

# Física:

## Universo e os Fenômenos Naturais

Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior  
(Organizador)

**Atena**  
Editora

Ano 2021

# Física:

## O Universo e os Fenômenos Naturais

Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior  
(Organizador)



Ano 2021

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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

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

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

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<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 – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
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. 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

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

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

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

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

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

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

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

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

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

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

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

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

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

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
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. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
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> 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

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
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 – Faculdade da Amazônia  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Livia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

## Física: o universo e os fenômenos naturais

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Maria Alice Pinheiro  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F537 Física: o universo e os fenômenos naturais / Organizador Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-903-5

DOI 10.22533/at.ed.035211903

1. Física. I. Almeida Junior, Edson Ribeiro de Britto de (Organizador). II. Título.

CDD 530

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

## APRESENTAÇÃO

A coletânea “Física: O Universo e os Fenômenos Naturais” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica por intermédio dos trabalhos que compõem seus capítulos. O volume abordará, de forma categorizada e interdisciplinar, resultados de pesquisas, relatos de casos e/ou revisões que transitam no pluralismo conceitual e epistemológico da Física e seu ensino.

O objetivo central do livro é apresentar, de forma categorizada e clara, estudos desenvolvidos em diversas instituições de ensino e pesquisa do Brasil. A Física é uma ciência natural baseada em experimentos, medições e análises matemáticas com o propósito de encontrar leis físicas quantitativas para tudo, desde o nano mundo do microcosmo aos planetas, sistemas solares e galáxias que ocupam o macrocosmo. Temas diversos e interessantes são, deste modo, discutidos aqui com a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos, mestres, doutores e todos aqueles que de alguma forma se interessam pela Física e seus processos de ensino e de aprendizagem.

Os autores do primeiro capítulo da obra, por meio dos parâmetros estruturais de um poço quântico de GaAs com barreiras de AlGaAs, simularam os níveis de energia, funções de onda e densidade de probabilidade, por meio de uma solução numérica da Equação de Schrödinger, independente do tempo, para um poço finito. Com os resultados da interação elétron-buraco para os diferentes níveis energéticos do poço, o referido trabalho apresenta um exemplo direto e simples na solução de poços de potenciais quânticos reais. O segundo capítulo apresenta um trabalho experimental, no qual os autores utilizaram um termômetro de infravermelho de baixo custo para estimar a água precipitável na região de Florianópolis-SC. Fundamentado na dinâmica molecular clássica, os autores do terceiro capítulo discutem as propriedades termodinâmicas em sistemas binários e ternários compostos por óleo leve, CO<sub>2</sub> e salmoura para aplicações envolvendo recuperação aprimorada de petróleo. O quarto capítulo apresenta resultados de um estudo dos movimentos orbitais de detritos espaciais na vizinhança da Estação Espacial Internacional com o intuito de rastreá-los, visando evitar colisões entre eles e satélites artificiais operacionais.

Os demais trabalhos apresentam instrumentos e metodologias para o ensino de Física. O quinto capítulo, por exemplo, usam a abordagem da modelagem científica de Bunge, adotando um objeto-modelo experimental e o incorporando na teoria da Mecânica Newtoniana para o desenvolvimento de um modelo teórico-prático validado empiricamente. Seguindo a perspectiva de propostas experimentais para o ensino de Física, o sexto capítulo discute a possibilidade de demonstração do efeito magnético de um ímã em um solenoide por meio da construção de um Trem Magnético. O sétimo capítulo parte da grade comum dos conteúdos ensinados no curso de graduação em Física relacionados à dinâmica de rotações, para explicar o funcionamento do giroscópio, pião, tip-top e spinner, os quais, apesar de serem normalmente utilizados para recreação, possuem também aplicações

educacionais e outras utilidades muito interessantes de serem exploradas na área de Ensino de Física.

Além de práticas experimentais “manuais”, alguns trabalhos contemplam propostas para a ludicidade do ensino de Física. O oitavo trabalho incorporou o estudo de trajetórias bidimensionais de forma integrada, aliando a confecção de uma catapulta caseira em escala, no estilo Trebuchet, à realização de um estudo incisivo dos conceitos físicos necessários para descrição de seu funcionamento. A constituição de dados experimentais e simulações das trajetórias, foram obtidas por intermédio do software livre Tracker. O nono e último trabalho apresenta a potencialidade de recursos, como jogos educativos, como ferramenta de inclusão de alunos surdos, no que diz respeito aos processos de ensino e de aprendizagem de Física I.

Deste modo, essa leitura proporcionará um repertório de trabalhos bem fundamentados e com resultados práticos, obtidos por diversos professores e acadêmicos que arduamente desenvolveram seus trabalhos que aqui serão apresentados de maneira concisa e didática. Sabemos o quão importante é a divulgação científica, por isso evidenciamos também a estrutura da Atena Editora capaz de oferecer uma plataforma consolidada e confiável para estes pesquisadores exporem e divulguem seus resultados.

Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ANALISE ÓPTICA E SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA INTERAÇÃO ELÉTRON-BURACO EM POÇO QUÂNTICO DE GAS COM BARREIRAS DE ALGAS**

João Vitor de Souza Paz  
Jesus Maria Herazo Warnes  
Marcio Daldin Teodoro  
Rômulo Ronan Oliveira de Moraes  
Leonardo Dias de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.0352119031**

### **CAPÍTULO 2..... 12**

#### **ESTIMATIVAS DA ÁGUA PRECIPITÁVEL ATMOSFÉRICA A PARTIR DE UM TERMÔMETRO DE INFRAVERMELHO**

Renato Ramos da Silva  
Joana Zanette Crema  
Rubinei Dorneles Machado

**DOI 10.22533/at.ed.0352119032**

### **CAPÍTULO 3..... 23**

#### **MOLHABILIDADE EM INTERFACES BINÁRIAS E TERNÁRIAS COMPOSTAS DE CO<sub>2</sub>, SALMOURA E ÓLEO, VIA DINÂMICA MOLECULAR CLÁSSICA**

Lucas S. de Lara  
Danilo V. dos Santos  
Derik W. Gryczak  
Taiza A.S. do Carmo  
Alexandre C. Junior  
Andressa Novatski

**DOI 10.22533/at.ed.0352119033**

### **CAPÍTULO 4..... 44**

#### **REENTRY AND COLLISION RISK OF SPACE DEBRIS IN LEO REGION**

Jarbas Cordeiro Sampaio  
Ewerton Felipe Barbosa Paim dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.0352119034**

### **CAPÍTULO 5..... 58**

#### **MODELAGEM CIENTÍFICA: CONSTRUÇÃO DE MODELO TEÓRICO DE DUAS MOLAS ASSOCIADAS EM SERIE E EM PARALELO SOB A ABORDAGEM ENERGÉTICA**

Ricardo Robinson Campomanes Santana  
Vitória Luiza Fernandes Frare  
Jean Reinildes Pinheiro

**DOI 10.22533/at.ed.0352119035**

<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>72</b>
<b>UMA PROPOSTA EXPERIMENTAL NO ESTUDO DO ELETROMAGNETISMO: TREM MAGNÉTICO SIMPLES</b>	
José Tiago de Sousa	
Isaiane Rocha Bezerra	
Bento Bruno de Sousa	
Gilson Mauriz Gomes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0352119036</b>	
<b>CAPÍTULO 7.....</b>	<b>79</b>
<b>PIÕES, SPINERS E GIROSCÓPIOS, BRINQUEDOS E APLICAÇÕES FÍSICAS</b>	
Gabrielly Maria Camargo de Jesus	
João Marcos Fávoro Lopes	
Leandro Morais Azevedo	
Luiz Felipe Demétrio	
Pedro Haerter Pinto	
Marcos Cesar Danhoni Neves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0352119037</b>	
<b>CAPÍTULO 8.....</b>	<b>88</b>
<b>TREBUCHET: EFEITO DA RESISTÊNCIA DO AR NO MOVIMENTO DE PROJÉTEIS</b>	
José Flávio Marcelino Borges	
Ráfaga Wiecheteck Vurobi	
Lucas Stori de Lara	
Fabiana Cristina Nascimento Borges (Em memória)	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0352119038</b>	
<b>CAPÍTULO 9.....</b>	<b>100</b>
<b>JOGOS EDUCATIVOS ADAPTADOS COMO RECURSO DE APRENDIZAGEM DE FÍSICA I PARA DISCENTES SURDOS NO INSTITUTO FEDERAL DO AMAZONAS-IFAM/CMC</b>	
Carla Caroline Melgueira Silva	
Allaiza Thaisa Maia Menezes	
Fabrício de Oliveira Farias	
Klinsley Silva Rosas	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0352119039</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>116</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>117</b>

## MODELAGEM CIENTÍFICA: CONSTRUÇÃO DE MODELO TEÓRICO DE DUAS MOLAS ASSOCIADAS EM SERIE E EM PARALELO SOB A ABORDAGEM ENERGÉTICA

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 05/02/2021

### **Ricardo Robinson Campomanes Santana**

Universidade Federal de Mato Grosso -  
Instituto de Ciências Naturais, Humanas e  
Sociais - ICNHS  
Sinop – MT  
<http://lattes.cnpq.br/4005610138735380>

### **Vitória Luiza Fernandes Frare**

Universidade Federal de Mato Grosso -  
Instituto de Ciências Naturais, Humanas e  
Sociais - ICNHS  
Sinop-MT  
<http://lattes.cnpq.br/0240245623293118>

### **Jean Reinildes Pinheiro**

Professor da Universidade Federal de Mato  
Grosso - Instituto de Ciências Naturais,  
Humanas e Sociais - ICNHS  
Sinop – MT  
<http://lattes.cnpq.br/4791706939726587>

**RESUMO:** No ensino básico e superior, os professores ao trabalhar as propriedades elásticas dos corpos, usam como exemplos o comportamento linear das molas. Esse comportamento é explicado através da denominada “Lei de Hooke”, consistindo que a força de deformação aplicada à mola é diretamente proporcional à elongação produzida na mola. No entanto, os modelos, apresentados em alguns livros didáticos, da associação em série e em paralelo de duas molas, predizem

a constante elástica equivalente como a soma das inversas das constantes elásticas, e a soma das constantes elásticas das molas individuais, respectivamente. Esses modelos carecem de adequada discussão sobre sua construção e não são testados empiricamente. No caso da associação em paralelo, a hipótese assumida no modelo tradicional é a igualdade das elongações de ambas as molas, o que não se ajusta com a realidade. No presente artigo, propomos uma expansão desse modelo tradicional para determinar a constante elástica equivalente de duas molas associadas em paralelo, na qual é modificada sua hipótese básica sob um enfoque energético. Para isto, seguiremos a abordagem da modelagem científica de Bunge, adotando um objeto-modelo e o incorporando na teoria da Mecânica Newtoniana. Logo, o modelo teórico proposto é validado empiricamente.

**PALAVRAS - CHAVE:** Associação de Molas. Energia Potencial Elástica. Lei de Hooke. Modelagem Científica.

### SCIENTIFIC MODELING: CONSTRUCTION OF THE THEORETICAL MODEL OF TWO ASSOCIATED SPRINGS IN SERIAL AND PARALLEL UNDER THE ENERGY APPROACH

**ABSTRACT:** In basic and higher education, teachers, when working on the elastic properties of bodies, use the linear behavior of springs as examples. This behavior is explained through the so-called “Hooke's Law”, consisting that the deformation force applied to the spring is directly proportional to the elongation produced in the spring. However, the models, presented in

some textbooks, of the association in series and in parallel of two springs lack adequate discussion about their construction and are not tested empirically. In this article, we propose an expansion of the traditional model to determine the equivalent elastic constant of two associated springs in parallel, in which its basic hypothesis is modified under an energetic approach. For this, we will follow the approach of Bunge's scientific modeling, adopting a model object and incorporating it into Newtonian Mechanics theory. Therefore, the proposed theoretical model is validated empirically.

**KEYWORDS:** Springs Association. Potential Elastic Energy. Hooke's law. Scientific Modeling.

## 1 | INTRODUÇÃO

No reconhecido dicionário Aurélio (2004), existem diversas definições da palavra modelo, dentre as quais, as mais próximas na área das ciências exatas são: “conjunto de hipóteses sobre a estrutura ou o comportamento de um sistema físico pelo qual se procuram explicar ou prever, dentro de uma teoria científica, as propriedades do sistema” (Ibid., p. 1345), ou, “Representação simplificada e abstrata de fenômenos ou situação concreta, e que serve de referência para a observação, estudo ou análise” (Ibid., p. 1345). Para esclarecer, detalhar e ampliar esses conceitos de modelo nas ciências, seguiremos a abordagem da modelagem científica segundo o físico-matemático e filósofo da ciência Mario Bunge (MACHADO; BRAGA, 2019). Ele define (BUNGE, 1974, p. 16): “Um modelo teórico é um sistema hipotético-dedutivo que concerne a um objeto-modelo, que é, por sua vez, uma representação conceitual esquemática de uma coisa ou de uma situação real ou suposta como tal”.

Segundo Bunge (1974), existe uma variedade de escolhas de objetos-modelo  $m$  que resultam em modelos teóricos (também denominadas como teorias específicas  $T_s$ ) diferentes de um mesmo sistema, sendo o modelo mais simples a caixa negra dotada somente de entrada e saída, que constituirá uma representação do funcionamento global do sistema em estudo. Ou uma caixa mais elaborada como a caixa cinzenta ou translúcida que além da entrada e saída é munida de mecanismo interno com estados internos.

Segundo essa escolha, Bunge explicita (1974, p. 21):

A escolha entre estes diversos objetos-modelo e os modelos teóricos correspondentes dependerá do objetivo do investigador. Se se trata apenas de manejar um sistema, então uma caixa negra poderá bastar; mas se se quer compreender o seu funcionamento, seja porque se quer dominá-lo ou modificá-lo então não se poderá deixar de imaginar modelos mais ou menos profundos, gozando de apoio de teorias gerais bem como do apoio de experiências novas (Ibid., p. 21).

Em relação às noções de objeto-modelo e modelo teórico na ciência fatural Bunge faz uns esclarecimentos (1974, p. 31):

Preocupar-nos-emos com objetos-modelo e modelos teóricos como esboços hipotéticos de coisas e fatos supostamente reais. Assim um fluido pode ser modelado como um contínuo dotado de certas propriedades e semelhante objeto-modelo pode ser enertado em uma das várias teorias gerais, digamos a mecânica clássica ou mecânica relativista geral. Do mesmo modo é possível modelar um organismo de aprendizagem como uma caixa negra equipada com determinados terminais de entrada e saída e pode-se desenvolver este objeto modelo em um sistema dedutivo hipotético. Em qualquer dos casos produz-se uma teoria específica ou modelo teórico de um objeto concreto. O que se pode submeter a provas empíricas são tais modelos teóricos: as teorias gerais despreocupadas com particulares permanecem incomprováveis, a menos que sejam enriquecidas com modelos de seus referentes. E os objetos-modelo mantêm-se estéreis a não ser que sejam introduzidos ou desenvolvidos em alguma teoria (Ibid., p. 31).

A seguir reproduzimos no quadro 1, dos autores Brandão et al. (2011), na qual ilustra com alguns exemplos da Física o processo de modelagem científica segundo Bunge (1974). Ressaltando que a primeira coluna denominada de situação a ser modelada é o que denominamos objeto - concreto a ser estudado.

Situação a ser modelada	Objeto-modelo	Teoria geral	Modelo teórico
Escoamento da água no interior de uma tubulação	Fluido contínuo sem viscosidade	Mecânica dos Fluidos	Modelo de fluido ideal
	Fluido contínuo com viscosidade		Modelo de fluido viscoso
Certa quantidade de gás contida num recipiente fechado	Sistema termicamente isolado de partículas que interagem via colisões perfeitamente elásticas com as paredes do recipiente.	Mecânica Estatística e Mecânica Clássica	Modelo de gás ideal clássico
		Mecânica Estatística e Mecânica Quântica	Modelo de gás ideal quântico
Comportamento da matéria em nível microscópico	Sistema de partículas sujeitas a uma força central.	Mecânica Clássica e Eletromagnetismo	Modelo atômico de Rutherford
Movimento dos planetas do Sistema Solar		Mecânica Clássica	Modelo gravitacional de Newton

Quadro 1: Exemplos de situações do processo da modelagem científica na Física

Observa-se, que um mesmo objeto-concreto, escoamento da água no interior de uma tubulação, pode ter mais de um objeto-modelo que ao ser inserido na teoria geral da Mecânica dos Fluidos resulta em dois modelos teóricos. Por sua vez, um objeto-concreto, como o gás contido num recipiente fechado, representado por um objeto-modelo, pode ser enertado em duas teorias gerais resultando em dois modelos teóricos.

Dentro deste contexto, elasticidade é uma propriedade que ocorre em alguns materiais quando são deformados por uma força de compressão, de tração ou flexão, e voltam ao seu estado inicial quando suprimida essa força deformadora. No ensino de Física,

em geral, é usado molas no estudo das propriedades elásticas a partir da Lei de Hooke, que relaciona a força restauradora da mola com a sua deformação, dada por (NUSSENZVEIG, 2013):

$$\vec{F} = -k\vec{x}, \quad (1)$$

sendo,  $k$  a constante elástica da mola e  $\vec{x}$  é a deformação ou a elongação da mola.

No geral, os livros de ensino de Física ao se referirem do termo “associações”, o usam em situações variadas como, resistores, capacitores e molas, seja em série ou em paralelo. Nos quais se constroem modelos simplificados, sem especificar detalhes, com o auxílio de analogias entre essas associações que algumas vezes resultam inadequadas, com hipóteses e aproximações pouco explícitas, e sem testes empíricos. Por exemplo, no modelo da associação em paralelo de duas molas, alguns livros didáticos apresentam que a constante elástica equivalente é dada como a soma das constantes elásticas das molas individuais (ATAM, 1998; PARANA, 1998; YOUNG; FREEDMAN, 2008). A predição desse modelo se ampara na hipótese de igualdade de elongações de ambas as molas, e é desprovido de testes empíricos. Em recente trabalho, Campomanes, Heidemann, e Veit (2016) mostraram que esse modelo tradicional é válido somente quando as constantes elásticas de ambas as molas são iguais. No entanto, a hipótese de igualdade de elongações malogra quando as molas individuais apresentam constantes elásticas diferentes. Logo, é necessária a expansão do modelo tradicional.

Neste trabalho, estudaremos a associação de duas molas associadas em série e em paralelo. Para as molas associadas em série faremos a contrastação empírica do modelo tradicional. Para o caso das molas associadas em paralelo, para constantes elásticas diferentes, é proposto um modelo teórico na qual como consequência de sua hipótese resulta uma constante elástica equivalente diferente do modelo tradicional. Para ambas as situações, seguiremos a abordagem da modelagem científica de Bunge (BUNGE, 1974; MACHADO; BRAGA, 2019), considerando um objeto-modelo que represente o objeto concreto (real), idealizando este através de simplificações e postulando uma hipótese sob enfoque energético e, em seguida, o objeto-modelo é inserido à mecânica clássica como teoria geral. Posteriormente, este modelo teórico é testado empiricamente.

## 2 | CONSTRUÇÃO DO MODELO TEÓRICO DE DUAS MOLAS ASSOCIADAS EM SÉRIE

De acordo com Bunge (1974), o objeto-modelo é uma representação conceitual simplificada de seu referente, o objeto-concreto. No presente caso, o objeto-concreto é representado pela Figura 1, em que duas molas, de constantes elásticas  $k_1$  e  $k_2$  são colocadas em serie com uma carga pendurada no extremo livre da associação de molas.



Figura 1: Duas molas com constantes elásticas  $k_1$  e  $k_2$  associadas em série, com uma carga aplicada na extremidade livre da associação.

A Figura 2.b representa o objeto-modelo que considera algumas características do objeto-concreto representado na Figura 1, onde são feitas aproximações, simplificações e hipóteses. Considera-se que:

- i) As massas das molas, da haste, e as pequenas vibrações das molas são desprezíveis;
- ii) A associação de molas em série é representada por uma mola denominada equivalente de constante elástica  $k_E$  (ver Figura 2.c).
- iii) A elongação da mola equivalente “ $x$ ” é dada pelo deslocamento entre a posição inicial do extremo livre da associação sem carga (posição  $x=0$ , linha horizontal tracejada da figura 2) e o ponto de suspensão da carga pendurada no extremo livre da associação quando as molas estão deformadas (seta central da Figura 2.b);
- iv) Os comportamentos das molas 1, 2 e equivalente obedecem a Lei de Hooke, ou seja,  $F_1 = k_1 x_1$ ,  $F_2 = k_2 x_2$  e  $F = F_E = k_E x_E$ . Sendo  $F$ , a força aplicada à associação de duas molas, a mesma à aplicada à mola equivalente.
- v) A soma da energia potencial elástica das molas 1 e 2 é igual a energia potencial elástica da mola equivalente (diferentemente da soma das elongações,  $x_1 + x_2 = x_E$ , dos livros didáticos).

Logo;

$$\frac{1}{2}k_1x_1^2 + \frac{1}{2}k_2x_2^2 = \frac{1}{2}k_Ex_E^2 \quad (2)$$

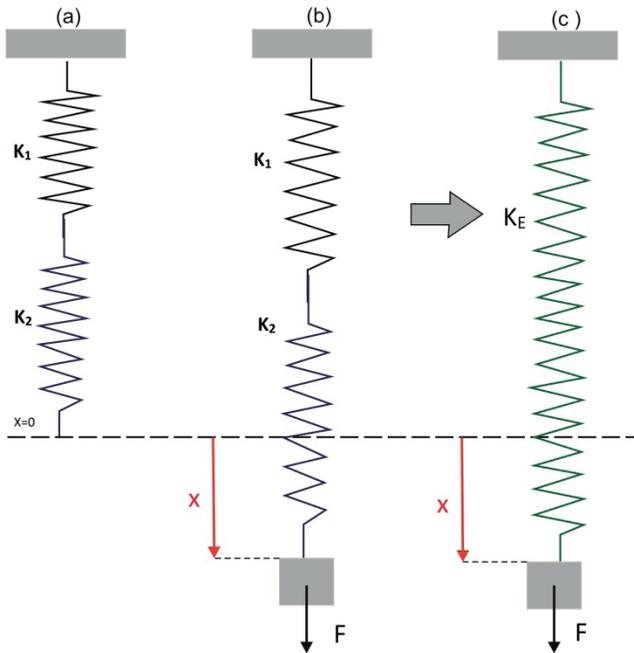


Figura 2: (a) Representação de duas molas associadas em série sem carga, (b) representação do objeto-modelo proposto a partir do objeto-concreto (Figura 1) com carga aplicada  $F$  no extremo livre da associação de molas, (c) mola equivalente que representa as duas molas com a mesma carga  $F$  e elongação à representada pela parte (b) desta Figura.

A equação (2) é a hipótese principal do presente modelo. Isolando as elongações da hipótese (iv), temos:

$$x_1 = \frac{F_1}{k_1}, \quad x_2 = \frac{F_2}{k_2} \quad e \quad x_E = \frac{F_E}{k_E} \quad (3)$$

Substituindo Eq.(3) na Eq.(2):

$$\frac{F_1^2}{k_1} + \frac{F_2^2}{k_2} = \frac{F_E^2}{k_E} \quad (3.a)$$

Por outro lado, a força deformadora  $F = F_E$  é a mesma força que age na mola 1 e na mola 2, ou seja:  $F_1 = F_2 = F_E = F$  e o substituindo na Eq. (3.a), temos:

$$\frac{1}{k_E} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \quad (4)$$

A Eq.(4) é a predição do valor da constante elástica equivalente do modelo teórico.

## 2.1 Contratação do Modelo Teórico

Foram coletados os dados de Força e alongação para a carga pendurada de acordo à configuração experimental representada na Figura 1, como também das molas de maneira separada, a incerteza na medida da alongação equivalente, considerando o efeito de paralaxe, foi de 0,002 metros. Posteriormente os dados são plotados como mostra a Figura 3.

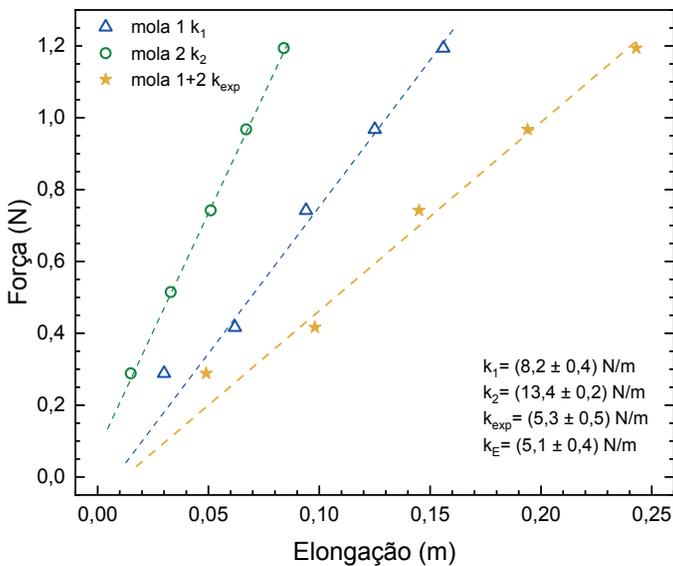


Figura 3: Força aplicada em função da alongação para as molas 1, 2 e equivalente. Nesta última, as molas 1 e 2 são associadas em série.

Nessa figura observa-se as curvas de ajuste linear para a determinação da constante elástica da mola 1, mola 2 e das molas associadas em série. Sendo esses valores de  $k_1 = (8,2 \pm 0,4) \text{ N/m}$ ,  $k_2 = (13,4 \pm 0,2) \text{ N/m}$  e  $k_{exp} = (5,3 \pm 0,5) \text{ N/m}$ , respectivamente.

Enquanto que, o valor predito pela Eq. (4), deduzida dentro do modelo teórico, é  $k_E = (5,1 \pm 0,4) \text{ N/m}$ . Portanto, considerando a incerteza da predição, podemos inferir que o resultado experimental corrobora empiricamente o modelo teórico.

### 3 I CONSTRUÇÃO DO MODELO TEÓRICO DE DUAS MOLAS ASSOCIADAS EM PARALELO

No presente caso, o objeto-concreto é representado pela Figura 4 (Figuras 4.b e 4.c), em que duas molas de constantes elásticas diferentes ( $k_1 \neq k_2$ ), inicialmente de mesmo comprimento como mostra a Figura 4.a, são associadas em paralelo com uma haste as unindo nas suas extremidades inferiores com uma carga pendurado num ponto da haste.

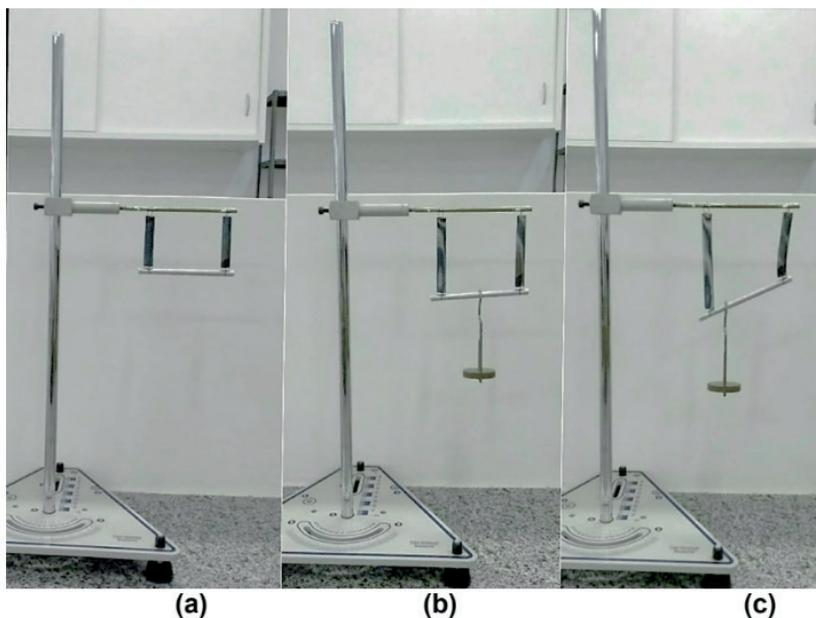


Figura 4: (a) Duas molas com constantes elásticas diferentes ( $k_1 \neq k_2$ ), de igual comprimento associadas em paralelo com uma haste de alumínio unindo suas extremidades; (b) com uma carga aplicada no centro da haste; e (c) a carga aplicada próxima da mola 1.

A Figura 5.a representa o objeto-modelo que considera algumas características do objeto-concreto representado na Figura 4.c, onde são feitas aproximações e hipóteses:

- i) As massas das molas, da haste, e as pequenas vibrações das molas são desprezíveis.
- ii) As molas 1 e 2 estão na posição vertical e ambas são paralelas.
- iii) A associação de duas molas é representada por uma mola denominada equivalente de constante elástica  $k_E$  (ver Figura 5.b).
- iv) a carga aplicada na haste não é necessariamente aplicada no centro deste (ver Figura 5.a), sendo  $L_1$  a distância entre o extremo inferior da mola 1 e o ponto de aplicação da carga ( $L = L_1 + L_2$ , sendo  $L$  o comprimento da haste).

v) A elongação da mola equivalente  $\vec{x}_E$  é dada pelo deslocamento entre a posição inicial da haste sem carga (posição  $x=0$ , linha horizontal tracejada cor vermelha) e o ponto de suspensão da carga pendurada na haste quando as molas estão deformadas (seta central da Figura 5.a).

vi) Os comportamentos das molas 1, 2 e equivalente obedecem a Lei de Hooke, ou seja,  $F_1 = k_1 x_1$ ,  $F_2 = k_2 x_2$  e  $F = F_E = k_E x_E$ . Sendo F, a força aplicada à associação de duas molas, considerada a mesma aplicada à mola equivalente.

vii) Assume-se que a soma da energia potencial elástica das molas 1 e 2 é igual a energia potencial elástica da mola equivalente (diferentemente da hipótese de igualdade de elongações, dos livros didáticos).

Logo:

$$\frac{1}{2} k_1 x_1^2 + \frac{1}{2} k_2 x_2^2 = \frac{1}{2} k_E x_E^2 \quad (5)$$

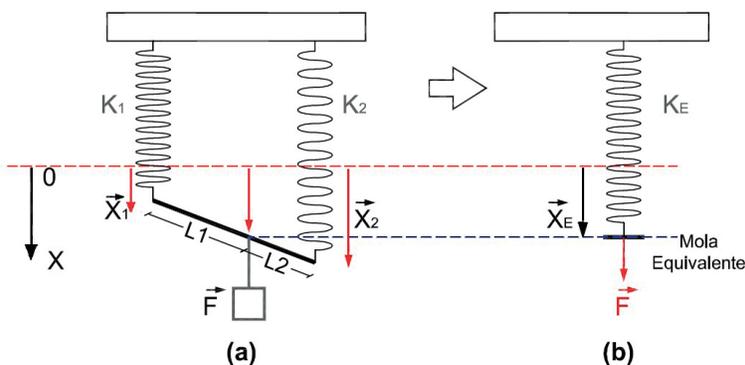


Figura 5: (a) Representação do objeto-modelo proposto a partir do objeto-concreto (Figura 4.c) de duas molas associadas em paralelo com elongações diferentes  $x_1 \neq x_2$ , com carga aplicada F em qualquer ponto da haste, (b) mola equivalente que representa às duas molas da parte (a) com a mesma carga F e elongação  $x_E$ .

Ao igual da associação de molas em série, a equação (5) é a hipótese do presente modelo proposto. Logo, enxertamos o objeto-modelo numa teoria geral, neste caso a mecânica Newtoniana.

Fazendo o Diagrama de Corpo Livre (DCL) da haste (ver Figura 6).

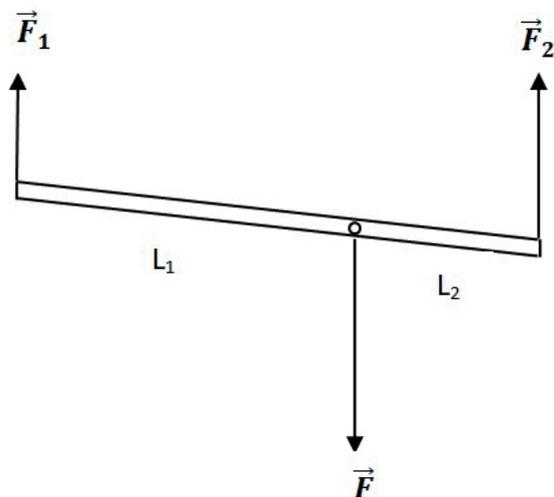


Figura 6: DCL da haste do objeto-modelo, onde são mostradas as forças que agem na haste.

Aplicando a Primeira Condição de Equilíbrio (Equilíbrio de Translação) e Segunda Condição de Equilíbrio (Equilíbrio de Rotação em torno do ponto O da haste), temos:

$$F_1 + F_2 = F \quad (6.a) \quad (1^{\text{a}} \text{ Cond. de Equilíbrio})$$

$$F_1 L_1 = F_2 L_2 \quad (6.b) \quad (2^{\text{a}} \text{ Cond. de Equilíbrio})$$

Sendo,  $L = (L_1 + L_2)$  o comprimento da haste, isolando  $L_2 = L - L_1$ , substituindo na Eq. (6.b):

$$F_1 L_1 = F_2 (L - L_1) \rightarrow (F_1 + F_2) L_1 = F_2 L \quad (6.c)$$

Logo, Eq. (6.a) em Eq. (6.c):

$$F L_1 = F_2 (L - L_1) \rightarrow F_2 = \left(\frac{L_1}{L}\right) F \quad (6.d)$$

Analogamente,

$$F_1 = \left(\frac{L_2}{L}\right) F \quad (6.e)$$

Por outro lado; usando a hipótese (vi) nas equações (6.d) e (6.e), temos:

$$x_1 = \frac{L_2}{L} \frac{F}{k_1}, \quad x_2 = \frac{L_1}{L} \frac{F}{k_2}, \quad x_E = \frac{F}{k_E} \quad (6.f)$$

Substituindo Eq. (6.f) na Eq. (5),

$$\left(\frac{L_2}{L}\right)^2 \frac{1}{k_1} + \left(\frac{L_1}{L}\right)^2 \frac{1}{k_2} = k_E \left(\frac{1}{k_E}\right)^2 = \frac{1}{k_E} \quad (6.g)$$

Reordenando,

$$k_E = \frac{1}{\left(\frac{L_2}{L}\right)^2 \frac{1}{k_1} + \left(\frac{L_1}{L}\right)^2 \frac{1}{k_2}} \quad (7)$$

## 3.2 Contratação do Modelo Teórico

Para validar o modelo teórico proposto, contrastaremos os valores de  $k_E$  que prediz o modelo segundo a equação (7) com as evidências experimentais. Para isto, primeiramente, são determinadas as constantes elásticas individuais das molas 1 e 2, usando os dados coletados de massa da carga (arruelas inseridas num gancho) e da elongação das molas medidas com uma balança e uma régua milimétrica, respectivamente. A incerteza da medida da massa e da elongação foi de 0,01g e 0,002m, nessa ordem. Posteriormente, usando o *software origin* são plotados os dados da Força F (Peso das “arruelas + gancho” = mg) – *versus* - elongação e via ajuste linear é obtido a constante elástica de cada mola através do coeficiente angular, obtendo-se:  $k_1 = (7,2 \pm 0,2)$  N/m e  $k_2 = (12,8 \pm 0,2)$  N/m.

Posteriormente, as molas 1 e 2 foram suspensas em um suporte horizontal e conectadas em seu extremo inferior por uma fina haste de comprimento L (8cm). Em seguida, foram coletados dados em duas situações: (1) quando a carga é pendurada no centro da haste; e (2) quando a carga é pendurada na haste próxima da mola 1 ( $L_1 = 3L/8$ ). No que segue, apresentamos os resultados obtidos.

### 3.2.1 Contraste do modelo teórico para o ponto central da haste $L_1=L/2$

Foram coletados os dados para a carga pendurada no centro da haste, configuração experimental representada na Figura 4.b, na qual a haste não permanece horizontal, sendo a elongação da mola 1 maior da elongação da mola 2. Em consequência, as forças restauradoras das molas  $F_1$  e  $F_2$  são diferentes. Os dados experimentais de Força e elongação equivalente foram plotados (ver Figura 7), da curva de ajuste linear se determina  $k_{exp} = (18,7 \pm 0,4)$  N/m ao passo que o valor predito pela Eq.(7), deduzida dentro do modelo teórico, é  $k_E = (18,4 \pm 0,4)$  N/m.

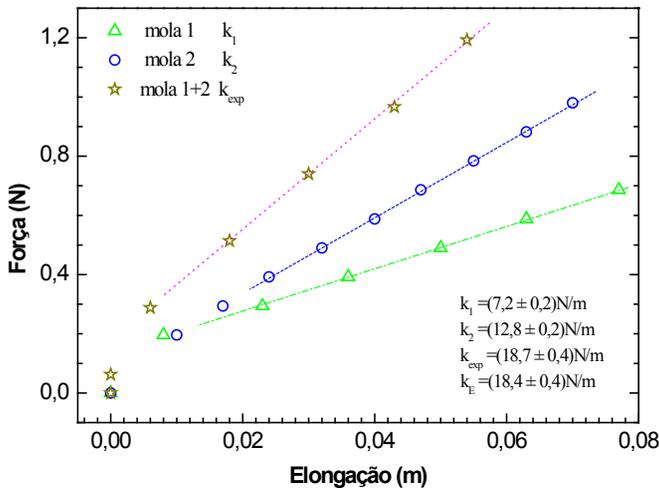


Figura 7: Força em função da elongação para as molas 1, 2 e a mola equivalente. Nesta última, as molas 1 e 2 são associadas em paralelo, com a carga pendurada no centro da haste. A predição do modelo para a constante elástica equivalente está denotado por  $k_E$ .

Considerando a incerteza do prognóstico do modelo, constata-se que a predição e o valor estimado experimentalmente se justapõem, o que pode ser considerado como uma evidência da validade do modelo teórico para representar o evento investigado.

### 3.2.2 Contraste do Modelo Teórico Para o Ponto da Haste $L_1=3L/8$

Em forma similar que na anterior sub Seção, foram coletados os dados para a carga, esta vez pendurada no ponto da haste  $L_1 = 3L/8$  (3cm), configuração experimental similar à representada na Figura 4.c. Os resultados são mostrados na Figura 8, onde a constante elástica das duas molas associadas em paralelo determinada pelo de ajuste linear da curva é  $k_{\text{exp}} = (15,6 \pm 0,4) \text{ N/m}$ . Nessa configuração o modelo prediz pela Eq.(6), o valor de  $k_E = (15,3 \pm 0,4) \text{ N/m}$ . Portanto, podemos inferir que o resultado experimental corrobora empiricamente o modelo teórico contrastado.

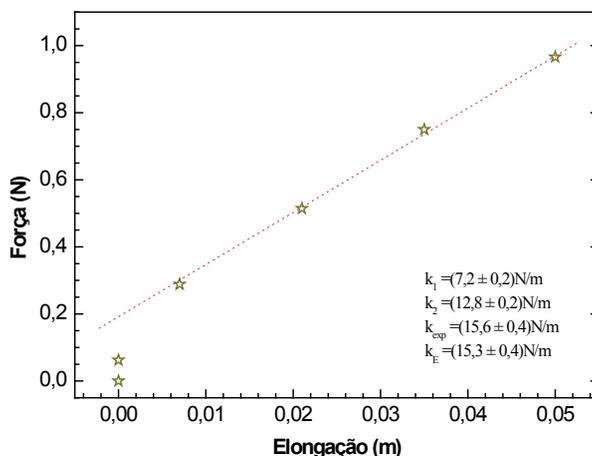


Figura 8: Força em função da elongação da mola equivalente, com a carga aplicada em  $L_1=3L/8$ . A predição do modelo para a constante elástica equivalente está denotado por  $k_E$ .

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados no presente trabalho são de interesse na discussão da construção de modelos científicos, e pela sua simplicidade conceitual e baixo custo experimental pode ser desenvolvido, dependendo do enfoque, com alunos do Ensino Médio e alunos do Ensino Superior da área de exatas. Um guia de referência para a aplicação da modelagem científica em atividades de ensino de Física é exposto com detalhe por Heidemann, Araujo e Veit (2016).

A boa escolha do objeto-modelo, as hipóteses e simplificações deste resultará preponderante na obtenção do modelo teórico, além de uma dose de intuição, domínio conceitual e uso da matemática. A contrastação empírica do modelo teórico tanto da associação de molas em série, quanto, a associação de molas em paralelo foi satisfatória, sendo que a hipótese dada pelas equações (2) e (5) são validadas indiretamente através das equações (4) e (7), respectivamente. A hipótese (2) e (5) pode ser avaliada conceitualmente da forma seguinte:

No sistema representado pela Figura 5.a, a energia mecânica se conserva. Logo:

$$\frac{1}{2}k_1x_1^2 + \frac{1}{2}k_2x_2^2 = W_g \quad (7.a)$$

Onde os dois termos da esquerda da igualdade da Eq. (7.a) são a energia potencial elástica das molas 1 e 2, que se opõem à deformação. Por sua vez, o termo à direita, é o trabalho realizado pelo campo gravitacional ( $W_g$ ) através da carga pendurada de

intensidade  $F$  para a associação de molas se deslocar  $x_E$ . Como definido acima  $F = F_E$  é a força variável aplicada à mola equivalente. Logo o trabalho  $W_g$  é dado por:

$$W_g = \int_0^{x_E} F_E dx'_E = \int_0^{x_E} k_E x'_E dx'_E = \frac{1}{2} k_E x_E^2 \quad (7.b)$$

Ou seja, conceitualmente é demonstrado que a soma da energia potencial elástica das molas 1 e 2 é igual à energia potencial elástica da mola equivalente. Essa hipótese de conservação da energia elástica está embutida na equação (7) que é a predição do modelo teórico, o qual foi validado com as evidências experimentais. Destacando, que o teste foi feito no modelo teórico e não na Teoria Geral usada “Mecânica Newtoniana” que se mantém imune.

## REFERÊNCIAS

ATAM, P. A. **Introduction to Classical Mechanics**, 2a ed., Upper Sadle River: Prentice Hall, 1998.

AURÉLIO. **Novo dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**, Editora Positivo, Curitiba, 2004.

BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. **A Modelagem Científica vista como um Campo Conceitual**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Florianópolis, v. 28, n. 3: p. 507-545, dez. 2011.

BUNGE, M. **Teoria e Realidade**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1974.

CAMPOMANES, R. R.; HEIDEMANN, L. A.; VEIT, E. A. **Modelo de associação de molas em paralelo em atividades de ensino de Física: uma análise do domínio de validade**. Revista Brasileira de Ensino de Física. São Paulo, v. 42, e20190076, Jan. 2020.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. **Modelagem Didático-científica: integrando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no ensino de Física**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Florianópolis, v. 33, n. 3, p. 3-32, Abr. 2016.

MACHADO, J.; BRAGA, M. **O centenário de Mario Bunge: contextualizando sua obra sobre modelos científicos na filosofia da ciência e como referencial na pesquisa em ensino**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Florianópolis, v. 36, n. 1, p. 178-203, Abr. 2019.

NUSSENZVEIG, M. **Curso de Física Básica: Mecânica**. 5ª ed., vol. 1, Editora Blucher, 2013.

PARANÁ, D. N. S. **Física para o Ensino Médio**. v.2, São Paulo: Editora Ática, 1998.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física I: Mecânica**, 12ª ed., Pearson Education, 2008.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aplicações Físicas 8, 79

Aprendizagem de física 8, 100

### B

Brinquedos 8, 79, 80, 86

### D

Dinâmica Molecular 5, 7, 23, 26, 31, 39

Discentes surdos 102, 103, 104, 105, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 114

### E

Eletromagnetismo 8, 72, 74, 78

Elétron-Buraco 5, 7, 1, 8, 10

Ensino de Física 6, 11, 71, 78, 79, 99, 100, 104, 114, 115, 116

Ensino Tradicional 101

### F

Física I 6, 8, 71, 100, 101, 102, 104, 105

### G

Giroscópios 8, 79

### I

Inclusão 6, 95, 100, 101, 115

Instituto Federal do Amazonas 8, 100

Interfaces ternárias 28, 35, 38

International Space Station 45, 46, 49, 53, 56, 57

### J

Jogos educativos 6, 8, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115

### M

Modelagem Científica 5, 7, 58, 59, 60, 61, 70, 71

Modelo Teórico 5, 7, 58, 59, 60, 61, 64, 65, 68, 69, 70, 71

Molas associadas em série 61, 63, 64

Molhabilidade 7, 23

## **P**

Piões 8, 79, 81

Poço Quântico 5, 7, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10

Precipitável 5, 7, 12, 13, 21

Proposta Experimental 8, 72

## **R**

Resistência do ar 8, 88, 95

## **S**

Simulação Numérica 7, 1

space debris 44, 45, 46, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56

Space debris 7, 44, 52

Spinners 8, 79

Surdos 6, 8, 100, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 114, 115

## **T**

Termômetro Infravermelho 14, 15, 16, 17, 20

Trebuchet 6, 8, 88, 89, 90, 91, 92, 94, 99

Trem Magnético 5, 8, 72, 74, 75, 76, 77, 78

# Física:

## Universo e os Fenômenos Naturais

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

@atenaeditora

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



**Atena**  
Editora

Ano 2021

# Física:

## Universo e os Fenômenos Naturais

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

@atenaeditora

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)



Ano 2021