



# 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:** Profª Drª 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**

Profª Drª 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

Profª Drª 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

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª 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

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

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

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

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

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

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

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª 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

Profª Drª 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)<br/>(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<br/>           Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader<br/>           Modo de acesso: World Wide Web<br/>           Inclui bibliografia<br/>           ISBN 978-65-5706-160-2<br/>           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<br>Cesar Rogério Cabral<br>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<br>Joseph Harari<br>Tiago Cortez<br>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<br>Thomaz Oliveira Teixeira<br>Samiramisthaís Souza Linhares<br>Luiz Alberto Vedana<br>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<br>Jairo Valões de Alencar Ramalho<br>Ruth da Silva Brum<br>Luiz Alberto Oliveira Rocha<br>Elizaldo Domingues dos Santos<br>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<br>Wendel Correa dos Santos<br>José Francisco da Silva Costa<br>Antonio Maia de Jesus Chaves Neto<br>Sebastião Gomes Silva<br>Manuel de Jesus dos Santos Costa<br>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

Julles 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

Fabrcio de Melo Rodrigues Barbosa  
Mrcia 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  
Lcia 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> |

## COMPLEXOS $\beta$ -DICETONATOS LUMINESCENTES BASEADOS EM ÍONS TERRAS RARAS DISPERSOS EM POLÍMEROS TRANSPARENTES PARA APLICAÇÕES EM CÉLULAS SOLARES

Data de aceite: 24/06/2020

Data de submissão: 03/04/2020

### Gabriel de Moraes Rodrigues

Instituto de Física da Universidade de São Paulo, Departamento de Física dos Materiais e Mecânica,  
São Paulo – SP.

<http://lattes.cnpq.br/6146839637111413>

### 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:** Pesquisas envolvendo materiais luminescentes contendo íons terras raras (TR) vêm crescendo intensamente nas mais diversas áreas do conhecimento e da indústria devido à grande variedade de aplicações apresentada por esses materiais. Uma das vantagens do uso desse tipo de material baseia-se no fato de os íons TR<sup>3+</sup> apresentarem bandas de emissão

extremamente finas (absorção e emissão com caráter atômico) e com alta pureza de cor, devido aos seus elétrons 4f<sup>N</sup> encontrarem-se em uma subcamada interna protegida da interação com o ambiente químico pelas subcamadas completas 5s e 5p. O presente estudo apresenta a preparação de filmes de polímeros do tipo polimetilacrilato (PMMA) transparentes contendo luminóforos (compostos com capacidade de emitir luz quando excitados) de Európio e Térbio trivalentes com ligantes  $\beta$ -dicetonatos (TTA: 2-tenoiltrifluoroacetato, DBM: dibenzoilmetano e ACAC: acetilacetato). Esses complexos são solúveis em acetona, facilitando a dispersão nos filmes poliméricos e formando materiais com maior transparência. Após sua preparação, esses complexos foram dispersos, variando suas concentrações, em filmes finos do polímero polimetilmetacrilato (PMMA) de 1,0 a 15 % em massa. Os filmes preparados foram acoplados a células fotovoltaicas de Silício policristalino, melhorando seu rendimento de conversão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hidróxido duplo lamelar, terras raras,  $\beta$ -dicetonatos, polimetilmetacrilato (PMMA), células solares.

## POLIMER DISPERSED RARE EARTH BASED LUMINESCENT $\beta$ -DIKETONATE COMPLEXES FOR SOLAR CELLS APPLICATION

**ABSTRACT:** Research involving luminescent rare earth ions (TR) based materials has been growing intensely in the most diverse areas of knowledge and industry due to the wide variety of applications presented by these materials. One of the advantages of using this type of material resides on the fact that TR<sup>3+</sup> ions have extremely thin emission bands (absorption and emission with an atomic character) and with high color purity, due to their 4f electrons being shielded from the chemical environment by the filled 5s and 5p sub-shells. This study aims to prepare transparent polymethylacrylate (PMMA) polymer films containing trivalent Eurium and Terbium based luminophores (compounds capable of emitting light when excited) with  $\beta$ -diketonate ligands (TTA: 2-tenoyltrifluoroacetate, DBM: dibenzoylmethane and ACAC: acetylacetonate). These complexes are soluble in acetone, facilitating dispersion in polymeric films and forming materials with greater transparency. After their preparation, these complexes were dispersed, varying their concentrations, in thin films of the polymethylmethacrylate polymer (PMMA) from 1.0 to 15 weight%. The prepared films were coupled to polycrystalline silicon photovoltaic cells, improving their conversion efficiency.

**KEYWORDS:** Layered double hydroxide, rare earth,  $\beta$ -diketonate, Polymethyl methacrylate (PMMA), solar cells.

### 1 | INTRODUÇÃO

O fenômeno da luminescência é caracterizado pela emissão de luz a partir de uma espécie excitada. Dependendo do tipo de energia usada no processo de excitação este fenômeno recebe várias denominações: fotoluminescência, eletroluminescência, bioluminescência, etc. A fotoluminescência é o processo no qual a excitação do sistema ocorre por meio da absorção de fótons.

Nos elementos lantanídeos (ex.: [Xe]4f<sup>N</sup>6s<sup>2</sup> ou [Xe]4f<sup>N</sup>5d<sup>1</sup>6s<sup>2</sup>), os elétrons 4f encontram-se mais internos do que os elétrons 5d e 6s (DE SÁ et al., 2000). À medida que os elétrons de valência são removidos a partir dos átomos neutros, os orbitais envolvidos são estabilizados, ao passo que os orbitais 4f são significativamente os mais afetados. Os íons TR<sup>3+</sup> apresentam subcamadas completas 5s<sup>2</sup>5p<sup>6</sup> que se encontram mais externas que os orbitais 4f. Dessa forma, os elétrons 4f são blindados pelas subcamadas 5s e 5p e, portanto, sofrem pequena influência do ambiente químico. Devido a essa menor influência do campo ligante, as bandas atribuídas de absorção e emissão oriundas das transições intraconfiguracionais 4f apresentam caráter atômico (FELINTO BRITO et al., 2010). Estas características espectroscópicas facilitam a interpretação dos dados experimentais a partir de seus espectros de absorção e emissão, e gerando cores de elevada pureza (FELINTO BRITO et al., 2010).

Dentre os íons TR<sup>3+</sup> que apresentam luminescência no visível, os mais estudados são aqueles que contêm os íons Sm<sup>3+</sup>, Eu<sup>3+</sup> e Tb<sup>3+</sup> (cores: alaranjada, vermelha e verde, respectivamente), por apresentarem maior intensidade luminescente devido às estruturas dos seus níveis de energia. Deve-se considerar, também, que existem outros íons TR<sup>3+</sup>

que podem emitir em outras regiões espectrais, tais como:  $Dy^{3+}$  (amarelo),  $Tm^{3+}$  (azul) além  $Yb^{3+}$ ,  $Nd^{3+}$  e  $Er^{3+}$  (infravermelho próximo). Uma das principais vantagens de estudar fósforos contendo íons  $Eu^{3+}$  são as suas propriedades espectroscópicas únicas. Observa-se que seu principal estado emissor  ${}^5D_0$  é não-degenerado, conseqüentemente, os picos de emissão das transições  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_J$  (onde  $J: 0 - 6$ ) desdobram-se no máximo em  $(2J+1)$  componentes, conferindo um caráter de sonda espectroscópica local.

Uma característica vital no planejamento dos materiais utilizados para luminescência é entender como ocorre a transferência de energia entre os ligantes e os íons TR. De forma simplificada, a luz é absorvida pelo ligante, levando a um estado singleto (S) excitado, o sistema pode voltar ao nível fundamental, emitindo luz, em um fenômeno chamado fluorescência. Outra alternativa é a ocorrência de conversão intersistemas para um estado tripleto (T), novamente o sistema pode retornar ao nível fundamental emitindo luz (fosforescência). O que é desejável é a transferência de energia do nível tripleto do ligante para o íon TR, assim possibilitando sua emissão característica.

A partir do entendimento desse processo a escolha do ligante mais apropriado pode ser iniciada. Por exemplo, o composto 2-tenoiltrifluoroacetato (TTA) é um excelente ligante para a luminescência do íon  $Eu^{3+}$ , pois o seu estado tripleto é ligeiramente mais energético que os níveis excitados do ativador luminescente ( ${}^5D_{0,1}$ ) (EVANS e DUAN, 2006). Entretanto, é péssimo para o íon  $Tb^{3+}$ , pois o nível T é mais baixo que o nível emissor fundamental  ${}^5D_4$ , esse complexo não apresenta luminescência (Figura 1).

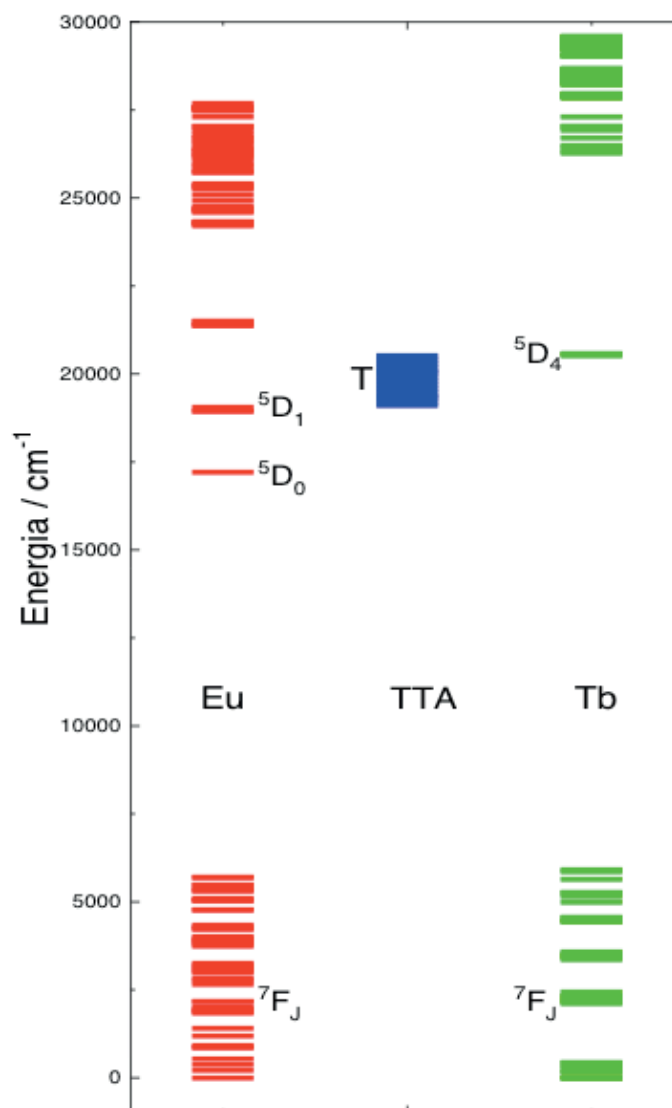


Figura 1. Diagrama energético simplificado contendo o nível tripleto (T) do ligante TTA e os níveis energéticos dos íons Európio e Térbio trivalentes.

Polímeros se caracterizam por apresentarem um grande número de repetições de uma ou mais unidades básicas, também chamadas de monômeros, unidas através de ligações covalentes (macromoléculas com massas moleculares variam usualmente de  $10^4$  e  $10^8$  g/mol) (HIEMENZ e LODGE, 2007). Os polímeros podem ser de origem natural (celulose, amido etc.) ou sintética (poliestireno, polietileno, Nylon etc.). As características dos polímeros estão intimamente ligadas aos tipos de monômeros utilizados, grau de polimerização (tamanho da cadeia), aos tipos de ligações covalentes que eles apresentam, as interações entre as cadeias, assim como o grau de cristalinidade/amorficidade do material final (HIEMENZ e LODGE, 2007).

Para o uso de polímeros em aplicações ópticas, uma das principais características desejadas é que este seja transparente na região utilizada, geralmente no visível e UV. No caso do polímero polimetilmetacrilato (PMMA) mostrado na Figura 2, sua transparência na região do visível é de 96% (DONG et al., 2015).

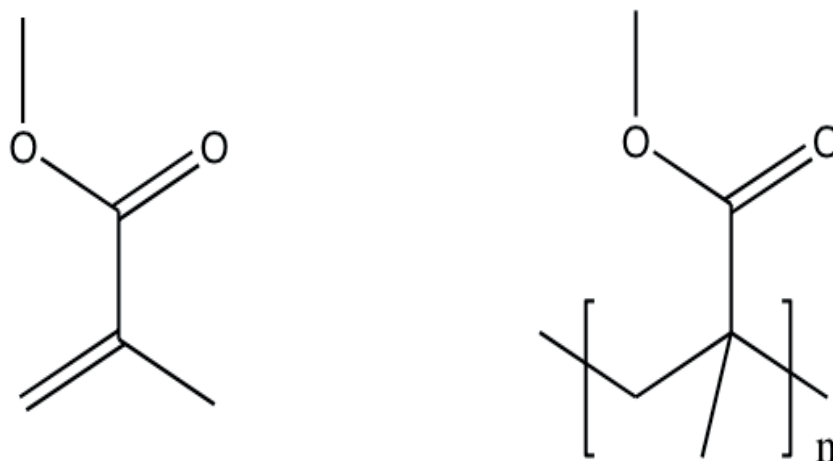


Figura 2. Fórmula estrutural do monômero metil metacrilato e unidade de repetição do polímero PMMA.

Em um momento de escassez de recursos hídricos (consumo humano e geração de energia hidrelétrica) e preocupações com aquecimento global e suas consequências nas diferentes regiões do planeta a utilização eficiente de recursos energéticos e sua diversificação para as necessidades locais é vital. Embora haja grandes esforços na área da economia energética (D'ANDRADE; FORREST, 2004; YING et al., 2014) também é necessário aumentar a geração de energia por meio menos poluentes. Neste campo, painéis solares ganham relevância principalmente em países com elevada radiância solar média ( $W/m^2$ ), como o Brasil (GRATZEL, 2007; WANG et al., 2011).

O maior desafio encontrado pelo setor de energia solar é a baixa eficiência dos painéis, elevando o custo por GWh desta fonte renovável de energia. Isso se deve ao baixo rendimento intrínseco dos sistemas fotovoltaicos de Silício. Essa baixa eficiência está associada à presença de alguns mecanismos intrínsecos de perda. Os dois processos mais importantes de perda são: relaxação de portadores de cargas criados a partir da absorção de fótons de alta energia, conhecido como termalização e a transparência do silício de fótons com energia inferior ao do *band-gap* (RICHARDS, 2006a, 2006b).

Para um melhor aproveitamento dessas regiões onde não há absorção ou o processo não é eficiente são importantes dispositivos moleculares conversores de luz (DMCL) e sistemas com *up e down-conversion* que absorvam nas regiões do ultravioleta e infravermelho, respectivamente, e que convertam em comprimentos de onda utilizáveis. Como alternativa, há um esforço da comunidade científica no estudo de materiais baseados em íons terras raras (TR) para suprir essa baixa eficiência apresentada pelas células solares atuais. Tais íons apresentam níveis energéticos favoráveis a absorção e reemissão em comprimentos de onda mais apropriados.

Majoritariamente, as células solares são construídas com lâminas de vidro como proteção entre os componentes e o ambiente externo. Essa camada de vidro já está sendo substituída por placas de PMMA em alguns casos (DONG et al., 2015). A facilidade de processamento do PMMA, menor demanda energética para produção, espessura menor e possibilidades de dopagem fazem desse polímero um material promissor para ser empregado



nessa área. Devido principalmente à sua propriedade de servir como matriz para dispersar luminóforos, esses polímeros podem ser utilizados como sensibilizadores para elevar a eficiência de células solares. Por outro lado, o custo maior (dependente do valor do petróleo) e durabilidade inferior de placas de PMMA caracterizam uma desvantagem em relação as lâminas de vidro.

Desse modo, o presente trabalho visou o desenvolvimento de filmes de PMMA dopados com complexos dos ligantes 2-tenoiltrifluoroacetato, dibenzoilmetano e acetilacetato de terras raras visando substituir a camada protetora de vidro de células de conversão fotovoltaica, elevando a sua eficiência.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Preparação dos Complexos

A Figura 3 mostra as estruturas dos ligantes 2-tenoiltrifluoroacetato (TTA), dibenzoilmetano (DBM) e acetilacetato (ACAC). Podem ser utilizadas bases fortes como NaOH, KOH, trietilamina, entre outras, para remover um Hidrogênio formando uma carga negativa que é deslocalizada entre as carbonilas, assim aumentando a coordenação com cátions metálicos (FELINTO BRITO et al., 2010).

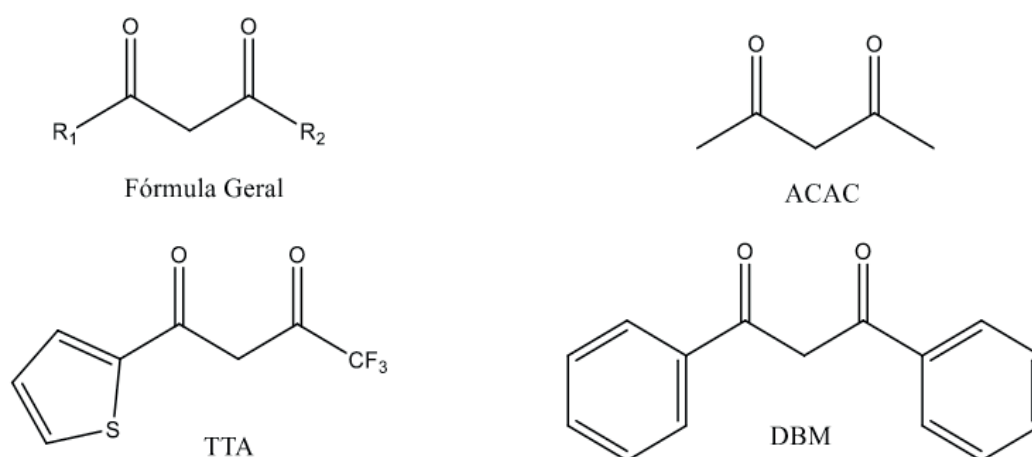


Figura 3. Estrutura dos ligantes  $\beta$ -dicetonatos.

Os complexos  $\beta$ -dicetonatos com luminescência no visível ( $[\text{Eu}(\text{TTA})_3 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})]$ ,  $[\text{Eu}(\text{DBM})_3 \cdot (\text{H}_2\text{O})]$  e  $[\text{Tb}(\text{ACAC})_3 \cdot 3(\text{H}_2\text{O})]$ ) foram sintetizados em meio etanólico, utilizando a proporção de 3:1 (ligante:TR<sup>3+</sup>). Primeiramente o ligante é dissolvido em etanol sob aquecimento e agitação. A seguir, uma quantidade equimolar de solução de NaOH é adicionada a primeira. Para a preparação dos complexos, a solução de TRCl<sub>3</sub> é gotejada sobre a solução de ligante à 60°C, após a mistura o sistema é mantido nessas condições por 1 h.

Após esse período é acrescido 100 mL de água destilada, causando a precipitação, e mantida sob aquecimento por mais 30 minutos. Ao final da reação, o produto é lavado três

vezes com água destilada, centrifugado em cada etapa da lavagem e seco em um forno a 60°C.

## 2.2 Preparação dos filmes poliméricos

Os filmes mostrados neste trabalho foram obtidos com a incorporação dos complexos luminescentes  $[\text{Eu}(\text{TTA})_3 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})]$ ,  $[\text{Eu}(\text{DBM})_3 \cdot (\text{H}_2\text{O})]$  e  $[\text{Tb}(\text{ACAC})_3 \cdot 3(\text{H}_2\text{O})]$  nas proporções (1,0–15 % em massa) na matriz polimérica de PMMA. Para produzir os filmes poliméricos, inicialmente o PMMA é dissolvido em acetona e os materiais luminescentes dispersos nessa solução (PENCZEK, CZUB e PIELICHOWSKI, 2005; WESSLING, 1970). Para eliminar o excesso de solvente, é realizada uma etapa de pré-evaporação. A solução resultante é colocada em uma forma de silicone (“método do derramamento”) para que ocorra a evaporação final e conseqüentemente a formação dos filmes finos (FORSTER et al., 2013; KAI et al., 2011).

## 2.3 Estudo das propriedades luminescentes

Os espectros de excitação dos complexos e polímeros dopados foram obtidos a temperatura ambiente no intervalo de 200 a 590 nm com emissão monitorada em 614 ( $\text{Eu}^{3+}$ ) ou 545 nm ( $\text{Tb}^{3+}$ ) (Figura 4) [2]. As bandas largas são referentes a transição singleto ( $S_0 \rightarrow S_n$ ) dos ligantes, com máximos centrados em: 305 ( $[\text{Tb}(\text{ACAC})_3]$ ), 370 ( $[\text{Eu}(\text{TTA})_3 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})]$ ) e 395 nm ( $[\text{Eu}(\text{DBM})_3 \cdot (\text{H}_2\text{O})]$ ).

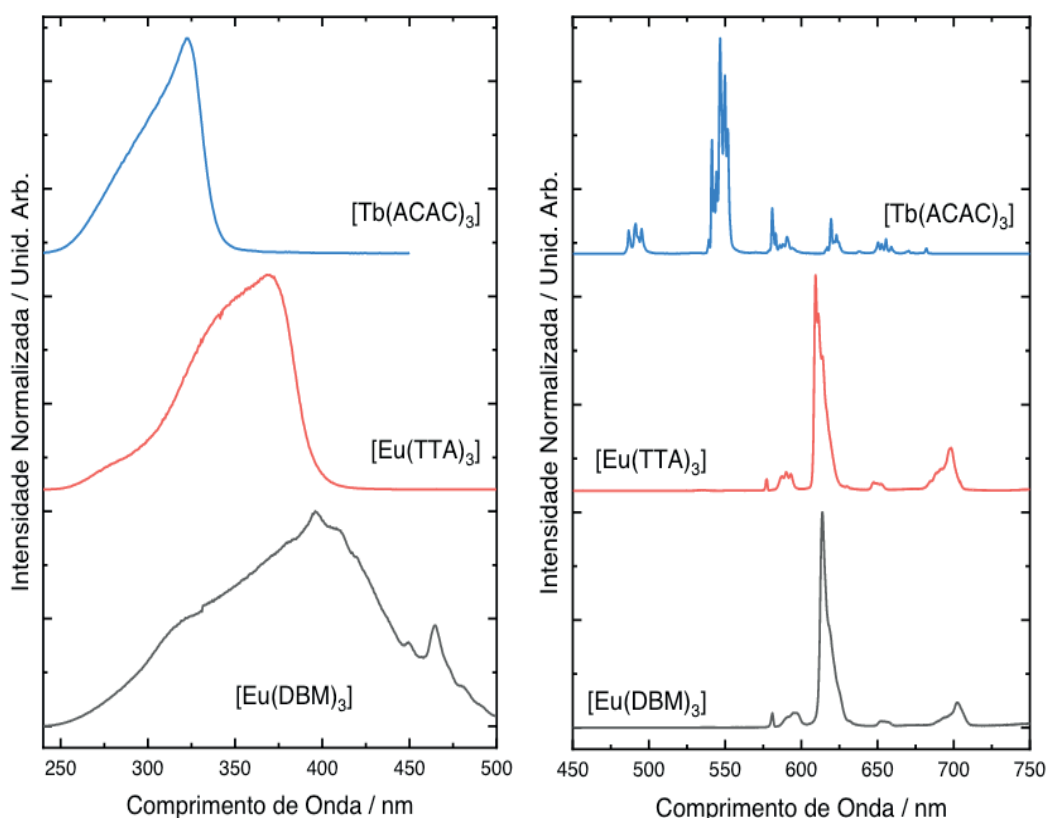


Figura 4. Espectros de excitação e emissão à 300K dos compostos  $[\text{Eu}(\text{TTA})_3 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})]$ ,  $[\text{Eu}(\text{DBM})_3 \cdot (\text{H}_2\text{O})]$  e  $[\text{Tb}(\text{ACAC})_3 \cdot 3(\text{H}_2\text{O})]$ .

Os espectros de excitação apesar de apresentarem perfil espectral diferentes são compostos basicamente por duas regiões similares: uma região de bandas largas provenientes da presença dos ligantes e outra de bandas finas oriundas dos íons  $TR_{3+}$ .

Para o sistema  $[Eu(DBM)_3 \cdot (H_2O)]$  há considerável deslocamento para região de menor energia (Figura 4). A alta intensidade das bandas referentes às transições singleto comparadas com as bandas finas intraconfiguracionais do íon  $Eu^{3+}$ , em alguns casos impossibilitando sua visualização na escala utilizada nos espectros, demonstram uma excelente transferência Ligante  $\rightarrow TR^{3+}$ .

A dispersão dos complexos na matriz polimérica provoca o aparecimento de uma banda em aproximadamente 280-290 nm nos espectros de excitação. Essa banda, associada ao polímero PMMA, sugere um processo de transferência de energia  $PMMA \rightarrow Ligante \rightarrow TR^{3+}$  ou diretamente  $PMMA \rightarrow TR^{3+}$  (FELINTO BRITO et al., 2010; SILVA et al., 2015; SILVA; MORAIS; MUSTAFA, 2019) (Figura 5).

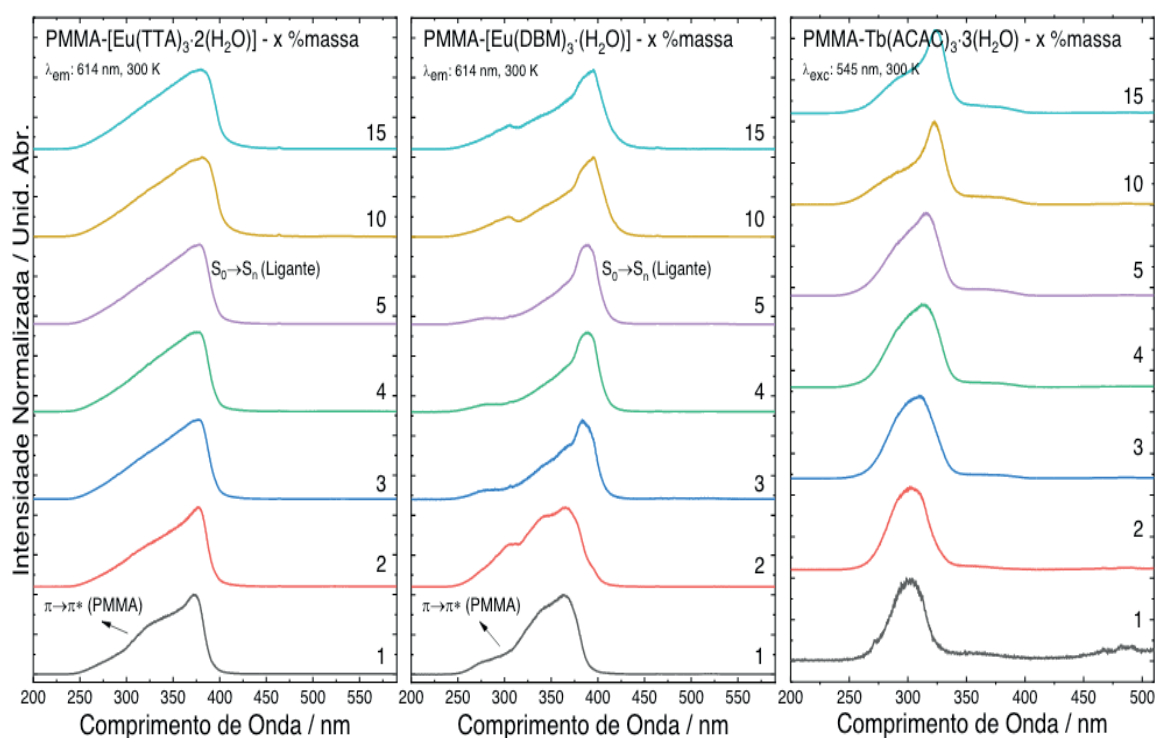


Figura 5. Espectros de excitação à 300K do  $[Eu(TTA)_3 \cdot 2(H_2O)]$ ,  $[Eu(DBM)_3 \cdot (H_2O)]$  e  $[Tb(ACAC)_3 \cdot 3(H_2O)]$ , em diferentes razões de dopagem em filme fino de PMMA (0,010 g/cm<sup>2</sup>).

A banda larga do ligante/PMMA apresentou diferenças com o aumento da concentração do complexo, especialmente para o sistema  $PMMA-[Eu(DBM)_3 \cdot (H_2O)]$ . Três explicações são possíveis, i) com o aumento da proporção do complexo a banda singleto do ligante passa a dominar o perfil espectral médio. ii) a formação de aglomerações de complexo em maiores concentrações de dopagem gerando modificação no perfil da banda. iii) a desestruturação do complexo com um ou mais ligantes retirados da primeira esfera do complexo e alocando-se na matriz polimérica. Esse efeito pode ser mais pronunciado no ligante DBM devido ao caráter apolar derivado dos dois grupos fenil.

Os espectros de emissão são dominados pelas emissões dos íons  $\text{Eu}^{3+}$  ( ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_J$ , J: 0–4) e  $\text{Tb}^{3+}$  ( ${}^5\text{D}_4 \rightarrow {}^7\text{F}_J$ , J: 6–2) (Figuras 5 e 6). A ausência de bandas largas reforça a excelente transferência de energia Ligante  $\rightarrow \text{TR}^{3+}$ . Após a dopagem no polímero PMMA, o perfil espectral sofreu pequena modificação com alargamento e diminuição da definição das bandas de emissão. Para os sistemas contendo  $\text{Eu}^{3+}$  a elevada intensidade da banda  ${}^5\text{D}_0 \rightarrow {}^7\text{F}_2$  indica a ausência de centro de inversão ao redor do íon  $\text{TR}^{3+}$ , como essa transição é permitida por relaxamento governado por dipolo elétrico, a presença de um centro de inversão levaria a intensidade nula (SILVA et al., 2016, 2018).

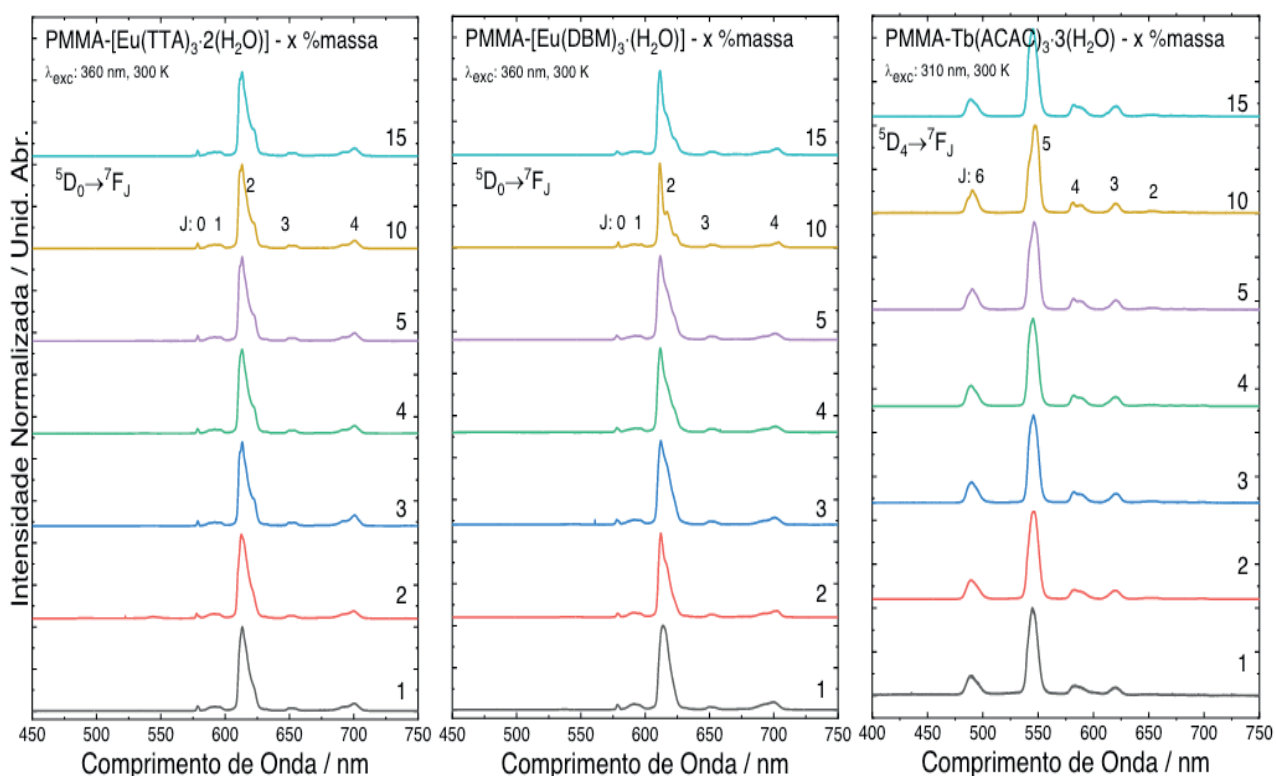


Figura 6. Espectros de excitação à 300K do  $[\text{Eu}(\text{TTA})_3 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})]$ ,  $[\text{Eu}(\text{DBM})_3 \cdot (\text{H}_2\text{O})]$  e  $[\text{Tb}(\text{ACAC})_3 \cdot 3(\text{H}_2\text{O})]$ , em diferentes razões de dopagem em filme fino de PMMA (0,010  $\text{g}/\text{cm}^2$ ).

A relação sinal/ruído nos espectros de emissão indicam que os polímeros dopados com o complexo  $[\text{Tb}(\text{ACAC})_3 \cdot 3(\text{H}_2\text{O})]$  apresentam menor luminescência que os contendo o íon Európio trivalente. Isso se deve à presença de três águas de hidratação e principalmente a estrutura do ligante, que apresenta menos grupos absorvedores de luz (cromóforos). Os ligante TTA não é usado para transferir energia para o íon  $\text{Tb}^{3+}$  pois o nível tripleto é inferior ao nível emissor de menor energia da terra rara (FELINTO BRITO et al., 2010).

Como pode ser observado na Figura 7, os filmes dopados com o complexo  $[\text{Eu}(\text{TTA})_3 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})]$  apresentaram excelente transparência, quando iluminado na região do visível e elevada luminescência quando excitado com luz ultravioleta (365 nm).

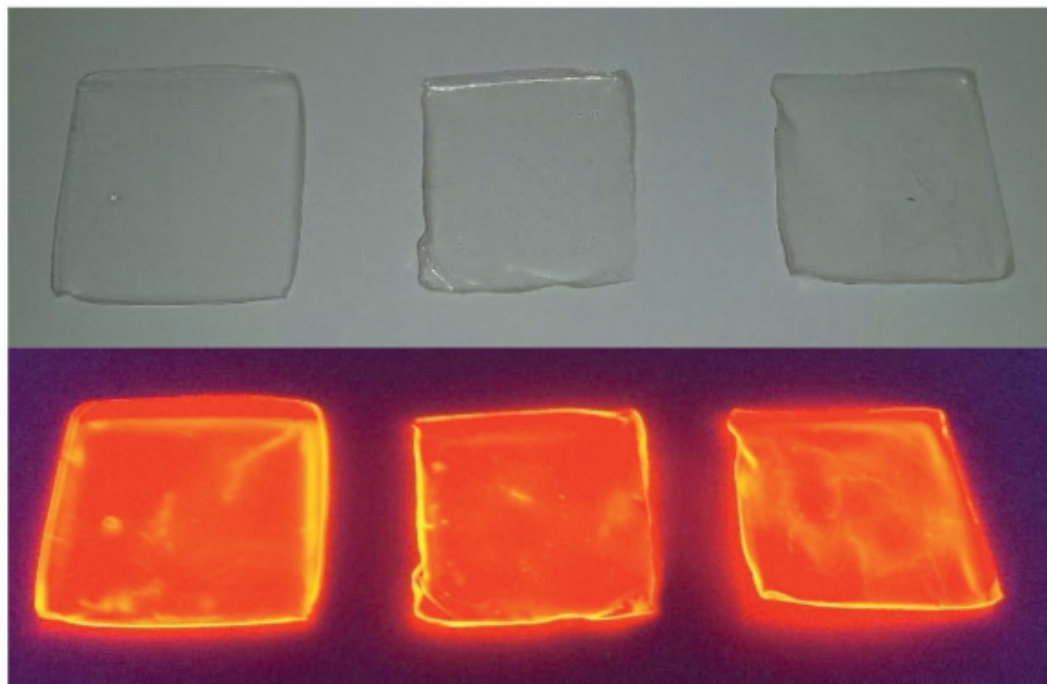


Figura 7. Fotos das películas poliméricas preparadas (dopagem de  $[\text{Eu}(\text{TTA})_3 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})]$ , 1,0; 10 e 15 % em massa, esquerda para direita), sob efeito de luz branca de lâmpada fluorescente (cima) e sob excitação em 365 nm (baixo).

## 2.4 Eficiência da Célula Solar

Uma célula solar pode operar em uma ampla gama de tensões (V) e correntes (I). Ao aumentar a carga resistiva em uma célula irradiada do zero (corrente de curto-circuito) para um valor muito alto (tensão circuito aberto), pode-se determinar o ponto de potência máxima (produto de voltagem e corrente maximizada), ou seja, a carga para a qual a célula pode maximizar a conversão de luz solar em energia elétrica nesse nível de irradiação. Em ambos os pontos (curto circuito ou circuito aberto) a potência de saída é nula. Esse ponto de potência máxima varia com a intensidade de luz incidente e em usinas de geração de energia solar é importante monitorar essa grandeza para assim prover a melhor voltagem para maior eficiência de conversão.

Os resultados mostrados na Figura 8 foram obtidos utilizando um simulador solar ABET Technologies 3000 Solar Simulator com lâmpada de Xenônio de 500 W acoplado com um Keithley Series 2400 SourceMeter. A célula solar utilizada nos testes foi do tipo Silício policristalino. A Figura 8 mostra um ganho de rendimento de conversão pela simples troca da camada de proteção de vidro (12,23 %) pelo filme do polímero PMMA de 0,010 g/cm<sup>2</sup> (13,17 %). Com o acréscimo dos complexos luminóforos houve um ganho ainda maior de eficiência: 13,85 % -  $[\text{Eu}(\text{TTA})_3]$ , 13,77 % -  $[\text{Eu}(\text{DBM})_3]$  e 13,38 % para o  $[\text{Tb}(\text{ACAC})_3]$ .

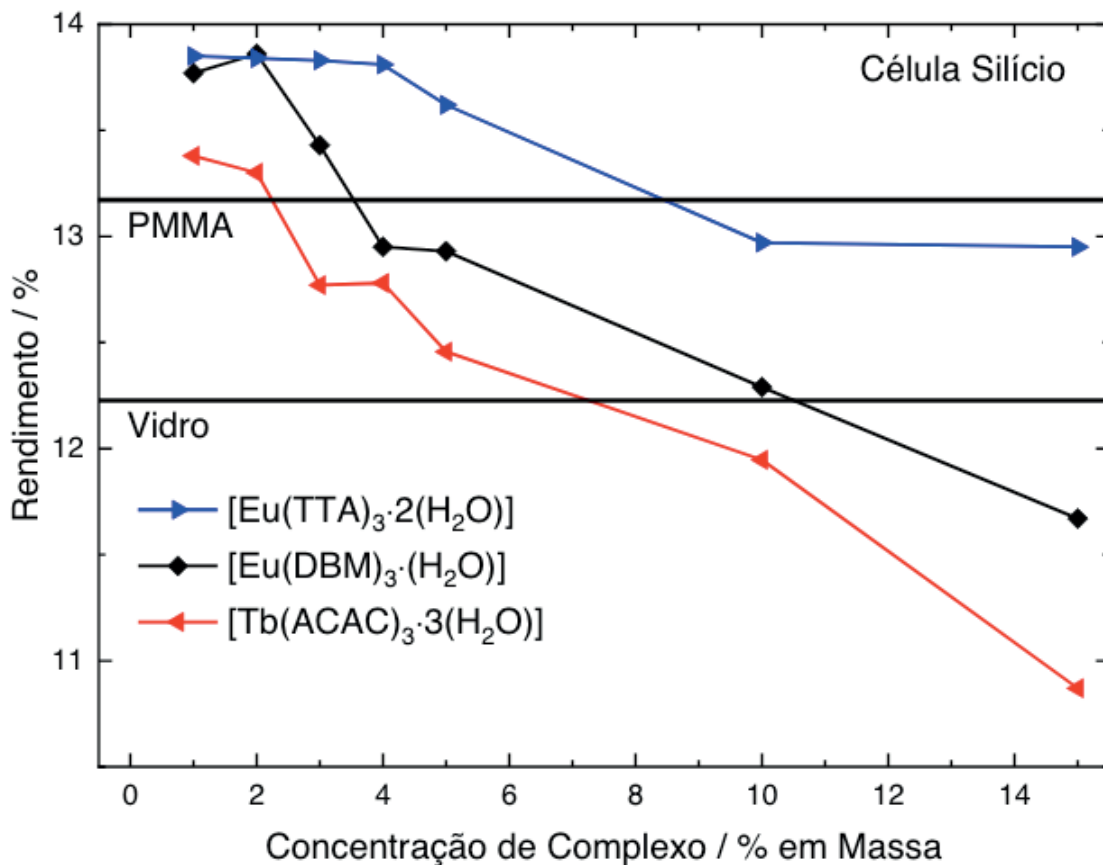


Figura 8. Rendimento de conversão fotovoltaica de célula de Silício policristalino com vidro, filmes finos do polímero PMMA não dopados e com diferentes concentrações dos complexos  $[\text{Eu}(\text{TTA})_3 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})]$ ,  $[\text{Eu}(\text{DBM})_3 \cdot (\text{H}_2\text{O})]$  e  $[\text{Tb}(\text{ACAC})_3 \cdot 3(\text{H}_2\text{O})]$ .

Para o sistema contendo o complexo  $[\text{Eu}(\text{TTA})_3 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})]$  a melhor concentração foi de 1,0 % com leve queda até 4,0 % e quedas consideráveis após essa concentração. O polímero dopado com  $[\text{Eu}(\text{DBM})_3 \cdot (\text{H}_2\text{O})]$  possui rendimentos similares ao sistema de  $[\text{Eu}(\text{DBM})_3 \cdot n(\text{H}_2\text{O})]$  até concentração de 2,0 % com posterior queda acentuada. Os materiais dopados com  $[\text{Tb}(\text{ACAC})_3 \cdot 3(\text{H}_2\text{O})]$  tem melhor rendimento com concentração de 1,0 %.

Para todos os sistemas, elevadas concentrações geram diminuição do rendimento de conversão devido a diminuição da transparência do polímero. Esse fenômeno fica mais evidente no sistema  $[\text{Eu}(\text{DBM})_3 \cdot (\text{H}_2\text{O})]$  com 10 e 15 % de dopagem. Nesse caso, o filme adquire um aspecto leitoso amarelado, combinado com a perda das propriedades plásticas dos polímeros e tornando-os mais quebradiços e de difícil manipulação.

### 3 | CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que é possível preparar filmes poliméricos com propriedade luminescentes para servirem como sensibilizadores para o aumento da eficiência em células solares. Mais especificamente, foram preparados complexos  $\beta$ -dicetonatos de terras raras trivalente que mais tarde foram dispersos em filmes preparados com o polímero PMMA. Dependendo da concentração dos complexos nesses filmes, foi possível obter características importantes principalmente para a aplicação

desejada: dispersão homogênea dos ativadores luminescente, excelente transparência, dispersibilidade/solubilidade, alta luminescência mesmo a baixas concentrações e facilidade de processamento e manipulação.

As propriedades ópticas dos fósforos foram majoritariamente mantidas após a dispersão no polímero PMMA. Em todos os casos houve o alargamento dos picos de emissão, devido a criação de sítios ligeiramente diferentes ao redor dos centros emissores.

Para todos os sistemas, o aumento da concentração gerou diminuição do rendimento de conversão devido a diminuição da transparência do polímero, combinado com a perda das propriedades plásticas dos polímeros, os tornando mais quebradiços e de difícil manipulação.

Por fim, a inclusão dos complexos nos filmes além de aumentar a eficiência da célula solar de Silício policristalino em aproximadamente 2–5 % em relação ao PMMA não dopado ou 9–13 % em relação ao vidro tradicionalmente utilizado, possibilita o aumento da vida útil dos materiais poliméricos quando expostos ao ambiente externo.

## REFERÊNCIAS

- D'ANDRADE, B. W.; FORREST, S. R. **White organic light-emitting devices for solid-state lighting**. *Advanced Materials*, [S. l.], v. 16, n. 18, p. 1585–1595, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/adma.200400684>
- DE SÁ, G. F. et al. **Spectroscopic properties and design of highly luminescent lanthanide coordination complexes**. *Coordination Chemistry Reviews*, [S. l.], v. 196, n. 1, p. 165–195, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0010-8545\(99\)00054-5](https://doi.org/10.1016/S0010-8545(99)00054-5). Acesso em: 3 dez. 2014.
- DONG, H. et al. **Highly Transparent and Toughened Poly(methyl methacrylate) Nanocomposite Films Containing Networks of Cellulose Nanofibrils**. *ACS Applied Materials and Interfaces*, [S. l.], v. 7, n. 45, p. 25464–25472, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsami.5b08317>
- 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>
- FELINTO BRITO, H. et al. **Luminescence Phenomena Involving Metal Enolates**. In: **PATAI'S Chemistry of Functional Groups**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2010. p. 1210. E-book. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9780470682531.pat0419>
- FORSTER, P. L. et al. **Influence of gamma irradiation on photoluminescence properties of polycarbonate films doped with Eu<sup>3+</sup>-B-diketonate complex**. *Radiation Physics and Chemistry*, [S. l.], v. 84, p. 47–50, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.06.046>. Acesso em: 13 jan. 2015.
- GRATZEL, M. **Photovoltaic and photoelectrochemical conversion of solar energy**. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, [S. l.], v. 365, n. 1853, p. 993–1005, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1963>
- HIEMENZ, P. C.; LODGE, T. P. **Polymer Chemistry, Second Edition**. [S. l.]: Taylor & Francis, 2007. E-book. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=bCi0QgAACAAJ>
- KAI, J. et al. **Intermolecular energy transfer and photostability of luminescence-tuneable multicolour PMMA films doped with lanthanide-β-diketonate complexes**. *Journal of Materials Chemistry*, [S. l.], v. 21, n. 11, p. 3796, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/c0jm03474f>. Acesso em: 13 jan. 2015.

PENCZEK, P.; CZUB, P.; PIELICHOWSKI, J. **Crosslinking in Materials Science**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005. (Advances in Polymer Science).v. 184E-book. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/b136215>. Acesso em: 14 jan. 2015.

RICHARDS, B. S. **Enhancing the performance of silicon solar cells via the application of passive luminescence conversion layers**. Solar Energy Materials and Solar Cells, [S. l.], v. 90, n. 15, p. 2329–2337, 2006 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2006.03.035>

RICHARDS, B. S. **Luminescent layers for enhanced silicon solar cell performance: Down-conversion**. Solar Energy Materials and Solar Cells, [S. l.], v. 90, n. 9, p. 1189–1207, 2006 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2005.07.001>

SILVA, I. G. N. et al. **Low Temperature Synthesis of Luminescent RE 2 O 3 :Eu 3+ Nanomaterials Using Trimellitic Acid Precursors**. Journal of the Brazilian Chemical Society, [S. l.], v. 170, n. 00, p. 736–742, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20150314>

SILVA, I. G. N. et al. **Highly luminescent Eu<sup>3+</sup>-doped benzenetricarboxylate based materials**. Journal of Luminescence, [S. l.], v. 170, p. 364–368, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2015.04.047>

SILVA, I. G. N. et al. **Nanostructured CeO<sub>2</sub>:Eu<sup>3+</sup>+luminophore obtained by low temperature benzenetricarboxylate method**. Optical Materials, [S. l.], v. 76, p. 48–55, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2017.12.019>

SILVA, I. G. N.; MORAIS, A. F.; MUSTAFA, D. **Synthesis, characterization and Judd-Ofelt analysis of Sm<sup>3+</sup>-doped anhydrous Yttrium trimesate MOFs and their Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Sm<sup>3+</sup> low temperature calcination products**. Journal of Luminescence, [S. l.], v. 210, n. December 2018, p. 335–341, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2019.02.048>

WANG, H. Q. et al. **Rare-earth ion doped up-conversion materials for photovoltaic applications**. Advanced Materials, [S. l.], v. 23, n. 22–23, p. 2675–2680, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/adma.201100511>

WESSLING, R. A. **The solubility of poly(vinylidene chloride) in solvent mixtures**. Journal of Applied Polymer Science, [S. l.], v. 14, n. 9, p. 2263–2277, 1970. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/app.1970.070140907>. Acesso em: 14 jan. 2015.

YING, L. et al. **White Polymer Light-Emitting Devices for Solid-State Lighting: Materials, Devices, and Recent Progress**. Advanced Materials, [S. l.], v. 26, n. 16, p. 2459–2473, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/adma.201304784>



## 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**