

Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química

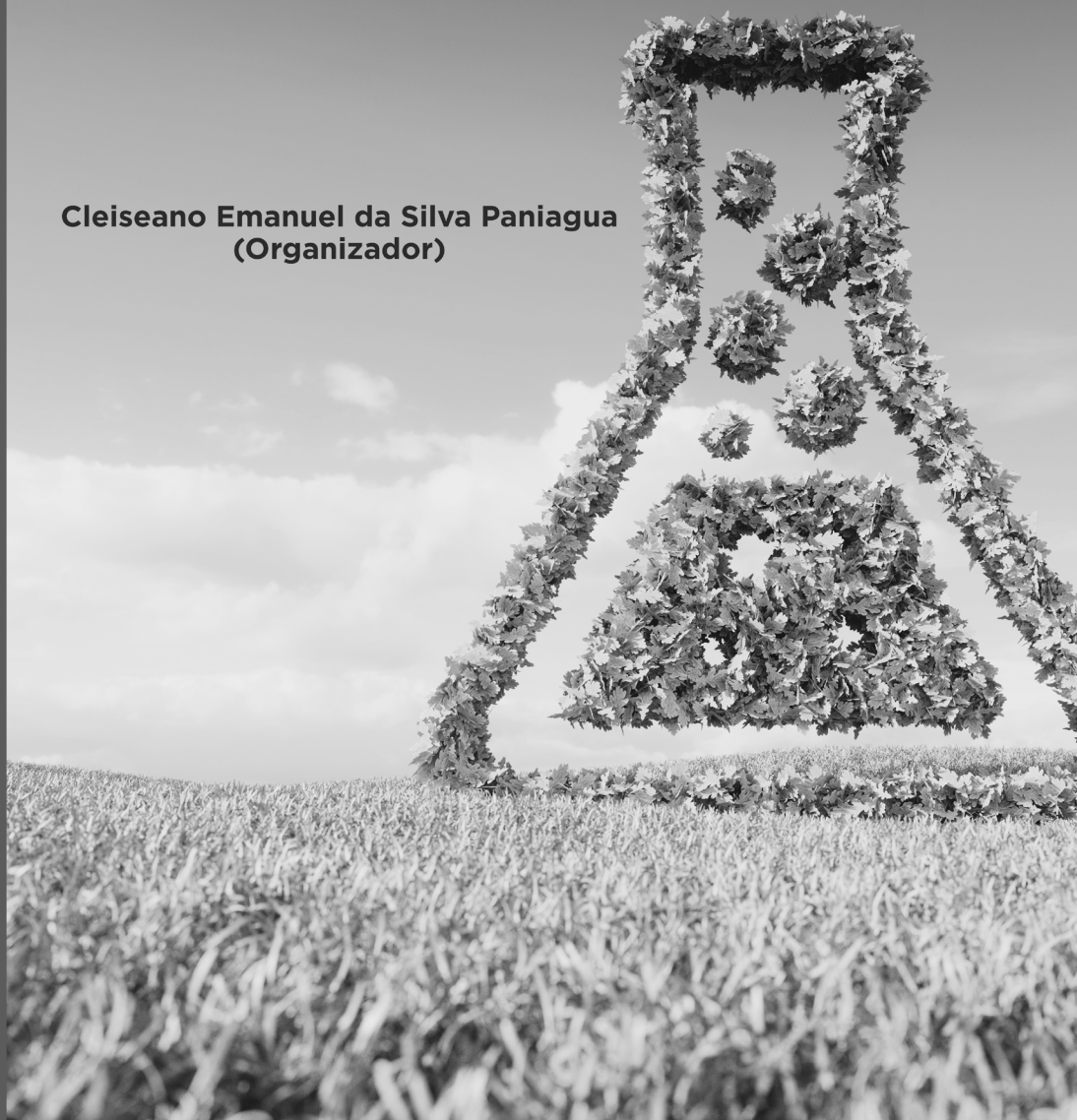
Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)



Atena
Editora
Ano 2021

Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)



Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

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

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfnas

Ciências Biológicas e da Saúde

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

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

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

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

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

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

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

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

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

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

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexandro 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. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Livia 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

Trabalhos nas áreas de fronteira da química

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T758 Trabalhos nas áreas de fronteira da química / 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 978-65-5706-824-3

DOI 10.22533/at.ed.243212202

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

CDD 540

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Ano 2021

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

O E-book intitulado: “Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química”, constituído por dezesseis trabalhos em forma de capítulos, promovem a apresentação e discussão científica de forma intra e interdisciplinar, que convergem para uma mesma problemática: melhoria na qualidade e expectativa de vida da sociedade. Esta coleção apresenta trabalhos que proporcionam: (i) melhorar e aperfeiçoar a relação ensino aprendizagem em diferentes níveis de ensino, possibilitando o aprofundamento da compreensão da relação homem e meio-ambiente, por meio do desenvolvimento de uma consciência que coloque o homem como parte integrante do meio; (ii) desenvolvimento de novos materiais com potencialidades de melhorar ou inovar suas aplicações nos diferentes seguimentos da sociedade, despertando a mudança da visão extrativista e fortalecendo a que seja capaz de reduzir impactos ao meio ambiente; (iii) uso da biotecnologia tanto no setor de saúde quanto no de alimentos que buscam aprimorar ou desenvolver novas aplicações; (iv) aplicação e potencialidades do uso de biomassa de resíduos e rejeitos gerados por atividades agroindustriais, possibilitando a incorporação destes como matéria-prima para aplicações em diferentes produtos, diminuindo o impacto gerado na extração de matérias-primas do ambiente que contribui para a preservação de recursos naturais para as gerações vindouras e (v) estudo de novas substâncias potencialmente capazes de melhorar ou desenvolver processos clínicos, tanto do ponto de vista de resolução de imagens em exames quanto de processos terapêuticos, possibilitando maior acessibilidade e disponibilidade a sociedade.

Neste sentido e com o intuito de colaborar para a disseminação destas e de outras informações que levem a despertar uma maior consciência da relação do homem e do meio ambiente, a Atena Editora lança o volume I do E-book “Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química”.

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ABORDANDO A IMPORTÂNCIA DA RECICLAGEM E DA COMPOSTAGEM NA PERSPECTIVA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE (CTSA)

Estefano Poletto da Silva

Joanez Aires

DOI 10.22533/at.ed.2432122021

CAPÍTULO 2..... 14

ABORDAGEM CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE, AMBIENTE (CTSA) NO ENSINO DE QUÍMICA DO ENSINO SUPERIOR: OFICINAS DE PRODUÇÃO DE SABÃO EM COMUNIDADES PERIFÉRICAS DA CIDADE DE MARABÁ – PARÁ

Aline Maria Viana de Souza

Elieuda dos Reis Santos

Joana D'arc Alexandre Barbosa

Jefferson Dias Vieira

Millena Lima Almeida

Marcos Francisco Ozorio dos Santos

Tatiani da Luz Silva

DOI 10.22533/at.ed.2432122022

CAPÍTULO 3..... 30

O USO DA QUÍMICA DOS PERFUMES NO ENSINO DE QUÍMICA ORGÂNICA EXPERIMENTAL

Gabriel de Paula Bueno

Olga Maria Schimidt Ritter

Taís Viviane Hanauer

Victor Leonardo Rodrigues Pinheiro

Bruna Sthephany Grassi Magalhães

DOI 10.22533/at.ed.2432122023

CAPÍTULO 4..... 41

OFICINA PEDAGÓGICA COMO FERRAMENTA DE APRENDIZAGEM DE ASTRONOMIA

Marcelo Monteiro Marques

Juliana Pereira da Costa

Rayanne Cristina da Silva Santos

DOI 10.22533/at.ed.2432122024

CAPÍTULO 5..... 52

A NANOTECNOLOGIA NA LUTA CONTRA O CÂNCER: UMA REVISÃO

Angélica de Brito Sousa

Jéssica Randel da Silva Alves

Darlisson Slag Neri Silva

Juracir Francisco de Brito

Nelson Nunes da Silva Lopes Júnior

DOI 10.22533/at.ed.2432122025

CAPÍTULO 6..... 64

CELULOSE BACTERIANA PARA APLICAÇÕES BIOMÉDICAS: UMA PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

Ricardo Barbosa de Sousa
Amanda Maria Claro
Hernane da Silva Barud
Sidney José Lima Ribeiro
Edson Cavalcanti da Silva Filho

DOI 10.22533/at.ed.2432122026

CAPÍTULO 7..... 88

ENSAIOS PARA PRODUÇÃO DE UM SORVETE PROBIÓTICO A PARTIR DO USO DE EXTRATO DE *Theobroma grandiflorum* (CUPUAÇU) E CEPAS COMERCIAIS DE *Lactobacillus acidophilus*

Elaine Isabel Melo Alves Coelho
Lívia Maria Pinto Rodrigues
Edailson de Alcântara Corrêa

DOI 10.22533/at.ed.2432122027

CAPÍTULO 8..... 99

NANOPARTÍCULAS DE COBRE BIODISPONIBILIZADAS PELO FUNGO ENDOFÍTICO *Phaeoacremonium* SP. ISOLADO DAS AMÊNDOAS DE *Bertholletia excelsa* DUCKE

Edmilson dos S. Moraes
Fabrício H. Holanda
Beatriz L. Ferreira
Iracirema S. Sena
Adilson L. Lima
Victor H. de Souza Marinho
Irlon Maciel Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.2432122028

CAPÍTULO 9..... 112

SÍNTESE HIDROTÉRMICA DE NANOPARTÍCULAS DE CARBONO A PARTIR DE GLICOSE E UREIA

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

DOI 10.22533/at.ed.2432122029

CAPÍTULO 10..... 123

INFLUÊNCIA DOS HIDRÓXIDOS DE MAGNÉSIO E ALUMÍNIO NA ATIVAÇÃO

MECANOQUÍMICA DO SISTEMA MgO-Al₂O₃-SiO₂

Constança Amaro de Azevedo

Francisco Manoel dos Santos Garrido

Jairo Moura de Melo

Marta Eloísa Medeiros

DOI 10.22533/at.ed.24321220210

CAPÍTULO 11..... 131

IMPLICAÇÕES E APLICAÇÕES DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Marluce Oliveira da Guarda Souza

Carine Pereira da Silva

Fernanda Sales Silva

DOI 10.22533/at.ed.24321220211

CAPÍTULO 12..... 143

ICE TEMPLATE ADAPTADA: A PRODUÇÃO DE POROS ATRAVÉS DO CONGELAMENTO

Natália Reigota César

Jeniffer Silveira Gonçalves

Aparecido Junior de Menezes

Walter Ruggeri Waldman

DOI 10.22533/at.ed.24321220212

CAPÍTULO 13..... 157

CARACTERIZAÇÃO DO INSUMO FARMACÊUTICO ATIVO SULFATO DE ATAZANAVIR

Emiliana Moraes de Carvalho

Erika Martins de Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.24321220213

CAPÍTULO 14..... 169

UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA PARA O CASO DA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO, DE INDÚSTRIAS QUÍMICAS, EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM BATELADA

Rony Peterson da Rocha

Claudilaine Caldas de Oliveira

Eugênia Leandro Almeida

Mauro A.S.S. Ravagnani

Cid Marcos G. Andrade

DOI 10.22533/at.ed.24321220214

CAPÍTULO 15..... 184

EFEITO DE PROTEÍNAS ZINC-FINGER EM DOENÇAS HUMANAS: UM FOCO NA CO-CHAPERONA HSP40 E DOENÇAS NEURODEGENERATIVAS

Jemmyson Romário de Jesus

DOI 10.22533/at.ed.24321220215

CAPÍTULO 16..... 196

NAFTOIMIDAZÓIS COMO POTENCIAIS COMPONENTES TERANÓSTICOS FLUORESCENTES: SÍNTESE E AVALIAÇÃO

Victória Laysna dos Anjos Santos

Helinando Pequeno de Oliveira

Arlan de Assis Gonsalves

Cleônia Roberta Melo Araújo

DOI 10.22533/at.ed.24321220216

SOBRE O ORGANIZADOR.....209

ÍNDICE REMISSIVO.....210

EFEITO DE PROTEÍNAS ZINC-FINGER EM DOENÇAS HUMANAS: UM FOCO NA CO-CHAPERONA HSP40 E DOENÇAS NEURODEGENERATIVAS

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 16/11/2020

Jemmyson Romário de Jesus

Universidade Estadual de Campinas

Instituto de Química

Campinas – São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/2008185157619124>

RESUMO: Este trabalho apresenta importantes informações sobre as proteínas *Zinc-Finger* e o seu efeito na homeostase celular e no combate e prevenção de doenças humanas, tais como as doenças neurodegenerativas. Além disso, uma breve descrição é exibida das principais técnicas aplicadas para caracterizar a interação de zinco e proteínas *zinc-finger* em solução.

PALAVRAS-CHAVE: *Zinc-finger*, Hsp40, homeostase celular, doenças neurodegenerativas.

EFFECT OF ZINC-FINGER PROTEINS ON HUMAN DISEASES: A FOCUS ON CO-CHAPERONE HSP40 AND NEURODEGENERATIVE DISEASES

ABSTRACT: This work presents important information about the Zinc-Finger proteins and their effect on cell homeostasis and in the fight and prevention of human diseases, such as neurodegenerative diseases. In addition, a brief description is showed of the main techniques applied to characterize the interaction of zinc and zinc-finger proteins in solution.

KEYWORDS: Zinc-finger, Hsp40, cellular

homeostasis, neurodegenerative diseases.

1 | INTRODUÇÃO

Zinc-finger (ZF) está entre os domínios de proteína mais estudados na literatura. Ele interage com outras proteínas para facilitar uma infinidade de processos biológicos (MALGIERI et al., 2015). Atualmente, existem mais de 10 classes conhecidas de ZFs, com várias estruturas, modos de ligação de metal, funções e reatividade (KLUSKA; ADAMCZYK; KRĘŻEL, 2018). A versatilidade, seletividade e estabilidade dessas sequências de aminoácidos curtas são alcançadas principalmente por (i) resíduos que participam na coordenação de Zn^{2+} , principalmente Cys e His; (ii) núcleo hidrofóbico e formação de estrutura ZF; e (iii) vários resíduos responsáveis pelas interações inter e intramoleculares (KLUSKA; ADAMCZYK; KRĘŻEL, 2018). Desde a sua descoberta, ZFs tem sido extensivamente estudado em termos de sua estrutura, estabilidade e alvos de reconhecimento pela aplicação de várias metodologias (MALGIERI et al., 2015). Estudos baseados em interações com outros íons metálicos e seus complexos têm contribuído para a compreensão de suas propriedades químicas e a descoberta de novos complexos ZFs (KLUSKA; ADAMCZYK; KRĘŻEL, 2018).

Hsp40 (*heat shock protein 40*) é um importante exemplo de proteína ZF que

desempenha papel fundamental no sistema biológico (DE JESUS et al., 2019). Hsp40 auxilia no enovelamento de novas proteínas e na ressolubilização de agregados proteicos, prevenindo e combatendo o surgimento de doenças humanas, tais como doenças neurodegenerativas (RAMOS; FERREIRA, 2005). No entanto, mesmo que a literatura esteja repleta de dados sobre estruturas e estabilidade das ZFs e Hsp40, ainda há uma grande lacuna no conhecimento das propriedades físico-químicas e reatividade desse tipo de proteína. Neste trabalho, apresentamos uma breve discussão das propriedades de ligação de metal em proteínas ZFs, em especial da co-chaperona Hsp40, e os fatores de estabilidade que modulam suas funções, destacando algumas metodologias utilizadas para caracterização de ZFs e aspectos relacionados à química de coordenação. Além disso, uma breve discussão é exibida sobre a homeostase da co-chaperona Hsp40 e do metal zinco para o combate e prevenção de doenças neurodegenerativas.

2 | PROTEOSTASE

As proteínas têm diferentes funções e estão envolvidas em diferentes processos biológicos, como por exemplo, metabolismo, catálise, transporte, sinalização e outros. A atividade biológica das proteínas está diretamente relacionada com a sua estrutura tridimensional. O processo pelo qual uma proteína recém-sintetizada adquire sua estrutura terciária é denominado enovelamento proteico. O enovelamento das proteínas está codificado em sequência de aminoácidos (RAMOS; FERREIRA, 2005).

Ao longo da evolução, as células incorporam mecanismos bastante eficientes para evitar que erros na transmissão da informação genética se propaguem na replicação, na transcrição e na tradução. No entanto, ainda é possível que algumas proteínas não desempenhem suas funções, devido a erro no seu enovelamento. Além da perda de função, o enovelamento incorreto também pode levar à agregação proteica, um processo que está associado à inúmeras doenças como câncer e doenças neurodegenerativas (RAMOS; FERREIRA, 2005).

Nesse sentido, para assegurar o correto enovelamento das proteínas, existe na célula um sistema chamado de Controle de Qualidade Proteica (PQC em inglês) dedicado à manutenção da homeostase proteica, ou proteostase. Este sistema é composto pelo chaperoma (chaperonas moleculares e HSPs) envolvidas no auxílio ao enovelamento e tanto na prevenção quanto no resgate de agregados proteicos, e pelo proteossomo, o qual é responsável pela degradação de polipeptídeos. Existem inúmeras famílias de chaperonas, entre as mais importantes, destacam-se Hsp40 e Hsp70. As Hsp40s constituem uma família essencial de chaperonas moleculares que funcionam para especificar os processos celulares realizados por Hsp70 (RAMOS; FERREIRA, 2005). Diante disso, numerosos estudos demonstram que Hsp70 e Hsp40 estão associados com diferentes doenças humanas, como por exemplo, o câncer e as doenças neurodegenerativas (DE JESUS et

3 I PROTEÍNAS ZINC-FINGER: ESTRUTURA, CLASSIFICAÇÃO E FUNÇÃO MOLECULAR

Entre todos os cofatores inorgânicos em sistemas biológicos, o íon Zn^{2+} é o mais difundido, facilitando diversas funções de proteínas e seus complexos. Estudos de bioinformática realizados no genoma humano indicam que 10% de todas as proteínas codificadas participam da ligação do íon Zn^{2+} . Esta enorme contribuição de domínios e motivos de zinco com várias afinidades de metal encoraja os pesquisadores a investigar mais os íons Zn^{2+} e seu papel fisiológico (KLUSKA; ADAMCZYK; KRĘŻEL, 2018). É comumente conhecido que Zn^{2+} desempenha papel não apenas na atividade catalítica da enzima, mas também na estabilização da proteína, e até mesmo facilita o dobramento das subunidades da proteína. O papel estrutural do Zn^{2+} foi proposto quando o domínio ZF foi encontrado no fator de transcrição IIIA de *Xenopus laevis* (TFIIIA). A estrutura do ZF é mantida pelo íon Zn^{2+} , que coordena a cisteína e a histidina em diferentes combinações. Nas proteínas clássicas de ZF (C2H2), duas cisteínas em uma cadeia e duas histidinas em outra são coordenadas por um íon Zn^{2+} . Tipos não clássicos de ZF diferem em combinações cisteína/histidina, como C2 – H2, C2 – CH e C2 – C2. Atualmente, 30 tipos de ZFs são aprovados pelo *The HUGO Gene Nomenclature Comitê*, e a classificação ZF é baseada na estrutura de domínio de ZF. Entre as componentes de ZF com importante destaque, encontra-se a co-chapeona Hsp40. A seguir uma breve descrição dessa co-chapeona é apresentada, destacando a sua estrutura, classificação e funções molecular para a homeostase celular (KLUSKA; ADAMCZYK; KRĘŻEL, 2018).

3.1 Co-chaperona Hsp40: uma zinc-finger essencial

As co-chaperonas da família Hsp40 possuem vários homólogos em organismos procariontes e eucariontes. A ampla atividade que a Hsp40 desempenha em diferentes células revela que tal chaperona pode apresentar diferentes conformações, o que permite a realização de diferentes interações e funções (RAMOS; FERREIRA, 2005). Um estudo revelou uma alta abundância da proteína Hsp40 no tecido pulmonar de pacientes com câncer de pulmão, sugerindo a potencialidade dessa proteína para o diagnóstico do tumor (MITRA; SHEVDE; SAMANT, 2009).

Existem três tipos de Hsp40 que são classificados pela constituição dos domínios, são eles Hsp40 Tipo I, II e III. Todos eles compartilham o domínio J necessário para ligar a Hsp70 e ativar o seu domínio de ATP. O domínio C-terminal está presente nos tipos I e II e permite a dimerização de Hsp40. E, finalmente, o domínio central (ZF) ligado ao zinco, que está exclusivamente presente na Hsp40 do Tipo I (HENNESSY et al., 2005). A família das proteínas Hsp40 do tipo I é caracterizada pela presença de quatro domínios: (i) um domínio

J; (ii) uma região rica em Gly-Phe; (iii) um domínio contendo Zn; e por fim (iv) uma região não caracterizada denominada região do terminal carboxílico ou terminal-C (Figure 1A) (HENNESSY et al., 2005).

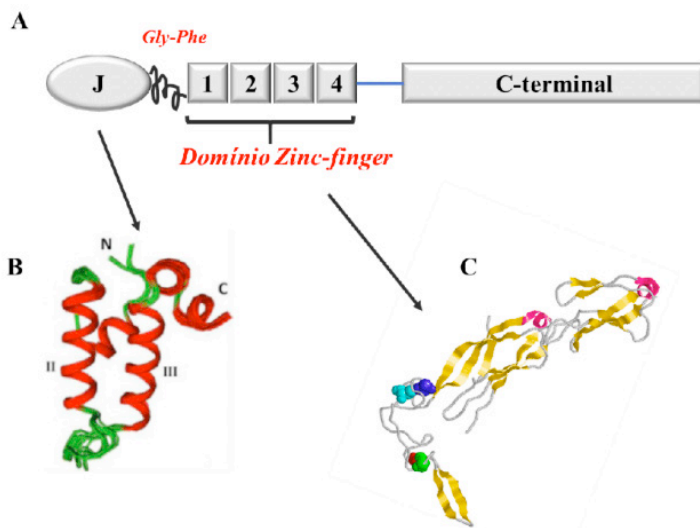


Figura 1- (A) Esquema geral dos domínios presente em Hsp40 do Tipo I: domínio J, região rica em Gly-Phe, domínio *Zinc-finger* e região do carboxílico terminal. (B) Esquema da estrutura do domínio J; (C) Esquema do domínio ligado ao átomo de Zn.

O domínio J corresponde ao terminal amino, contendo ~70 resíduos de aminoácidos e é encontrado em todas as proteínas Hsp40 (Figura 1 B). O domínio J é responsável pela regulação do ciclo hidrolítico ATP da Hsp70 (HENNESSY et al., 2005). A estrutura do domínio J demonstra que tal região é rica em hélices alfa, arranjadas em uma orientação anti-paralela. A região rica em Gly-Phe tem como função atuar como um espaçador flexível entre o domínio J e outras regiões da proteína Hsp40 (Figura 1A). Para a região denominada região C- terminal a função ainda não é bem esclarecida. O que se sabe é que a região fica adjacente à região do domínio contendo o íon Zn, e é tipicamente presente em proteínas Hsp40 que se ligam a polipeptídeos (Figura 1A). Contudo, esta é a região responsável pela dimerização (HENNESSY et al., 2005).

O domínio contendo o átomo de zinco (ZF) compreende quatro repetições ricas de cisteínas (Figura 1A e 1C) e, embora não seja clara a sua função, sugere-se que tal região desempenha um papel importante na ligação aos polipeptídeos pelos membros da família Hsp40, pois fragmentos de Hsp40 que contêm a região de zinco são capazes de suprimir a agregação de proteínas. Por exemplo, Fan et al. demonstraram que a região de domínio ligado ao Zn da Hsp40 do tipo I e o domínio J atuam sinergicamente para habilitar

o Hsp70 na captura de polipeptídeos desenovelados (FAN et al., 2005). Eles mostraram, também, que a segunda região (região II) contendo o zinco (Figura 1C) é necessário para a sobrevivência celular durante o estresse térmico. Recentemente, o mesmo grupo relatou que uma farnesilação (adicionado pela enzima proteína farnesil transferase) na região C-terminal da chaperona Hsp40 é capaz de trabalhar em cooperação com o domínio ligado ao íon Zn para reprimir a toxicidade dos príons (agentes infecciosos de estrutura anômala), adicionando, assim, outra função para este domínio (FAN et al., 2005).

3.2 Zinco e doenças neurodegenerativas

As doenças neurodegenerativas são caracterizadas por afetar os neurônios no cérebro humano (JESUS; ARRUDA, 2020a). Entre os exemplos mais conhecidos de tal doença estão mal de Alzheimer, mal de Parkinson e Huntington as quais tem como característica a formação de agregado do tipo amiloide das proteínas beta-amiloide, alfa-sinucleína e huntingtina, respectivamente (JESUS; ARRUDA, 2020a). Estas doenças são exemplos de problemas de saúde sério no mundo, sendo, por exemplo, a sexta maior causa de morte nos Estados Unidos. Estudos recentes mostram muitos exemplos de que o chaperoma possui uma função protetora contra o mal de Alzheimer. A expressão das chaperonas da família Hsp70 e Hsp27 são elevadas nas regiões cerebrais afetadas por Alzheimer e o complexo de chaperonas do retículo endoplasmático Bip/Grp78 reduzem a agregação da proteína precursora de amiloide.

Outros fatores também parecem ser importantes para o desenvolvimento de doenças neurodegenerativas. Por exemplo, estudos recentes mostraram que micronutrientes, principalmente zinco e em menor proporção cobre, parecem proteger contra agregação e sua suplementação parece diminuir os sintomas destas doenças. Conclui-se, portanto, que uma desregulação da homeostase de metais pode estar associada com a patologia destas doenças (JESUS; ARRUDA, 2020a).

Em geral, a relação entre metal e doenças neurodegenerativas envolvem a incorporação de proteínas amilóides na superfície da membrana celular, criando um canal citotóxico (JESUS; ARRUDA, 2020a). Esses canais, chamados de “canais de amiloide”, são poros gigantes de vários níveis que podem facilitar o transporte de grandes quantidades de Ca^{2+} . Quatro aminoácidos (Arg, Cys, Tyr e His), que fazem parte das sequências de aminoácidos humanos, são responsáveis pela ligação aos metais. Nesse sentido, o Zn se liga aos seus resíduos, que ficam expostos ao sítio interno do poro amiloide e inibem o fluxo de Ca^{2+} regulando a homeostase celular (JESUS; ARRUDA, 2020a).

4 I ESTADO DA ARTE EM TÉCNICAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE ZINCO E HSP40

4.1 Dicroísmo circular

O dicroísmo circular (CD) é uma técnica que é rotineiramente empregada para compreender as estruturas tri-dimensionais de proteínas (BANERJEE; MISRA; ASHRAF, 2019). O CD também é usado principalmente para estudar, em comparação com a conformação nativa, as mudanças estruturais que acompanhar a associação / dissociação de ligantes e durante o desdobramento/redobramento das biomoléculas. O CD é uma técnica não destrutiva e se baseia na interação de moléculas quirais com a luz circularmente polarizada (LCP), a qual apresenta um componente circularmente polarizado a esquerda e outro circularmente polarizado a direita. Esta interação é responsável pelo sinal de dicroísmo circular, que pode ser definido como uma diferença entre a absorção da luz circularmente polarizada à direita e à esquerda (BANERJEE; MISRA; ASHRAF, 2019). A Figura 2 mostra um esquema geral da interação da radiação polarizada com uma molécula quiral (assimétrica), descrevendo a formação de espectros de CD. De maneira geral, quando uma molécula simétrica absorve a LCP, ambos os componentes da esquerda e da direita são igualmente absorvidos e a luz emergente também é um LCP. No entanto, a molécula quiral (assimétrica) interage com a LCP, e os componentes direito e esquerdo da LCP serão absorvidos de forma desigual, e a onda resultante será polarizada elipticamente com CD, ou seja, $\Delta\epsilon = \epsilon_{\text{esquerda}} - \epsilon_{\text{direita}}$. Assim, um sinal de CD pode ter valores negativos e positivos dependendo da absorção relativa dos componentes direito ($\epsilon_{\text{direito}}$) e esquerdo ($\epsilon_{\text{esquerdo}}$). As principais estruturas secundárias são α -hélices e β -folha. O espectro de CD para proteínas α -helicoidais é caracterizado por apresentar dois mínimos, um em aproximadamente 208 nm e outro em 222 nm. Para o espectro de proteínas com domínios ricos em folhas beta, um sinal significativo entre 210 e 220 nm é observado (BANERJEE; MISRA; ASHRAF, 2019; CORRECIRC; RAMOS, 2009).

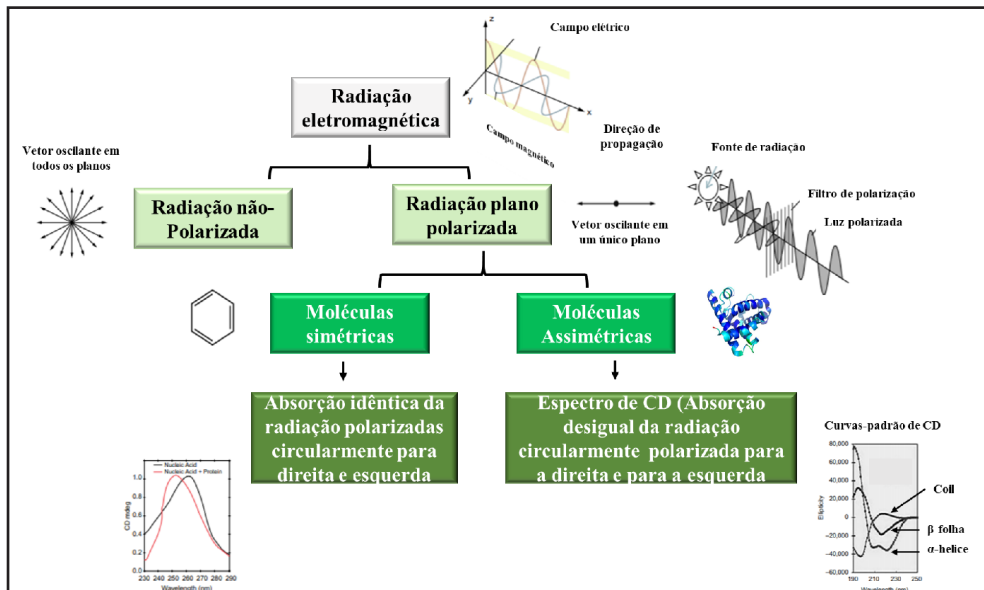


Figura 2- Resultado da interação da radiação circularmente polarizada com moléculas simétricas e assimétricas.

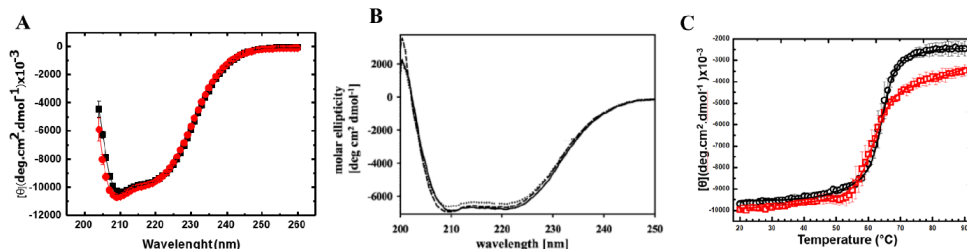


Figura 3 –Espectro de CD para caracterização da interação de (A) Zn e YdJ1, divulgado com permissão de (DE JESUS et al., 2019); e (B) Zn e DnaJ, divulgado com permissão de (DE JESUS et al., 2019). (C) Espectro da estabilidade térmica antes (preto) e após a remoção de Zn da estrutura de YdJ1, com permissão de (LINKE et al., 2003).

Um método foi proposto para remover o íon Zn^{2+} das estruturas das proteínas Hsp40 a fim de obter informações sobre o efeito do zinco na estrutura e na função da co-chaperona Hsp40 sem precisar modificar a sua estrutura primária. Usando a técnica de CD, observou-se que nenhuma mudança significativa na estrutura secundária foi detectada para a Hsp40 de levedura (YdJ1) (Figura 3-A)(DE JESUS et al., 2019). Esses dados corroboram aqueles obtidos pelo estudo de Linke et al., que usando experimento de mutação do domínio ZF da Hsp40 humana (DnaJ), concluiu, que a remoção da região ZF também não afeta a estrutura secundária da co-chaperona (Figura 3B)(LINKE et al., 2003). A análise do perfil do espectro de CD indicou proteínas bem dobradas que são muito semelhantes à de outros homólogos

da família Hsp40. No entanto, após a avaliação da estabilidade térmica, usando CD, observou-se mudanças na temperatura de transição de YdJ1 com e sem o íon Zn (Figura 3C). YdJ1 purificada foi estável até 55 °C e desdobrou-se por meio de uma transição na qual a temperatura no ponto médio (T_m) foi de 60 ± 1 °C ($n = 3$). Após o procedimento de remoção do Zn, YdJ1 mostrou um perfil induzido pelo calor semelhante, mas com um T_m igual a 63 ± 1 °C ($n = 3$). No entanto, o sinal de CD após a transição foi maior na amostra antes da remoção do Zn do que após, provavelmente devido à agregação. Os resultados do desdobramento induzido pelo calor indicaram que a remoção de Zn teve efeitos na estabilidade térmica de YdJ1, sugerindo que embora a ausência de Zn não afete a estrutura secundária da co-chaperona, ele tem papel essencial na estabilidade e função da Hsp40 (DE JESUS et al., 2019).

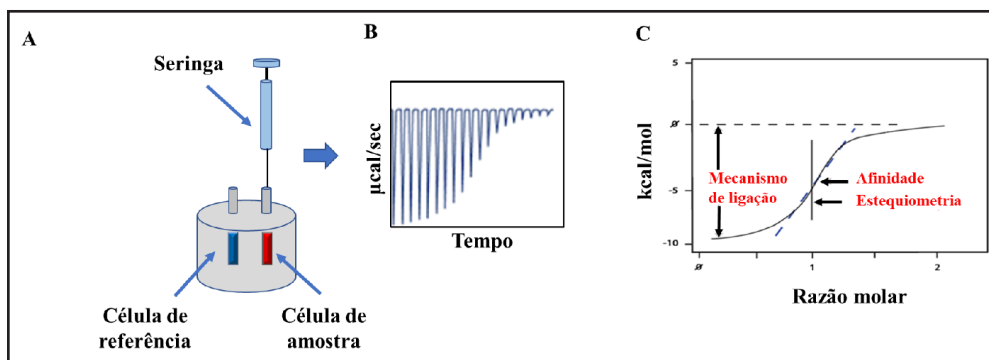


Figura 4 – (A) Esquema geral da técnica de Calorimetria de Titulação Isotérmica. (B) Representação de Isotermas resultantes após titulação. (C) Dados termodinâmicos obtidos.

4.2 Calorimetria de titulação isotérmica

A calorimetria de titulação isotérmica (ITC) é outra técnica que permite caracterizar a interação entre Zn e Hsp40 (Figura 4) (WILCOX, 2008). Essa técnica se baseia na medida direta do calor que é liberado ou absorvido durante um evento de ligação biomolecular. Medir a transferência de calor durante a ligação permite a determinação precisa das constantes de ligação (K_D), estequiometria de reação (n), entalpia (ΔH) e entropia (ΔS). Isso fornece um perfil termodinâmico completo da interação molecular e permite elucidar os mecanismos subjacentes às interações moleculares (WILCOX, 2008). Esta compreensão mais profunda das relações estrutura-função pode permitir uma tomada de decisão mais confiável em relação ao papel da proteína ZF no sistema biológico. De maneira geral, as medidas ocorrem por meio de comparação entre duas células que existem no calorímetro, uma delas contém água e atua como célula de referência, a outra contém a amostra (Figura 4A) (WILCOX, 2008). O calorímetro precisa manter essas duas células exatamente na

mesma temperatura. O ligante é carregado em uma seringa que fica em um dispositivo de injeção muito preciso. O dispositivo de injeção é inserido na célula de amostra contendo a proteína de interesse. Uma série de pequenas alíquotas de ligante são injetadas na solução de proteína, resultando em isotermas de ligação (Figura 4B) (WILCOX, 2008). Os dispositivos de detecção de calor detectam a diferença de temperatura entre as células quando ocorre a ligação e fornecem *feedback* para os aquecedores, que compensam essa diferença e retornam as células à mesma temperatura. Quando ocorre a ligação, o calor é absorvido ou liberado e isso é medido por um calorímetro sensível durante a titulação gradual do ligante na célula da amostra contendo a biomolécula de interesse, permitindo obter importantes parâmetros termodinâmicos, tais como estequiometria de reação, constante de ligação, entalpia e entropia (Figura 4C). de Jesus et al. utilizou a técnica de ITC para caracterizar a ligação de Zn^{2+} a YdJ1 que havia passado pelo procedimento de remoção de zinco. A Figura 5 mostra a curva do experimento de ITC. Pela Figura 5, observa-se que as isotermas de ligação resultantes se encaixam bem em um modelo de um conjunto de sítio de ligação. A reação de ligação foi exotérmica com $H_{\text{aparente}} = -6,9 \pm 0,2$ kcal mol⁻¹, que é medido diretamente no ITC, e o valor TS_{aparente} correspondente é de cerca de 3 kcal mol⁻¹. YdJ1 se liga ao Zn^{2+} com um $K_{\text{Daparente}}$ de 60 ± 15 mM e uma estequiometria de $0,7 \pm 0,1$ Zn^{2+} por monômero. Nesse caso, a entalpia reflete a força da interação entre o zinco e a proteína em relação à do zinco e o solvente. Adicionalmente, os resultados também sugerem que a entropia contribui para favorecer a ligação, indicando que os resíduos de YdJ1 envolvidos na coordenação do zinco sofrem pouca ou nenhuma rigidez conformacional após a ligação (DE JESUS et al., 2019).

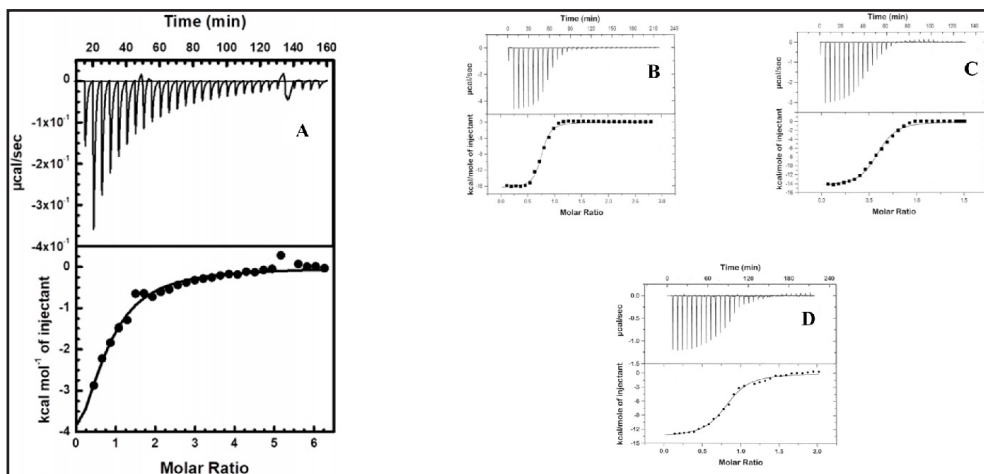


Figura 5 – Curvas de ITC para a interação de Zn com (A) YdJ1, com permissão (RICH et al., 2012).; (B) Sp1-3, (C) MyT1-2, e (D) GR-2, com permissão de (RICH et al., 2012). Copyright (2020) American Chemical Society.

Em outro estudo, Rich et al. utilizou o ITC para caracterizar a ligação do íon Zn^{2+} a três peptídeos de domínios de ZF que foram (i) ZF de Sp1-3, (ii) ZF do fator de transcrição de mielina1 (MyT1-2), e (iii) a segunda sequência de ligação do domínio de Zn do receptor de glicocorticoide (GR-2)(Figura 5B, 5C e 5D) (RICH et al., 2012). Como resultado, eles observaram que esses peptídeos se ligam ao Zn^{2+} pelos resíduos Cys2His2, Cys2HisCys e Cys4, respectivamente. Em relação aos parâmetros termodinâmicos, foi observado que para Sp1-3, $n_{\text{aparente}} = 0.73 \pm 0.01$, $K_{\text{aparente}} = (1.5 \pm 0.2) \times 10^6$ e $\Delta H_{\text{aparente}} = -16.5 \pm 0.2$ kcal/mol. Para MyT1-2, $n_{\text{aparente}} = 0.58 \pm 0.01$, $K_{\text{aparente}} = (7.2 \pm 0.8) \times 10^5$ e $\Delta H_{\text{aparente}} = -14.6 \pm 0.2$ kcal/mol. E, para GR-2, $n_{\text{aparente}} = 0.82 \pm 0.01$, $K_{\text{aparente}} = (1.0 \pm 0.1) \times 10^6$ e $\Delta H_{\text{aparente}} = -13.7 \pm 0.2$ kcal/mol (RICH et al., 2012).

Obviamente, embora essas observações aumentem positivamente a área de interação proteína-zinco, é necessário um trabalho mais extenso para desenvolver uma análise termodinâmica mais detalhada dessa ligação.

4.3 Espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS)

Técnicas analíticas capazes de fornecer informações sobre a identidade e as concentrações de espécies químicas em amostras em níveis extremamente baixos (miligramas, microgramas e picogramas) são altamente desejáveis (JESUS; DE ARAÚJO ANDRADE, 2020). Nesse sentido, sem dúvida alguma, a técnica de espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) é a estratégia mais utilizada para a determinação de metais em sistemas biológicos (JESUS; ARRUDA, 2020b). O ICP-MS é extremamente sensível, e em condições ideais, pode-se obter limites de detecção extremamente baixos ($ng\ Kg^{-1}$) de elementos traços e isótopos. Além disso, com o desenvolvimento da técnica de ionização branda por *electrospray* (ESI), a combinação de ICP-MS e técnicas de espectrometria de massas orgânica (ESI-MS/MS) tem se mostrado uma poderosa ferramenta analítica, possibilitando a quantificação simultânea e identificação estrutural de metalobiomoléculas, como por exemplo, proteínas com domínio ZF (PESSÔA et al., 2020). de Jesus et al. utilizou a técnica de ICP-MS para monitorar o efeito da remoção de Zn da estrutura e função de Hsp40. Além disso, usando ICP-MS foi confirmada a estequiometria de $<0,2$ mol de Zn por mol de um monômero de Hsp40, evidenciando a eficiência da técnica para obter dados exatos e precisos (DE JESUS et al., 2019).

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não há dúvidas de que as proteínas ZFs, em especial Hsp40, têm um papel crucial na homeostase celular e no combate e prevenção de doença humanas, tais como as doenças neurodegenerativa. Além disso, está claro que embora o cofator zinco seja importante para a estabilidade térmica e função da Hsp40, a sua ausência não afeta a estrutura secundária. É importante destacar, também o papel fundamental de técnicas robustas, tais como CD,

ITC e ICP-MS para caracterizar a estrutura e interação entre zinco e as proteínas ZF.

AGRADECIMENTOS

J.R.J agradece a Fundação de Amparo de Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, 2018/00768-0) pelo suporte financeiro, e ao Laboratório de Bioquímica do Chaperoma (LaBiC) do Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas (IQ/ UNICAMP) pela infraestrutura.

REFERÊNCIAS

BANERJEE, B.; MISRA, G.; ASHRAF, M. T. **Circular dichroism**. In: Data Processing Handbook for Complex Biological Data Sources. Elsevier, 2019. p. 21–30.

CORRECIRC, D.; RAMOS, C. **The use of circular dichroism spectroscopy to study protein folding, form and function**. African Journal of Biochemistry, v. 3, n. 5, p. 164–173, 2009.

DE JESUS, J. R. et al. **Optimization of a methodology for quantification and removal of zinc gives insights into the effect of this metal on the stability and function of the zinc-binding co-chaperone Ydj1**. Frontiers in Chemistry, v. 7, n. 7, p. 1–10, 2019.

FAN, C. Y. et al. **The type I Hsp40 zinc finger-like region is required for Hsp70 to capture non-native polypeptides from Ydj**. Journal of Biological Chemistry, v. 280, n. 1, p. 695–702, 2005.

HENNESSY, F. et al. **Not all J domains are created equal: Implications for the specificity of Hsp40-Hsp70 interactions**. Protein Science, v. 14, n. 7, p. 1697–1709, 2005.

JESUS, J. R.; ARRUDA, M. **Unravelling neurological disorders through metallomics-based approaches**. Metallomics, 2020a. DOI:10.1039/D0MT00234H.

JESUS, J. R.; ARRUDA, M. A. Z. **A feasible strategy based on high ultrasound frequency and mass spectrometry for discriminating individuals diagnosed with bipolar disorder and schizophrenia through ionic profile**. Rapid Communications in Mass Spectrometry, n. 2, p. 1–10, 2020b.

JESUS, J. R.; DE ARAÚJO ANDRADE, T. **Understanding the relationship between viral infections and trace elements from a metallomics perspective: implications for COVID-19**. Metallomics, 2020. DOI: 10.1039/D0MT00220H.

KLUSKA, K.; ADAMCZYK, J.; KRĘŻEL, A. **Metal binding properties, stability and reactivity of zinc fingers**. Coordination Chemistry Reviews, v. 367, p-18-64, 2018.

LINKE, K. et al. **The Roles of the Two Zinc Binding Sites in DnaJ**. Journal of Biological Chemistry, v. 278, n. 45, p. 44457–44466, 2003.

MALGIERI, G. et al. **The prokaryotic zinc-finger: Structure, function and comparison with the eukaryotic counterpart**. FEBS Journal, 2015, DOI: 10.1111/febs.13503.

MITRA, A.; SHEVDE, L. A.; SAMANT, R. S. Multi-faceted role of HSP40 in cancer. **Clinical and Experimental Metastasis**, v. 26, n. 6, p. 559–567, 2009.

PESSÔA, G. D. S. et al. Metallomics-based platforms for comparing the human blood serum profiles between bipolar disorder and schizophrenia patients. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, p. 1–10, 2020.

RAMOS, C. H. I.; FERREIRA, S. T. **Protein Folding, Misfolding and Aggregation: Evolving Concepts and Conformational Diseases**. *Protein and Peptide Letters*. V12, n. 3, p- 213-222, 2005.

RICH, A. M. et al. Thermodynamics of Zn²⁺ binding to Cys 2His 2 and Cys 2HisCys zinc fingers and a Cys 4 transcription factor site. **Journal of the American Chemical Society**, v. 134, n. 25, p. 10405–10418,

WILCOX, D. E. **Isothermal titration calorimetry of metal ions binding to proteins: An overview of recent studies**. *Inorganica Chimica Acta*, v. 361, n. 4, p-857-867, 2008.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorção 130, 131, 134, 136, 137, 138, 139, 141, 142

Água 16, 19, 20, 21, 26, 27, 32, 34, 35, 55, 56, 66, 73, 95, 101, 102, 114, 115, 116, 123, 125, 133, 135, 136, 139, 143, 144, 145, 146, 148, 152, 153, 160, 191, 200

Aminoácidos 184, 185, 187, 188

Análise térmica 126

Aprendizagem 16, 29, 36, 37, 41, 42, 46, 49, 50

Astronomia 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50

B

Bandas 113, 119, 120, 128, 160, 161, 205

Biocatálise 99, 101

C

Câncer 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 74, 185, 186

Carbono 67, 82, 112, 113, 114, 118, 119, 140, 162, 203

Células 52, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 67, 73, 74, 76, 94, 103, 106, 133, 185, 186, 191, 192

Celulose 64, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 80, 82, 83, 85, 133, 141

Ciência 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 22, 28, 42, 49, 53, 64, 75, 80, 82, 98, 108, 131, 143, 171, 196

Cobre 73, 74, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 110, 188

Contexto 13, 23, 28, 89, 90, 131, 134, 157, 158, 159

Corante 131, 136, 137, 138, 139

Cromatografia líquida de alta eficiência 163

D

Descarte 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 17, 19, 22, 24, 25, 26, 27, 139

Desenvolvimento 3, 9, 12, 14, 16, 17, 28, 31, 41, 42, 43, 48, 52, 53, 58, 59, 60, 64, 65, 70, 72, 73, 74, 76, 77, 78, 82, 83, 88, 89, 94, 96, 101, 106, 107, 115, 153, 157, 158, 159, 167, 170, 188, 193, 209

Diagnóstico 25, 186, 196, 197, 198

Difração de raios X 127, 128, 160, 164

Difratograma 165, 167

Doenças 4, 31, 52, 56, 60, 88, 89, 100, 157, 184, 185, 188, 193, 197

E

Educação 1, 2, 3, 4, 8, 11, 12, 13, 16, 23, 28, 39, 43, 46, 47, 49, 50, 64, 96, 209

Educação ambiental 1, 16, 23, 209

Eletroquímicos 114

Espectro de infravermelho 118, 167

Espectroscopia de fluorescência 117

Estabilidade química 113

Estabilidade térmica 67, 157, 159, 164, 167, 190, 191, 193

Estruturas químicas 196

F

Fármacos 52, 54, 55, 56, 58, 60, 66, 71, 74, 75, 77, 160, 164

Fase sólida 144

Fluorescência 114, 117, 120, 196, 199, 202, 206, 207

Fotocatálise heterogênea 131, 134, 136, 138, 139, 209

Fungos 99, 100, 101, 103, 106, 107

H

Hidroxilas 123

Homeostase 184, 185, 186, 188, 193

I

Impacto ambiental 4, 5, 14, 16, 144

Infravermelho com transformada de Fourier 34, 117

Isomorfos 127

M

Medicamentos 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 157, 158, 168

Meio ambiente 3, 10, 13, 15, 17, 19, 22, 24, 26, 27, 131, 134

Metais 100, 106, 107, 134, 188, 193

Metodologia 3, 6, 12, 22, 26, 30, 34, 35, 43, 44, 45, 47, 68, 116, 146, 151, 169, 170, 172, 200, 209

Moagem 123, 124, 125, 126, 127, 128, 132, 133

N

Nanomateriais 52, 53, 54, 55, 59, 60, 112

Nanopartículas 53, 54, 55, 60, 73, 74, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 112, 113, 114, 115

Nanotecnologia 52, 53, 59, 60, 149

O

Óxidos metálicos 131, 134, 139, 198

P

Polimórfica 157, 164, 165, 166

Poluentes 66, 107, 134

Poros 55, 76, 139, 143, 144, 145, 153, 155, 188

Potencial zeta 99, 103, 104, 105

Probióticos 88, 89, 90, 94, 98

Proteínas 58, 94, 95, 100, 104, 106, 107, 115, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 193, 194

R

Rejeitos 14, 16

Resíduos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 26, 66, 132, 134, 159, 184, 187, 188, 192, 193, 209

S

Saúde 16, 52, 88, 89, 93, 94, 96, 97, 157, 159, 168, 188, 196

Síntese 34, 38, 66, 82, 99, 100, 101, 103, 109, 110, 112, 113, 115, 116, 118, 119, 130, 131, 159, 196, 199, 200, 202, 208

Sociedade 1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 22, 28, 49, 50

Soluto 145, 152

Solvente 26, 32, 115, 144, 145, 160, 192, 199, 200, 201, 202, 205, 206

Superfície 16, 20, 54, 55, 74, 103, 113, 114, 115, 120, 123, 133, 138, 139, 188

T

Técnicas espectroscópicas 161, 196

Tecnologia 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 22, 28, 64, 80, 97, 98, 123, 160

Temperaturas 18, 94, 100, 103, 114, 124, 131, 147, 148, 149, 150, 151

Terapêutica 54, 196, 197, 198

Toxicidade 54, 55, 113, 114, 115, 188

Transições eletrônicas 112

Z

Zinco 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 192, 193, 194

Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química

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



Trabalhos nas Áreas de Fronteira da Química

- 🌐 www.arenaeditora.com.br
- ✉ contato@arenaeditora.com.br
- 📷 [@arenaeditora](https://www.instagram.com/arenaeditora)
- 📘 www.facebook.com/arenaeditora.com.br

