

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

Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Profª Drª 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

Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Profª Drª 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

Profª Drª 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

Profª Drª 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

Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Profª Drª 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

Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª 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

Profª Drª 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. Adailson 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. 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

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

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
Livia Maria Pinto Rodrigues
Edailson de Alcântara Corrêa

DOI 10.22533/at.ed.2432122027

CAPÍTULO 8..... 99

NANOPARTÍCULAS DE COBRE BIODISSIMULADAS 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

NAFTOIMIDAZÓIS COMO POTENCIAIS COMPONENTES TERANÓSTICOS FLUORESCENTES: SÍNTESE E AVALIAÇÃO

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 31/10/2020

Victória Laysna dos Anjos Santos

Universidade Federal do Vale do São Francisco, Colegiado de Pós-Graduação em Ciências da Saúde e Biológicas
Petrolina - Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/7950494299600778>

Helinando Pequeno de Oliveira

Universidade Federal do Vale do São Francisco, Colegiado de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais
<http://lattes.cnpq.br/5382132010377738>

Arlan de Assis Gonsalves

Universidade Federal do Vale do São Francisco, Colegiado de Pós-Graduação em Ciências da Saúde e Biológicas
Petrolina - Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/5431415076004332>

Cleônia Roberta Melo Araújo

Universidade Federal do Vale do São Francisco, Colegiado de Pós-Graduação em Ciências da Saúde e Biológicas
Petrolina - Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/0345962384656771>

RESUMO: Agentes teranósticos são sistemas que atuam simultaneamente no diagnóstico e tratamento de uma determinada doença, uma vez que são planejados para apresentar em sua estrutura agentes emissores de imagem, assim como, moléculas de ação terapêutica.

Os teranósticos são constituídos por quatro componentes básicos, sendo eles: a) a molécula terapêutica; b) um ligante de direcionamento, responsável por conduzir o teranóstico até o alvo; c) um agente de imagem, que pode ser de natureza magnética, radioativa ou óptica; e d) um carreador. Dentre as estruturas químicas com elevada potencialidade para aplicação como emissor de imagem em sistemas teranósticos, destacam-se os naftoimidazóis, em razão da conjugação do heterociclo imidazólico com um anel naftalênico, resultando no incremento das propriedades fotoluminescentes dos seus derivados. Considerando a potencialidade dos naftoimidazóis como componente fluorescente de sistemas teranósticos, três compostos foram sintetizados (**IM1**, **IM2** e **IM3**), identificados e suas propriedades fotofísicas foram avaliadas. Os naftoimidazóis foram preparados por uma rota sintética de duas etapas reacionais, empregando o lapachol como matéria-prima. Inicialmente, a β -lapachona foi sintetizada a partir da ciclização ácida do lapachol, utilizando H_2SO_4 concentrado. Em seguida, os naftoimidazóis foram obtidos através da reação de Debus-Radziszewski empregando a β -lapachona. Os produtos obtidos foram purificados por cromatografia em coluna e identificados por técnicas espectroscópicas de RMN de 1H e ^{13}C , e IV. Para caracterização fotofísica, foram realizados estudos de solvatocromismo (hexano, DMSO e MeOH), determinação do coeficiente de absorvidade molar (ϵ) e o Deslocamento de Stokes (Δ_{ST}) com λ_{Abs} 345 nm. Os 1,3-naftoimidazóis apresentaram elevada intensidade de emissão de fluorescência e intermediário Δ_{ST} , demonstram a potencialidade

destes fluoróforos em serem aplicados como componentes fluorescentes para emissão de imagem em sistemas teranósticos.

PALAVRAS-CHAVE: 1,3-naftoimidazóis, Debus-Radziszewski, lapachol, β -lapachona, sondas fluorescentes.

NAPHTHOIMIDAZOLES AS FLUORESCENT THERANOSTIC COMPONENTS IN POTENTIAL: SYNTHESIS AND EVALUATION

ABSTRACT: Theranostic are systems that act simultaneously in the diagnosis and treatment of a disease, its designed with image-emitting agents in their structure, as well as molecules of therapeutic action. Theranostics are constituted of four basic components: a) a therapeutic molecule; b) a targeting ligand, responsible for guiding the theranostic to the target; c) an imaging agent, which can be of a magnetic, radioactive or optical origin; and d) a carrier. Among the structures defined with high potential for being an image emitter in theranostic, naphthoimidazoles stand out, due to the conjugation of the imidazolic heterocycle with a naphthalenic ring, in increasing the photoluminescent properties of its derivatives. Then three compounds were synthesized (**IM1**, **IM2** and **IM3**), identified and their photophysical properties evaluated. Naphthoimidazoles were prepared by a synthetic route of two reaction steps, using lapachol as a raw material. Initially, β -lapachone was synthesized from the acidic cyclization of lapachol, using concentrated H_2SO_4 . Then, the naphthoimidazoles were obtained through the Debus-Radziszewski reaction using β -lapachone. The products obtained were purified by column chromatography and identified by 1H and ^{13}C NMR spectroscopic techniques, and IV. For photophysical characterization, studies of solvatochromism (hexane, DMSO and MeOH), determination of the molar absorptivity coefficient (ϵ) and Stokes Displacement (Δ_{ST}) with λ_{Abs} 345 nm were performed. 1,3-naphthoimidazoles showed high fluorescence emission and intermediate Δ_{ST} which demonstrate the potential of these fluorophores as fluorescent components for image emission in theranostic systems.

KEYWORDS: 1,3-naphthoimidazoles, Debus-Radziszewski, lapachol, β -lapachone, fluorescent probes.

1 | INTRODUÇÃO

A abordagem teranóstica foi introduzida por Harrell e Kopelman (2000) e consolidada em 2002, por Funkhouser em sua publicação intitulada: *Reinventing pharma: The theranostic revolution* (DREIFUSS et al., 2015), na qual o termo teranóstico foi definido como a união das modalidades de terapia e diagnóstico por imagem em um único agente. Com os avanços das técnicas de imagem molecular e da nanomedicina, observou-se também o crescente progresso da abordagem teranóstica, visando uma terapia personalizada e com maior eficácia terapêutica para as mais diversas patologias (JAIN; KUMAR; DUTTA, 2015).

Atualmente, são desenvolvidos teranósticos para as diversas patologias, como neoplasias, infecções (virais, fúngicas e parasitárias), doenças cardiovasculares e neurológicas, inflamações, como a artrite reumatoide e na regeneração tecidual (SHETTY; PRABHU; PRABHAKAR, 2019).

A dualidade funcional dos agentes teranósticos possui vantagens significativas para a nanomedicina, principalmente visando superar os problemas farmacocinéticos e de seletividade apresentados pelos agentes de terapia e diagnóstico convencionais (KELKAR; REINEKE, 2011). Além disso, os teranósticos mostram-se vantajosos por permitirem o monitoramento por imagem da progressão da patologia, assim como do perfil farmacocinético do fármaco no organismo, durante a realização do plano terapêutico (XIAO et al., 2019).

O desenho e preparo de um agente teranóstico requer esforços interdisciplinares, uma vez que implica na utilização de conhecimentos físicos, nanotecnológicos, bioquímicos e de engenharia para obtenção de uma plataforma multifuncional capaz de realizar a terapia e o diagnóstico, de forma não-invasiva, de uma condição patológica (GOLOVIN et al., 2017).

Um agente teranóstico é formado por quatro componentes básicos, sendo: i) um agente de imagem; ii) uma molécula terapêutica; iii) um ligante com o alvo; iv) um carreador (Figura 1) (JAIN; KUMAR; DUTTA, 2015).

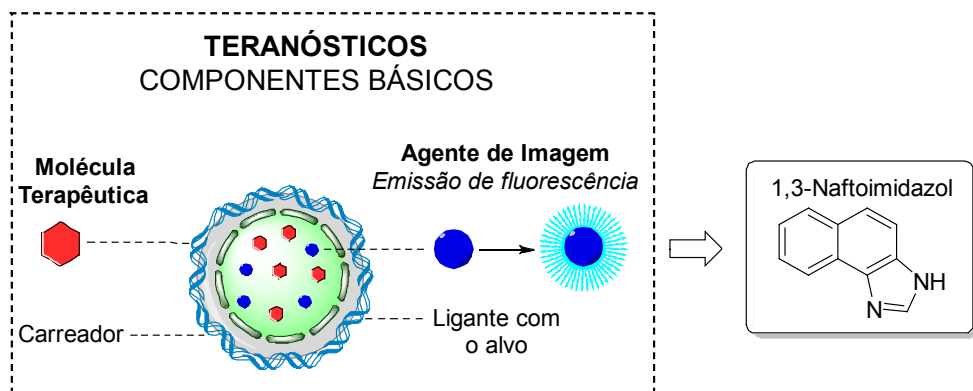


Figura 1. Representação de um sistema teranóstico básico, e do heterociclo 1,3-naftoimidazol.

O agente de diagnóstico empregado em sistemas teranósticos deve permitir a visualização dos processos celulares e subcelulares de uma condição patológica, por meio da emissão de imagem de forma não-invasiva (JANIB; MOSES; MACKAY, 2010). São exemplos desses componentes: moléculas orgânicas utilizadas como fluoróforos, óxidos metálicos, isótopos e *quantum dots* (JAIN; KUMAR; DUTTA, 2015).

Os imidazóis são caracterizados por um heterociclo de cinco membros com dois nitrogênios (HAIDER, 2017), podendo ter seu sistema aromático estendido quando substituídos nas posições 4 e 5 por um anel naftalênico, formando o núcleo naftoimidazol, por exemplo (WANG et al., 2018).

Os 1,3-naftoimidazol mostram-se como promissores componentes de sistemas teranósticos, uma vez que além de possuírem um amplo espectro de atividades biológicas, também possuem promissoras propriedades ópticas de emissão de fluorescência (CUADRADO-BERROCAL et al., 2015) (Figura 1). As propriedades ópticas que caracterizam estes heterociclos como bons fluoróforos são relacionadas, principalmente, a conjugação dos heterociclos azólicos a anéis naftalênicos, os quais proporcionam aumento significativo da intensidade de fluorescência desses derivados (ESEOLA et al., 2011).

Considerando as potenciais propriedades fotofísicas características dos núcleos 1,3-naftoimidazóis, bem como suas aplicações como fluoróforos em sistemas teranósticos, três compostos (**IM1**), (**IM2**) e (**IM3**) foram sintetizados, caracterizados e, em seguida, suas propriedades fluorescentes foram investigadas.

2 | PARTE EXPERIMENTAL

Para a síntese dos três naftoimidazóis, todos os reagentes empregados foram obtidos de fonte comercial e utilizados sem purificação prévia. A purificação dos produtos obtidos foi realizada empregando coluna cromatográfica (CC) contendo sílica gel 60 (70 – 230 *mesh*) e sistema de solvente acetato de etila/hexano (AcOEt/Hex) com polaridade crescente. Após a preparação e purificação todos os produtos de síntese foram armazenados sob refrigeração e ao abrigo da luz.

A elucidação estrutural dos 1,3-naftoimidazóis foi realizada empregando técnicas de Ressonância Magnética Nuclear de ^1H e ^{13}C (RMN de ^1H e ^{13}C), incluindo as técnicas bidimensionais de correlação homonuclear, ^1H , ^1H -COSY, e heteronuclear, ^1H , ^{13}C (HSQC e HMBC), além do RMN de ^{13}C -DEPT 135°. Os experimentos de RMN foram registrados em um aparelho Bruker AscendTM 400, que opera a 400 MHz para o núcleo de ^1H e a 100 MHz para o núcleo de ^{13}C . Os descolamentos químicos (δ) foram obtidos em ppm utilizando o solvente tetrametilsilano (TMS) como padrão interno. Todas as amostras foram solubilizadas em solvente deuterado (CDCl_3 ou $\text{DMSO-}d_6$).

Além das técnicas de RMN, os compostos foram caracterizados por Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (IV), utilizando pastilhas de KBr e Espectro PerkinElmer (Modelo 10.4.00).

A caracterização fotofísica dos 1,3-naftoazóis sintetizados, foi realizada utilizando Espectrofotômetro Hach/Lange, modelo DR 5000 e Espectrofluorímetro ISS, modelo PC1. Os dados obtidos foram analisados utilizando o programa OriginPro8®.

O lapachol, material de partida para a síntese dos naftoimidazóis, foi extraído conforme Guimarães e colaboradores (2020) a partir da madeira do ipê amarelo. Após a purificação, a naftoquinona foi submetida a ciclização ácida empregando H_2SO_4 para a obtenção da β -lapachona (GUIMARÃES et al., 2020).

2.1 Síntese, caracterização e identificação dos 1,3-naftoimidazóis (IM1), (IM2) e (IM3)

Os 1,3-naftoimidazóis (IM1), (IM2) e (IM3) foram sintetizados empregando a metodologia descrita por Silva e colaboradores (2007), utilizando a estratégia *one pot* e o aquecimento convencional (banho de glicerina e chapa aquecedora) como fonte de energia. Em um balão de reação de 25 mL a β -lapachona (242 mg; 1 mmol) foi pesada e solubilizada em 6 mL de H_3CCOOH , seguida da adição de 2,5 mmol do aldeído empregado. A mistura reacional foi submetida ao aquecimento convencional utilizando chapa aquecedora e banho de glicerina, até atingir a temperatura de 70°C, momento no qual foi adicionado 1,27 g (16,5 mmol) de acetato de amônio ($H_3CCOONH_4$) dividido em três partes. O balão de reação foi tampado e deixado reagir a 70°C e em agitação constante, sendo a reação acompanhada por CCDA.

Quando empregado o 4-nitrobenzaldeído observou-se a precipitação do produto no meio reacional, sendo estas reações finalizadas por filtração simples e o sólido lavado com solução gelada de $NaHSO_3$ 5,0% (m/v). Para o benzaldeído e 2-nitrobenzaldeído houve precipitação dos produtos após verter a mistura reacional em 200 mL de uma solução gelada de $NaHSO_3$ 5,0% (m/v). O produto foi filtrado, lavado com 20 mL de solução de $NaHCO_3$ 5,0% (m/v), e posteriormente com água deionizada até neutralização do pH. O produto obtido foi seco a temperatura ambiente e purificado por CC, empregando sílica e sistema de solvente AcOEt/Hex.

2.1.1 2-(fenil)-1,3-naftoimidazol (IM1)

O 1,3-naftoimidazol (IM1) foi obtido empregando o benzaldeído e aquecimento em glicerina, com tempo reacional de uma hora. O sólido obtido foi purificado por meio de CC utilizando como sistema de solvente inicial AcEt/Hex 1:10, obtendo-se 60 mg de um sólido de coloração amarelo claro. Rendimento: 18,3%; Rf: 0,54 (1:1 AcEt/Hex); PF: 278-279°C; IV (KBr): [cm^{-1}] 3432, 3067, 2972, 2852, 2928, 1600, 1520, 1256, 1157 e 1056. RMN de 1H (400 MHz, DMSO-d₆): δ [ppm] 13,24 (s, 0,3H); 12,76 (s, 0,5H); 8,37 – 8,46 (m, 1H); 8,20 – 8,29 (m, 2H); 8,10 – 8,20 (m, 1H); 7,51 – 7,63 (m, 3H); 7,39 – 7,51 (m, 2H); 3,00 – 3,17 (m, 2H); 1,87 – 2,06 (m, 2H); 1,43 (s, 6H). RMN de ^{13}C (100 MHz, DMSO-d₆): **Forma A** δ [ppm]: 147,9 (C2); 144,5 (C12); 132,2 (C4); 131,2 (C5); 130,6 (C1'); 129,1 (C4'); 128,8 (C3'/C5'); 126,0 (C2'/C6'); 125,9 (C8); 125,7 (C6) 123,4 (C9); 122,8 (C11); 122,1 (C10); 121,2 (C7); 102,4 (C17); 74,4 (C14); 31,4 (C15); 26,5 (CH₃); 18,8 (C16). **Forma B** δ [ppm]: 149,0 (C2); 143,6 (C12); 140,2 (C4); 130,8 (C1'); 129,1 (C4'); 128,8 (C3'/C5'); 126,0 (C2'/C6'); 125,7 (C8); 123,6 (C9); 123,1 (C5); 122,9 (C11); 122,3 (C10); 121,2 (C7); 120,5 (C6); 107,7 (C17); 74,1 (C14); 31,8 (C15); 26,5 (CH₃); 18,4 (C16).

2.1.2 2-(4-nitro-fenil)-1,3-naftoimidazol (**IM2**)

O 1,3-naftoimidazol (**IM2**) foi obtido empregando o 4-nitrobenzaldeído e aquecimento em glicerina, com tempo reacional de trinta minutos e precipitação do produto no meio. O sólido obtido foi purificado por meio de CC utilizando como sistema de solvente inicial AcEt/Hex 1:10, obtendo-se 183 mg de cristais vermelhos. Rendimento: 49,1%; Rf: 0,64 (1:1 AcEt/Hex); PF: 259-260 °C; IV (KBr) [cm⁻¹]: 3348, 2975, 2845, 2929, 1604, 1511, 1258, 1155 e 1057. RMN de ¹H (400 MHz, DMSO-d₆): δ [ppm] 13,61 (s, 0,3H); 13,10 (s, 0,6H); 8,36 - 8,52 (m, 5H); 8,13 - 8,22 (m, 1H); 7,56 - 7,67 (m, 1H); 2,96 - 3,16 (m, 2H); 1,90 - 2,09 (m, 2H); 1,42 e 1,44 (s, 6H). RMN de ¹³C (100 MHz, DMSO-d₆): **Forma A** δ [ppm] 146,8 (C4'); 146,6 (C2); 144,2 (C12); 136,6 (C1'); 133,0 (C4); 132,1 (C5); 126,6 (C2'/C6'); 126,3 (C8); 125,7 (C6); 124,3 (C9); 124,0 (C3'/C5'); 123,2 (C11); 122,3 (C10); 121,2 (C7); 102,2 (C17); 74,7 (C14); 31,3 (C15); 26,5 (CH₃); 18,7 (C16). **Forma B** δ [ppm] 147,0 (C4'); 146,6 (C2); 144,2 (C12); 140,7 (C4); 136,4 (C1'); 126,6 (C2'/C6'); 125,9 (C8); 124,4 (C9); 124,0 (C3'/C5'); 123,7 (C5); 123,2 (C11); 122,5 (C10); 121,5 (C7); 120,5 (C6); 107,5 (C17); 74,3 (C14); 31,7 (C15); 26,5 (CH₃); 18,2 (C16).

2.1.3 2-(2-nitro-fenil)-1,3-naftoimidazol (**IM3**)

O 1,3-naftoimidazol (**IM3**) foi obtido empregando o 2-nitrobenzaldeído e aquecimento em glicerina, com tempo reacional de duas horas e trinta minutos. O sólido obtido foi purificado por meio de CC utilizando como sistema de solvente inicial AcEt/Hex 1:10, obtendo-se 194 mg de um sólido amorfo de coloração vermelho tijolo. Rendimento: 52,0%; Rf: 0,33 (1:1 AcEt/Hex); PF: 139-141 °C; IV (KBr) [cm⁻¹]: 3415, 3116, 2973, 2850, 2923, 1602, 1521, 1260, 1162 e 1057. RMN de ¹H (400 MHz, DMSO-d₆): δ [ppm] 13,52 (s, 0,3H); 13,08 (s, 0,7H); 8,27 (d, 1H); 8,20 - 8,11 (m, 1H); 8,03 (t, J = 8,7 Hz, 2H); 7,83 - 7,92 (m, 1H); 7,68 - 7,77 (m, 1H); 7,53- 7,63 (m, 1H); 7,41 - 7,50 (m, 1H); 2,99 (t, J = 6,5 Hz, 2H); 1,99 (t, J = 6,6 Hz, 2H); 1,43 e 1,41 (s, 6H). RMN de ¹³C (100 MHz, DMSO-d₆): **Forma A** δ [ppm] 148,8 (C2'); 144,7 (C2); 143,8 (C12); 132,4 (C4); 132,6 (C5'); 131,2 (C5); 130,9 (C6'); 130,3 (C4'); 126,1 (C8); 125,6 (C6); 124,6 (C1'); 124,4 (C3'); 123,7 (C9); 123,2 (C11); 122,2 (C10); 121,1 (C7); 102,2 (C17); 74,6 (C14); 31,4 (C15); 26,5 (CH₃); 18,7 (C16). **Forma B** δ [ppm] 148,8 (C2'); 145,0 (C2); 143,5 (C12); 140,2 (C4); 132,4 (C5'); 130,8 (C6'); 130,0 (C4'); 125,8 (C8); 124,6 (C1'); 124,2 (C3'); 124,1 (C9); 123,4 (C11); 122,8 (C5); 122,5 (C10); 121,2 (C7); 120,5 (C6); 107,5 (C17); 74,3 (C14); 31,6 (C15); 26,5 (CH₃); 18,2 (C16).

2.2 Estudo de Solvatocromismo

Preparou-se uma solução estoque de cada composto na concentração de 4000 μmol.L⁻¹ utilizando como solvente diclorometano (CH₂Cl₂). A partir da solução estoque foram preparadas soluções na concentração de 20 μmol.L⁻¹ de cada composto em três diferentes solventes (hexano, DMSO e metanol). Realizou-se então varredura de 190 a

800 nm, empregando espectrofotômetro de absorvância Hach / Lange, modelo DR 5000. Os espectros de cada 1,3-naftoimidazol sintetizado foram plotados utilizando o programa OriginPro8® e determinados os comprimentos de absorção máxima para cada derivado.

2.3 Determinação do espectro de emissão de fluorescência

Foram preparadas soluções estoques para cada composto na concentração de 4000 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ no solvente em que o composto apresentou melhor resolução da sua banda de absorção máxima. A partir da solução estoque foram preparadas soluções de análise na concentração de 20 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ e realizadas leituras no Espectrofluorímetro ISS, modelo PC1, no qual o comprimento de onda de excitação utilizado foi determinado como 345 nm para todas as amostras.

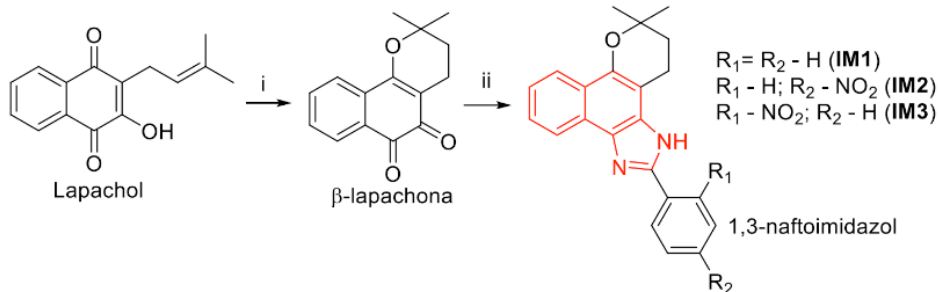
Os espectros de emissão obtidos para cada 1,3-naftoimidazol, foram plotados utilizando o programa OriginPro8® e calculou-se o deslocamento de Stokes de cada derivado naftoimidazólico sintetizado.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Síntese e caracterização dos 1,3-naftoimidazóis

O método de Debus-Radziszewski trata-se de uma reação multicomponente (RMC) empregada para a preparação de dois heterociclos concomitantes, o 1,3-imidazol e o 1,3-naftoxazol, a partir de um composto α -dicarbonilado, um aldeído e amônia, sob aquecimento. A síntese de imidazóis 2,4,5-trissubstituídos por meio de RMCs possui características que atraem o interesse da indústria farmacêutica, considerando que trata-se de uma reação de baixo custo e fácil execução (SANTOS; GONSALVES; ARAÚJO, 2020). Para a obtenção dos 1,3-naftoimidazóis (**IM1**), (**IM2**) e (**IM3**) propostos utilizou-se a β -lapachona (**β -Lap**) como composto α -dicarbonilado. A rota sintética utilizada, foi composta por duas etapas reacionais e empregou o lapachol (**Lap**) como material de partida, Figura 2.

Inicialmente, o **Lap** foi obtido da madeira do ipê-amarelo, por extração ácido-base, e purificado por recristalização com rendimento de 3,0% (m/m). Posteriormente, a β -Lap foi sintetizada com 95,0% de rendimento a partir da ciclização ácida do **Lap**, empregando ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) a temperatura ambiente (GONTIJO et al., 2016).



i. H_2SO_4 , t.a, R: 95,0%. ii. H_3CCOOH , aldeído, $H_3CCOONH_4$, 70 °C, R:18,3 - 52,0%.

Figura 2. Esquema da rota sintética de preparação dos naftoimidazóis (**IM1**), (**IM2**) e (**IM3**).

Os 1,3-naftoimidazóis foram preparados através de uma reação *one pot* empregando como reagentes a β -Lap, o acetato de amônio como fonte de amônia (NH_3), ácido acético glacial e um aldeído aromático. Ao empregar o benzaldeído foi obtido o 2-(fenil)-1,3-naftoimidazol (**IM1**) com rendimento de 18,3%, como um sólido de coloração amarelo claro e PF 278-279 °C.

O 4-nitrobenzaldeído e o 2-nitrobenzaldeído produziram, respectivamente, o 2-(4-nitro-fenil)-1,3-naftoimidazol (**IM2**) e o 2-(2-nitro-fenil)-1,3-naftoimidazol (**IM3**). O **IM2** foi preparado com 49,1% de rendimento e obtido na forma de cristais vermelhos com PF igual a 259-260 °C. Já o **IM3** foi gerado como um sólido amorfo de coloração vermelho tijolo, PF igual a 139-141°C, e rendimento reacional de 52,0%.

Considerando que o núcleo 1,3-naftoimidazol é constituído por dois átomos de nitrogênio, um pirrólico e outro piridínico, separados por apenas um átomo de carbono, ele é capaz de apresentar tautomerismo anelar com a formação de dois tautômeros possíveis. Denomina-se tautomerismo anelar, uma vez que, os átomos de nitrogênio e hidrogênio envolvidos no equilíbrio são pertencentes ao anel imidazol (DREW et al., 2008).

Quando substituídos na posição C2 com anéis aromáticos, os 1,3-naftoimidazóis apresentam velocidades reduzidas de tautomerização quando comparada ao naftoimidazol não substituído (NIETO et al., 2014), sendo possível detectar a ocorrência do equilíbrio tautomérico anelar nos espectros de RMN dos derivados desta classe. O tautomerismo anelar do grupo imidazol pode ser observado principalmente em análises de RMN de 1H e ^{13}C através da duplicação de sinais dos carbonos e hidrogênios próximos a este núcleo, visto que, são os átomos mais afetados pela troca intramolecular do hidrogênio imidazólico nas duas formas tautoméricas possíveis.

Sendo assim, a presença dos dois tautômeros pode ser detectada em espectros de RMN 1H de 1,3-naftoimidazóis não simétricos pela presença de dois sinais em campo baixo, referentes aos dois hidrogênios pirrólicos possíveis. Outra evidência da ocorrência do equilíbrio tautomérico dos 1,3-naftoimidazóis assimétricos, é a duplicação dos sinais

de seus carbonos, evidenciando a presença dos dois tautômeros possíveis (NIETO et al., 2014). Ressalta-se então, que todos os espectros de RMN ^{13}C dos três 1,3-naftoimidazóis 2-substituídos sintetizados (**IM1-IM3**) realizados em DMSO-d_6 , evidenciaram a ocorrência do equilíbrio tautomérico característico do grupo naftoimidazol formado, através da duplicação dos sinais de seus carbonos nos espectros de RMN de ^{13}C , conforme Figura 3.

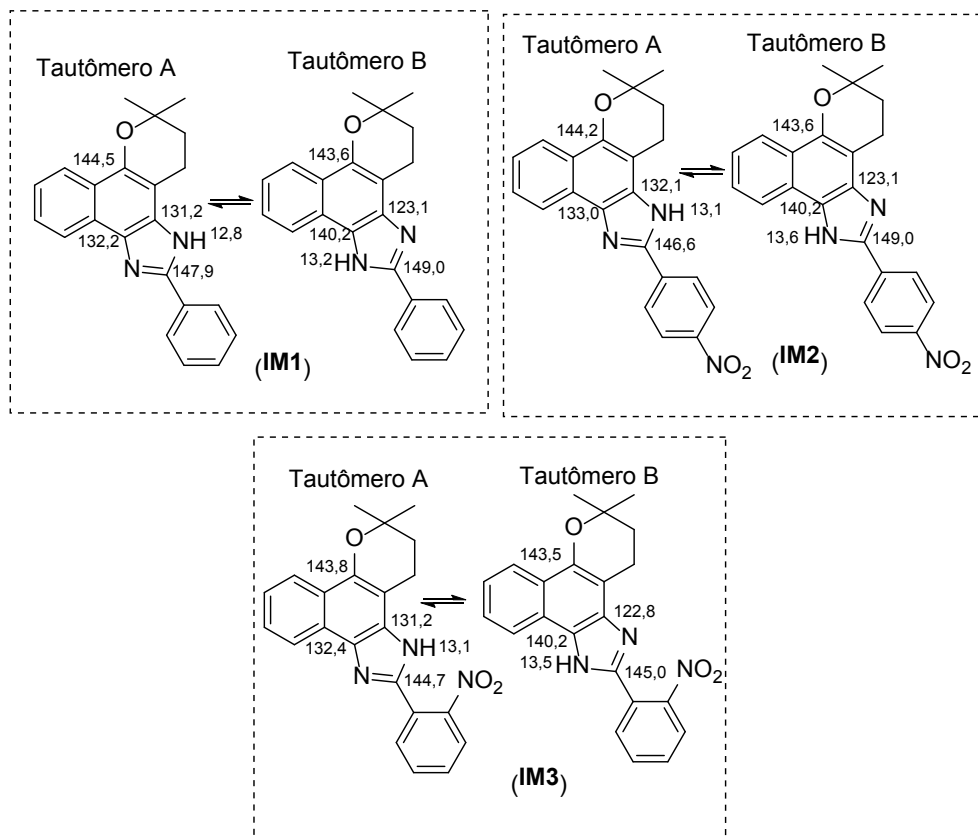
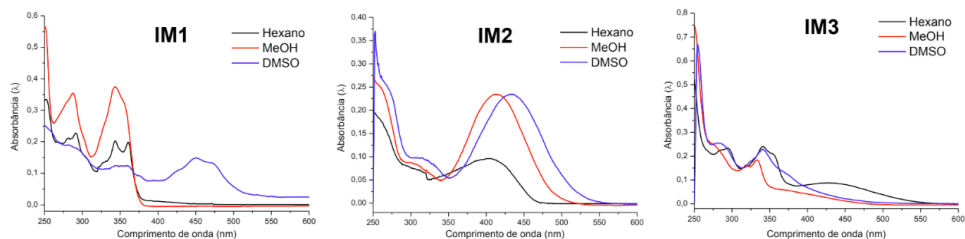


Figura 3. Estrutura molecular dos 1,3-naftoimidazóis **IM1**, **IM2** e **IM3** com δ [ppm] dos principais carbonos do núcleo naftoimidazólico e dos hidrogênios imidazólicos.

3.2 Propriedades fotofísicas

3.2.1 Estudo de Solvatocromismo

Realizou-se o estudo de solvatocromismo, afim de avaliar a influência de solventes com polaridades diferentes nas propriedades fotofísicas dos naftoimidazóis sintetizados, como demonstrado na Figura 4.



NAFTOIMIDAZOL	ESTUDO DE SOLVATOCROMISMO λ (absorbância)			ϵ Abs (log ϵ) Solvente (λ nm)
	HEXANO	DMSO	MeOH	
IM1	291 (0,228) 344 (0,203)	360 (0,125) 450 (0,149)	288 (0,355) 343 (0,375)	2,43.10 ⁴ (4,39) DMSO (342)
IM2	290 (0,083) 413 (0,234)	315 (0,098) 433 (0,235)	298 (0,088) 414 (0,234)	1,85.10 ⁴ (4,27) MeOH (411)
IM3	294 (0,235) 341 (0,241) 427 (0,088)	281 (0,256) 341 (0,229)	249 (0,746) 333 (0,184)	1,35.10 ⁴ (4,13) Hexano (337)

Figura 4. Estudo de solvatocromismo realizado para os 1,3-naftoimidazóis sintetizados (**IM1-IM3**) realizados na concentração de 20 mmol.L⁻¹.

Os espectros dos 1,3-naftoimidazóis, de modo geral, apresentaram duas bandas de absorção na região do ultravioleta. Estas correspondem à transição $\pi \rightarrow \pi^*$ do substituinte C2 (~314 nm) e do núcleo imidazol (~363 nm), como observado na Figura 4 (CHEN; HONG, 2017; NAGARAJAN et al., 2013; SOUZA et al., 2017).

No estudo de solvatocromismo, observou-se a ocorrência de deslocamento batocrômico para **IM1** e **IM2**, quando analisados em DMSO, um solvente polar e aprótico. Esse pequeno solvatocromismo positivo é tido como indicativo de uma maior estabilização do estado excitado quando comparado ao estado fundamental dos 1,3-naftoimidazóis. Este, quando promovido por solventes polares, sugere a ocorrência de uma significativa redistribuição de carga intramolecular que ocorre com a excitação molecular dos 1,3-naftoimidazóis (TANG et al., 2013).

Já para **IM3** observou-se que o aumento da polaridade do solvente promoveu um deslocamento hipsocrômico em seu espectro de absorção no UV-vis, sendo este mais acentuado quando analisado em MeOH. Este deslocamento encontra-se relacionado ao fato de o MeOH ser um solvente prótico, capaz de realizar ligações de hidrogênio com o núcleo imidazol presente nos potenciais fluoróforos (HOMOCIANU; AIRINEI; DOROHAI, 2011; NAGARAJAN et al., 2013).

Ao calcular os coeficientes de absorvidade molar (Tabela X) de cada naftoimidazol, observou-se que todos os derivados sintetizados apresentaram elevados ϵ_{Abs} , na ordem de 10⁴ mol.L⁻¹.cm⁻¹. Tais valores de ϵ_{Abs} são condizentes com a transição permitida $\pi \rightarrow \pi^*$

dos sistemas π -conjugados (NAGARAJAN et al., 2013), característicos do núcleo imidazol 2-substituído presente em todos os derivados (CHEN; HONG, 2017).

3.2.2 Emissão de fluorescência

Para avaliar a capacidade fluorescente dos naftoimidazóis sintetizados, e a possível aplicação desses derivados como componentes fluorescentes de agentes teranósticos, determinou-se a intensidade de fluorescência e o deslocamento de Stokes (Δ ST) de cada composto. A escolha do solvente para obtenção do espectro de fluorescência, bem como para determinação do comprimento de onda de excitação foi realizada com base no estudo de solvatocromismo (Figura 5).

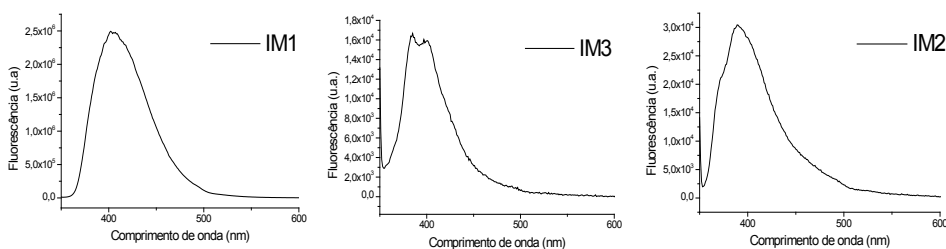


Figura 5. Espectros de emissão de fluorescência dos naftoimidazóis, obtidos utilizando λ_{Emi} 345 nm e concentração de $20 \mu\text{mol.L}^{-1}$, sendo: a. IM1, realizado em DMSO; b. IM2, realizado em MeOH; e c. IM3, realizado em Hexano.

Dentro os naftoimidazóis sintetizados, **IM1** apresentou maior intensidade de emissão de fluorescência ($2,49 \cdot 10^6$ u.a.), o derivado mais simples da série sintetizada, seguido de **IM2** ($3,02 \cdot 10^4$ u.a) e **IM3** ($1,7 \cdot 10^4$ u.a), que possuem um grupo nitro ($-\text{NO}_2$) em suas estruturas. A presença do grupo $-\text{NO}_2$ substituinte na posição *para* (**IM2**) e *orto* (**IM3**), promoveu uma diminuição na emissão de fluorescência desses dois derivados naftoazólicos. Tal fato, se deve a natureza do grupo $-\text{NO}_2$ substituinte, que trata-se de um grupo retirador de elétrons, afetando a distribuição eletrônica do sistema de ligações π conjugadas dos derivados que o contem (CARAYON; FERY-FORGUES, 2017).

3.2.3 Deslocamento de Stokes

Além de exibir a maior intensidade de fluorescência, o naftoimidazol **IM1** também apresentou o deslocamento de Stokes mais largo dentre os derivados sintetizados, com comprimento de onda de máxima emissão em 402 nm e com Δ ST igual a 57 nm. Os naftoimidazóis NO_2 -substituídos, **IM2** e **IM3**, apresentaram Δ ST igual a 46 (λ_{Emi} 391 nm) e 40 nm (λ_{Emi} 385 nm), respectivamente, sendo estes mais curtos que o apresentado por **IM1**, o derivado mais simples dentre os 1,3-naftoimidazóis sintetizados.

Os Δ ST apresentados por cada 1,3-naftoimidazol sintetizado, mostraram-se moderados (40-57 nm), sugerindo a necessidade de avaliação de outros parâmetros fotofísicos que corroborem com a aplicação desses compostos como agentes emissores de fluorescência para detecção de biomoléculas.

4 | CONCLUSÃO

Os 1,3-naftoimidazóis **IM1**, **IM2** e **IM3** foram preparados a partir do lapachol através de uma rota sintética de duas etapas. A elevada intensidade de emissão de fluorescência, assim como o intermediário deslocamento de Stokes apresentados pelos naftoimidazóis sintetizados, demonstram a potencialidade destes fluoróforos em serem aplicados como componentes fluorescentes para emissão de imagem em sistemas teranósticos.

REFERÊNCIAS

CARAYON, C.; FERY-FORGUES, S. 2-Phenylbenzoxazole derivatives: a family of robust emitters of solid-state fluorescence. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 16, n. 7, p. 1020-1035, 2017.

CHEN, S-W; HONG, F-E. Palladium-catalyzed C-H functionalization of amido-substituted 1, 4-naphthoquinone in the presence of amines toward the formation of pyrroles and imidazoles. **ChemistrySelect**, v. 2, n. 31, p. 10232-10238, 2017.

CUADRADO-BERROCAL, I. et al. Biological evaluation of angular disubstituted naphthoimidazoles as anti-inflammatory agents. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, v. 25, n. 19, p. 4210-4213, 2015.

DREIFUSS, T. et al. A challenge for theranostics: is the optimal particle for therapy also optimal for diagnostics?. **Nanoscale**, v. 7, n. 37, p. 15175-15184, 2015.

DREW, M. G. B. et al. Solid state annular tautomerism in a molecule containing two imidazole moieties. **Journal of Chemical Crystallography**, v. 38, n. 7, p. 507-512, 2008.

ESEOLA, A. O. et al. Luminescent properties of some imidazole and oxazole based heterocycles: synthesis, structure and substituent effects. **Dyes and Pigments**, v.88, n.3, p.262-273, 2011.

FUNKHOUSER, J. Reinventing Pharma: The Theranostic Revolution. **Curr. Drug Discovery**, v. 2, p. 17-19, 2002.

GOLOVIN, Y. I. et al. Theranostic multimodal potential of magnetic nanoparticles actuated by non-heating low frequency magnetic field in the new-generation nanomedicine. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 19, n. 2, p. 63, 2017.

GONTIJO, T. B. et al. Novel fluorescent lapachone-based BODIPY: synthesis, computational and electrochemical aspects, and subcellular localisation of a potent antitumour hybrid quinone. **Chemical Communications**, v. 52, n. 90, p. 13281-13284, 2016.

GUIMARÃES, D. G. et al. Naphthoquinone-based Hydrazone Hybrids: Synthesis and Potent Activity Against Cancer Cell Lines. **Medicinal Chemistry**, v. 16, 2020. Doi:10.2174/1573406416666200817164308

- HAIDER S. Heterocycles, back bone of drug design. **Journal of Phytochemistry & Biochemistry**, v. 1, n.1, 2017.
- HOMOCIANU, M.; AIRINEI, A.; DOROHAI, D. O. Solvent effects on the electronic absorption and fluorescence spectra. **Journal of Advanced Research in Physics**, v. 2, n. 1, 2011.
- JAIN, T.; KUMAR, S.; DUTTA, P. K. Theranostics: a way of modern medical diagnostics and the role of chitosan. **Journal of Molecular and Genetic Medicine**, v. 9, n. 159, p. 1747-0862.1000159, 2015.
- JANIB, S. M.; MOSES, A. S.; MACKAY, J. A. Imaging and drug delivery using theranostic nanoparticles. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 62, n. 11, p. 1052-1063, 2010.
- KELKAR, S. S.; REINEKE, T. M. Theranostics: combining imaging and therapy. **Bioconjugate chemistry**, v. 22, n. 10, p. 1879-1903, 2011.
- NAGARAJAN, N. et al. Bioimaging, antibacterial and antifungal properties of imidazole-pyridine fluorophores: Synthesis, characterization and solvatochromism. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 127, p. 212-222, 2013.
- NIETO, C. I. et al. An experimental and theoretical NMR study of NH-benzimidazoles in solution and in the solid state: proton transfer and tautomerism. **Beilstein Journal of Organic Chemistry**, v. 10, p. 1620, 2014.
- SANTOS, V. L. A.; GONSALVES, A. A.; ARAÚJO, C. R. M. Resgate da Reação de Debus-Radziszewski: Ensino Prático de Reações Multicomponentes na Síntese da Lofina. **Química Nova**, v.43, n.9, p.1344-1349, 2020.
- SHETTY, Y.; PRABHU, P.; PRABHAKAR, B. Emerging vistas in theranostic medicine. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 558, p. 29-42, 2019.
- SILVA, A. M. et al. Synthesis and biological evaluation of N-alkyl naphthoimidazoles derived from β -lapachone against *Trypanosoma cruzi* bloodstream trypomastigotes. **Medicinal Chemical Communication**, v. 8, n. 5, p. 952-959, 2017.
- SOUZA, V. P. et al. Synthesis and photophysical study of new fluorescent proton transfer dihydropyrimidinone hybrids as potential candidates for molecular probes. **New Journal of Chemistry**, v. 41, n. 24, p. 15305-15311, 2017.
- TANG, C. et al. Synthesis, crystal structures, two-photon absorption and biological imaging application of two novel bent-shaped pyrimidine derivatives. **Dyes and Pigments**, v. 99, n. 1, p. 20-28, 2013.
- WANG, Z-Y. et al. Novel phenanthroimidazole-based blue AIEgens: reversible mechanochromism, bipolar transporting properties, and electroluminescence. **New Journal of Chemistry**, v. 42, n. 11, p. 8924-8932, 2018.
- XIAO, S et al. Nanomedicine—advantages for their use in rheumatoid arthritis theranostics. **Journal of Controlled Release**, v. 316, p. 302-316, 2019.

SOBRE O ORGANIZADOR

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA - Técnico em química pelo Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), Licenciado em Química pela Universidade de Uberaba (2011). Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Docência do Ensino Superior pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012). Mestre em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2015), com ênfase em desenvolvimento de um bioadsorvente para remoção dos íons metálicos As(V), Sb (III) e Se (IV) em diferentes matrizes aquáticas. Doutor em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2018), com ênfase em Processos Oxidativos Avançados [fotocatálise heterogênea ($\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ e $\text{TiO}_2/\text{Solar}$, $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$) para remoção de contaminantes de interesse emergente (CIE) em diferentes matrizes aquáticas. Atualmente realiza Pós-doutorado na Universidade Federal de Uberlândia com ênfase em aplicação de novos agentes oxidantes empregando radiação solar para remoção de CIE em efluentes provenientes de estação de tratamento de esgoto. Possui 11 anos de experiência como **técnico em química** no Instituto Federal de Goiás, tendo atuado como responsável por análises de parâmetros físico-químicos e biológicos de águas e efluentes provenientes de estação de tratamento de esgoto. Atualmente, vem atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (i) Desenvolvimento de novas metodologias para tratamento e recuperação de resíduos químicos gerados em laboratórios de instituições de ensino e pesquisa; (ii) Estudos de monitoramento de CIE; (iii) Desenvolvimento de novas tecnologias avançadas para remoção de CIE em diferentes matrizes aquáticas; (iv) Aplicação de processos oxidativos avançados ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$, $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ e foto-Fenton e outros) para remoção de CIE em efluentes provenientes de estação de tratamento de esgoto para fins de reutilização; (v) Estudo e desenvolvimento de novos bioadsorventes para remediação ambiental de CIE em diferentes matrizes aquáticas e (vi) Educação Ambiental.

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
- 📘 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

