



# Ciências Exatas e da Terra: Conhecimentos Estratégicos para o Desenvolvimento do País

Júlio César Ribeiro  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2020



Ciências Exatas e da Terra:  
Conhecimentos  
Estratégicos para o  
Desenvolvimento do País

Júlio César Ribeiro  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Karine de Lima

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

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. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª 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  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
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 José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
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 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  
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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof<sup>a</sup> Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof<sup>a</sup> Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof<sup>a</sup> Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
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  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof<sup>a</sup> Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
 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  
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
 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  
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
C569	<p>Ciências exatas e da terra [recurso eletrônico] : conhecimentos estratégicos para o desenvolvimento do país / Organizador Júlio César Ribeiro. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF            Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader            Modo de acesso: World Wide Web            Inclui bibliografia            ISBN 978-65-5706-160-2            DOI 10.22533/at.ed.602200207</p> <p>1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia e inovação. I. Ribeiro, Júlio César.</p> <p style="text-align: right;">CDD 500</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

O desenvolvimento socioeconômico do País está assentado primordialmente na inovação baseada no seu desenvolvimento científico e tecnológico.

É notado, principalmente nos últimos anos, que há grande necessidade de fortalecimento e expansão da capacidade de pesquisa e de inovação, bem como o aprimoramento dos conhecimentos já adquiridos pela sociedade.

Neste contexto, o E-book “Ciências Exatas e da Terra: Conhecimentos Estratégicos para o Desenvolvimento do País” foi composto por uma coletânea de trabalhos relacionados às Ciências Exatas e da Terra que contemplam os mais variados temas ligados ao desenvolvimento.

Os 20 capítulos que constituem a presente obra, elaborados por pesquisadores de diversas instituições de pesquisa, permitem aos leitores analisar e discutir assuntos tais como: importância das ondas eletromagnéticas e transmissão na camada da ionosfera, produção de filmes de polímeros a partir de diferentes complexos para aplicação em células solares, estudo de diferentes metodologias na caracterização de material polimérico, utilização de modelagem numérica na investigação da dispersão de plumas poluentes, aplicação de malhas computacionais para a verificação do transporte de doenças de plantas pelo ar, dentre outros assuntos de relevância para as Ciências Exatas e da Terra.

O organizador e a Atena Editora agradecem aos autores e instituições envolvidas nos trabalhos que compõe a presente obra.

Por fim, esperamos que este E-book possa proporcionar reflexões significativas que contribuam para o aprimoramento do conhecimento e desenvolvimento de novas pesquisas.

Boa leitura!

Júlio César Ribeiro



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DAS ORIENTAÇÕES DE COMO DEMARCAR A IMAGINÁRIA LINHA DE PREAMAR MÉDIA DE 1831	
Flavio Boscatto Cesar Rogério Cabral Everton da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6022002071</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
NUMERICAL MODELING OF SEWAGE OUTFALLS PLUMES IN THE COAST OF THE STATE OF PARANÁ – BRAZIL	
Paola Galluzzi Polesi Joseph Harari Tiago Cortez Samuel Hora Yang	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6022002072</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>30</b>
APLICAÇÃO DO MÉTODO GOD E ESTATÍSTICA MULTIVARIADA NO ESTUDO DA VULNERABILIDADE DE AQUÍFERO À CONTAMINAÇÃO EM ARACAJU/SE	
José Batista Siqueira Thomaz Oliveira Teixeira Samiramisthaís Souza Linhares Luiz Alberto Vedana Paulo Henrique Stefano	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6022002073</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>43</b>
ANÁLISES DE GERAÇÃO DE MALHA NA MODELAGEM NUMÉRICA DE TROCADORES DE CALOR SOLO-AR	
Michel Kepes Rodrigues Jairo Valões de Alencar Ramalho Ruth da Silva Brum Luiz Alberto Oliveira Rocha Elizaldo Domingues dos Santos Liércio André Isoldi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6022002074</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>55</b>
AS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E APLICAÇÃO NA TRANSMISSÃO NA CAMADA DA IONOSFERA	
José Augusto dos Santos Cardoso Wendel Correa dos Santos José Francisco da Silva Costa Antonio Maia de Jesus Chaves Neto Sebastião Gomes Silva Manuel de Jesus dos Santos Costa Alessandre Sampaio Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.6022002075</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 76**

DECIFRANDO O ARCO-ÍRIS E O EFEITO GLÓRIA: UMA ABORDAGEM UTILIZANDO SISTEMAS DINÂMICOS

Janaína Dias da Silva  
Alberto Tufaile

**DOI 10.22533/at.ed.6022002076**

**CAPÍTULO 7 ..... 88**

MAGIC: INTERAÇÃO ENTRE HOBBY E LUCRO

Victor Ferreira da Silva  
Édipo Menezes da Silva  
Kelly Pereira de Lima  
João Domingos Scalon

**DOI 10.22533/at.ed.6022002077**

**CAPÍTULO 8 ..... 93**

A SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO E O LIXO ELETRÔNICO: DESAFIOS, REFLEXÕES E OPORTUNIDADES

Fábio Henrique Angelo dos Santos  
Luana Maia Woida

**DOI 10.22533/at.ed.6022002078**

**CAPÍTULO 9 ..... 109**

APLICAÇÃO SIMULTÂNEA DE CALOR E MASSA NO PROCESSO DE SECAGEM DO ABIU

Nathalia Cristina Ramos Lima  
Jules Mitoura dos Santos Junior  
Emilio Émerson Xavier Guimarães Filho  
Ronaldo Maison Martins Costa  
Audirene Amorim Santana

**DOI 10.22533/at.ed.6022002079**

**CAPÍTULO 10 ..... 119**

BIOCONTROLE DO ÓLEO ESSENCIAL DE ORIGANUM VULGARE FRENTE ÀS LARVAS DE *Aedes aegypti* (DIPTERA: CULICIDAE)

Juliana de Sousa Figuerêdo  
Felipe Pereira da Silva Santos  
Matheus Oliveira do Nascimento  
Patrícia e Silva Alves  
Lucas Mendes Feitosa Dias  
Layana Karine Farias Lima  
Aline Aparecida Carvalho França  
Edymilaís da Silva Sousa  
Pedro Vitor Oliveira Silva Furtado  
Veruska Cavalcanti Barros  
José Luíz Silva Sá  
Chistiane Mendes Feitosa

**DOI 10.22533/at.ed.60220020710**

**CAPÍTULO 11 ..... 133**

COMPLEXOS B-DICETONATOS LUMINESCENTES BASEADOS EM ÍONS TERRAS RARAS DISPERSOS EM POLÍMEROS TRANSPARENTES PARA APLICAÇÕES EM CÉLULAS SOLARES

Gabriel de Moraes Rodrigues  
Ivan Guide Nunes da Silva  
Danilo Mustafa

**DOI 10.22533/at.ed.60220020711**

**CAPÍTULO 12 ..... 146**

SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E PROPRIEDADES DAS PENEIRAS MOLECULARES: SBA-16, FDU-12, SBA-15 E MCM-41

Mayara Resende Alves  
Mateus Freitas Paiva  
Elon Ferreira de Freitas  
Sílvia Cláudia Loureiro Dias  
José Alves Dias

**DOI 10.22533/at.ed.60220020712**

**CAPÍTULO 13 ..... 160**

UMA EFICIENTE SÍNTESE DE DERIVADOS DE TRIARILMETANO

Shirley Muniz Machado Rodrigues  
Giovanni Stoppa Baviera  
Daniel Previdi  
Alexandre de Almeida Matias  
Paulo Marcos Donate

**DOI 10.22533/at.ed.60220020713**

**CAPÍTULO 14 ..... 170**

IDENTIFICAÇÃO NÃO INVASIVA DE MATERIAL POLIMÉRICO COM A TÉCNICA DE ESPECTROSCOPIA FTIR: BANCO DE DADOS DE REFERÊNCIA E APLICAÇÃO PRÁTICA

Fabício de Melo Rodrigues Barbosa  
Márcia de Almeida Rizzutto  
Wanda Gabriel Pereira Engel

**DOI 10.22533/at.ed.60220020714**

**CAPÍTULO 15 ..... 183**

SOLOS DO BRASIL: GÊNESE, CLASSIFICAÇÃO E LIMITAÇÕES AO USO

Carlos Roberto Pinheiro Junior  
Marcos Gervasio Pereira  
Eduardo Carvalho da Silva Neto  
Lúcia Helena Cunha dos Anjos  
Ademir Fontana

**DOI 10.22533/at.ed.60220020715**

**CAPÍTULO 16 ..... 200**

DETERMINAÇÃO DE HEXAZINONA EM AMOSTRAS DE SOLO POR ESPECTROFOTOMETRIA UV-VIS

Auriléia Pereira da Silva  
Lucina Rocha Sousa

**DOI 10.22533/at.ed.60220020716**

**CAPÍTULO 17 ..... 225**

GERAÇÃO DE MALHA PARA DESCREVER A DISPERSÃO DA FERRUGEM DA SOJA NO PARANÁ

Eduardo Oliveira Belinelli  
Paulo Laerte Natti  
Neyva Maria Lopes Romeiro  
Eliandro Rodrigues Cirilo  
Lucas Henrique Fantin  
Karla Braga de Oliveira  
Marcelo Giovanetti Canteri  
Érica Regina Takano Natti

**DOI 10.22533/at.ed.60220020717**



<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>240</b>
ESTUDO DA ARTE SOBRE A UTILIZAÇÃO DO ÓLEO FÚSEL A PARTIR DA PRODUÇÃO DE ETANOL DA CANA-DE-AÇÚCAR	
Raquel Santos da Silva	
Danielle Christine Almeida Jaguaribe	
Joelma Morais Ferreira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.60220020718</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>249</b>
FORMAS ASSOCIATIVISTAS DA COMUNIDADE QUILOMBOLA NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO, IGARAPÉ-AÇU/PA	
Jéssica Vasconcelos Ferreira	
Raiana Rocha Pereira	
Francisco Laurimar do Nascimento Andrade	
Fabiana Mar dos Santos	
Nayra Silva do Vale	
Luiz Cláudio Moreira Melo Júnior	
Eleci Teresinha Dias da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.60220020719</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>259</b>
ESTUDO DO EFEITO MEMÓRIA E FOTOLUMINESCÊNCIA EM HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMELARES (HDL)	
Alexandre Candido Teixeira	
Alysson Ferreira Morais	
Ivan Guide Nunes da Silva	
Danilo Mustafa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.60220020720</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>273</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>274</b>

## ESTUDO DO EFEITO MEMÓRIA E FOTOLUMINESCÊNCIA EM HIDRÓXIDOS DUPLOS LAMELARES (HDL)

Data de aceite: 25/06/2020

Data de submissão: 03/04/2020

### Alexandre Candido Teixeira

Instituto de Física da Universidade de São Paulo, Departamento de Física dos Materiais e Mecânica, São Paulo – SP  
<http://lattes.cnpq.br/1374124957941168>

### Alysson Ferreira Morais

Instituto de Física da Universidade de São Paulo, Departamento de Física dos Materiais e Mecânica, São Paulo – SP  
<http://lattes.cnpq.br/7989281383305570>

### Ivan Guide Nunes da Silva

Instituto de Física da Universidade de São Paulo, Departamento de Física dos Materiais e Mecânica, São Paulo – SP  
<http://lattes.cnpq.br/1944243261568502>

### Danilo Mustafa

Instituto de Física da Universidade de São Paulo, Departamento de Física dos Materiais e Mecânica, São Paulo – SP  
<http://lattes.cnpq.br/1345069009459056>

**RESUMO:** Os hidróxidos duplos lamelares (HDL) são uma classe de materiais com composição química bastante flexível. Eles são formados por camadas bidimensionais de hidróxidos metálicos intercaladas por moléculas aniônica e tanto os cátions metálicos quanto estes ânions podem ser alterados a fim de

modificar as propriedades físicas e químicas destes materiais. Por exemplo, cátions terras raras podem ser incluídos na estrutura juntamente com moléculas sensibilizadoras aniônicas, produzindo HDLs luminescentes. O efeito memória dos HDLs consiste em restaurar sua estrutura através da reidratação do material após um tratamento térmico a uma temperatura não excessivamente elevada. Durante a reidratação desses materiais, novas espécies aniônicas podem ser intercaladas, funcionalizando os HDLs. Este estudo explora o efeito memória como uma rota para produzir HDLs luminescentes intercalados com o ácido benzeno-1,3,5-tricarboxílico (BTC), um fotossensibilizador aniônico capaz de transferir energia para o íon  $\text{Eu}^{3+}$ . HDLs contendo  $\text{Eu}^{3+}$  foram sintetizados pelo método da hidrólise controlada de  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Eu}^{3+}$  em uma solução alcalina contendo o ânion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Após o tratamento térmico dos cristais resultantes, esse material se transformou em uma solução sólida de ZnO cristalina contendo Al e Eu. Esses óxidos foram então submetidos a um processo de hidratação em uma solução aquosa rica em BTC. Esse processo não somente resultou na recuperação da fase lamelar, como também na intercalação da molécula de BTC.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hidróxido duplo lamelar; efeito memória; terras raras; troca iônica; ácido 1,3,5-benzenotricarboxílico.

## STUDY OF THE MEMORY EFFECT AND PHOTOLUMINESCENCE IN LAYERED DOUBLE HYDROXIDE (LDH)

**ABSTRACT:** Layered double hydroxides (LDH) are a class of materials with a very flexible chemical composition. They are formed by two-dimensional layers of metal hydroxides interspersed by anionic molecules where both the metal cations and these anions can be altered in order to modify the physical and chemical properties of the LDHs. For instance, rare earth cations can be included in the structure together with anionic sensitizing molecules, producing luminescent LDHs. The memory effect of LDHs concerns the restoration of the LDH structure by rehydrating the material after a heat treatment at a temperature that is not excessively high. During the rehydration of these calcination products, new anionic species can be intercalated, making LDHs functional. This study explores the memory effect as a route to produce luminescent LDHs interspersed with benzene-1,3,5-tricarboxylic acid (BTC), an anionic photosensitizer capable of transferring energy to the  $\text{Eu}^{3+}$  ion. LDHs containing  $\text{Eu}^{3+}$  were synthesized by the method of controlled hydrolysis of  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  and  $\text{Eu}^{3+}$  in an alkaline solution containing the nitrate anion ( $\text{NO}_3^-$ ). With the heat treatment of the resulting crystals, these materials transform into a solid solution of crystalline ZnO containing Al and Eu. This oxidic phase was then subjected to a hydration process in a BTC-rich aqueous solution. This process not only resulted in the recovery of the lamellar phase, but also in the intercalation of the BTC molecule.

**KEYWORDS:** Layered double hydroxide; memory effect; rare earth; ion exchange; benzene-1,3,5-tricarboxylic acid.

### 1 | INTRODUÇÃO

Hidróxidos duplos lamelares (LDHs), também conhecidos como argilas aniônicas, são materiais formados por camadas de hidróxidos metálicos (Figura 1, metais  $\text{M}^{\text{II}}$  e  $\text{M}^{\text{III}}$ , di e trivalentes, respectivamente) intercaladas por ânions, em sua maioria lábeis e que, por isso, podem ser trocados em processos conhecidos como processos de troca iônica (GOH; LIM; DONG, 2008). Para a formação dos LDHs, camadas positivamente carregadas de hidróxidos e com fórmula química geral  $[\text{M}_{1-x}^{\text{II}}\text{M}_x^{\text{III}}(\text{OH})_2]^{x+}$  tem suas cargas compensadas pelo posicionamento de ânions em sua superfície, nas proximidades dos cátions trivalentes. Em um processo de automontagem, a alternância entre ânions ( $\text{A}^{n-}$ ) e camadas metálicas forma materiais de fórmula química geral  $[\text{M}_{1-x}^{\text{II}}\text{M}_x^{\text{III}}(\text{OH})_2][\text{A}^{n-}]_{x/n} \cdot y\text{H}_2\text{O}$ , como, por exemplo, o mineral natural hidrotalcita, no qual  $\text{M}^{\text{II}} = \text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{M}^{\text{III}} = \text{Al}^{3+}$  e  $\text{A}^{n-} = \text{CO}_3^{2-}$ . LDHs sintéticos com diferentes composições também podem ser fabricados com, por exemplo,  $\text{M}^{\text{II}} = \text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  e/ou  $\text{Fe}^{2+}$ ;  $\text{M}^{\text{III}} = \text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$  e/ou  $\text{Ni}^{3+}$ ; e  $\text{A}^{n-} = \text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Cl}^-$  e/ou  $\text{SO}_4^{2-}$  (CONSTANTINO; PINNAVAIA, 1995; CREPALDI; VALIM, 1998; CUNHA et al., 2010).



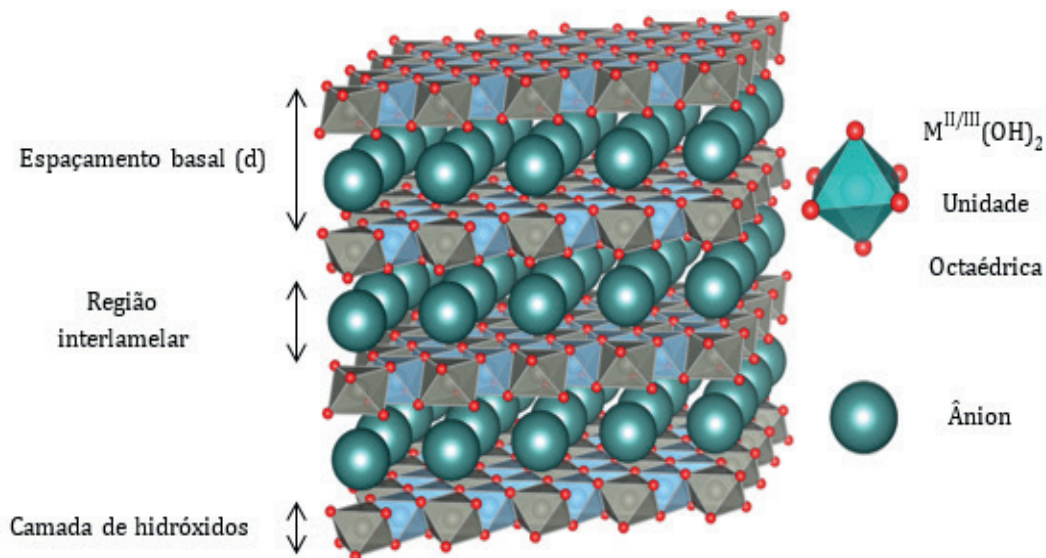


Figura 1. Hidróxidos Duplos Lamelares: nas camadas de hidróxidos, cátions coordenados com grupos hidroxila compõem as unidades básicas octaédricas; ânions e água estão presentes na região interlamelar.

Devido a possibilidade de modificação da composição química dos HDLs, suas propriedades físicas e químicas podem ser racionalmente alteradas, fazendo com que estes materiais possam ser utilizados como catalisadores em reações de hidrogenação e polimerização, estabilizadores de polímeros, antiácidos, liberadores de fármacos de maneira controlada e também como adsorventes na remoção de poluentes (CUNHA et al., 2010; EVANS; DUAN, 2006; FAN et al., 2014; GOMES SILVA et al., 2009; KOHAJDOVÁ et al., 2010; KUBO et al., 2013; LIU et al., 2008; LV et al., 2008; ROCHA et al., 2016; TEIXEIRA et al., 2014) Zn/Ce, and Zn/Cr layered double hydroxides (LDH).

A introdução de elementos terras raras trivalentes ( $TR^{3+} = La^{3+}, Eu^{3+}, Tb^{3+}, Yb^{3+}, Tm^{3+}, Er^{3+}$ , dentre outros) em HDLs resulta na produção de materiais com propriedades luminescentes (GUNAWAN; XU, 2009; KAMEDA; SHIMMYO; YOSHIOKA, 2014). Enquanto os cátions  $TR^{3+}$  podem ser incorporados nas camadas de hidróxidos, sensibilizadores aniônicos podem ser inseridos no meio interlamelar, promovendo a neutralidade de cargas no material e permitindo a transferência eficiente de energia do sensibilizador para o ativador luminescente, o que melhora as propriedades luminescentes dos HDLs contendo íons terras raras. Esse fenômeno de absorção luminosa, com a subsequente transferência de energia é conhecido como *efeito antena* (GUNAWAN; XU, 2009). A preparação de HDLs contendo íons terras raras pode ser realizada diretamente a partir do método de coprecipitação, enquanto que a intercalação da molécula sensibilizadora pode ser realizada tanto por coprecipitação quanto por troca iônica ou utilizando-se do efeito memória dos HDLs.

O efeito memória consiste na capacidade de regeneração da estrutura lamelar de HDLs tratados termicamente. A regeneração ocorre com a reidratação em solução aquosa do material calcinado. Controlando a temperatura do tratamento térmico é possível converter a estrutura dos HDLs em uma fase metálica mista intermediária de oxihidróxidos que, ao ser hidratada, pode recuperar a estrutura lamelar do HDL. Além disso, diferentes ânions podem

ser previamente dissolvidos na solução de hidratação de modo a serem intercalados no material, balanceando as cargas positivas das camadas reestruturadas (RIVES, 2002). Para que tal efeito aconteça é indispensável um estudo detalhado da curva termogravimétrica do material estudado, já que o tratamento térmico a temperaturas excessivamente elevadas pode impedir a reestruturação do material quando fases estáveis do tipo espinélio são formadas durante a calcinação (RIVES, 2002). Para a síntese de HDLs com propriedades luminescentes empregando o efeito memória, o efeito antena pode ser conseguido dissolvendo-se a molécula sensibilizadora na solução de hidratação.

Os elementos terras raras constituem um subgrupo da coluna 3 da tabela periódica formado pelo Escândio, o Ítrio e a família dos Lantanídeos, sendo os primeiros a possuírem seus orbitais d semipreenchidos. Por exemplo, o Escândio (Sc) possui um elétron no orbital 3d, o Ítrio (Y) possui um elétron no orbital 4d, o Lantânio (La). A partir do Lantânio, primeiramente os orbitais internos 4f de menor energia devem ser preenchidos. Como a subcamada f tem sete orbitais com capacidade para dois elétrons cada um (elétrons com spin up e spin down), são necessários 14 elementos antes que os orbitais 5d comecem a ser ocupados. As transições 4f-4f dos íons terras raras são proibidas pela regra da paridade de Laporte e, por isso, apresentam coeficientes de absorvidade molar baixos ( $\sim 1.0 \text{ mol.L}^{-1}.\text{cm}^{-1}$ ). No entanto, a inserção desses elementos em uma matriz altamente absorvedora ou sua proximidade com alguns ligantes orgânicos em compostos de coordenação (agindo como uma “antena”), pode aumentar seu rendimento quântico de emissão devido a absorção de energia e a consequente transferência eficiente para os íons. No caso específico dos HDLs contendo terras raras nas suas camadas de hidróxidos, moléculas sensibilizadoras aniônicas podem ser intercaladas nesses materiais, estando localizadas nas proximidades dos íons terras raras, propiciando assim uma transferência de energia intermolecular eficiente entre eles através do efeito antena (Figura 2).

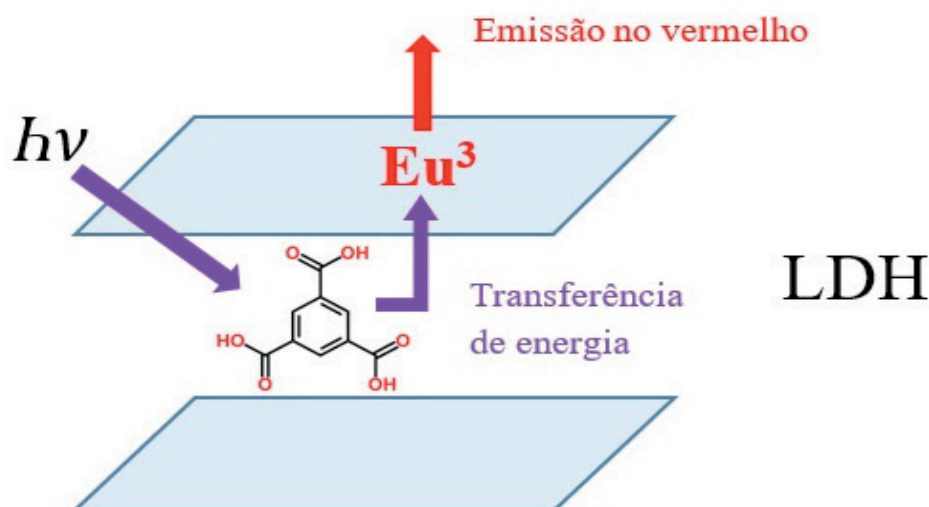


Figura 2. Ilustração do processo de absorção e transferência de energia intermolecular em sistemas LDH contendo  $\text{Eu}^{3+}$  em sua camada e o fotossensibilizador ácido benzeno-1,3,5-tricarboxílico (BTC) intercalado.

Como um exemplo de HDL luminescente que se utiliza do efeito antena, a molécula 4-bifenilacetato foi intercalada em HDLs de  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  e  $Tb^{3+}$ , podendo transferir energia para os níveis eletrônicos do  $Tb^{3+}$ , produzindo materiais de rendimento quântico  $\Phi = 14 - 22\%$  (GUNAWAN; XU, 2009). Por outro lado, quando o efeito antena não é aproveitado, rendimentos quânticos bastante inferiores são obtidos, com  $\Phi = 0.2 - 4\%$  (GUNAWAN; XU, 2009; MUSUMECI *et al.*, 2010). Como uma alternativa à inserção dos terras raras nas camadas de hidróxidos, complexos luminescentes, como por exemplo  $Tb^{3+}$ -picolinato, podem ser intercalados nos HDLs, uma estratégia que tem levado à produção de hidróxidos lamelares com rendimento quântico bastante elevado ( $\Phi = 32 - 45\%$ ) (GAGO *et al.*, 2005; GAO *et al.*, 2016; ZHURAVLEVA *et al.*, 2004).

Neste trabalho, nós discutimos uma rota para a produção de HDLs luminescentes contendo os metais  $Zn^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  e  $Eu^{3+}$ . A molécula sensibilizadora BTC é intercalada utilizando uma rota de produção que envolve a calcinação de um HDL originalmente intercalado com o ânion inorgânico  $NO_3^-$  (nitrato). A intercalação do fotossensibilizador BTC é feita utilizando o efeito memória dos HDLs.

## 2 | PREPARAÇÃO DOS MATERIAIS

### 2.1 Síntese dos HDLs

Os HDLs de composição molar  $[Zn_2Al_{0.95}Eu_{0.05}(OH)_6] \cdot (NO_3^-)$  ( $ZnAlEu-NO_3$ ) e  $[Zn_2Al_{0.95}Eu_{0.05}(OH)_6] \cdot (BTC^{3-})_{0.33}$  ( $ZnAlEu-BTC$ ) foram preparados pelo método da hidrólise controlada dos cátions metálicos (TEIXEIRA *et al.*, 2019). Inicialmente é preparada uma solução dos sais referente aos metais que irão compor as camadas do LDH. Os íons divalentes e trivalente utilizados para sintetizar os materiais que serão discutidos a seguir foram respectivamente:  $Zn^{2+}$  e  $Al^{3+}$ . Vale destacar que quando há interesse na introdução de íons terras raras na formação do material, o Al é substituído parcialmente pelo elemento terra rara desejado.

Os sais metálicos precursores são dissolvidos em 10 mL de água ultrapura para evitar impurezas. Essa solução é composta por 1/3 de metais divalentes e 2/3 de metais trivalentes formando ao fim 1 mol de solução. No caso da introdução dos íons  $Eu^{3+}$  nas camadas dos LDHs, a fração em mol desejada do íon trivalente, no nosso caso  $Al^{3+}$ , pode ser substituída.

A seguir, uma solução 10 mM de NaOH é preparada. Com ambas soluções prontas (solução com metais e solução básica) o processo segue com o gotejamento da solução de metais a uma taxa de 10 mL/h na solução básica, sempre controlando o pH por volta de 8. O controle é feito de maneira automática utilizando um titulador automático Titrimo 702 SM  $\Omega$ Metrohm (Figura 3). Este processo ocorre a temperatura ambiente e sob agitação constante. Ocorrido todo processo, a mistura final é armazenada em um frasco e levado a uma estufa a 60 °C durante 2 dias para otimizar o processo de cristalização. A seguir, com a parte sólida da mistura decantada, o sobrenadante é separado, e a parte sólida úmida é centrifugada e lavada duas vezes com água deionizada, com uma diluição final de dez a cem



vezes. Concluída a lavagem, a amostra é armazenada novamente na estufa a 60 °C para secagem. Ao final, o sólido resultante é macerado com auxílio de um almofariz e pistilo. O material, agora em forma de pó, é então submetido à caracterização estrutural inicial.



Figura 3. Esquerda: Titulador automático Titrino 702 SM  $\Omega$ Metrohm durante a síntese de LDH. Direita: Forno Mufla EDG1800 utilizado no tratamento térmico dos LDHs estudados.

## 2.2 Tratamento Térmico

Com base nos resultados da Análise Termogravimétrica, os HDLs são submetidos a um tratamento térmico específico. Aproximadamente 400 mg do HDL  $\text{ZnAlEu-NO}_3$  são colocados em um cadinho de porcelana (deve-se levar em conta que há redução da massa do material para calcular o quanto é necessário para as caracterizações). O cadinho é posicionado no interior de um forno como mostrado na figura 3 e a temperatura elevada a uma taxa de 5 °C/min. Após atingir a temperatura desejada, a amostra é mantida a essa temperatura durante um período de 4 horas.

## 2.3 Reidratação

Para recuperar a estrutura lamelar do material, é feito um processo de reidratação desse HDL. Nessa etapa, o sólido “queimado” é suspenso em uma solução aquosa contendo a molécula fotossensibilizadora de interesse. Para esse processo, 200 mg do sólido obtidos após o tratamento térmico são suspensos em 20 mL de água ultrapura. Essa mistura é agitada constantemente por um agitador magnético a temperatura ambiente por um período de 24 h. A agitação é fundamental para que todo HDL seja uniformemente disperso na água. Nas amostras que se deseja introduzir o BTC, essa molécula é previamente dissolvida nos 20 mL de água ultrapura. O cálculo da concentração leva em conta a neutralização das cargas positivas das lamelas. Após o processo de reidratação, o sólido é novamente lavado,

seco e submetido à caracterização estrutural para determinar se o HDL foi reestruturado e se a molécula foi intercalada.

### 3 | DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção serão discutidos os resultados obtidos através de algumas técnicas de caracterização de materiais aplicadas neste trabalho.

Inicialmente foi realizado um estudo da estabilidade térmica dos HDLs. Essa técnica de caracterização é muito importante pois assegura os limites de temperatura a qual a estrutura pode ser submetida sem que haja um dano irreversível para o material com a formação da fase de espinélio.

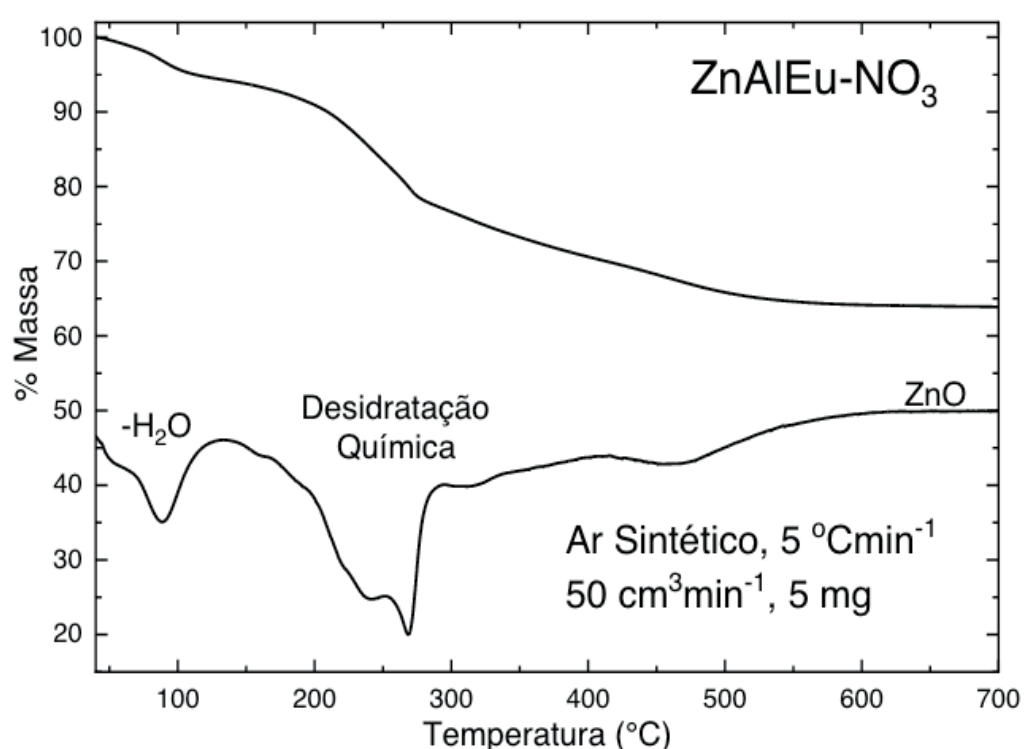


Figura 4. Análise termogravimétrica da amostra ZnAlEu-NO<sub>3</sub>.

Na figura 4 é possível observar o resultado da análise termogravimétrica (TGA) do HDL de ZnAl. O primeiro evento de perda de massa, que ocorre por volta de 88 °C, pode ser associado ao desprendimento de moléculas de água fracamente ligada à superfície do material. No intervalo de 270 °C até 430 °C ocorre o processo mais importante para o efeito memória, relacionado a perda do grupo hidroxila presentes nas camadas do LDH, desidratação química. O intervalo restante trata-se da formação da fase de espinélio (RIVES, 2002; TEIXEIRA et al., 2019). Baseado nesse resultado, a temperatura adequada para o tratamento térmico das amostras seria 350°C.

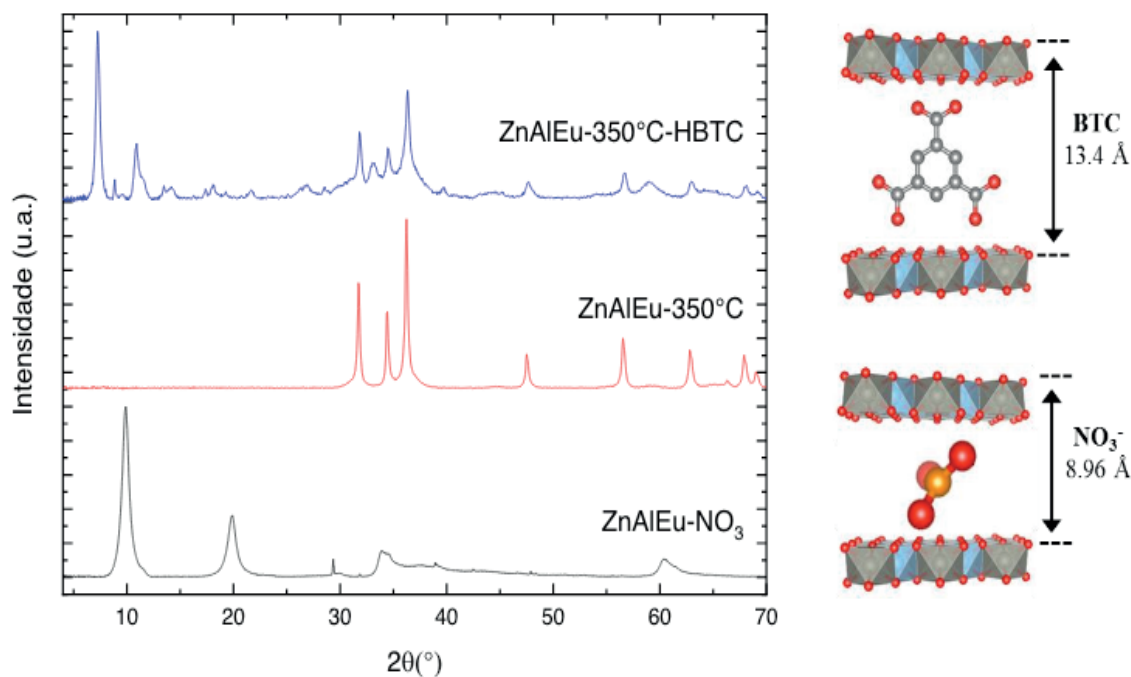


Figura 5. Difração de raios X das amostras ZnAlEu-NO<sub>3</sub>, seu produto de calcinação a 350 °C (ZnAlEu-350 °C) e a fase reidratada em solução aquosa de BTC (ZnAlEu-350 °C-HBTC).

Para o entendimento completo da evolução e consequências do tratamento térmico e reidratação do material foi necessária a caracterização por difração de raios X (Figura 6) dos HDLs (ZnAlEu-NO<sub>3</sub>), do seu produto de calcinação a 350 °C (ZnAlEu-350 °C) e reidratado em solução contendo BTC (ZnAlEu-350 °C-HBTC). Nos HDLs ZnAlEu-NO<sub>3</sub> é possível comprovar o caráter lamelar do material e a intercalação do íon NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (reflexão em 2θ ≈ 10°). Após o tratamento térmico, há a formação de uma fase do tipo ZnO. O desaparecimento da reflexão basal em torno de 2θ = 10° e manutenção das reflexões a altos ângulos indicam que apesar do colapso das lamelas, não há desidroxilação completa da estrutura. Após a hidratação o material volta a apresentar parcialmente a estrutura de hidróxido duplo, porém desta vez com a intercalação do ligante fotossensibilizador BTC (reflexão em 2θ ≈ 7°) inicialmente dissolvido na solução utilizada na reidratação.

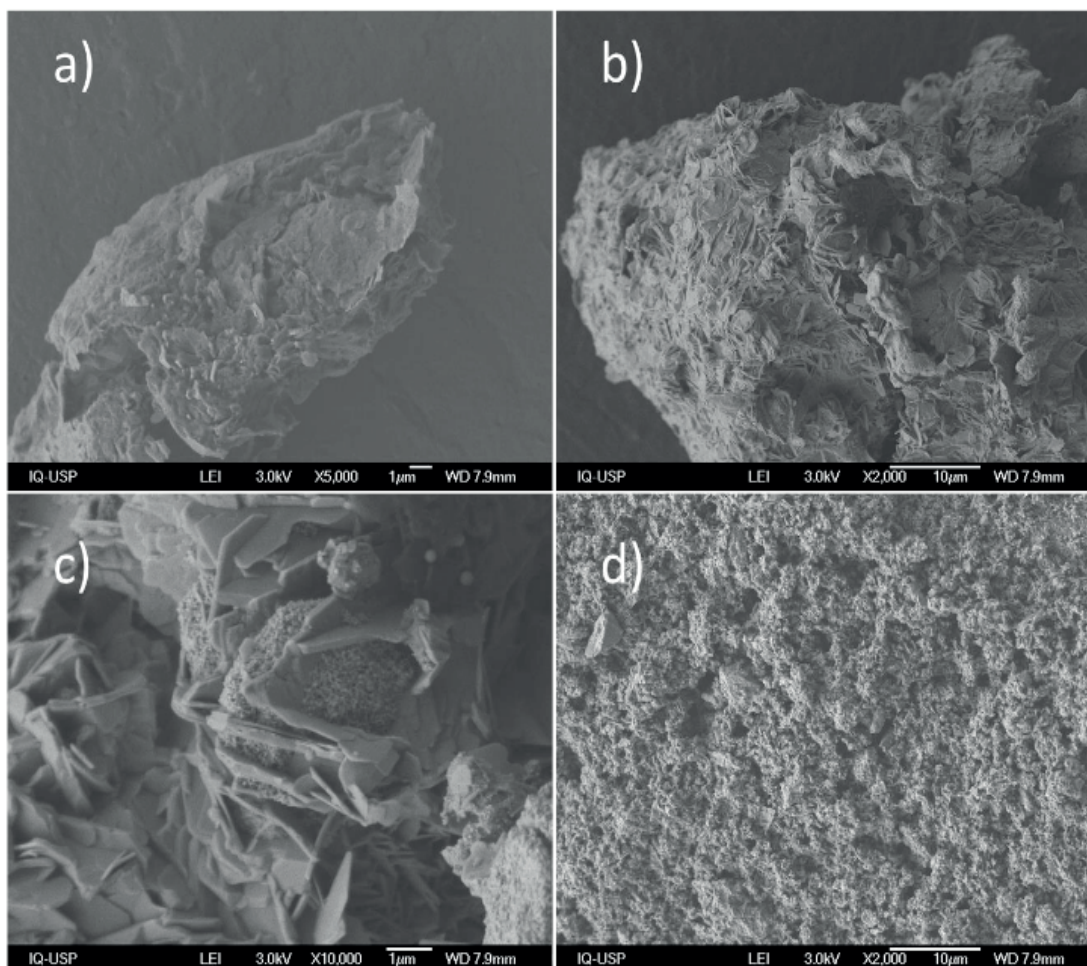


Figura 6. Micrografias eletrônicas de varredura das amostras (a)  $\text{ZnAlEu-NO}_3$ , (b-c)  $\text{ZnAlEu-350}^\circ\text{C}$  e (d)  $\text{ZnAlEu-350}^\circ\text{C-HBTC}$ .

Uma outra análise bastante interessante é a microscopia eletrônica de varredura (MEV). Por meio dessa técnica é possível comprovar visualmente o caráter lamelar do HDL na fase inicial e estudar a morfologia nas etapas de tratamento térmico e reidratação. Na figura 6-a é possível observar a morfologia típica de placas planas do material lamelar  $\text{ZnAlEu-NO}_3$ . Nas figuras 6-b e 6-c a morfologia é de uma estrutura formada por um agregado de placas fragmentadas, resultado do tratamento térmico do material à  $350^\circ\text{C}$ . Por fim, na figura 6-d, a morfologia adquire maior irregularidade e aglomeração com dimensões das partículas reduzidas, evidenciando que a reestruturação do material não é completa. Esses dados são importantes pois reforçam que a estrutura inicial não é completamente refeita, concordando, portanto, com a observação feita a partir de difração de raios X.

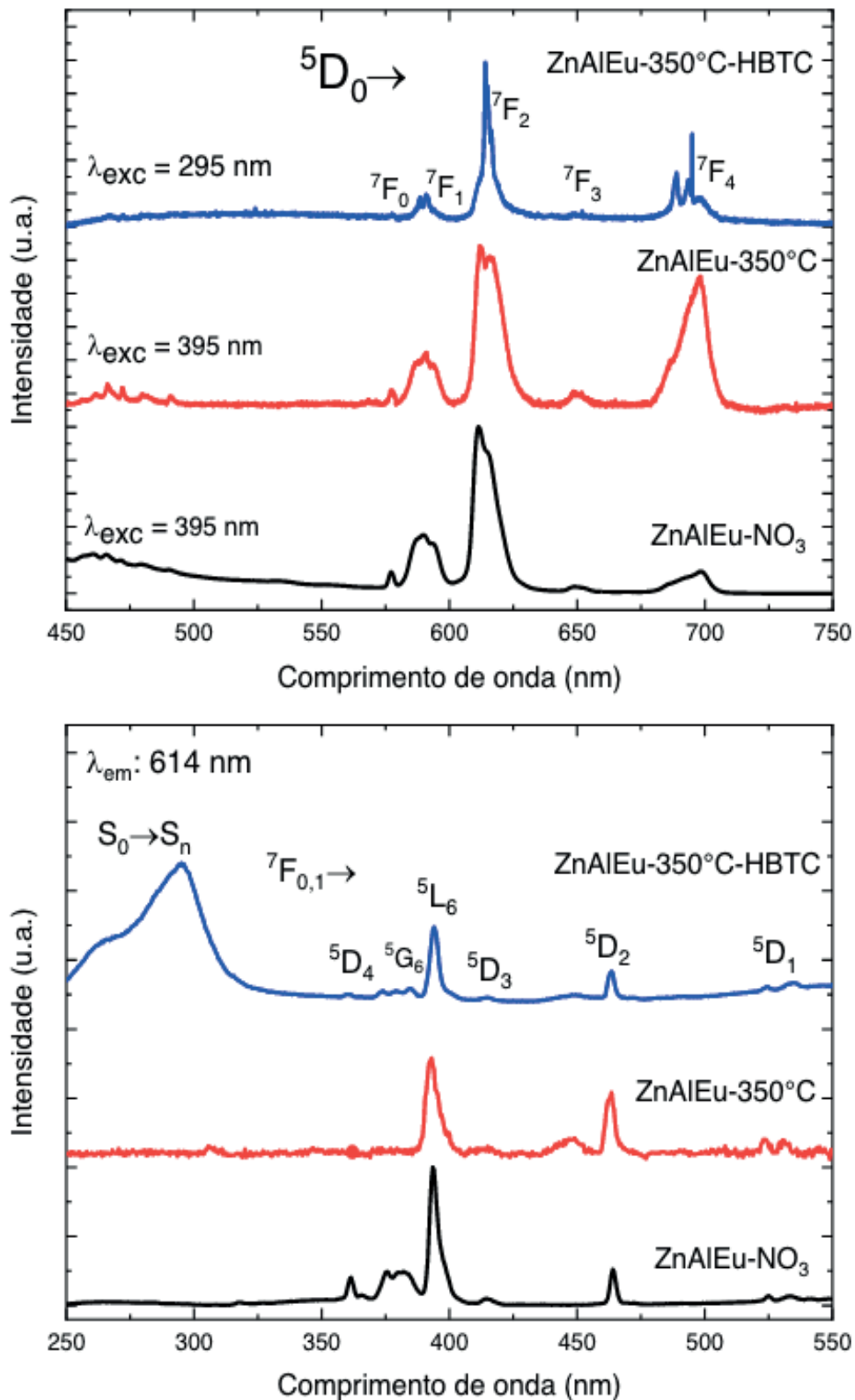


Figura 7. Espectros de excitação (superior) e emissão (inferior) das amostras ZnAlEu-NO<sub>3</sub>, ZnAlEu-350°C e ZnAlEu-350°C-HBTC.

No estudo de materiais luminescentes baseados em íons terras raras, o íon  $\text{Eu}^{3+}$  é muito utilizado como íon emissor por ter características próprias que o identificam muito bem dentro de uma matriz (sonda espectroscópica). O estado emissor  $^5D_0$  não é degenerado, logo, existem no máximo  $2J+1$  picos de emissão relacionados às transições  $^5D_0 \rightarrow (^7F_0, ^7F_1, ^7F_2 \dots ^7F_6)$ . A transição  $^5D_0 \rightarrow ^7F_1$  é permitida por dipolo magnético e proibida por dipolo



elétrico, tornando-a parcialmente insensível ao ambiente químico no qual o íon está inserido, possibilitando cálculos dos parâmetros de intensidade de Judd-Ofelt (Tabela 2). De suma importância para o estudo são as transições  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$  e  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_4$ , que estão intimamente ligadas com a simetria do campo ligante e polarizabilidade dos átomos ligantes.

As propriedades de fotoluminescência das amostras preparadas foram investigadas baseadas em seus espectros de excitação e emissão (Figura 7). Os espectros de excitação de todas as amostras foram coletados à temperatura ambiente e monitorando a emissão  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$  do  $\text{Eu}^{3+}$  em 614 nm. Nas amostras tratadas termicamente, só é possível observar as transições características do  $\text{Eu}^{3+}$ , como esperado. Nos materiais hidratados, o surgimento de uma banda de excitação entre 250 e 320 nm (associada à transição  $S_0 \rightarrow S_n$  no BTC) confirma a incorporação do ligante através da transferência de energia do ligante para o íon  $\text{Eu}^{3+}$ .

No espectro de emissão, com excitação na banda do BTC (em torno de 295 nm), apenas as bandas finas características do  $\text{Eu}^{3+}$  são observadas, mostrando que há transferência de energia das moléculas do sensibilizador para os íons  $\text{Eu}^{3+}$ .

Com a obtenção dos dados de excitação, emissão e do tempo de vida do nível emissor fundamental ( $\text{Eu}^{3+}{}^5D_0$ ), foram calculados os parâmetros óticos de Judd-Ofelt, taxas de decaimento radiativa e não-radiativa e eficiência quântica ( $\eta$ ) (tabela 2) como apresentado na literatura (SILVA *et al.*, 2015).

Os valores de  $\Omega_2$  são mais sensíveis a alterações na simetria ao redor do íon  $\text{Eu}^{3+}$  enquanto que o  $\Omega_4$  é mais influenciado pela polarizabilidade dos ligantes ao redor do centro emissor. O processo térmico eleva o valor de  $\Omega_4$  (2,1 para 13,6) da amostra (ZnAlEu-350 °C) mostrando a modificação na polarizabilidade dos ligantes na primeira esfera de coordenação do íon  $\text{Eu}^{3+}$ . Já com o processo de reidratação o valor do  $\Omega_2$  aumenta consideravelmente (ZnAlEu-350 °C-HBTC) e se aproxima do valor encontrado na literatura para esse material (ZnAlEu-BTC) (MORAIS *et al.*, 2019). Esses resultados mostram a modificação no ambiente químico ao redor do íon  $\text{Eu}^{3+}$  nas diferentes etapas da reação.

Amostra	$\Omega_2$ ( $10^{-20}\text{cm}^2$ )	$\Omega_4$ ( $10^{-20}\text{cm}^2$ )	$A_{\text{rad}}$ ( $\text{s}^{-1}$ )	$A_{\text{nrad}}$ ( $\text{s}^{-1}$ )	$A_{\text{tot}}$ ( $\text{s}^{-1}$ )	$\tau$ (ms)	$\eta$ (%)
ZnAlEu- $\text{NO}_3$	5,4	2,1	246	3202	3448	0,29	7
ZnAlEu-350 °C	7,3	13,6	470	3530	4000	0,25	12
ZnAlEu-350 °C-HBTC	11,1	11,8	562	3285	3846	0,26	15
ZnAlEu-BTC*	10,3	10,0	504	2728	3232	0,31	16

\*(MORAIS *et al.*, 2019)

Tabela 2. Valores de parâmetros de intensidades experimentais ( $\Omega_2,4$ ), taxas de decaimento radiativo ( $A_{\text{rad}}$ ), não-radiativo ( $A_{\text{nrad}}$ ) e total ( $A_{\text{total}}$ ) e eficiência quântica ( $\eta$ ).

Além das modificações apresentadas, o acréscimo do BTC através do processo de reidratação dobra o valor de eficiência quântica do material, indicando a efetiva intercalação do ligante no HDL reformado. O resultado encontrado para a amostra reidratada na presença da molécula fotossensibilizadora mostra que o material apresenta um rendimento quântico

comparável àquela sintetizada por coprecipitação (ZnAlEu-BTC) (MORAIS et al., 2019).

## 4 | CONCLUSÕES

No presente trabalho explorou-se a possibilidade de intercalação de um fotossensibilizador aniônico em HDLs utilizando-se o efeito memória. A molécula fotossensibilizadora ácido benzeno-1,3,5-tricarboxílico possui uma banda de excitação na qual a energia absorvida é transferida para os íons  $\text{Eu}^{3+}$  nas camadas de hidróxidos dos HDLs, um efeito chamado de efeito antena. Essa intercalação foi demonstrada através da técnica de difração de raios X e levou a uma melhoria sensível na eficiência quântica de emissão dos materiais, além de uma expansão da região espectral capaz de causar a emissão.

As imagens obtidas através da técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) serviram para acompanhar as mudanças no material passando por uma morfologia lamelar típica em HDLs até suas subseqüentes fases pós tratamento térmico e reidratação.

Por fim, o estudo da luminescência dos HDLs sintetizados não somente comprovou a presença da molécula antena na estrutura dos materiais, como foi possível verificar a transferência de energia eficiente entre as moléculas fotossensibilizadora e os íons emissores e sua melhora na eficiência quântica quando a molécula está presente no material.

## REFERÊNCIAS

- BINNEMANS, K. Interpretation of europium(III) spectra. **Coordination Chemistry Reviews**, [S. l.], v. 295, p. 1–45, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2015.02.015>
- CONSTANTINO, V. R. L.; PINNAVAIA, T. J. Basic Properties of  $\text{Mg}^{2+}_{1-x}\text{Al}^{3+x}$  Layered Double Hydroxides Intercalated by Carbonate, Hydroxide, Chloride, and Sulfate Anions. **Inorganic Chemistry**, [S. l.], v. 34, n. 4, p. 883–892, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ic00108a020>
- CREPALDI, E. L.; VALIM, J. B. Hidróxidos duplos lamelares: Síntese, estrutura, propriedades e aplicações. **Química Nova**, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 300–311, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40421998000300011>
- CUNHA, V. R. R. et al. Hidróxidos duplos lamelares: Nanopartículas inorgânicas para armazenamento e liberação de espécies de interesse biológico e terapêutico. **Química Nova**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 159–171, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000100029>
- EVANS, D. G.; DUAN, X. Preparation of layered double hydroxides and their applications as additives in polymers, as precursors to magnetic materials and in biology and medicine. **Chem. Commun.**, [S. l.], n. 5, p. 485–496, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/B510313B>
- FAN, G. et al. Catalytic applications of layered double hydroxides: recent advances and perspectives. **Chem. Soc. Rev.**, [S. l.], v. 43, n. 20, p. 7040–7066, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C4CS00160E>
- GAGO, S. et al. Immobilization of Lanthanide Ions in a Pillared Layered Double Hydroxide. **Chemistry of Materials**, [S. l.], v. 17, n. 23, p. 5803–5809, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/cm051431p>

GAO, X. et al. Study of the Structure and Luminescent Properties of Terbium Complex Intercalated Zn/Al Layered Double Hydroxide. **Russian Journal of Physical Chemistry A**, [S. I.], v. 90, n. 1, p. 36–244, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1134/S0036024415120328>

GOH, K. H.; LIM, T. T.; DONG, Z. Application of layered double hydroxides for removal of oxyanions: A review. **Water Research**, [S. I.], v. 42, n. 6–7, p. 1343–1368, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.10.043>

GOMES SILVA, C. et al. Layered double hydroxides as highly efficient photocatalysts for visible light oxygen generation from water. **Journal of the American Chemical Society**, [S. I.], v. 131, n. 38, p. 13833–9, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ja905467v>

GUNAWAN, P.; XU, R. Lanthanide-doped layered double hydroxides intercalated with sensitizing anions: Efficient energy transfer between host and guest layers. **Journal of Physical Chemistry C**, [S. I.], v. 113, n. 39, p. 17206–17214, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jp905884n>

KAMEDA, T.; SHIMMYO, T.; YOSHIOKA, T. Preparation of Zn–Al layered double hydroxide intercalated with triethylenetetramine-hexaacetic acid by coprecipitation: uptake of rare-earth metal ions from aqueous solutions. **RSC Adv.**, [S. I.], v. 4, n. 86, p. 45995–46001, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C4RA06795A>

KOHAJDOVÁ, I. Z. et al. Impact of Potassium Iodate on the quality of wheat-spelt baked goods. **ACTA Acta Sci. Pol., Technol. Aliment**, [S. I.], v. 9, n. 4, p. 443–450, 2010.

KUBO, D. et al. Improvement of electrochemical performance in alkaline fuel cell by hydroxide ion conducting Ni-Al layered double hydroxide. **Journal of Power Sources**, [S. I.], v. 222, p. 493–497, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.08.093>

LIU, J. et al. Layered Double Hydroxide Nano- and Microstructures Grown Directly on Metal Substrates and Their Calcined Products for Application as Li-Ion Battery Electrodes. **Advanced Functional Materials**, [S. I.], v. 18, n. 9, p. 1448–1458, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/adfm.200701383>

LV, L. et al. Bromide ion removal from contaminated water by calcined and uncalcined MgAl-CO<sub>3</sub> layered double hydroxides. **Journal of Hazardous Materials**, [S. I.], v. 152, n. 3, p. 1130–1137, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.07.117>

MORAIS, A. F. et al. Enhanced luminescence in ZnAlEu layered double hydroxides with interlamellar carboxylate and  $\beta$ -diketone ligands. **Journal of Alloys and Compounds**, [S. I.], v. 771, p. 578–583, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.08.321>

MUSUMECI, A. W. et al. Layered double hydroxide nanoparticles incorporating terbium: applicability as a fluorescent probe and morphology modifier. **Journal of Nanoparticle Research**, [S. I.], v. 12, n. 1, p. 111–120, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11051-008-9583-9>

RIVES, V. Characterisation of layered double hydroxides and their decomposition products. In: 2002, **Materials Chemistry and Physics**. : Elsevier, 2002. p. 19–25. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0254-0584\(02\)00024-X](https://doi.org/10.1016/S0254-0584(02)00024-X)

ROCHA, M. A. et al. Layered double hydroxide and sulindac coiled and scrolled nanoassemblies for storage and drug release. **RSC Adv.**, [S. I.], v. 6, n. 20, p. 16419–16436, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C5RA25814F>

SILVA, I. G. N. et al. Low temperature synthesis and optical properties of the R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu<sup>3+</sup> nanophosphors (R<sup>3+</sup>: Y, Gd and Lu) using TMA complexes as precursors. **Optical Materials**, [S. I.], v. 40, p. 41–48, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2014.11.044>

TEIXEIRA, A. C. et al. Luminescent layered double hydroxides intercalated with an anionic photosensitizer via

the memory effect. [S. l.], p. 1–10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cryst9030153>

TEIXEIRA, T. P. F. et al. Use of calcined layered double hydroxides for the removal of color and organic matter from textile effluents: kinetic, equilibrium and recycling studies. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, [S. l.], v. 31, n. 01, p. 19–26, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-66322014000100003>

ZHURAVLEVA, N. G. et al. Luminescent Materials Based on Tb- and Eu-Containing Layered Double Hydroxides. **Doklady Chemistry**, [S. l.], v. 396, n. 1, p. 87–91, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/B:DOCH.0000029538.18156.62>

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Júlio César Ribeiro:** Doutor em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ); Mestre em Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal Fluminense (UFF); Engenheiro-Agrônomo pela Universidade de Taubaté-SP (UNITAU); Técnico Agrícola pela Fundação ROGE-MG. Possui experiência na área de Agronomia com ênfase em ciclagem de nutrientes, nutrição mineral de plantas, cultivo em sistemas hidropônicos, fertilidade e poluição do solo, e tecnologia ambiental voltada para o aproveitamento de resíduos da indústria de energia na agricultura. E-mail para contato: [jcragronomo@gmail.com](mailto:jcragronomo@gmail.com)



## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Água Subterrânea 36, 39, 40, 41, 42, 202, 207  
Aldeídos Aromáticos 160, 161, 167  
Análise Numérica 44, 45, 51  
Aquecimento 43, 101, 111, 115, 137, 138, 148, 149, 228  
Aquífero 30, 31, 34, 35  
Associativismo 249, 250, 251, 252, 253, 254, 257, 258

### B

Biocontrole 119, 120

### C

Cadastro Territorial 1, 3, 11  
Células Solares 133, 137, 138, 143  
Cinética de Secagem 109, 111, 112, 115, 116, 117  
Classificação 32, 40, 152, 183, 184, 185, 186, 188, 192, 193, 197, 199  
Comunidade 89, 137, 147, 162, 175, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258  
Contaminação 29, 30, 32, 35, 37, 38, 39, 41, 201, 202, 227, 228, 231, 246  
Correntes Atmosféricas 226, 227

### D

Demarcação 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 256  
Dispositivos Eletrônicos 93  
Doença Fúngica 225, 227

### E

Espectrofotometria 200, 202

### F

Fenômeno Atmosférico 87, 227  
Ferrugem Asiática 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 238, 239

### H

Hidrodestilação 120, 122  
Hidrogeologia 30, 32, 34, 42

## I

Informação 31, 59, 60, 86, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 173, 179  
Ionosfera 55, 56, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 74, 75

## L

Larvicida 120, 121, 123, 125, 126, 128  
Linha de Preamar Média 1  
Lixo Eletrônico 93, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 107

## M

Malha Computacional 43, 45, 49, 52, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 239  
Marinha 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12  
Material Polimérico 170, 171, 177  
Mercado Informal 88  
Modelagem 13, 14, 28, 43, 45, 47, 52, 111, 117, 226  
Modelagem Matemática 43, 47, 117, 226  
Modelagem Numérica 13, 14, 28, 43  
Multivariada 30, 31, 35, 39, 41, 200, 202

## O

Óleo Essencial 119, 120, 122, 124, 125, 126, 127, 128  
Óleo Fúsel 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248  
Onda Eletromagnética 55, 59, 61, 64, 70, 75, 82, 87

## P

Pedogênese 183, 184, 186, 199  
Peneiras Moleculares 146, 148  
Plantas Daninhas 200, 201, 227, 246, 247  
Plataforma Continental 13  
Plumas de Emissários 13  
Polímeros 133, 136, 138, 139, 141, 143, 144, 170, 171, 173, 174, 175, 176, 177, 181, 261  
Processamento 44, 45, 47, 48, 49, 52, 97, 109, 114, 137, 144, 181, 236, 241  
Processo de Secagem 109, 110, 112, 114, 115  
Processos Pedogenéticos 183, 185, 186, 191, 192, 194, 196, 199  
Propriedades Medicinais 120

## R

Reaproveitamento 105, 240, 246, 247  
Região Costeira 13, 14

Resfriamento 43

Resíduos 47, 101, 103, 105, 106, 195, 240, 245, 273

## S

Sílicas Mesoporosas 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 154, 155, 156, 157, 158

Sistemas Dinâmicos 76

Sistemas Ópticos 76

Solventes Orgânicos 200, 202

## T

Tecnologia 57, 60, 93, 95, 97, 99, 100, 104, 105, 106, 108, 239, 273

Terras Raras 133, 137, 138, 143, 259, 261, 262, 263, 268

Terrenos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12

## U

Umidade 66, 77, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 123, 197, 198

## V

Variabilidade Ambiental 183, 184

Vulnerabilidade 11, 30, 31, 32, 34, 35, 37, 38, 39, 41

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**