

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 Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof^ª Dr^ª 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. Lilians 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 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

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 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

BIOACESSIBILIDADE DE ELEMENTOS TRAÇOS ESSENCIAIS E POTENCIALMENTE TÓXICOS

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 23/12/2020

Wagna Piler Carvalho dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnológica da Bahia - IFBA, Campus Salvador, Departamento de Química Salvador – Bahia
<http://lattes.cnpq.br/7745470765033035>

Rita Maria Weste Nano

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnológica da Bahia - IFBA, Campus Salvador, Departamento de Química Salvador – Bahia
<http://lattes.cnpq.br/3662325407439075>

Daniele Cristina Muniz Batista dos Santos

Instituto de Química, Universidade da Bahia Salvador – Bahia
<http://lattes.cnpq.br/3013320490776724>

RESUMO: O capítulo discute conceitos e definições sobre bioacessibilidade e biodisponibilidade de nutrientes e não nutrientes em alimentos e apresenta um estudo experimental sobre o efeito do tratamento térmico sobre as concentrações de elementos traços essenciais e potencialmente tóxicos em grão de leguminosas. São apresentados os resultados em termos das concentrações de elementos essenciais (Se, Mo e Ni,) e potencialmente tóxicos (As, Ba, Cd, Sn e Pb) e os efeitos de três tipos de tratamentos térmicos sobre essas concentrações.

PALAVRAS-CHAVE: Biodisponibilidade,

minerais, contaminantes inorgânicos leguminosas.

BIOACCESSIBILITY OF ESSENTIAL AND POTENTIALLY TOXIC TRACE ELEMENTS

ABSTRACT: The chapter discusses concepts and definitions about bioaccessibility and bioavailability of nutrients and non-nutrients in food and presents an experimental study on the effect of heat treatment on the concentrations of essential and potentially toxic trace elements in legumes. The results are presented in terms of the concentrations of essential (Se, Mo and Ni,) and potentially toxic (As, Ba, Cd, Sn and Pb) elements and the effects of three types of heat treatments on these concentrations.

KEYWORDS: Bioavailability, minerals, inorganic contaminants, legumes.

1 | INTRODUÇÃO

O valor nutricional de um alimento e a toxicidade de possíveis contaminantes presentes são conhecidos mediante estudos sobre a biodisponibilidade destes nutrientes e/ou tóxicos está disponível para os processos metabólicos. Para que uma espécie química, nutriente, bioativo se torne biodisponível é necessário que primeiro esteja bioacessível, i.e. esteja acessível à absorção pelo organismo a partir da ingestão (COZZOLINO e COLLI, 2009).

Este capítulo visa explorar de forma clara conceitos, definições, fatores que afetam a biodisponibilidade de nutrientes, bioativos e

tóxicos. Também é apresentado um estudo experimental aplicado à um importante grupo de vegetais, as leguminosas, no qual explora os efeitos do processamento térmico sobre a bioacessibilidade de elementos traços essenciais e potencialmente tóxicos.

2 I BIOACESSIBILIDADE E BIODISPONIBILIDADE

A concentração de um nutriente em um alimento não é um indicador confiável para avaliar um alimento sob o ponto de vista nutricional. Como consequência, os termos bioacessibilidade ou biodisponibilidade de um nutriente foram propostos pela comunidade científica (FENNEMA et al., 2010). A seguir serão apresentados conceitos, definições, fatores que afetam a biodisponibilidade de nutrientes, bioativos e tóxicos.

2.1 Conceitos e Definições

Os termos bioacessibilidade e biodisponibilidade são entendidos e conceituados a depender da área do conhecimento no qual são aplicados, ou seja, tem caráter multidisciplinares. Os domínios nos quais são mais recorrentes são a Nutrição, a Química e a Farmacologia. Sob o ponto de vista químico, a biodisponibilidade reflete o potencial de uma substância entrar em contato com um organismo vivo e depois interagir com ele. Desta forma, uma espécie química presa no interior de uma partícula insolúvel não é bioacessível; espécies químicas na superfície de uma partícula podem estar acessíveis e biodisponíveis e espécies ligadas à superfície podem não ser acessíveis a organismos que exigem que as substâncias estejam em solução (NORDBERG et al., 2010). Para a Farmacologia, o fenômeno de absorção compreende a passagem do fármaco através das membranas biológicas desde o local da administração até os líquidos de distribuição do organismo. A dissolução da matriz é condição para a absorção. A taxa do componente ativo ou fração ativa que é absorvido a partir do medicamento e fica disponível no local de ação (DeLUCIA, 2014).

Em 1984, O'Dell já se referia à biodisponibilidade como a proporção do nutriente nos alimentos que é absorvida e utilizada nos processos de transporte, assimilação e conversão à forma biologicamente ativa. Para Ruby et al., 1990, a bioacessibilidade é a parcela dos nutrientes que se torna acessível à absorção pelo organismo nas condições do trato gastrointestinal. Em 1997, por ocasião da Conferência Internacional de Biodisponibilidade, o termo biodisponibilidade passou a referir-se à fração de qualquer nutriente ingerido com potencial para suprir demandas fisiológicas em tecidos alvos. Em 2001, o conceito incorporou três aspectos: bioconversão, bioeficácia e bioeficiência (COZZOLINO, 2010).

2.2 Fatores que afetam a biodisponibilidade

As taxas de utilização do nutriente absorvido e as taxas de trocas e excreção, as quais podem variar consideravelmente em função de fatores: (i) intrínsecos, ou seja,

mecanismos de absorção e processos metabólicos e mútuas interações; (ii) extrínsecos, tais como solubilidade, dimensão de moléculas, efeitos químicos sinérgicos ou antagonistas (COZZOLINO, 2010). Com respeito aos minerais, muitos fatores promotores e inibidores atuam sobre sua biodisponibilidade, tais como: forma química do mineral no alimento; ligantes dos alimentos; atividade redox em componentes do alimento; interações entre os minerais e o estado fisiológico do indivíduo, ou seja, estado nutricional, patologias etc (FENNEMA, 2010).

Em geral, os elementos formam íons hidratados prontamente em solução aquosa e são acessíveis às células vivas através deste meio. Os elementos que formam precipitados insolúveis na água podem não ser acessíveis, exceto para os organismos que podem solubilizá-los após a fagocitose ou alguma atividade semelhante (NORDBERG et al., 2010). Alguns nutrientes não necessitam ser digeridos para serem absorvidos e outros, mesmo hidrolisados não podem ser absorvidos (COZZOLINO, 2010). O ferro p. ex. pode encontrar-se fortemente ligado na estrutura do quelato absorvido, não havendo liberação do íon metálico às células e incorporação pelas proteínas (FENNEMA, 2010).

A biodisponibilidade de um composto orgânico é frequentemente determinada: por sua presença em solução, meio aquoso circundante, hidrofobicidade (lipofilicidade). Para orgânicos ionizáveis, a hidrofobicidade depende do pH. Por exemplo, em pH ácido os ácidos orgânicos tornam-se não ionizados e, portanto, mais hidrofóbicos (NORDBERG et al., 2010). Por outro lado, a alteração da especiação devido ao tratamento térmico deve-se ao fato deste processo ser capaz de provocar: efeitos de separação, fracionamento de minerais, destruição de inibidores, formação de complexos com íons metálicos, desnaturação de enzimas que degradam inibidores, ou ainda, geração de compostos insolúveis por oxidação e precipitação (WATZKE, 1998).

2.3 Como determinar a biodisponibilidade

Os métodos empregados para estimar a biodisponibilidade de elementos contam com diversas abordagens (NAYAK e NAIR, 2003). Os tipos de método empregados para avaliar a biodisponibilidade são: a) métodos *in vitro*, b) métodos *in vivo*; c) simulação de todos os compartimentos do sistema digestivo ou de parte deles; d) método de balanço químico (ingestão e excreção de nutrientes); e) método de depleção e repleção (concentração do elemento nos tecidos e fluídos biológicos e/ou compostos dependentes do elemento); e) Método com uso de isótopos radioativos e estáveis (traçadores biológicos; melhor modelo do homem é o homem) (COZZOLINO, 2010). Na Tabela 1 é apresentado um comparativo de métodos e procedimentos utilizados para diferentes matrizes e aplicados a elementos traços essenciais e tóxicos.

Análito	Amostra matriz/ Tipo de ensaio	Técnica analítica	Simulação do fluido digestivo	Referência
As	Solos/ <i>In vitro</i>	ICP OES ou ICP-MS	NaCl, ácidos orgânicos e enzimas	(TANG et al., 2007)
As(III)	Solos/ <i>In vitro</i>	ICP	30g/L de glicina 0,4 mol/L, pH 1,5 (ajustado com HNO ₃)	(KYUYANG et al., 2005)
Se	Levedura/ <i>In vitro</i>	ICP-MS	Pepsina, amilase e pancreatina, sódio, ácido clorídrico, 37% de bicarbonato (v/v), cloreto de sódio e sulfato de sódio	(REYES et al., 2006)
Zn, Fe	Cereais e leguminosas/ <i>In vitro</i>	EAA	Pepsina, pancreatina e extrato de bile e fitase.	(HEMALATHA et al., 2007)
Pb	Solos/ <i>In vitro</i>	ICP-MS	Solução de glicina 0,4 mol/L em pH 1,5 com HCl	(LAMB et al., 2009)
As	Solos/ <i>In vitro</i>	ICP-MS	Solução gástrica: 0,15 mol/L de NaCl e 1% (v/v) de pepsina <i>Solução intestinal:</i> solução saturada de NaHCO ₃ , 0,49g de extrato de bile e 0,049 g de pancreatina.	(GIROUARD & ZAGURY, 2009)
Cr, Cd, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb and Zn)	Vegetais cultivados em solo contaminado/ <i>In vitro</i>	ICP-MS	Solução gástrica: 1,25 g de pepsina, 0,5 g de malato de sódio, 0,5 g de citrato de sódio, 420 mL de ácido láctico e 500 mL de ácido acético em 1 L de água deionizada <i>Solução intestinal:</i> 52,5 mg de sais de bile e 15mg de pancreatina	INTAWONGSE & DEAN, 2008)
Cd	Alface/ <i>In vitro</i>	ICP-AM	25 mL de solução gástrica contendo 1% (v/v) de pepsina suína em 0,15 mol/L de NaCl	WAISBERG et al., 2004
Al, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sn, Sb, Ti e Zn	Tintas de embarcações/ <i>In vitro</i>	ICP-OES	<i>Solução Gástrica:</i> 1,25 g de pepsina, 0,5 g de citrato de sódio, 0,5 g de malato de sódio, 420 mL de ácido láctico e 500 mL de ácido acético a um frasco de polietileno de 1,5L e dissolvendo o conteúdo em 1L de MQW , pH 2,5. <i>Solução intestinal:</i> solução de bicarbonato de sódio saturada a pH 7,0 e alterado com 175 mg de sais biliares e 50 mg de pancreatina	(TURNER & RADFORD, 2010)
Se, Mn, Cu, Zn, Fe e Mo	Rabanete/ <i>In vivo</i>	ICP-MS	Sais biliares e enzimas (pepsina pancreatina, amilase), HCl, ácido cítrico, metanol, com pH ajustado para 5 com hidróxido de amônio. Digestão das amostras em micro-ondas usando 14 mol/L de ácido nítrico e peróxido de hidrogênio 30%	(PEDRERO et al., 2006)
Se, Hg	Peixes/ <i>In vitro</i>	AFS e ICP-MS	75 mL de suco gástrico (pepsina e NaCl), 50 mL de suco intestinal (pancreatina, NaCl, amilase e sais biliares)	(CABAÑERO et al., 2004)
Sb	Solo/ <i>In vitro</i>	ICP OES	<i>Saliva:</i> 10 mL de KCl (89,6 g/L), 10 mL de KSCN 20 g/L, 10mL de NaH ₂ PO ₄ (88,8 g/L), 1,7 mL de NaCl (175,3 g/L), 1,8 mL de NaOH (40g /L), 8 mL de uréia (25 g/L), 145 mg de amilase, 15 mg de ácido úrico e 50 mg de mucina. <i>Solução Gastrica:</i> 15,7 mL de NaCl (175,3 g/L), 3,0 mL de NaH ₂ PO ₄ (88,8 g/L), 9,2 mL de KCl (89,6 g/L), 18 mL de CaCl ₂ .2H ₂ O (22,2 g/L), 10 mL de NH ₄ Cl (30,6 g/L), 8,3 mL de HCl (37%), 65 g de glicose (10 mL/L), 10 g de ácido glucurônico (2mL/L), 3,4g de uréia (25 mL/L) 10 g de cloridrato de glucosamina (33 mL/L), 1 g de albumina bovina, 1 g de pepsina e 3 g de mucina. <i>Solução Intestinal:</i> 40 mL de NaCl (175,3 g /L), 40 mL de NaHCO ₃ (84,7 g/L), 10mL de KH ₂ PO ₄ (8 g/L), 6,3 mL de KCl (89,6 g/L), 10mL de MgCl ₂ (5 g/L), 180 mL de HCl (37%), 1,25 g de uréia (4 mL/L), 9g de CaCl ₂ .2H ₂ O (22,2 mL /L), 1 g de albumina bovina, 3 g de pancreatina e 0,5 g de lipase.	(DENYS et al., 2008)
As(V)	Solos/ <i>In vivo</i>	ICP-MS	Uso de NaOH para elevar o pH. Modificação adicional foi a remoção da pepsina, sais biliares, e pancreatina	(BEAK et al., 2006)

Tabela 1. Comparação de procedimentos analíticos visando estimar a biodisponibilidade de elementos traço em diferentes matrizes.

Além disso, esses métodos podem envolver medidas em batelada (estáticos) ou em fluxo (dinâmicos), bem como medidas *in situ*. Os métodos para determinar a biodisponibilidade empregando células, a exemplo das Células Caco-2, tem se mostrado uma alternativa promissora para os métodos *in vitro* (DUEIK e BOUCHON, 2016). A efetividade do processo de absorção implica na disponibilidade do nutriente no lúmen intestinal para absorção, absorção (retenção) no corpo, e utilização pelo corpo. As etapas do processo no sistema digestório são representadas por: a) liberação – torna uma espécie química disponível para absorção, liberação da matriz do alimento; b) absorção – movimento da espécie química do lúmen digestivo para a circulação sanguínea; c) distribuição – difusão ou transferência do espaço intravascular para o extravascular; d) metabolização – conversão ou transformação química em formas mais eletrofílicas, mais suscetíveis à excreção; e) excreção – composto não modificados ou seus metabólitos pelas vias renais, biliar ou pulmonar (COZZOLINO, 2010; SILVERTHORN, 2017). Em suma, a primeira premissa ao se pensar nos meios (métodos, técnicas e procedimentos) para se obter informações sobre biodisponibilidade de nutrientes, bioativos e espécies químicas no alimento trata-se de um estudo multifatorial.

Os testes *in vivo* fazem uso de cobaias (coelhos, ratos, porcos e macacos). A fração biodisponível dos nutrientes é determinada pelas análises das unhas, pelos e sangue do animal após a administração da dieta de interesse. Esses testes necessitam de profissionais especializados e infraestrutura específica para a sua realização, além de possuírem tempos de execução e custos elevados (BOSSO e ENZWEILLER, 2008; OOMEN et al., 2002).

Os testes *in vitro* podem ser atrativos devido a maior velocidade analítica e baixo custo. Estes testes se fundamentam na extração seletiva ou simulam a fisiologia do trato gastrointestinal e podem ser classificados em duas categorias, estáticos e dinâmicos e não incluem os micro-organismos presentes no trato digestivo, nem consideram os mecanismos de adsorção que ocorrem preferencialmente no epitélio duodenal (BOSSO e ENZWEILLER, 2007).

A maioria dos trabalhos utiliza a simulação gástrica com ensaios de extração simples. Além disso, poucos trabalhos realizaram algum tipo de comparação dos resultados utilizando o método *in vivo* como referência. As possíveis explicações para este fato são: custo elevado do método *in vivo*; elevado tempo de análise; complexidade dos ensaios; implicações éticas; etc (TOKAHOGLU et al., 2014). Esses aspectos dificultam a realização dos experimentos, tornando mais atrativo os testes *in vitro*, os quais se baseiam na extração seletiva ou simulam a fisiologia do trato gastrointestinal. Muitos métodos *in vitro* são empregados para estimar a bioacessibilidade de nutrientes e não-nutrientes. O mais simples destes é o método estático de extração (SBET, do inglês *Simple Bioaccessibility Extraction*), proposto pelo Consórcio para Pesquisas em Solubilidade e Biodisponibilidade (SBRC). A extração que simulam processos fisiológicos em três compartimentos do sistema digestório humano (boca, estômago e intestino) conhecido pela sigla PBET (do inglês,

Physiologically Based Extraction Test) (RUBY et al., 1996). Esses testes não incluem os micro-organismos presentes no trato digestivo e nem consideram os mecanismos de adsorção que ocorrem preferencialmente no epitélio duodenal (BOSSO e ENZWEILLER, 2008). Também mais recentemente o método *in vitro* preconizado pelo Grupo de Pesquisa Unificado Europeu (BARGE) é utilizado para estimar a bioacessibilidade de elementos traços (TOKAHOGLU et al., 2014).

3 I ESTUDO APLICADO A ELEMENTOS TRAÇOS ESSENCIAIS E POTENCIALMENTE TÓXICOS EM LEGUMINOSAS

As leguminosas são fontes de elementos essenciais, particularmente de K, P, Ca, Cu, Fe e Zn (IQBAL et al., 2006). De um modo geral, fornecem as quantidades suficientes de Fe, Ca e P requeridas numa dieta humana. Não obstante, é necessário mencionar a possível presença de contaminantes inorgânicos nos vegetais, que mesmo sendo, em geral, inferior aos alimentos de origem animal, deve ser igualmente investigada, pois constitui um risco eminente à manutenção da saúde (KAHLON, 2005).

Nessa seção é apresentado um estudo experimental nos quais foi avaliado a influência do tratamento térmico sobre as concentrações de elementos essenciais (Se, Mo e Ni,) e potencialmente tóxicos (As, Ba, Cd, Sn e Pb) existentes em quantidades traço nas leguminosas *Vigna unguiculata* L. Walp (caupi), *Cajanus cajan* L (guandu) e *Lablab purpureus* L. Sweet (mangalô).

3.1 Métodos e Procedimentos

A seguir são descritos sucintamente os métodos, técnicas e procedimentos utilizados para a determinação dos analitos nos grãos das espécies de leguminosas e o efeito do processamento térmico.

3.1.1 Obtenção e preparo das amostras

As amostras de caupi e guandu foram adquiridas no município de Ipirá, micro-região de Feira de Santana. As amostras de mangalô foram obtidas na cidade de Santo Amaro, região metropolitana de Salvador. Os grãos das leguminosas, foram selecionados, lavados, escorridos, separados em porções de 100g e acondicionados em embalagens plásticas sob refrigeração (8-10 °C). Os tratamentos térmicos empregados foram: cocção em micro-ondas, cocção em estufa e cocção em panela de pressão. As condições experimentais foram definidas de forma a simular o preparo doméstico do alimento, respeitando as diferentes características das espécies vegetais. Foram fixados dois níveis para a variável tempo de cozimento: estufa por 20 min (E20) e 40 min (E40), pressão de 15 p.s.i. por 3 min (P3) e 6 min (P6) e micro-ondas por 6 min (M6) e 12 min (M12). Os resultados foram comparados com os teores dos analitos em amostras não processadas (NP). Os

ensaios foram realizados em triplicata. Para a conservação das amostras procedeu-se a secagem em estufa de circulação de ar forçada a 60 °C. Posteriormente, as amostras foram moídas em processador doméstico, estocadas em frascos descontaminados e mantidas a temperatura ambiente.

3.1.2 Reagentes e soluções

Para a decomposição ácida das amostras analisadas utilizou-se as substâncias: ácido nítrico (HNO₃), 65% m/m e peróxido de hidrogênio (H₂O₂), 30% v/v. Na descontaminação das vidrarias e materiais em geral foi utilizada submersão em banho de ácido nítrico a 10% por no mínimo 24 horas e enxague com água ultra pura MiliQ (Millipore com resistividade de 18,2 MΩ.cm⁻¹).

3.1.3 Procedimento de Digestão ácida e determinação dos analitos

As amostras foram digeridas em bloco digestor (Tecnal, São Paulo) utilizando 5,0 mL de HNO 65% m/m para 500 mg da farinha da leguminosa. Em seguida, cada tubo foi sucessivamente acoplado a um dedo frio para promover refluxo dos vapores evitando perdas por evaporação. A temperatura do digestor foi elevada gradualmente, até atingir 150 °C, permanecendo por 30 min. Quando esta última temperatura foi atingida, procedeu-se a adição lenta de H₂O₂ 30% v/v em porções de 1,0 mL. Ao fim de 15 min, 10,0 mL de peróxido foram inseridas em cada tubo (NANO et al., 2009). Posteriormente, mantiveram-se os tubos no bloco digestor por mais 15 min a 150 °C, o que totalizou 1 h e 30 min de digestão. O digerido foi filtrado para balões volumétricos de 25,00 mL e o volume completado com água ultrapura. Os teores dos elementos traço das soluções foram determinados no ICP-MS Thermo X Series II nas seguintes condições: potência incidente (1350 W); fluxos argônio nebulizador, plasma e auxiliar (0,87, 13,0 e 0,70 L min⁻¹, respectivamente); modo de análise *peak jump*; *sweeps* (100); *dwell time* (10 ms); fluxo gás CCT (6,5 mL min⁻¹).

3.2 Resultados e discussão

Os resultados foram analisados empregando-se a análise de variância, ao nível de 95% de confiança, em termos das concentrações dos analitos. O mungalo foi o feijão que apresentou as maiores concentrações de níquel. As amostras não processadas termicamente (NP) desta leguminosa, apresentaram maior concentração de Ni que nas amostras processadas, com exceção das amostras submetidas à cocção em panela de pressão (P3 e P6). A Figura 1a apresenta a comparação dos teores de Ni nas amostras investigadas. As amostras de caupi e guandu apresentaram comportamento similar aos das amostras de mangalô. Quanto ao tempo de cocção verifica-se que não houve, em nenhuma das espécies de feijão, variação significativa das concentrações de Ni.

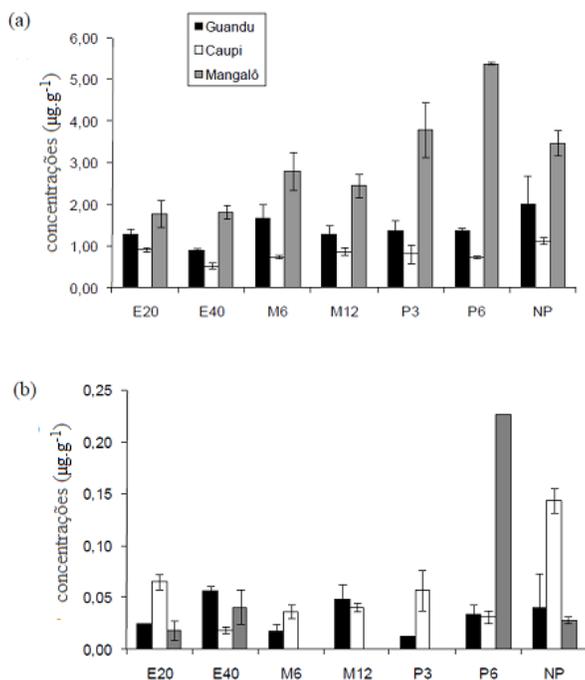


Figura 1 - Concentrações de níquel (a) e arsênio (b) nas amostras de caupi, guandu e mangaló.

As amostras NP de caupi apresentaram maiores concentrações de As. Nas amostras de guandu, é possível afirmar que não houve diferença significativa ($P > 0,05$) das concentrações de arsênio entre as amostras não processadas (NP) e as processadas termicamente. Neste feijão observa-se maior alteração da concentração com o tempo de cocção, sendo possível perceber que com o aumento deste tempo, há uma ligeira elevação do teor deste elemento potencialmente tóxico. O feijão que apresentou as maiores concentrações de selênio foi o caupi (Figura 2a).

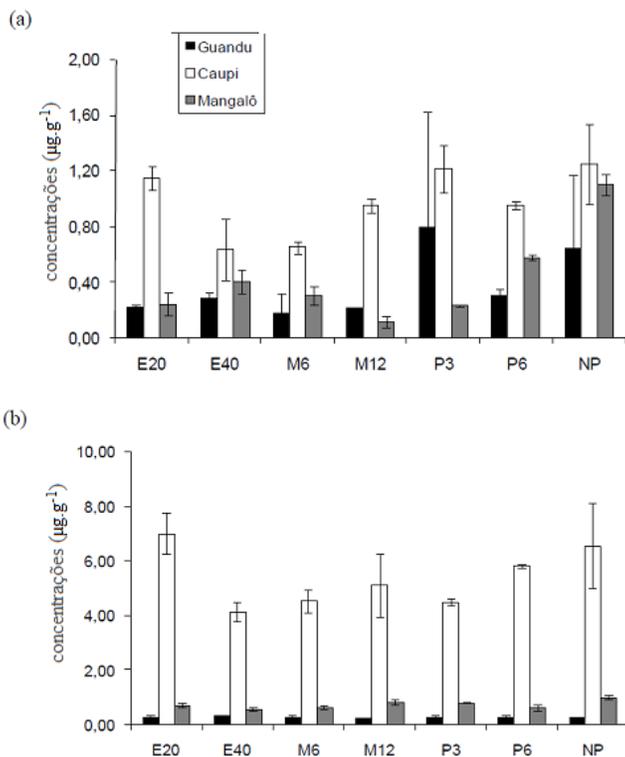


Figura 2 - Concentrações de selênio (a) e molibdênio (b) nas amostras de caupi, guandu e mangalô.

Quanto ao arsênio, verificou-se expressiva diferença na concentração deste elemento nas amostras de mangalô processadas e não processadas termicamente (NP). A Figura 1b apresenta a comparação dos teores de As nas amostras estudadas. As amostras de mangalô, processadas em panela de pressão por 6 min. (P6), apresentaram um teor relativamente superior ao verificado nas amostras processadas no micro-ondas (M6 e M12) e na estufa (E20 e E40). Este valor também foi maior que o das amostras que não foram tratadas termicamente.

As amostras NP de caupi apresentaram maiores concentrações de As. Nas amostras de guandu, é possível afirmar que não houve diferença significativa ($P > 0,05$) das concentrações de arsênio entre as amostras não processadas (NP) e as processadas termicamente. Neste feijão observa-se maior alteração da concentração com o tempo de cocção, sendo possível perceber que com o aumento deste tempo, há uma ligeira elevação do teor deste elemento potencialmente tóxico. O feijão que apresentou as maiores concentrações de selênio foi o caupi (Figura 2a).

As amostras de mangalô não processadas (NP) apresentaram um maior

concentração de Se. Comportamento semelhante observa-se nas amostras de guandu e caupi. O caupi foi o feijão que apresentou as maiores concentrações de molibdênio (Figura 2b). O teor deste elemento, no geral, foi maior nas amostras NP do feijão caupi. Quanto aos diferentes tempos de cocção, é possível observar que para o caupi, na medida em que o tempo do aquecimento elevou-se, a concentração de Mo aumentou. Além disso, não foram observadas, nas outras espécies, significativas variações ($p>0,05$) dos teores de Mo entre as amostras processadas e não processadas termicamente.

De acordo com a Figura 3a, em geral, as amostras de caupi que apresentaram as maiores concentrações de cádmio foram as NP. Quanto ao tempo do aquecimento, é possível perceber que na maioria das amostras processadas deste feijão, com exceção do processamento em micro-ondas (M6 e M12), com o aumento do tempo, houve uma redução do teor de cádmio

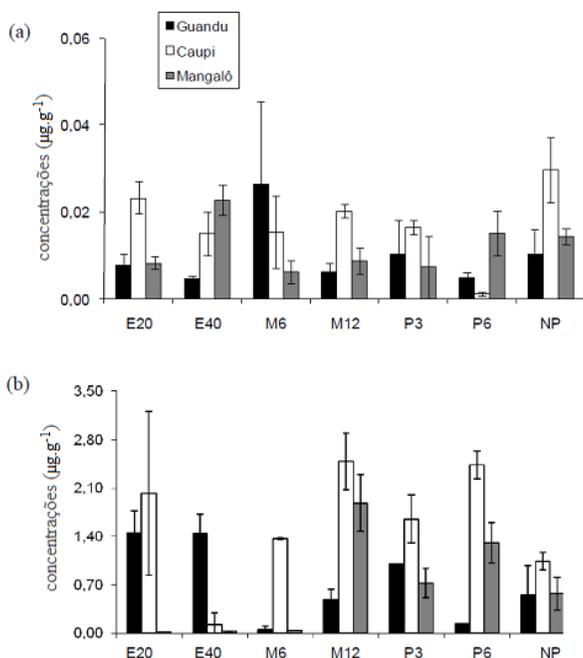


Figura 3 - Concentrações de cádmio (a) e de estanho (b) nas amostras de caupi, guandu e mangalô.

Nas amostras de guandu não houve diferença ($p>0,05$) entre as concentrações de Cd nas amostras NP e processadas termicamente, exceto quanto às amostras processadas em micro-ondas por 6 min (M6). Nestas amostras foram obtidas as maiores concentrações de cádmio em relação aos teores existentes nas outras amostras. Quanto ao tempo de cocção, verificou-se que predominantemente havia redução do teor de Cd

com o aumento do tempo. Comportamento semelhante foi constatado para mangalô, sendo a maior concentração de Cd na amostra processada em estufa com duração de 40 min (E40). Quanto ao tempo, em todos os tipos de processamentos, maior concentração de Cd foi obtida para maiores tempos de cocção. As maiores concentrações de Sn (Figura 3b) foram verificadas no caupi. Com exceção das amostras processadas em estufa por 40min. (E40), as amostras processadas do caupi apresentaram os mais elevados teores de Sn. Quanto ao tempo de aquecimento, pode-se observar que, em geral, maior tempo resultou na elevação do teor de Sn. O mangalô apresentou teores relativamente baixos de estanho nas amostras E20, E40 e M6. O guandu apresentou maiores teores de estanho para as amostras processadas termicamente. Quanto ao tempo de aquecimento, nos processados em estufa do guandu não se verificou variações significativas ($p>0,05$) das concentrações de estanho. Nas amostras processadas em micro-ondas, com o aumento do tempo houve elevação da concentração e o contrário foi verificado nos processados em panela de pressão.

O feijão que apresentou as maiores concentrações de bário foi o guandu (Figura 4a). As amostras de guandu não apresentaram variações ($p>0,05$) de concentrações de bário. Já para o caupi, em geral, os maiores teores de bário foram observados nas amostras não processadas. Com relação às variações relativas às distintas formas e durações de aquecimento, nessa espécie de feijão, em geral, não foram significativas ($p>0,05$). Comportamento análogo ao do guandu foi observado para o mangalô. A Figura 4b apresenta a comparação das concentrações de Hg nas amostras estudadas. As amostras do guandu processadas termicamente apresentaram, em geral, menores concentrações deste elemento potencialmente tóxico que as amostras não tratadas termicamente. Nas amostras desta leguminosa também é possível perceber que, em geral, com o aumento do tempo de cocção houve um aumento da concentração de mercúrio. Nas amostras de mangalô é possível detectar que os maiores teores de Hg estão presentes nas amostras NP, com exceção das amostras tratadas em micro-ondas por 12 min (M12) e em panela de pressão por 3 min (P3). Comportamento antagônico foi observado nas amostras de caupi. Quanto ao tempo de cocção nas amostras de mangalô e caupi, é possível constatar que, com o aumento do tempo de cocção houve um aumento da concentração de mercúrio.

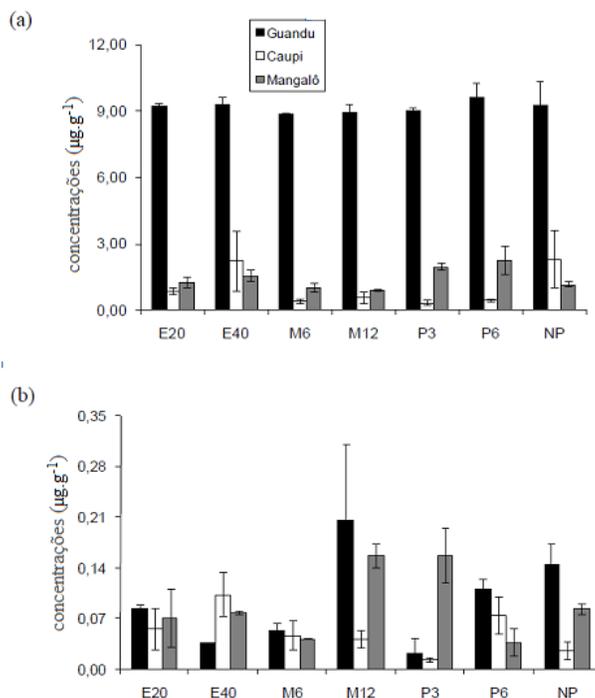


Figura 4 - Concentrações de bário (a) e de mercúrio (b) nas amostras de caupi, guandu e mangalô.

A Figura 4b apresenta a comparação das concentrações de Hg nas amostras estudadas. As amostras do guandu processadas termicamente apresentaram, em geral, menores concentrações deste elemento potencialmente tóxico que as amostras não tratadas termicamente. Nas amostras desta leguminosa também é possível perceber que, em geral, com o aumento do tempo de cocção houve um aumento da concentração de mercúrio. Nas amostras de mangalô é possível detectar que os maiores teores de Hg estão presentes nas amostras NP, com exceção das amostras tratadas em micro-ondas por 12 min (M12) e em panela de pressão por 3 min (P3). Comportamento antagônico foi observado nas amostras de caupi. Quanto ao tempo de cocção nas amostras de mangalô e caupi, é possível constatar que, com o aumento do tempo de cocção houve um aumento da concentração de mercúrio.

3.3 Conclusão

Com a análise dos resultados é possível observar que há variação das concentrações conforme o fato das amostras estarem ou não processadas termicamente e de acordo com a duração da cocção. Este fato foi observado porque o tratamento térmico pode influenciar na forma, isto é, na especiação com a qual a espécie química se apresenta no

alimento. A partir dessa influência o processamento térmico pode alterar a mobilidade e a solubilidade dos elementos nas condições do trato gastrointestinal, interferindo, portanto na bioacessibilidade.

A capacidade de alteração da especiação dos elementos também justifica as observações relativas às variações das concentrações dos analitos conforme a duração do aquecimento tenha sido maior ou menor. Com a elevação do tempo de aquecimento, maior é o fornecimento de energia e, portanto, mais propenso é a mudança de especiação. Na maioria das amostras foi verificado que quanto maior foi o tempo do processamento térmico, em geral, maior foram as concentrações dos analitos nas amostras de leguminosas.

Conclui-se que o processamento térmico pode afetar as concentrações dos elementos investigados nas amostras das espécies vegetais estudadas. Este fato decorre da capacidade do aquecimento alterar a especiação dos elementos químicos. Com a alteração da especiação pode haver modificação da mobilidade e solubilidade da espécie química nas condições do trato gastrointestinal, o que altera a bioacessibilidade. Pode-se concluir que o processo de cozimento doméstico pode influenciar no potencial nutricional e toxicológico das matrizes alimentares investigadas.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, o conhecimento do teor total das espécies química investigadas não é o suficiente para avaliação do potencial nutricional e toxicológico dos componentes presentes numa matriz alimentar. Esta avaliação seria estimada através da determinação da biodisponibilidade dos nutrientes ou bioativos ou espécies químicas de interesse. A proposição e validação de métodos que objetivam a determinação desses componentes nos alimentos é uma área de estudos em desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

BOSSO, S. T.; ENZWEILER, J. **Ensaio para determinar a (bio)disponibilidade de chumbo em solos contaminados: revisão**. Química Nova, v.31, p 394-400, 2008.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. 4a edição, Editora Manole, São Paulo, 2010.

COZZOLINO, S. M. F.; COLLI, C. **Novas recomendações de nutrientes, interpretação e utilização. Usos e aplicações das DIRs**. ILSI Brasil, São Paulo, 47 p., 2009.

DeLUCIA, R.; PLANETA, C. S.; GALLACCI, M.; de AVELLAR, M.C. W.; de OLIVEIRA FILHO, R.M. **Farmacologia Integrada: uso racional de medicamentos**, São Paulo: Clube de Autores, 2014.

DUEIK, V.; BOUCHON, P. **Development of polyphenol-enriched vacuum and atmospheric fried matrices: Evaluation of quality parameters and in vitro bioavailability of polyphenols**. Food Research International, p.166-172, 2016.

FENNEMA, O.R. **Química de alimentos**. 4ªed., Editora Artmed, 2010.

IQBAL, A., KHALIL I. A., ATEEQ N., KHAN M. S. **Nutritional quality of important food legumes**. Food Chemistry, n.97, p. 331-335, 2006.

KAHLON, T. S.; SMITH, G. E.; SHAO, Q. **In vitro binding of acids by kidney bean (*Phaseolus vulgaris*), black gram (*Vigna mungo*), Bengal gram (*Cicer arietinum*) and moth bean (*Phaseolus aconitifolius*)**. Food Chemistry, v. 90, p 241- 246, 2005.

NANO, R.M.W.; ROY, E. B.; FERREIRA, S. L. C.; BACCAN, N.; SOUSA, R. A.; CADORE, S.. **Statistical mixture design development of digestion methods for Oyster tissue using inductively coupled plasma optical emission spectrometry for the determination of metallic ions**. Talanta, v. 80, p. 559-564, 2009.

NAYAK, B.; NAIR, M. **In vitro bioavailability of iron from wheat flour fortified with ascorbic acid, EDTA and sodium hexametaphosphate, with or without iron**. Food Chemistry, v. 80, p. 545-550, 2003.

NORDBERG, M.; DUFFUS, J. H.; Templeton, D. M. **Explanatory dictionary of key terms in toxicology: Part II (IUPAC Recommendations 2010)**. Pure Appl. Chem., Vol. 82, N. 3, pp. 679-751, 2010.

O'DELL, B.L. **Bioavailability of Trace Elements**. Nutr Ver., v.42, p.301-308, 1984.

OOMEN, A. G.; HACK, A.; MINEKUS, M.; ZEIJDNER, E.; CORNELIS, S. C., SCHOETERS, G.; VERSTRAETE, W.; VAN DER WIELE, T.; WRAGG J.; ROMPELBERG, C. J. M.; SIPSE A.; VAN WIJNEN J. H.; **Comparison of five in-vitro digestion model to study the bioaccessibility of soil contaminants**. Environment Science Technology, v. 36, p. 3326, 2002.

RUBY, M.V.; SCHOOF, R.; BRATTIN, W.; GOLDADE, M.; POST, G.; HARNOIS, M.; MOSBY, D.E.; CASTEEL S.W.; BERTI, W.; CARPENTER, M.; EDWARDS, D.; CRAGIN, D.; CHAPPELL, W. **Advances in evaluating the oral bioavailability of inorganics in soil for use in human health risk assessment**. Environment Science Technology, v. 33, n. 21, p.3697-3705, 1999.

SILVERTHORN. **Fisiologia Humana: Uma Abordagem Integrada**, 2017.

TOKAHOGLU, S.; CLOUGH, R.; FOULKES, M.; WORSFOLD, P. **Bioaccessibility of Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Se and Zn from nutritional supplements by the unified BARGE method**. Food Chemistry, v.150, p.321-7, 2014

WATZKE, H. J. **Impact of processing on bioavailability examples of minerals in food. Review**. Trends in Food Science & Technology, v. 9, p. 320-327, 1998.F

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

