodo

Para os estudos eletroquímicos foi utilizado um Potenciostato/Galvanostato AUTOLAB - PGSTAT 128N controlado pelo software GPES 4.9. Todos os ensaios eletroquímicos foram realizados numa célula composta por três eletrodos, sendo eles: contra eletrodo constituído por um fio de platina, eletrodo de referência de $Ag/AgCl$ saturado e um eletrodo de trabalho de carbono vítreo (CV) com 3 mm de diâmetro e aproximadamente $7,1 \text{ mm}^2$ de área.

Antes de realizar os experimentos, o eletrodo de CV foi submetido a sucessivos polimentos mecânicos com suspensão de alumina com granulometria de $0,05 \mu\text{m}$. Após cada polimento, o eletrodo foi lavado com água deionizada para retirar o excesso de alumina adsorvida em sua superfície.

2.3 Medidas eletroquímicas

Para a modificação da superfície do eletrodo de CV com MHCF (M= Co, Ni e Cu) o mesmo foi imerso a solução eletrolítica adequada, e submetido a varreduras cíclicas de potenciais para a eletrossíntese dos filmes de MHCF. As soluções utilizadas para a formação dos filmes foram: (i) CoHCF: $9,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ CoCl_2 juntamente com $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ $3,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ diluídos em KCl $1,0 \times 10^{-1} \text{ mol L}^{-1}$; (ii) NiHCF: $1,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ de $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ e $1,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ diluídos em KNO_3 $1,0 \times 10^{-1} \text{ mol L}^{-1}$; (iii) CuHCF: $1,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ e $1,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ diluídos em KNO_3 $1,0 \times 10^{-1} \text{ mol L}^{-1}$. Para a realização da eletrossíntese dos filmes por voltametria cíclica, foram empregados os seguintes intervalo de potenciais, velocidade de varredura e números de ciclo, respectivamente: (i) CoHCF: 0,0 - 0,8 V vs. Ag/AgCl, $v = 50 \text{ mV s}^{-1}$ e 20 ciclos; (ii) NiHCF: -0,1 - 0,8 V vs. Ag/AgCl, $v = 100 \text{ mV s}^{-1}$ e 40 ciclos; (iii) CuHCF: 0,4 V - 1,0 V $v = 50 \text{ mV s}^{-1}$ e 40 ciclos voltamétricos.

Após a preparação dos EQMs, os mesmos foram avaliados quanto a sua estabilidade, a influência da concentração do eletrólito suporte em seu comportamento eletroquímico, bem como seu comportamento eletroquímico na presença de diferentes cátions e ânions. Por fim, foi avaliada por voltametria cíclica a interação entre os MHCF (M= Co, Ni e Cu) e as moléculas orgânicas de interesse, sendo elas: sulfanilamida, ciclamato de sódio e tiouréia. A dependência da corrente em função da concentração dos analitos foi investigada por voltametria cíclica (ciclamato de sódio) e por cronoamperometria (sulfanilamida e tiouréia).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Preparação dos eletrodos modificados

Inicialmente, o eletrodo de CV foi submetido a eletrossíntese dos compostos de coordenação MHCF (M= Co, Ni e Cu) via voltametria cíclica conforme mostrado na Figura 1, onde são observados os sucessivos ciclos de varredura de potenciais para a formação do filme e comportamento da reversibilidade das reações redox provenientes dos compostos de CoHCF, NiHCF, e CuHCF, respectivamente.

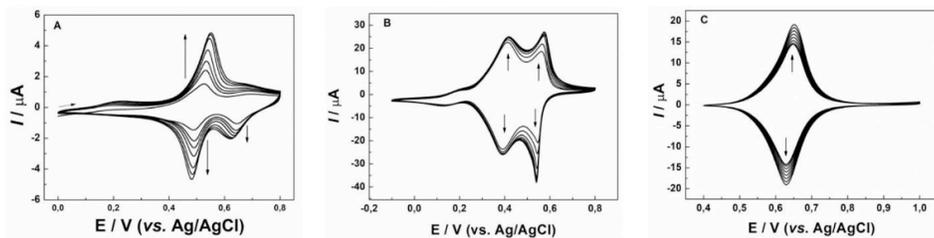
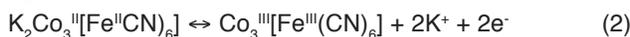
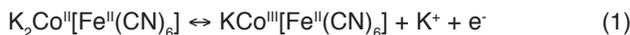
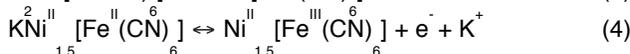
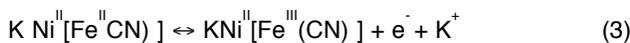


Figura 1. Voltamogramas obtidos durante a eletrossíntese dos filmes de (A) CoHCF, (B) NiHCF e (C) CuHCF sobre a superfície do eletrodo CV, $v = 50 \text{ mV s}^{-1}$.

Para o filme de CoHCF (Figura 1 A), o processo redox ocorre em aproximadamente 0,55 V e 0,62 V. Esses valores de potenciais de pico correspondem aos pares $\text{Co}^{\text{II}} \leftrightarrow \text{Co}^{\text{III}}$ e $\text{Fe}^{\text{II}} \leftrightarrow \text{Fe}^{\text{III}}$ e corroboram com valores descritos por Arduini *et al.* (2009). As equações (1) e (2) representam as reações redox envolvidas na formação do filme de CoHCF.

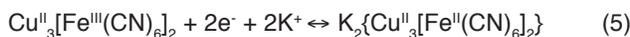


Os processos de oxidação e redução do filme de NiHCF (Figura 1 B) ocorrem em aproximadamente 0,40 V e 0,56 V e as respectivas reações químicas são descritas pelas equações (3) e (4), respectivamente:



Na equação química (3), observa-se a ocorrência da oxidação de $\text{Fe}^{\text{II}} \leftrightarrow \text{Fe}^{\text{III}}$ e a liberação de íon K^+ , enquanto que na equação (4) ocorre a redução de $\text{Fe}^{\text{III}} \leftrightarrow \text{Fe}^{\text{II}}$ com a incorporação de K^+ proveniente da solução (KARNJANAKOM *et al.*, 2014). Desta forma, a presença de íons potássio no filme de NiHCF implica na coexistência de duas formas estáveis de NiHCF e duas reações redox sobrepostas (CHEN, *et al.* 2009). Outro aspecto observado nos voltamogramas cíclicos de formação do filme de NiHCF é a diferença nas intensidades das correntes do, o que pode ser atribuído a maior força de interação entre o K^+ e o ferricianeto de níquel na espécie $\text{K}_2\text{Ni}^{\text{II}}[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]$ (ABBASPOUR; KHAJEHZADEH; GHAFARINEJAD, 2009).

No comportamento eletroquímico do filme de CuHCF, (Figura 1 C), foi observado a presença de um par de picos em 0,63 V, o qual apresentou características semelhantes àqueles descritos na literatura por Castro, Oliveira e Stradiotto (2010) e Gholivand *et al.* (2013), onde os processos redox do filme são mostrados na equação química (5).



Essa equação mostra que durante a reação de oxirredução há a incorporação dos íons K^+ à estrutura do filme, fator que contribui para a estabilidade e eletroneutralidade do complexo formado.

3.2 Caracterização eletroquímica dos eletrodos modificados

Após a formação dos filmes CoHCF, NiHCF e CuHCF, foi verificada a influência da presença de diferentes cátions e ânions no comportamento eletroquímico dos filmes variando a natureza do eletrólito suporte, conforme indicado na Figura 2.

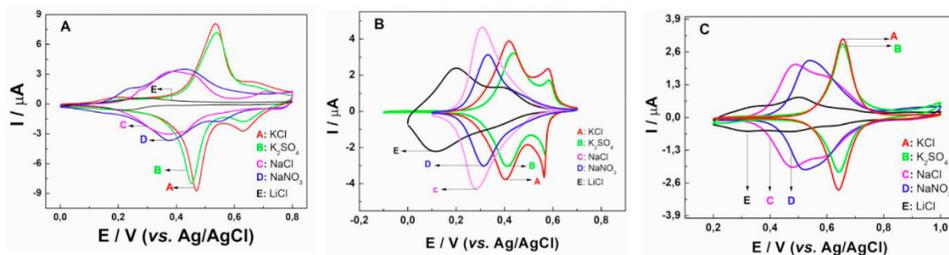


Figura 2. Voltamogramas obtidos para os EQM (A) CoHCF, (B) NiHCF e (C) CuHCF na presença de 0,10 mol L⁻¹ de **A**=KCl, **B**=K₂SO₄, **C**=NaCl, **D**=NaNO₃ e **E**=LiCl, $\nu = 20 \text{ mV s}^{-1}$.

Na Figura 2 é possível observar o efeito de três cátions de metais alcalinos (K⁺, Na⁺ e Li⁺) e três ânions (Cl⁻, NO₃⁻ e SO₄²⁻) no comportamento eletroquímico dos complexos. A mudança do comportamento eletroquímico em função da natureza dos eletrólitos evidencia que os cátions desempenham um papel significativo durante o processo de oxidação e redução da superfície na tentativa de penetrar na estrutura dos hexacianoferratos metálicos. Esta diferença observada pode ser explicada pela inserção/de-inserção do cátion de metal alcalino nos canais presentes na estrutura cristalina do complexo, durante os processos de transferência de carga. Apesar do raio iônico do K⁺, Na⁺, Li⁺ serem 276, 204 e 148 pm, respectivamente, os cátions com maior raio iônico penetram mais facilmente na estrutura do complexo devido a menor esfera de hidratação (TACCONI; RAJESHWAR; LEZNA, 2003; CASTILHO; STRADIOTTO, 2008; SCHOLZ; DOSTAL, 1995). Desta forma, o K⁺ participa efetivamente dos processos superficiais de oxidação e redução do filme tornando-os reversíveis e mais definidos. Na presença dos eletrólitos KCl e K₂SO₄, o comportamento eletroquímico dos filmes apresentaram uma redução na intensidade das correntes de pico, o que foi atribuída a possível interação entre os filmes formados e o átomo de enxofre presente no íon sulfato. A mesma diminuição de intensidade de corrente de pico foi verificada nos voltamogramas cíclicos dos filmes na presença de NaCl e NaNO₃, mostrando possível interação entre os ânions e o filme.

Após verificado que os filmes de CoHCF, NiHCF e CuHCF apresentaram um melhor comportamento eletroquímico na presença do eletrólito suporte com íons K⁺, a presença de KNO₃ em diferentes concentrações foi investigada, conforme mostrado na Figura 3.

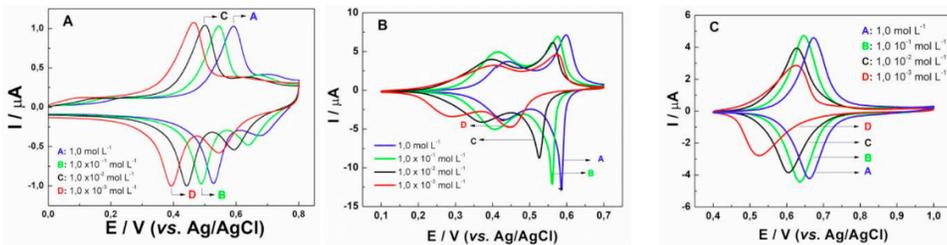


Figura 3. Voltamogramas obtidos para os EQM (A) CoHCF, (B) NiHCF e (C) CuHCF na presença de diferentes concentrações de KNO₃, $\nu = 20 \text{ mV s}^{-1}$.

Na Figura 3, os valores de potenciais de pico dos dois processos redox dos filmes apresentaram um deslocamento em direção a potenciais mais positivos conforme aumentou-se a concentração do eletrólito. Os valores de corrente de pico dos filmes de NiHCF e CuHCF sofreram uma diminuição em suas intensidades conforme diminuiu-se as concentrações do eletrólito. A ocorrência deste comportamento eletroquímico indica que menor quantidade de íons participam das reações redox superficiais provavelmente devido às limitações associadas a propagação de cargas no interior da estrutura do complexo, predominante em soluções com menores concentrações de K⁺ (GHOLIVAND; KHODADADIAN; OMIDI, 2013).

Com a finalidade de verificar os processos que ocorrem na superfície dos filmes MHCF (M= Co, Ni e Cu), os mesmos foram submetidos a diferentes velocidades de varredura, conforme mostra a Figura 4. Os resultados obtidos apresentados mostram a relação entre as correntes de pico anódicas e catódicas tanto com a velocidade de varredura e como com a raiz quadrada da velocidade de varredura.

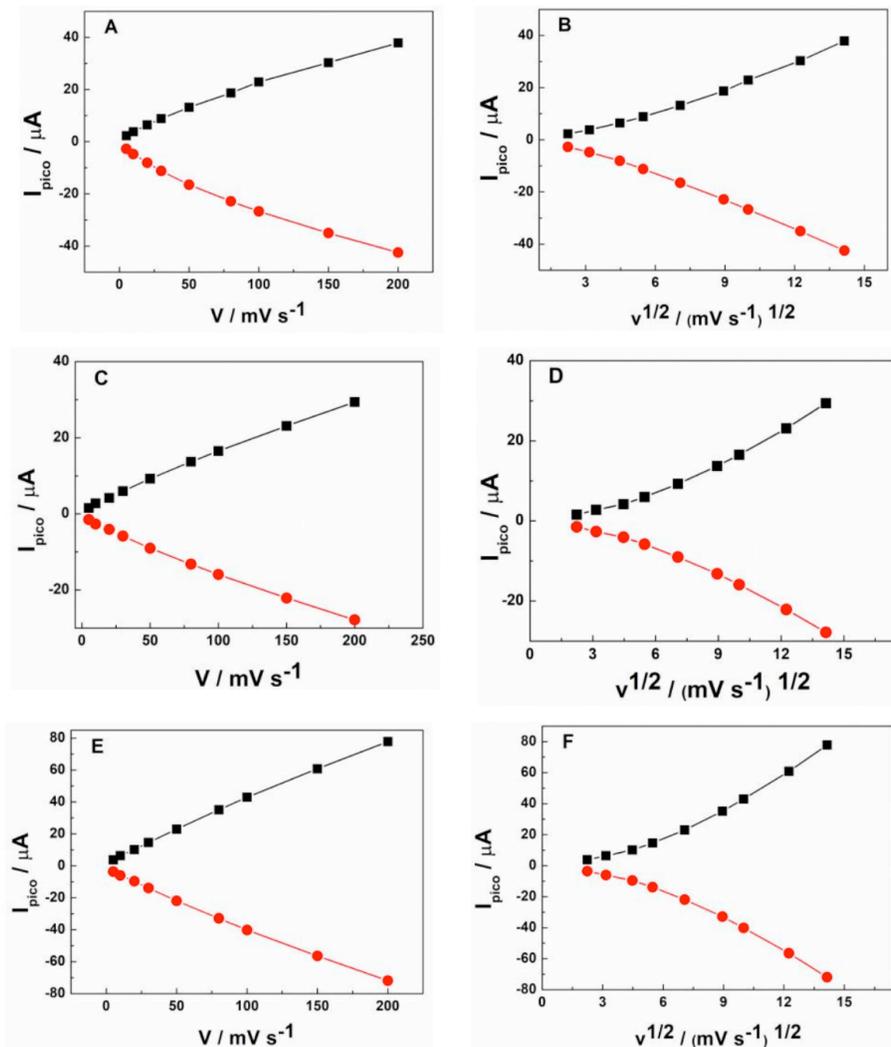


Figura 4. Variação das correntes de pico anódica e catódica dos filmes CoHCF, NiHCF, e CuHCF *versus* velocidade de varredura (A-C-E) e *versus* a raiz quadrada da velocidades de varredura (B-D-F). As velocidades de varredura foram: 5 mV s^{-1} ; 10 mV s^{-1} ; 20 mV s^{-1} ; 30 mV s^{-1} ; 50 mV s^{-1} ; 80 mV s^{-1} ; 100 mV s^{-1} ; 150 mV s^{-1} e 200 mV s^{-1} .

Na voltametria cíclica espera-se que o transporte de massa seja por difusão, nesta a corrente de pico é descrita pela equação de Randles-Sevcik (6).

$$i_p = 2,69 \times 10^{-5} n^{3/2} A D^{1/2} C V^{1/2} \quad (6)$$

Onde i_p corresponde a corrente de pico, A é a área do eletrodo de CV, n é o número de elétrons, D é o coeficiente de difusão da espécie, C a concentração e v a velocidade

de varredura de potencial (GANESH; MAHESWARI, BERCHMANS, 2011; GHOLIVAND; KHODADADIAN; OMIDI, 2013).

Na equação 6 observa-se que a corrente de pico é diretamente proporcional à concentração e $v^{1/2}$. A partir dos dados obtidos, indicado na Figura 4B, nota-se que as correntes de pico anódica e catódica aumentaram em função da raiz quadrada da velocidade de varredura de forma linear, indicando que o processo de transferência eletrônica é controlado pelas espécies adsorvidas sobre a superfície do eletrodo de CV. Enquanto que na Figura 4D, e 4F observa-se que a relação entre a raiz quadrada da velocidade de varredura com a corrente não apresentou um comportamento linear indicando que não há um controle difusional no transporte de carga na superfície dos filmes de NiHCF e CuHCF (GHOLIVAND; KHODADADIAN; OMIDI, 2013).

Posteriormente, foi investigada a estabilidade dos filmes MHCF (M= Co, Ni e Cu), conforme indicado na Figura 5. Nesta etapa, o objetivo foi de identificar a perda da área ativa, que é causada pela lixiviação do filme.

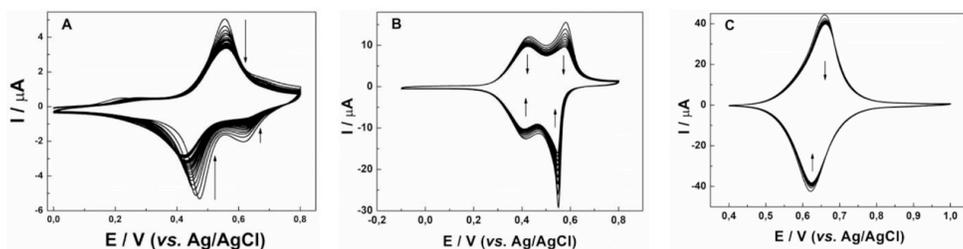


Figura 5. Estabilidade dos filmes (A) CoHCF em solução KCl 0,1 mol L⁻¹ durante 250 ciclos sucessivos com velocidade de varredura de 50 mV s⁻¹. (B) NiHCF em solução KNO₃ 0,1 mol L⁻¹ durante 400 ciclos sucessivos com velocidade de varredura de 100 mV s⁻¹. (C) CuHCF em solução KNO₃ 0,1 mol L⁻¹ durante 400 ciclos sucessivos com velocidade de varredura de 100 mV s⁻¹.

Na Figura 5 as intensidades de corrente de pico dos filmes foram analisadas, sendo observado um decréscimo de corrente para os filmes de CoHCF, NiHCF e CuHCF em 33,39%, 19,66% e 10,33%, respectivamente. Este fato está relacionado com a dissolução gradual do complexo na solução de eletrólito.

3.3 Eletrooxidação das moléculas sulfuradas sobre os filmes de CoHCF, NiHCF e CuHCF

Após a caracterização eletroquímica dos hexacioanoferrato metálicos, foi verificada a interação dos complexos com as moléculas orgânicas de interesse, sendo elas: sulfanilamida, ciclamato de sódio e tiouréia, conforme mostrada da Figura 6.

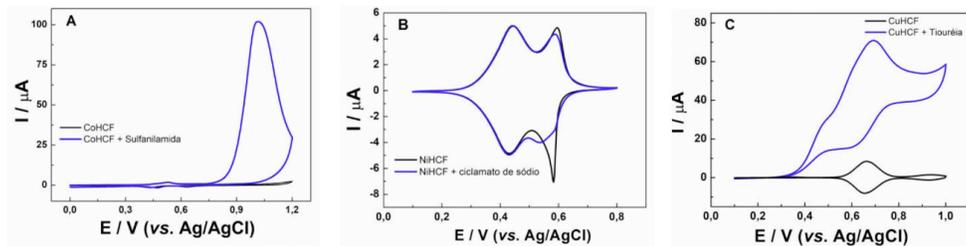


Figura 6. Perfil voltamétrico obtidos para os EQMs (A) CoHCF na ausência e presença de sulfanilamida $10 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$. (B) NiHCF na ausência e presença de ciclamato de sódio $10 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ (C) CuHCF ausência e presença de uma solução de tiouréia $10 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ numa velocidade de varredura de 20 mV s^{-1}

Na Figura 6A correspondente ao filme CoHCF, observa-se a presença de um pico irreversível bem definido em aproximadamente 1V, devido a eletrooxidação da molécula de sulfanilamida. Em 6B, para o filme de NiHCF, foi observado a diminuição da corrente de pico catódica no potencial de aproximadamente 0,56 V, indicando assim que há uma interação entre o filme de NiHCF com o aditivo alimentar. Enquanto que em 6C o filme de CuHCF sofreu um aumento nas intensidades de corrente de pico anódica e catódica devido a interação com a molécula de tiouréia. As influências observadas no comportamento eletroquímico dos filmes indicam que uma resposta analítica pode ser obtida destas interações. Portanto, verificou-se a relação entre correntes e as concentrações das moléculas de sulfanilamida, ciclamato de sódio e tiouréia, conforme indicado na Figura 7.

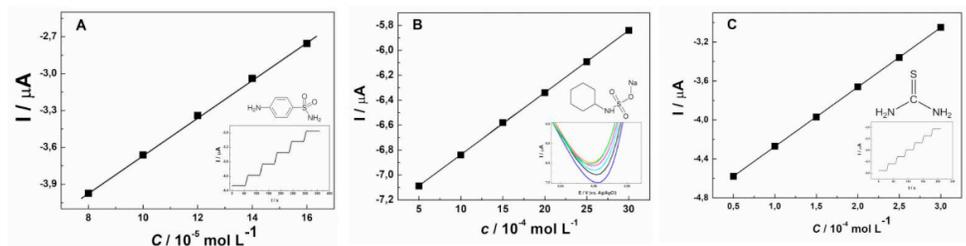


Figura 7. Curva analítica obtida para o eletrodo modificado com (A) CoHCF na presença de sulfanilamida em um intervalo de concentração de 8 e $16 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ com o potencial fixo em 1 V. (B) NiHCF na presença de ciclamato de sódio em um intervalo de concentração 5 e $30 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ no potencial de 0,56 V. (C) CuHCF utilizando as concentrações de 5 e $30 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ de tiouréia em potencial fixo 0,69V.

As curvas analíticas apresentadas na Figura 7 mostram um aumento linear da corrente em função da concentração das moléculas orgânicas. As principais características de desempenho analítico para a metodologia proposta são apresentadas na Tabela 1.

Características de desempenho	Sulfanilamida	Ciclamato de sódio	Tiouréia
LD (mol L ⁻¹)	5,80 x 10 ⁻⁵	1,15 x 10 ⁻³	2,82 x 10 ⁻³
LQ (mol L ⁻¹)	1,93 x 10 ⁻⁴	3,83 x 10 ⁻³	9,40 x 10 ⁻³
Faixa Linear (mol L ⁻¹)	8 – 16 x 10 ⁻⁵	5 – 30 x 10 ⁻⁴	5 – 30 x 10 ⁻⁴
R ²	0,999	0,999	0,999

LD = limite de detecção, LQ = limite de quantificação, R² = Coeficiente de determinação

Tabela 1. Principais características de desempenho analítico obtidas para a determinação de sulfanilamida, ciclamato de sódio e tiouréia.

Analisando a Tabela 1, a faixa de trabalho proposta apresentou boa linearidade (R² = 0.999) para as moléculas orgânicas de interesse. Sendo assim, podemos inferir que os MHCF (M= Co, Ni e Cu) associados às técnicas eletroquímicas utilizadas nesse estudo são potencialmente viáveis para a determinação de sulfetos presente em medicamentos, aditivos alimentares, e em águas residuais.

4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho os filmes de CoHCF, NiHCF, e CuHCF foram sintetizados pela técnica de voltametria cíclica e os mesmos foram investigados quanto ao comportamento em diferentes eletrólitos, estabilidade e sua interação com moléculas sulfuradas presentes em medicamentos, aditivo alimentar e águas residuais. Os filmes formados sofreram influência do cátion K⁺, enquanto que somente o íon SO₄²⁻ modificou o perfil voltamétrico do filme devido a sua interação com o complexo. A interação dos EQMs com as moléculas de sulfanilamida, ciclamato de sódio e tiouréia apresentou resposta linear, o que demonstra a potencial viabilidade destes dispositivos para a detecção das moléculas de interesse em amostras reais.

REFERÊNCIAS

ABBASPOUR, A.; GHAFFARINEJAD, A. Electrocatalytic oxidation of l-cysteine with a stable copper–cobalt hexacyanoferrate electrochemically modified carbon paste electrode. **Electrochim. Acta**, v. 53, p. 6643–6650, 2008.

ABBASPOUR, A.; KHAJEHZADEH, A.; GHAFFARINEJAD, A. Electrocatalytic oxidation and determination of hydrazine on nickel hexacyanoferrate nanoparticles-modified carbon ceramic electrode, **J. Electroanal. Chem.**, v. 631, p. 52–57, 2009.

ARAÚJO, C. R. M.; LEITE FILHO, C. A.; SANTOS, V. L. A.; MAIA, G. L. A.; GONSALVES, A. A. Desenvolvimento de fármacos por hibridação molecular: uma aula prática de química medicinal usando comprimidos de paracetamol e sulfadiazina e a ferramenta virtual *scifinder*[®]. **Quím. Nova**, v. 38, p. 868–873, 2015.

ARDUINI, F.; CASSINI, A.; AMINE, A.; RICCI, F.; MOSCONE, D.; PALLESCI, G. Electrocatalytic oxidation of thiocholine at chemically modified cobalt hexacyanoferrate screen-printed electrodes. **J. Electroanal. Chem.**, v. 626, p. 66–74, 2009.

CASTILHO, M. S.; STRADIOTTO, N. R. Determination of potassium ions in biodiesel using a nickel(II) hexacyanoferrate-modified electrode. **Talanta**, v.74, p.1630–1634, 2008.

CASTRO, S. S. L.; OLIVEIRA, M. F.; STRADIOTTO, N. R. Study of the Electrochemical Behavior of Histamine Using a Nafion®-Copper(II) Hexacyanoferrate Film-Modified Electrode. **Int. J. Electrochem. Sci.**, V.5, p.1447 – 1456, 2010.

CHEN, W.; TANG, J.; CHENG, H-J.; XIA, X-H. A simple method for fabrication of sole composition nickel hexacyanoferrate modified electrode and its application. **Talanta**, v. 80, p. 539–543, 2009

GANESH, V.; MAHESWARI, D. L.; BERCHMANS, S. Electrochemical behaviour of metal hexacyanoferrate converted to metal hydroxide films immobilized on indium tin oxide electrodes—Catalytic ability towards alcohol oxidation in alkaline médium. **Electrochim. Acta.**, v.56, p.1197–1207, 2011.

GHOLIVAND, M. G.; KHODADADIAN, M.; OMIDI, M. Amperometric sensor based on a graphene/copper hexacyanoferrate nano-composite for highly sensitive electrocatalytic determination of captopril. **Materials Science and Engineering C.**, v.33, p.774–781, 2013.

HAN, L.; WANG, Q.; TRICARD, S.; LIU, J.; FANG, J.; ZHAO, J.; SHENB, W. Amperometric detection of hydrogen peroxide utilizing synergistic action of cobalt hexacyanoferrate and carbon nanotubes chemically modified with platinum nanoparticles. **RSC Adv.**, v.3, 281-287, 2013.

HARRIS, D. C., *Análise Química Quantitativa*, 6ª Edição, LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro-RJ, 2005.

HONORATO, T. C.; BATISTA, E.; NASCIMENTO, K. O.; PIRES, T. Aditivos alimentares: aplicações e toxicologia. **Rev. Verde**, v. 8, p. 01 - 11, 2013.

KARNJANAKOM, S.; MA, Y.; GUAN, G.; PHANTHONG, P.; HAO, X.; DU, X.; SAMART, C.; ABUDULA, A. Fabrication of nickel hexacyanoferrate film on carbon fibers by unipolar pulse electrodeposition method for electrochemically switched ion exchange application. **Electrochim. Acta.**, v.139, p.36–41, 2014.

MATSUURA, H.; WATANABE, S.; AKATSUKA, H.; OKAMOTO, Y.; ADYA, A. K. XAFS analyses of molten metal fluorides. **J. Fluor. Chem.**, v. 130, p.53-60, 2009.

MATTOS, I. L., GORTON, L. Filmes de metal-hexacianoferrato: uma ferramenta em química analítica. **Quím. Nova**, v. 24, p. 200–205, 2001

MOSES, P. R.; WIER, L. M.; MURRAY, R. W. Chemically modified tin Oxide Electrode. **Anal. Chem.**, v. 47, p. 1882-1886, 1975.

MURRAY, R. W. em Bard, A. J. (Ed.), *Electroanalytical Chemistry*. New York: M. Dekker, v. 13, p.191, 1984.

NEFF, V. D. Electrochemical oxidation and reduction of thin films of prussian blue. **J. Electrochem. Soc.**, v.125, p. 886–887, 1978.

PRABAKAR, S. J. R.; NARAYANAN, S. S. Amperometric determination of hydrazine using a surface modified nickel hexacyanoferrate graphite electrode fabricated following a new approach. **J. Electroanal. Chem.**, v. 617, p. 111–120, 2008.

SCHOLZ, F.; DOSTAL, A. The Formal Potentials of Solid Metal Hexacyanometalates. **Angew Chem Int. Ed. Engl.** V.34, n.23-24, p.2685-2687, 1995.

SHARMA, V. V.; GUADAGNINI, L.; GIORGETTI, M.; TONELLI, D. Electrocatalytic determination of thiols using hybrid copper cobalt hexacyanoferrate modified glassy carbon electrode. **Sens. Actuators B Chem.**, v. 228, p. 16–24, 2016.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. Fundamentos de Química Analítica, Tradução da 8ª Edição norte-americana, Editora Thomson, São Paulo-SP, 2006.

TACCONI, N. R.; RAJESHWAR, K.; LEZNA, R. O. Metal Hexacyanoferrates: Electrolysis, in situ characterization, and applications **Chem. Mater.** v.15, p.3046-3062, 2003.

TIAN, L.; GAO, Y.; LI, L.; WU, W.; SUN, D.; LU, J.; LI, T. Determination of thiourea using a carbon paste electrode decorated with copper oxide nanoparticles. **Microchim Acta**, v.180, p. 607–612, 2013.

TIMOFEEV, V. V.; LEVIN, M. B.; STARIKOVA, A. A.; TROFIMOV, M. A.; KORNEEV, S. M.; MIKHELSON, K. N. Solid-Contact Ion-Selective Electrodes with Copper Hexacyanoferrate in the Transducer Layer. **Russ J. Electrochem.**, v. 54, p. 400–408, 2018.

ÍNDICE REMISSIVO

A

- Abióticos 35
- Ácidos graxos 30, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41
- Águas residuais 43, 53, 58, 115
- Amperometria 43
- Analito 4, 60, 62, 79, 89, 94, 132, 133, 156
- Ânions 43, 46, 47, 48, 74, 118
- Antibióticos 73, 74
- Anti-inflamatório 22
- Antimicrobiano 1
- Antioxidantes 1, 2, 22, 40
- Área superficial 74, 87, 91, 191
- Atividade biológica 14, 34, 174

B

- Bióticos 35

C

- Cascas 24, 25, 26, 29, 32
- Cátions 43, 46, 47, 48, 74, 118
- Células 35, 101, 102, 155, 157, 172, 173, 174, 175, 178, 179
- Celulose 66, 178, 179, 180, 181
- Chá 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 145, 146, 147
- Compostos voláteis 24, 26
- Condutividade 58, 65, 74, 87, 94, 178, 179, 180, 181, 182, 183
- Contaminação ambiental 74
- Contaminação de alimentos 167
- Contaminante emergente 73
- Corante 178, 179, 180, 181, 182, 183
- Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas 24
- Curva analítica 52, 60, 65, 73, 76, 80, 81, 86, 89, 90, 95, 132, 133, 135, 137

D

- Desvio padrão relativo 57, 67, 81
- Doenças crônicas 2, 12

E

Eletrocatalítica 112, 123

Eletr deposição 44, 99, 100, 101, 102, 104, 105, 106, 108, 109, 170

Eletr odo modificado 52, 56, 57, 60, 63, 65, 68, 72, 73, 76, 86, 95, 112, 116, 117, 119, 121, 123, 124, 125

Eletrólito suporte 46, 47, 48, 60, 76, 112, 115, 119, 120, 125

Eletr o-oxidação 101

Eletr oquímica 43, 44, 45, 47, 51, 57, 58, 60, 63, 70, 74, 76, 85, 89, 90, 93, 99, 101, 102, 103, 112, 115, 117

Exatidão 4, 128, 131, 133, 135, 136, 137

F

Fármacos 53, 73, 144, 146, 147, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195

Figuras de mérito 7, 9, 10, 11, 128, 131, 133, 135, 136, 137, 139

Filme híbrido 116, 117, 123, 124, 125

Folhas 3, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 32, 76, 77, 92

Fotocatálise heterogênea 184, 185, 186, 187, 194, 195, 198

H

Hidrodestilação 14, 15, 16, 21, 22, 24, 27, 28, 29, 30, 31

L

Limite de detecção 8, 43, 53, 66, 80, 86, 95, 132, 184

Limite de quantificação 53, 80, 86, 95

M

Matrizes ambientais 73

Mecanismos de adsorção 87, 157, 158

Metais 3, 11, 43, 44, 45, 48, 99, 100, 112, 114, 115, 116, 167, 168, 169, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177

Métodos analíticos 1, 74, 112, 133, 136, 138, 139, 150

Microscopia eletrônica de varredura 88, 99, 103, 109

O

Óleos essenciais 14, 15, 16, 20, 21, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33

Osmose 178, 179, 180, 181, 182, 183

P

Peroxidação foto-assistida 186

Pesticidas 45, 142, 144, 145, 151, 174, 185

Planejamento experimental 128, 131, 137

Potencialmente tóxicos 153, 154, 158, 167, 168, 169, 172, 173, 174, 175, 176

Precisão 4, 7, 8, 61, 68, 76, 81, 128, 131, 133, 135, 136, 137

Preparo de amostra 58, 130, 140, 142, 148, 151

Processos metabólicos 35, 153, 155

Processos oxidativos avançados 198

Produtos naturais 2, 24, 35

Q

QuEChERS 140, 142, 143, 144, 148, 149, 150, 151

Química verde 140, 141, 142, 145, 146, 147, 148, 150, 151

Quimiometria 1, 4

R

Radiação 4, 32, 103, 132, 184, 185, 186, 187, 189, 190, 191, 195, 198

Repetibilidade 57, 61, 67, 73, 76, 81

Reprodutibilidade 57, 61, 67, 73, 76, 81

Resíduos 58, 74, 116, 140, 141, 142, 144, 147, 148, 150, 170, 185, 198

S

Sensibilidade 4, 7, 56, 58, 62, 73, 74, 78, 94, 132, 135, 140

Sensor 54, 56, 57, 59, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 83, 84, 85, 86, 97, 98, 126, 127

Sensor eletroquímico 56, 59, 72, 85, 86

Solvente 16, 27, 28, 29, 31, 58, 131, 144, 147, 178, 180, 182

V

Voltametria cíclica 43, 46, 50, 53, 101, 112, 116, 120, 125

Voltametria de pulso diferencial 56, 60, 76, 86, 89

Voltamograma 99, 105, 106, 121

Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química 2

- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 @atenaeditora
- 📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química 2

- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 @atenaeditora
- 📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

