

**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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Prof<sup>ª</sup> 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 Cremona  
**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](http://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; 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 HEXACIANO FERRATO 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**

# CAPÍTULO 10

## PREPARAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO ELETROQUÍMICA E APLICAÇÃO DE ELETRODOS MODIFICADOS COM FILMES HÍBRIDOS DE HEXACIANOFERRATO DE METAIS

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 13/11/2020

### **Edervaldo Buffon**

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

### **Maria de Lourdes Soprani Vasconcelos**

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

### **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:** Este trabalho relata a síntese de eletrodos modificados com filmes híbridos de hexacianoferrato metálico e seu respectivo comportamento eletroquímico. A viabilidade da aplicação desses compostos na eletrooxidação de espécies também foi abordada. Inicialmente, o estudo das propriedades eletroquímicas de um eletrodo modificado com filme de hexacianoferrato de cobre e cobalto (CuCoHCF), realizado por voltametria cíclica, mostrou que o

perfil voltamétrico do filme foi fortemente afetado pela natureza e concentração do eletrólito suporte. Além disso, o processo de transferência eletrônica na interface do eletrodo modificado CuCoHCF foi controlado exclusivamente pelas espécies adsorvidas na superfície. Posteriormente, um eletrodo modificado com filme de hexacianoferrato de ferro e níquel (FeNiHCF) foi preparado e aplicado na eletrooxidação do íon tiosulfato. Os resultados mostraram que o FeNiHCF tem maior atividade electrocatalítica para a reação de eletrooxidação de  $S_2O_3^{2-}$  quando comparado aos filmes de hexacianoferrato de ferro (FeHCF) e hexacianoferrato de níquel (NiHCF). Os estudos foram importantes para o entendimento das características e propriedades eletroquímicas dos filmes híbridos do tipo  $M_1M_2HCF$  e mostraram a viabilidade do uso no desenvolvimento de métodos analíticos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hexacianoferrato de ferro e níquel; hexacianoferrato de cobre e cobalto; tiosulfato de sódio; comportamento eletroquímico; eletrodo modificado.

### PREPARATION, ELECTROCHEMICAL CHARACTERIZATION AND APPLICATION OF METAL HEXACYANOFERRATE HYBRID-FILMS MODIFIED ELECTRODES

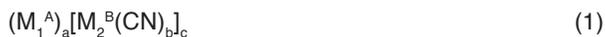
**ABSTRACT:** This work reports the synthesis of modified electrodes with hybrid films of metal hexacyanoferrate and its electrochemical behavior. The feasibility of applying these compounds in the electrooxidation of species was also addressed. Initially, the study of the electrochemical properties of an electrode modified with copper and cobalt hexacyanoferrate

film (CuCoHCF), performed by cyclic voltammetry, showed that the voltammetric profile of the film was strongly affected by the nature and concentration of the supporting electrolyte. In addition, the electronic transfer process at the CuCoHCF modified electrode interface was controlled exclusively by the adsorbed species on the surface. Subsequently, an electrode modified with iron and nickel hexacyanoferrate film (FeNiHCF) was prepared and applied in the thiosulfate ion electrooxidation. The results showed that the FeNiHCF has greater electrocatalytic activity towards  $S_2O_3^{2-}$  electrooxidation reaction when compared to iron hexacyanoferrate (FeHCF) and nickel hexacyanoferrate (NiHCF) films. The studies were important for the understanding of the electrochemical characteristics and properties of the  $M_1M_2$ HCF-type hybrid films and showed the feasibility of the use in the development of analytical methods.

**KEYWORDS:** Iron–nickel hexacyanoferrate; copper–cobalt hexacyanoferrate; sodium thiosulfate; electrochemical behavior; modified electrode.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os hexacianometalatos são compostos inorgânicos polinucleares contendo diferentes espécies metálicas em sua composição. Essas espécies metálicas, por sua vez, apresentam distintos estados de oxidação (CUI; HONG; LIN, 2002a; MATTOS; GORTON, 2001). Esses compostos inorgânicos são representados pela seguinte fórmula geral:



onde “ $M_1$ ” e “ $M_2$ ” correspondem a espécies metálicas, “A” e “B” referem-se aos diferentes estados de oxidação e “a”, “b” e “c” representam a estequiometria da estrutura.

O hexacianometalato mais conhecido e estudado é o hexacianoferrato de ferro ( $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ ; FeHCF), também conhecido como azul da Prússia. Neste composto, os centros metálicos de ferro (II) e ferro (III) são intercalados com os ligantes ciano (CN<sup>-</sup>), de modo que cada centro metálico está coordenado a seis grupos CN<sup>-</sup> em uma estrutura cúbica de face centrada (Figura 1).

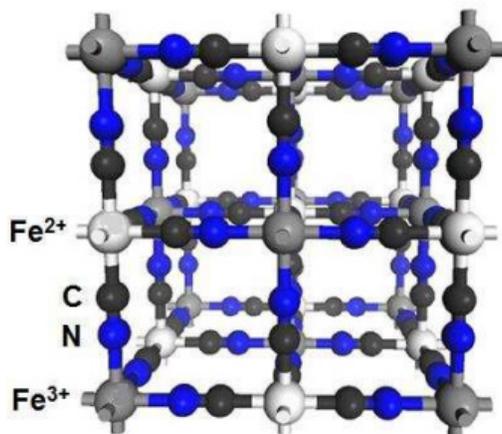


Figura 1. Representação da estrutura cúbica de face centrada para o azul da Prússia (ASSIS, 2018).

Itaya, Shoji e Uchida (1984) e Neff (1978) reportaram os primeiros estudos sobre eletrodos modificados com hexacianoferrato de metais utilizando filmes de FeHCF. Após a publicação desses trabalhos pioneiros, o comportamento eletroquímico de vários análogos de FeHCF tem sido reportado na literatura. Esses análogos incluem AgHCF, BiHCF, CoHCF, CuHCF, InHCF, MnHCF, NiHCF, PdHCF, PtHCF, RuHCF, SnHCF, VHCF, YHCF e ZnHCF (CUI; HONG; LIN, 2002a; LIN; HONG; CHEN, 2012; LIU; XU, 2007; VINU MOHAN *et al.*, 2014).

Cada um dos hexacianoferratos mencionados acima possui características e propriedades eletroquímicas únicas. Em razão disso, a preparação de filmes híbridos de hexacianoferrato de metais ( $M_1M_2$ HCF) tem sido uma abordagem amplamente explorada devido à combinação das características e propriedades dos precursores utilizados (WANG *et al.*, 2018). Como exemplo do benefício dessa combinação, os compostos  $M_1M_2$ HCF podem minimizar efeitos de dissolução gradual geralmente observados na aplicação de eletrodos modificados com filmes de hexacianoferratos monometálicos na análise de algumas substâncias (YU *et al.*, 2013).

Ghasemi, Ojani e Ausi (2014) mostraram que o híbrido NiCoHCF, quando comparado ao NiHCF ou CoHCF, possui uma melhor performance para ser utilizado como material de eletrodo em supercapacitores. Li *et al.* (2018) relataram que o híbrido CuNiHCF, quando empregado como cátodo em baterias de íons sódio, apresenta uma maior capacidade de retenção de carga em relação ao CuHCF. Pandey e Pandey (2013) demonstraram que híbridos de FeHCF contendo manganês, níquel e cobre apresentam maior eficiência catalítica para a reação de oxidação de peróxido de hidrogênio em comparação com o azul da Prússia policristalino. Long *et al.* (2019) reportaram que o híbrido CuNiHCF, quando comparado ao NiHCF, possui maior capacidade para a remoção de  $Co^{+2}$  a partir de

soluções aquosas.

Além das aplicações supracitadas, os filmes de hexacianoferrato de metais podem ser utilizados para a eletrooxidação de várias moléculas, tais como cisteína (ABBASPOUR; GHAFFARINEJAD, 2008), hidrazina (ABBASPOUR; KAMYABI, 2005), hidroxilamina (CUI; HONG; LIN, 2002b), triptofano (LIU; XU, 2007), tiofenos (SHARMA *et al.*, 2014) e outros.

O tiosulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) é um composto com importantes aplicações industriais, incluindo síntese química, tratamento de águas residuais, separação de minerais, produção de papel, fabricação de couro e revelação fotográfica (BI *et al.*, 2014; RAOOF; OJANI; KARIMI-MALEH, 2010). Contudo, essa molécula tem se tornado um poluente ambiental devido ao seu descarte inadequado. Em razão disso, o desenvolvimento de metodologias analíticas para o monitoramento de tiosulfato é importante para os mais diversos segmentos industriais.

Na literatura, a eletrooxidação de tiosulfato tem sido reportada utilizando eletrodos modificados com filmes FeHCF, NiHCF, CoHCF, InHCF, RuHCF (CHEN, 1996; LIN; HONG; CHEN, 2012; SHANKARAN; NARAYANAN, 2002; WANG *et al.*, 2001). Por outro lado, nenhum estudo sobre a utilização de filmes híbridos para a eletrooxidação dessa molécula foi encontrado até o momento. Por esse motivo, a interação entre o íon tiosulfato e o composto FeNiHCF foi investigada para evidenciar a viabilidade de aplicação dos eletrodos híbridos do tipo  $M_1M_2\text{HCF}$ .

Dentro do exposto, este trabalho teve como objetivos (i) abordar o conceito de eletrodos híbridos de hexacianoferrato de metais através da síntese e caracterização eletroquímica de um eletrodo híbrido de CuCoHCF e (ii) mostrar a aplicação de um eletrodo híbrido de FeNiHCF na eletrooxidação do íon tiosulfato.

## 2 | PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiais e reagentes

Todos os reagentes utilizados neste trabalho foram de grau analítico. Esses reagentes incluem: hexacianoferrato de potássio ( $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ), sulfato de cobre pentahidratado ( $\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), nitrato de cobalto hexahidratado ( $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), nitrato de níquel hexahidratado ( $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), cloreto de ferro hexahidratado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), nitrato de potássio ( $\text{KNO}_3$ ), sulfato de potássio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), nitrato de sódio ( $\text{NaNO}_3$ ), cloreto de lítio ( $\text{LiCl}$ ) e tiosulfato de sódio pentahidratado ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). Todas as soluções foram preparadas utilizando  $\text{KNO}_3$  como eletrólito suporte e água deionizada obtida de um sistema MEGAPURITY - MEGA RO/UP.

A preparação dos eletrodos modificados foi realizada utilizando um potenciostato AUTOLAB PGSTAT 128N controlado pelo software GPES 4.9 e uma célula eletroquímica convencional contendo três eletrodos: um eletrodo de referência de Ag/AgCl, KCl (sat.), um fio de platina como eletrodo auxiliar e um eletrodo de carbono vítreo (CV;  $\varnothing = 3,0$  mm)

como o eletrodo de trabalho.

## 2.2 Preparação dos eletrodos modificados com filmes de hexacianoferrato de metais

Antes de modificar o CV com os filmes de hexacianoferrato de metais, este eletrodo foi polido mecanicamente utilizando uma suspensão de alumina (tamanho de partícula:  $0,050 \mu\text{m}$ ). Após o polimento, o eletrodo foi lavado com água deionizada para a remoção das partículas de alumina adsorvidas sobre sua superfície.

A modificação do CV com os filmes de hexacianoferrato de metais foi realizada pela técnica de voltametria cíclica, que consiste na aplicação de uma faixa de potencial sobre o sistema eletroquímico em estudo utilizando uma velocidade de varredura e um número de ciclos adequados para a formação do filme de interesse. Neste trabalho, todos os filmes de hexacianoferrato de metais foram eletrossintetizados sobre a superfície do CV utilizando uma velocidade de varredura de  $50 \text{ mV s}^{-1}$ .

Para a preparação do eletrodo modificado com filme de FeHCF, uma solução contendo  $2,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  e  $1,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  foi preparada usando  $\text{KNO}_3$   $0,10 \text{ mol L}^{-1}$  como eletrólito de suporte. Para a eletrossíntese deste filme, 10 ciclos voltamétricos foram aplicados em uma faixa de potencial de  $-0,20$  a  $1,20 \text{ V}$ .

A preparação do filme de NiHCF foi realizada utilizando uma solução contendo  $2,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $1,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  e  $0,10 \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{KNO}_3$ . A eletrossíntese deste filme foi conduzida por voltametria cíclica, onde 10 ciclos voltamétricos foram aplicados em uma faixa de potencial de  $-0,20$  a  $0,80 \text{ V}$ .

Para a preparação do eletrodo modificado com filme híbrido de FeNiHCF, o CV foi inserido em uma solução contendo  $2,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $2,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $1,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  e  $0,10 \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{KNO}_3$ . A formação do filme de FeNiHCF sobre a superfície do eletrodo foi realizada aplicando-se uma faixa de potencial de  $-0,20$  a  $1,20 \text{ V}$  durante 15 ciclos voltamétricos.

O filme híbrido de CuCoHCF foi preparado utilizando uma solução contendo  $3,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $2,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $1,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  e  $0,10 \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{KNO}_3$ . Para a eletrossíntese desse filme sobre a superfície do CV, uma faixa de potencial de  $0,0$  a  $1,0 \text{ V}$  foi aplicada durante 30 ciclos voltamétricos.

Após a eletrossíntese dos filmes de hexacianoferrato de metais, os eletrodos modificados foram lavados com água deionizada para remoção dos resíduos das soluções percussoras que estavam em contato com suas superfícies.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.3 Preparação e caracterização eletroquímica do eletrodo modificado com filme de CuCoHCF

Inicialmente foi realizada a eletrossíntese do composto CuCoHCF sobre a superfície do CV. Os voltamogramas obtidos durante a formação do filme híbrido de CuCoHCF são mostrados na Figura 2, onde um aumento gradual das correntes de pico anódica e catódica foi observado ao final de cada ciclo de varredura, o que indica o crescimento deste filme sobre a superfície do eletrodo.

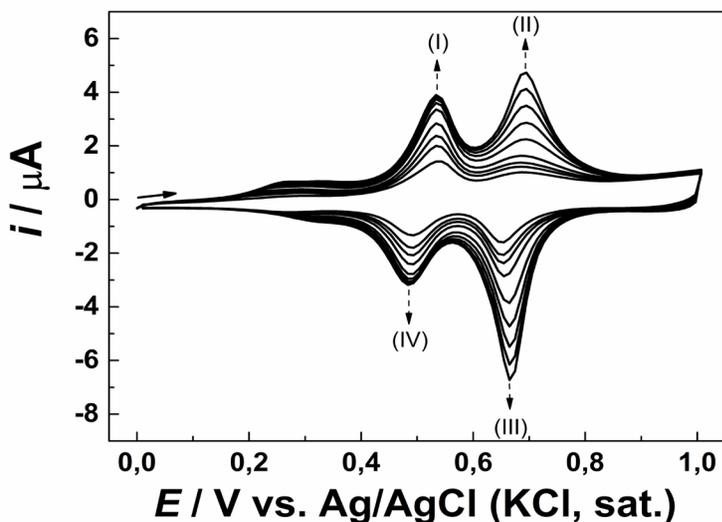
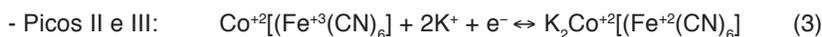
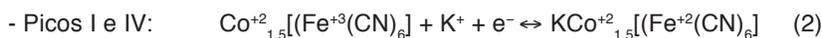


Figura 2. Voltamogramas obtidos durante a eletrossíntese do filme de CuCoHCF sobre a superfície do CV utilizando uma solução contendo  $3,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $2,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $1,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  e  $0,10 \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{KNO}_3$ ;  $v = 50 \text{ mV s}^{-1}$ .

O perfil voltamétrico obtido para o filme CuCoHCF é semelhante àqueles descritos por Cui, Hong e Lin (2002a), Jalali e Ranjbar (2014) e Abbaspour e Kamyabi (2005), onde dois pares de picos redox em 0,50 e 0,68 V são observados. Esses pares de picos são atribuídos ao CoHCF devido à presença de mais íons  $\text{Co}^{+2}$  do que  $\text{Cu}^{+2}$  na estrutura cristalina do CuCoHCF (CUI; HONG; LIN, 2002a; JALALI; RANJBAR, 2014). A espécie CuCoHCF não é apenas uma mistura de fases, mas um composto híbrido contendo  $\text{Cu}^{+2}$  e  $\text{Co}^{+2}$ . Na estrutura cristalina do CuCoHCF, os átomos de  $\text{Cu}^{+2}$  e  $\text{Co}^{+2}$  se coordenam com o átomo de nitrogênio, enquanto os átomos  $\text{Fe}^{+2}$  ocupam os sítios remanescentes e se coordenam com

o átomo de carbono (JALALI; RANJBAR, 2014).

Os processos anódicos e catódicos observados na Figura 2 são atribuídos à transição  $\text{Fe}^{+2} \leftrightarrow \text{Fe}^{+3}$  nas espécies  $\text{KCo}_{1,5}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  e  $\text{K}_2\text{Co}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ . Como pode ser visto, a diferença entre essas espécies é o nível de saturação dos centros de ferro pelos íons  $\text{K}^+$ . A transição  $\text{Fe}^{+2} \leftrightarrow \text{Fe}^{+3}$  pode ser descrita utilizando as seguintes equações:



O filme de  $\text{CuCoHCF}$  possui uma estrutura cúbica de face centrada que permite a migração de espécies iônicas através de seus canais intersticiais (CUI; HONG; LIN, 2002a). De acordo com Arduini *et al.* (2009), a mobilidade que as espécies iônicas possuem dentro desta estrutura pode influenciar o comportamento eletroquímico do filme de  $\text{CuCoHCF}$ . Nesta etapa, o perfil voltamétrico deste composto foi avaliado na presença de soluções eletrolíticas contendo  $\text{LiCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KNO}_3$  e  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Este estudo permitiu verificar a influência da natureza de diferentes cátions e ânions sobre os processos de transferência eletrônica na interface eletrodo/solução.

De acordo com Cui, Hong e Lin (2002a), os fatores que influenciam a mobilidade das espécies iônicas pela estrutura dos filmes de hexacianoferato são: (I) o raio hidrodinâmico das espécies iônicas, (II) o raio dos canais intersticiais do filme de hexacianoferato e (III) a interação química entre o filme de hexacianoferato e as espécies iônicas envolvidas. As espécies catiônicas investigadas neste trabalho foram o  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Li}^+$ , os quais possuem raios hidrodinâmicos com valores de 1,25; 1,80 e 2,10 Å, respectivamente (CUI; HONG; LIN, 2002a). Naturalmente, espera-se que cátions com os menores raios hidrodinâmicos tenham mais facilidade de permear os canais intersticiais do filme de  $\text{CuCoHCF}$ . O trabalho de Cui, Hong e Lin (2002a) mostra que a ordem de mobilidade dos cátions dentro das estruturas de  $\text{CuHCF}$  e  $\text{CoHCF}$  é a seguinte:  $\text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Li}^+$ . No entanto, as correntes dos voltamogramas apresentados na Figura 3A sugerem que a interação desses cátions com o filme de  $\text{CuCoHCF}$  ocorre na seguinte ordem:  $\text{K}^+ > \text{Li}^+ > \text{Na}^+$ . Esses resultados mostram que o tamanho do raio hidrodinâmico não é um fator determinante para a mobilidade desses cátions pela estrutura do filme de  $\text{CuCoHCF}$ .

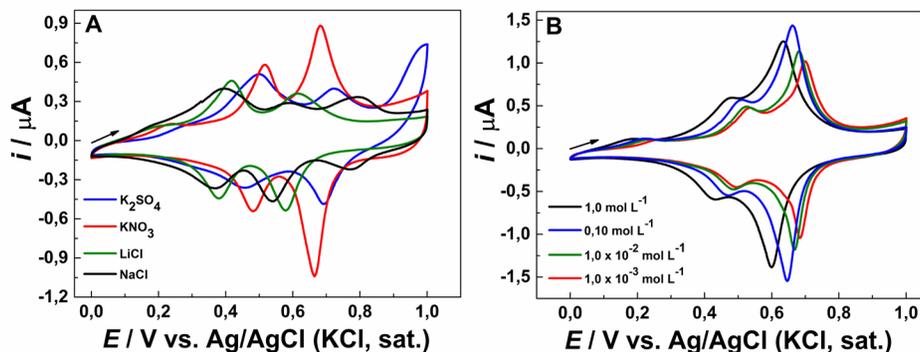


Figura 3. Voltamogramas obtidos para o eletrodo modificado com CuCoHCF na presença de (A) 0,10 mol L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KNO<sub>3</sub>, NaCl e LiCl e (B) diferentes concentrações de KNO<sub>3</sub>;  $\nu = 20$  mV s<sup>-1</sup>.

A mobilidade excepcional que os íons Li<sup>+</sup> têm para se mover dentro da estrutura de CuCoHCF pode ser explicada devido à desidratação parcial do raio hidrodinâmico desta espécie catiônica. Este fenômeno reduz o raio hidrodinâmico dos íons Li<sup>+</sup> a um tamanho apropriado para que esta espécie possa permear através da estrutura cristalina do filme de CuCoHCF (KULESZA *et al.*, 1998).

A Figura 3A mostra que os pares redox provenientes da transição Fe<sup>+2</sup> ↔ Fe<sup>+3</sup> apresentaram um deslocamento de potencial em função da natureza do cátion presente na composição da solução eletrolítica. Esse efeito ocorre porque as interações entre as espécies catiônicas e o filme de CuCoHCF causam alterações na estrutura cristalina desse complexo, o que influencia diretamente no potencial de ocorrência dos processos redox característicos das espécies de Fe (BOCARSLY; SINHA, 1982).

As espécies aniônicas também possuem a capacidade de permear a estrutura do filme de CuCoHCF. Como pode ser observado na Figura 3A, as correntes pico anódica e catódica apresentaram valores distintos na presença de soluções eletrolíticas contendo íons NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>. Este comportamento é explicado devido às diferentes interações desses íons com o filme de CuCoHCF. Os íons NO<sub>3</sub><sup>-</sup> promovem uma estabilização da estrutura cristalina do filme CuCoHCF, enquanto os íons SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> atacam quimicamente a estrutura deste complexo. Durante este ataque, os íons SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> removem os íons Fe<sup>+2/+3</sup> da estrutura de CuCoHCF para a formação de FeSO<sub>4</sub> ou Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. De acordo com Roig *et al.* (1993), este processo promove a degradação do filme de CuCoHCF. Como resultado, as correntes anódica e catódica deste filme são significativamente menores na presença de soluções eletrolíticas contendo íons SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>.

A influência da concentração do eletrólito suporte sobre o perfil voltamétrico do filme de CuCoHCF foi avaliada utilizando soluções de KNO<sub>3</sub> em uma faixa de concentração de 1,0×10<sup>-3</sup> a 1,0 mol L<sup>-1</sup>. A Figura 3B mostra que o perfil voltamétrico do filme de CuCoHCF

permaneceu inalterado na presença de diferentes concentrações de  $\text{KNO}_3$ . No entanto, com a diminuição da concentração desse eletrólito suporte, os picos redox característicos do filme de CuCoHCF apresentaram um deslocamento em direção a potenciais mais positivos e uma diminuição em suas intensidades de corrente. Este comportamento pode ser atribuído às limitações associadas à propagação de cargas dentro da estrutura de CuCoHCF (EFTEKHARI, 2002). Isso é mais evidente quando soluções eletrolíticas menos concentradas são utilizadas, pois a quantidade de íons  $\text{K}^+$  disponíveis para permear a estrutura de CuCoHCF é consideravelmente menor. Por outro lado, uma diminuição nas intensidades das correntes de pico foi observada quando a concentração do eletrólito suporte excedeu  $0,10 \text{ mol L}^{-1}$ , o que sugere uma saturação dos canais intersticiais da estrutura de CuCoHCF por íons  $\text{K}^+$ .

Medidas de voltametria cíclica foram realizadas em um intervalo de 5 a  $200 \text{ mV s}^{-1}$  para investigar a natureza do processo de transferência eletrônica na interface eletrodo/solução. A Figura 4A mostra que as correntes de pico anódica e catódica do filme de CuCoHCF aumentaram em função da velocidade de varredura. A Figura 4B, por sua vez, mostra que as correntes de pico variam linearmente com a velocidade de varredura, indicando que o processo de transferência eletrônica é controlado pelas espécies adsorvidas sobre a superfície do eletrodo. Além disso, a Figura 4C mostra que a variação das correntes de pico não possui um comportamento linear em função da raiz quadrada da velocidade de varredura, indicando que não há controle difusional sobre o processo de transferência eletrônica (ARDUINI *et al.*, 2009). Portanto, o processo de transferência eletrônica na interface eletrodo/solução é controlado apenas pelas espécies adsorvidas sobre a superfície eletródica.

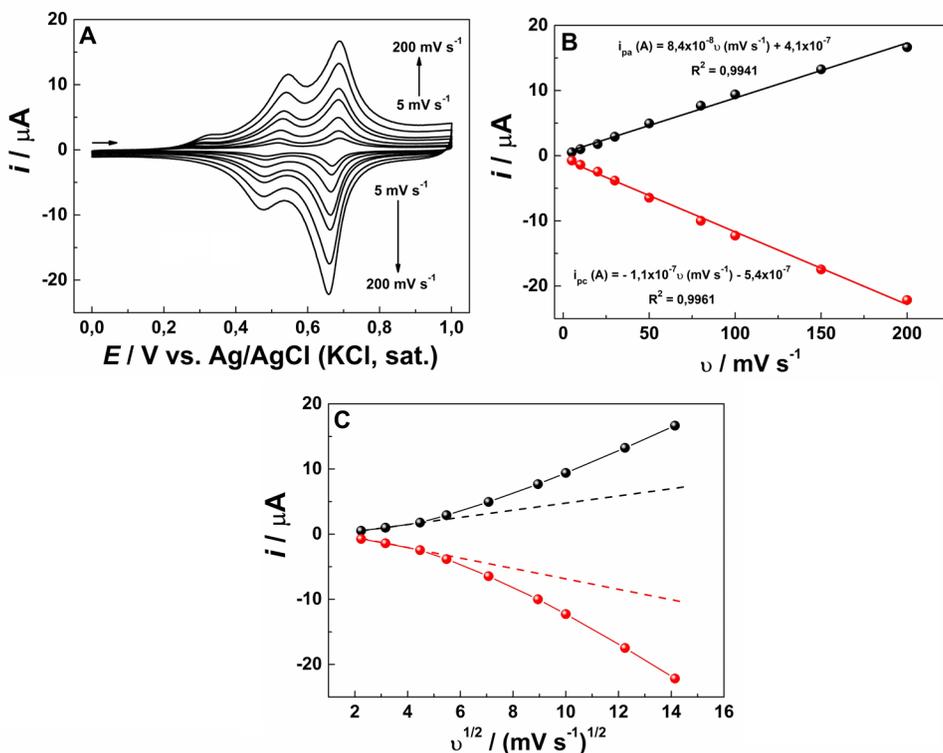


Figura 4. (A) Voltamogramas obtidos para o eletrodo modificado com CuCoHCF em diferentes velocidades de varredura utilizando uma solução de  $\text{KNO}_3$   $0,10 \text{ mol L}^{-1}$ ; (B) dependência das correntes de pico anódica e catódica com a velocidade de varredura e (C) dependência das correntes de pico anódica e catódica com a raiz quadrada da velocidade de varredura.

### 3.4 Preparação dos eletrodos modificados com filmes de FeNiHCF e aplicação na eletrooxidação de tiosulfato de sódio

Com o objetivo de mostrar a aplicação de um eletrodo híbrido de HCF, o composto FeNiHCF foi eletrossintetizado e sua atividade catalítica para a oxidação do íon tiosulfato foi investigada. Para fins comparativos, os filmes monometálicos de FeHCF e NiHCF também foram preparados e aplicados. A Figura 5 apresenta os voltamogramas obtidos durante a modificação do CV com os filmes FeHCF, NiHCF e FeNiHCF. A Figura 5A mostra que as correntes de pico anódica e catódica do filme de FeHCF aumentaram gradualmente com o aumento do número de ciclos de varredura, indicando o crescimento e/ou formação deste filme sobre a superfície do eletrodo.

O voltamograma cíclico do filme de FeHCF possui dois pares de picos redox: um em torno de  $0,16 \text{ V}$  (picos I e IV) e outro em aproximadamente  $0,85 \text{ V}$  (picos II e III). De acordo com Mattos e Gordon (2001), esses processos redox são descritos pelas seguintes equações:

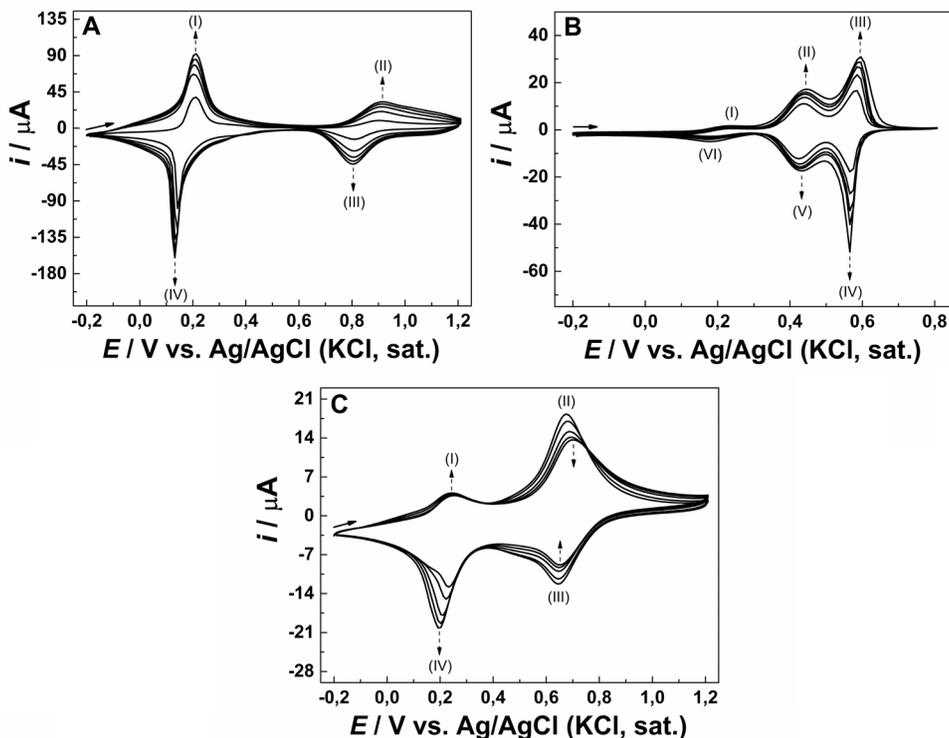
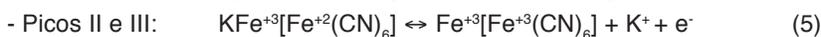
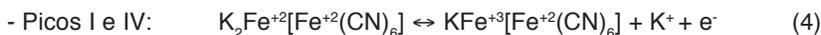
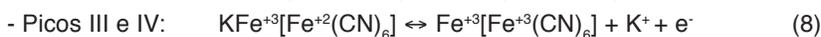
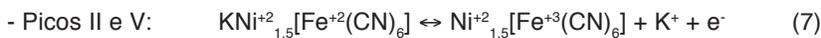


Figura 5. Voltamogramas obtidos durante a eletrossíntese dos filmes de (A) FeHCF, (B) NiHCF e (C) FeNiHCF sobre a superfície do CV,  $v = 50 \text{ mV s}^{-1}$ .

O azul da Prússia pode ser oxidado para verde da Prússia, bem como reduzido para branco da Prússia em potenciais em torno de 0,70 a -0,10 V vs. ECS (MATTOS; GORTON, 2001). Esses processos de oxidação/redução do azul da Prússia são descritos pela seguinte equação:



O comportamento eletroquímico do filme de NiHCF sobre a superfície do CV é mostrado na Figura 5B. Assim como para o filme de FeHCF, o aumento na intensidade das correntes de pico anódica e catódica foi observado em função do número de ciclos. As reações redox do filme de NiHCF foram descritas por Abbaspour, Khajezadeh e Ghaffarinejad (2009) da seguinte maneira:



A pequena diferença de potencial entre os picos II e V, assim como os picos III e IV, indica que as reações redox do filme de NiHCF possuem um comportamento tipicamente reversível. Os picos I e VI, por sua vez, foram atribuídos ao processo redox da espécie  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , presente na solução utilizada para a eletrossíntese do filme de NiHCF.

Na Figura 5C, a formação do filme híbrido de FeNiHCF foi observada pelo aumento da intensidade de corrente dos picos I e IV em torno de 0,20 V, bem como pela diminuição da intensidade de corrente dos picos II e III em aproximadamente 0,65 V. De acordo com Reddy, Dostal e Scholz (1996), o híbrido FeNiHCF existe como uma mistura de fases dos compostos FeHCF e NiHCF. Quando os potenciais de pico da Figura 5C são comparados com aqueles reportados pelas Figuras 5A e 5B, os picos I e IV podem ser relacionados à espécie FeHCF, enquanto os picos II e III podem ser atribuídos à espécie NiHCF. Isso indica que um filme híbrido de FeNiHCF foi eletrossintetizado com sucesso sobre a superfície do CV.

Após modificar o CV com filmes de FeHCF, NiHCF e FeNiHCF, os eletrodos modificados foram investigados quanto à sua atividade para a eletrooxidação da molécula de tiosulfato de sódio. Para fins de comparação, a eletrooxidação de tiosulfato sobre o CV sem modificação também foi realizada. A Figura 6A mostra os voltamogramas cíclicos obtidos na ausência e na presença de  $4,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de tiosulfato. Como pode ser visto, o CV na ausência da molécula de tiosulfato apresentou seu comportamento característico de carregamento da dupla camada elétrica, onde nenhum processo faradaico foi observado.

Por outro lado, na presença da molécula de tiosulfato, o CV apresentou um pico anódico intenso e irreversível em torno de 1,06 V, o que foi atribuído à eletrooxidação dessa molécula. A reação de eletrooxidação da molécula de tiosulfato foi descrita por Suryanarayanan, Zhang e Yoshihara (2004) da seguinte maneira:



A Figura 6B mostra os voltamogramas cíclicos obtidos para o eletrodo modificado com FeHCF na ausência e na presença de  $4,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de tiosulfato, onde se observa que o perfil voltamétrico do filme de FeHCF teve seu comportamento alterado na presença da molécula de tiosulfato. Ao comparar a eletrooxidação desta molécula sobre o CV e sobre filme de FeHCF, foi observada uma redução no potencial de pico de oxidação de aproximadamente 100 mV. Isso indica que o filme de FeHCF possui uma atividade eletrocatalítica para a eletrooxidação de tiosulfato.

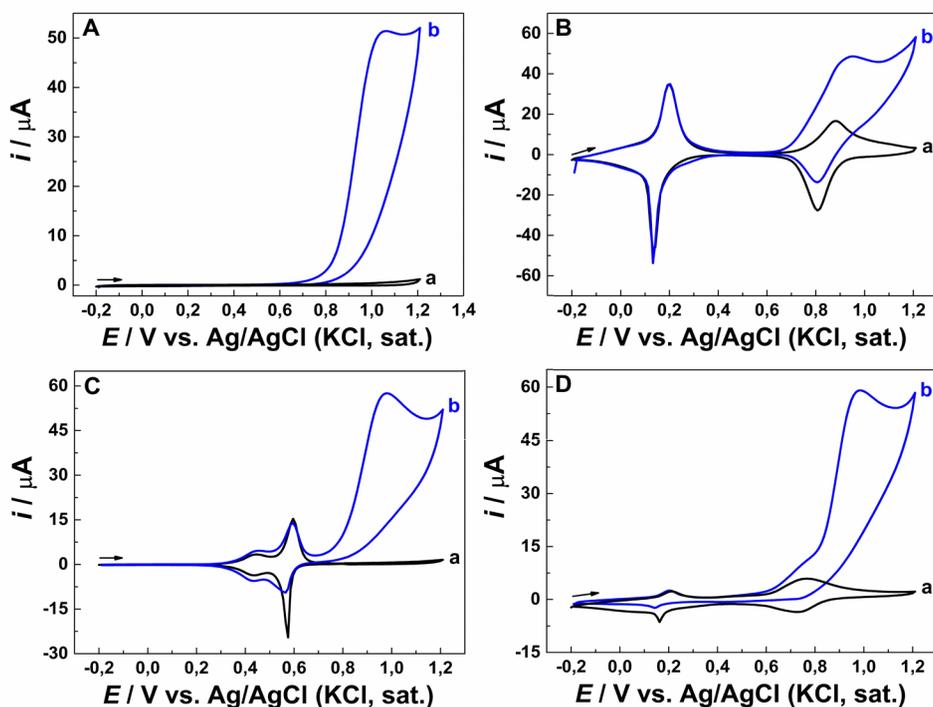


Figura 6. Voltamogramas cíclicos em (a) solução de  $0,10 \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{KNO}_3$  e (b) solução de  $0,10 \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{KNO}_3$  contendo  $4,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de tiosulfato de sódio para: (A) CV, (B) eletrodo modificado com FeHCF, (C) eletrodo modificado com NiHCF e (D) eletrodo modificado com FeNiHCF;  $\nu = 20 \text{ mV s}^{-1}$ .

A eletrooxidação de  $4,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de tiosulfato foi realizada sobre o filme de NiHCF. A Figura 6C mostra que o perfil voltamétrico deste filme também foi alterado na presença da molécula de tiosulfato. A eletrooxidação desta molécula sobre o filme de NiHCF ocorreu em um valor de potencial próximo ao reportado para o CV e para o eletrodo modificado com FeHCF. No entanto, a eletrooxidação de tiosulfato, quando mediada pelo filme de NiHCF, apresentou um aumento de corrente de 6,1 e  $8,8 \mu\text{A}$  em relação ao CV sem modificação e ao filme de FeHCF, respectivamente.

A Figura 6D mostra o perfil voltamétrico do filme híbrido de FeNiHCF na ausência e na presença de  $4,0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  de tiosulfato. Em comparação com os filmes de NiHCF e FeHCF, a corrente de oxidação de tiosulfato teve um aumento em sua intensidade de aproximadamente 3 e 17%, respectivamente. Além disso, o processo faradaico relacionado à oxidação desta molécula iniciou-se em potenciais mais baixos quando o eletrodo modificado com FeNiHCF foi utilizado. Este filme híbrido, quando comparado com os filmes de FeHCF e NiHCF, reduziu o potencial de oxidação da molécula de tiosulfato em aproximadamente 104 e 171 mV, respectivamente. Esses resultados mostram o efeito

eletrocatalítico que o filme híbrido de FeNiHCF exerce sobre a reação de eletrooxidação de tiosulfato.

## 4 | CONCLUSÕES

Este trabalho reportou a preparação de eletrodos modificados com filmes de CuCoHCF e FeNiHCF, bem como a aplicação do último na eletrooxidação do íon tiosulfato.

As propriedades eletroquímicas do filme híbrido de CuCoHCF, estudadas utilizando a técnica de voltametria cíclica, mostraram que o comportamento eletroquímico do filme de CuCoHCF é fortemente afetado pela natureza e concentração do eletrólito suporte. Além disso, estudos de voltametria cíclica permitiram diagnosticar que o processo de transferência eletrônica na interface do eletrodo modificado com filme de CuCoHCF é controlado exclusivamente pelas espécies adsorvidas sobre a superfície deste eletrodo.

O eletrodo modificado com filme de FeNiHCF foi utilizado para realizar a eletrooxidação da molécula de tiosulfato de sódio. Os resultados obtidos mostraram que o filme híbrido de FeNiHCF, quando comparado aos filmes FeHCF e NiHCF, apresentou uma maior intensidade de corrente para a eletrooxidação de tiosulfato, bem como redução no potencial de oxidação desta molécula. Esses resultados demonstram o efeito eletrocatalítico que o filme híbrido de FeNiHCF exerce sobre a eletrooxidação da molécula de tiosulfato.

Os estudos apresentados neste trabalho são úteis para o entendimento das características e propriedades eletroquímicas de filmes híbridos do tipo  $M_1M_2$ HCF tendo em vista o seu uso em futuras aplicações analíticas.

## REFERÊNCIAS

ABBASPOUR, A.; GHAFARINEJAD, 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.; KAMYABI, M. A. Electrocatalytic oxidation of hydrazine on a carbon paste electrode modified by hybrid hexacyanoferrates of copper and cobalt films. **J. Electroanal. Chem.**, v. 576, p. 73–83, 2005.

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

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.

ASSIS, V. **Obtenção e caracterização de filmes finos de hexacianoferrato de níquel**. 2018. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

BI, W.; HE, Y.; CABRAL, M. F.; VARELA, H.; YANG, J.; JIANG, R.; GAO, Q. Oscillatory electro-oxidation of thiosulfate on gold. **Electrochim. Acta**, v. 133, p. 308–315, 2014.

BOCARSLY, A. B.; SINHA, S. Effects of surface structure on electrode charge transfer properties: Induction of ion selectivity at the chemically derivatized interface. **J. Electroanal. Chem.**, v.140, p. 167–172, 1982.

CHEN, S.-M. Electrocatalytic oxidation of thiosulfate by metal hexacyanoferrate film modified electrodes. **J. Electroanal. Chem.**, v. 417, p. 145–153, 1996.

CUI, X.; HONG, L.; LIN, X. Electrochemical preparation, characterization and application of electrodes modified with hybrid hexacyanoferrates of copper and cobalt. **J. Electroanal. Chem.**, v. 526, p.115–124, 2002a.

CUI, X.; HONG, L.; LIN, X. Electrocatalytic oxidation of hydroxylamine on glassy carbon electrodes modified by hybrid copper-cobalt hexacyanoferrate films. **Anal. Sci.**, v. 18, p. 543–547, 2002b.

EFTEKHARI, A. Electrochemical behavior and electrocatalytic activity of a zinc hexacyanoferrate film directly modified electrode. **J. Electroanal. Chem.**, v. 537, p. 59–66, 2002.

GHASEMI, S.; OJANI, R.; AUSI, S. Bipotential deposition of nickel–cobalt hexacyanoferrate nanostructure on graphene coated stainless steel for supercapacitors. **Int. J. Hydrog. Energy**, v. 39, p. 14918–14926, 2014.

ITAYA, K.; SHOJI, N.; UCHIDA, I. Catalysis of the reduction of molecular oxygen to water at Prussian blue modified electrodes. **J. Am. Chem. Soc.**, v. 106, p. 3423–3429, 1984.

JALALI, F.; RANJBAR, S. Electrocatalytic oxidation of captopril using a carbon-paste electrode modified with copper-cobalt hexacyanoferrate. **Russ. J. Electrochem.**, v. 50, p. 482-489, 2014.

KULESZA, P. J.; MALIK, M. A.; BERRETTONI, M.; GIORGETTI, M.; ZAMPONI, S.; SCHMIDT, R.; MARASSI, R. Electrochemical charging, counteraction accommodation, and spectrochemical identity of microcrystalline solid cobalt hexacyanoferrate. **J. Phys. Chem. B**, v. 102, p. 1870–1876, 1998.

LI, W.; ZHANG, F.; XIANG, X.; ZHANG, X. Nickel-substituted copper hexacyanoferrate as a superior cathode for aqueous sodium-ion batteries. **ChemElectroChem**, v. 5, p. 350–354, 2018.

LIN, K.-C.; HONG, C.-P.; CHEN, S.-M. Electrocatalytic oxidation of alcohols, sulfides and hydrogen peroxide based on hybrid composite of ruthenium hexacyanoferrate and multi-walled carbon nanotubes. **Int. J. Electrochem. Sci.**, v. 7, p. 11426–11443, 2012.

LIU, Y.; XU, L. Electrochemical sensor for tryptophan determination based on copper-cobalt hexacyanoferrate film modified graphite electrode. **Sensors**, v. 7, p. 2446–2457, 2007.

LONG, X.; CHEN, R.; YANG, S.; WANG, J.; HUANG, T.; LEIA, Q.; TAN, J. Preparation, characterization and application in cobalt ion adsorption using nanoparticle films of hybrid copper–nickel hexacyanoferrate. **RSC Adv.**, v. 9, p. 7485–7494, 2019.

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

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

PANDEY, P. C.; PANDEY, A. K. Novel synthesis of super peroxidase mimetic polycrystalline mixed metal hexacyanoferrates nanoparticles dispersion. **Analyst**, v. 138, p. 2295–2301, 2013.

RAOOF, J. B.; OJANI, R.; KARIMI-MALEH, H. Electrocatalytic oxidation of thiosulfate at 2,7-bis(ferrocenylethyl)-fluoren-9-one-modified carbon paste electrode (2,7-BFEFMCPE): Application to the catalytic determination of thiosulfate in real sample. **Chin. Chem. Lett.**, v. 21, p. 1462–1466, 2010.

REDDY, S. J.; DOSTAL, A.; SCHOLZ F. Solid state electrochemical studies of mixed nickel-iron hexacyanoferrates with the help of abrasive stripping voltammetry. **J. Electroanal. Chem.**, v. 403, p. 209–212, 1996.

ROIG, A.; NAVARRO, J.; TAMARIT, R.; VICENTE, F. Stability of Prussian Blue films on IT0 electrodes: effect of different anions. **J. Electroanal. Chem.** v. 360, p. 55–69, 1993.

SHANKARAN, D. R.; NARAYANAN, S. S. Amperometric sensor for thiosulphate based oncobalt hexacyanoferrate modified electrode. **Sens. Actuators B Chem.**, v. 86, p. 180–184, 2002.

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.

SURYANARAYANAN V., ZHANG Y., YOSHIHARA S. Amperometric determination of sodium thiosulphate using boron-doped diamond electrodes applied to flow injection analysis. **Sens. Actuators B Chem.**, v. 102, p. 169–173, 2004.

VINU MOHAN, A. M.; RAMBABU, G.; ASWINI, K. K.; BIJU, V. M. Electrocatalytic behaviour of hybrid cobalt–manganese hexacyanoferrate film on glassy carbon electrode. **Thin Solid Films**, v. 565, p. 207–214, 2014.

WANG, J.; CHEN, R.; LONG, X.; LI, Z. Synthesis of hybrid-metal hexacyanoferrates nanoparticle films and investigation of its hybrid vigor. **J. Electroanal. Chem.**, v. 810, p. 191–198, 2018.

WANG, P.; YUAN, Y.; JING, X.; ZHU, G. Amperometric determination of thiosulfate at a surface-renewable nickel (II) hexacyanoferrate-modified carbon ceramic electrode. **Talanta**, v. 53, p. 863–869, 2001.

YU, H.; JIAN, X.; JIN, J.; WANG, F.; WANG, Y.; QI, G. Preparation of hybrid cobalt–iron hexacyanoferrate nanoparticles modified multi-walled carbon nanotubes composite electrode and its application. **J. Electroanal. Chem.**, v. 700, p. 47–53, 2013.

## 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](http://www.atenaeditora.com.br)
- ✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
- 📷 @atenaeditora
- 📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



# Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química 2

- 🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
- ✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
- 📷 @atenaeditora
- 📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

