

# 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)

**Atena**  
Editora

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 Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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

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

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

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Prof<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 Alfnas

### **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  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª 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  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª 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  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª 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  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª 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  
Profª 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>

## TREBUCHET: EFEITO DA RESISTÊNCIA DO AR NO MOVIMENTO DE PROJÉTEIS

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 05/02/2021

### **José Flávio Marcelino Borges**

Departamento de Física - Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) Ponta Grossa – PR – Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/5284206270025865>

### **Ráfaga Wiecheteck Vurobi**

Departamento de Física - Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) Ponta Grossa – PR – Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/8353438166616752>

### **Lucas Stori de Lara**

Departamento de Física - Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) Ponta Grossa – PR – Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2054552041766094>

### **Fabiana Cristina Nascimento Borges (Em memória)**

Departamento de Física - Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) Ponta Grossa – PR – Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/1243785211886291>

**RESUMO:** O presente trabalho tem por finalidade 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 aprofundando dos conceitos físicos necessários para descrição de seu funcionamento, bem como, a dedução de funções parabólicas capazes de prever com

considerável exatidão a real trajetória de um projétil sob efeito, unicamente, da força resistiva do ar. A extração de dados experimentais e simulações das trajetórias, foram obtidas por intermédio do software livre Tracker, ferramenta de vídeo-análise voltada para o ensino, e linguagem de programação em Fortran 90.

**PALAVRAS - CHAVE:** Lançamento de projétil; Constante da força de retardo; Trebuchet; Tracker, Fortran 90.

### TREBUCHET: EFFECT OF THE AIR RESISTANCE ON THE PROJECTILE MOVEMENT

**ABSTRACT:** The present work has the purpose the study of two-dimensional trajectories in an integrated manner, combining the building a homemade catapult in scale in the Trebuchet style and the realization of a deep study of the physical concepts necessary for the description of its operation, as well, the deduction of parabolic functions able to predict with considerable accuracy the real trajectory of a projectile under the effect of the resistive force of the air, only. The extraction of experimental data and trajectory simulations, were obtained through the free software Tracker, a video-analysis tool aimed at teaching, and the Fortran 90 programming language.

**KEYWORDS:** Projectile launch; Drag coefficient; Trebuchet; Tracker, Fortran 90.

## 1 | INTRODUÇÃO

O processo de aprendizagem dos conceitos de Física, pode ser facilitado com a experimentação e a produção manual, por parte dos alunos, de modelos que simulem os conteúdos propostos em aula. (BORGES, 2006) Neste sentido foi proposto aos alunos do Curso de Bacharelado de Física da Universidade Estadual de Ponta Grossa um estudo detalhado do deslocamento balístico de um projétil, lançado através de uma catapulta clássica denominada Trebuchet.

O advento do Trebuchet remonta aos povos chineses que, entre os séculos V e III AC, desenvolveram um modelo primitivo que dependia exclusivamente da força humana no acionamento da arma de cerco, via conjunto de cordas e polias (CHEVEDDEN, 1995; SAIMRE, 2006). A partir do século XII DC, especialmente em países islâmicos, bizantinos e em áreas mediterrâneas da Europa, há relatos do emprego do Trebuchet operado por ação de contra peso no arremesso de seus devastadores projéteis. A França figura como o primeiro país europeu a empregar o modelo de acionamento por contra peso (ANNOSCIA, 2018).

Devido a sua simplicidade de construção e emprego, o Trebuchet resistiu bravamente frente ao surgimento dos primeiros canhões a base de pólvora e, somente por volta do século XV DC, teve seu emprego gradativamente descontinuado devido a novos canhões capazes de rivalizar com o poder de destruição da arma de cerco (SAIMRE, 2006).

Neste contexto histórico, o conhecimento da mecânica teve que ser desenvolvido portanto, é justo dizer que o trebuchet contribuiu para o progresso da ciência à sua maneira.

Aliando os conhecimentos históricos aos princípios básicos de mecânica, busca-se a confecção de um modelo caseiro em escala reduzida do Trebuchet. Neste trabalho faz-se um estudo didático do funcionamento deste aparato com auxílio do software Tracker (PARREIRAL 2018) e linguagem Fortran 90, bem como a comparação das trajetórias parabólicas, modeladas para condições ideais (sem forças dissipativas) ou adaptadas, unicamente, para presença de um fator da intensidade da força de amortecimento no sistema.

A construção da catapulta pode ser feita de forma caseira e com material reciclado. Deve servir de estímulo aos alunos do ensino médio e graduação dos cursos de exatas e engenharias a entender a física por trás do funcionamento de uma antiga arma de guerra.

### 1.1 Trebuchet

O Trebuchet consiste em um conjunto composto por duas partes básicas: a estrutura de sustentação e as partes móveis. O funcionamento resume-se ao movimento das partes móveis sobre sua estrutura base, permitindo que a alavanca juntamente com o contrapeso arremesse o projétil através do estilingue. A imagem da figura 1, a seguir, ilustra o arranjo descrito.



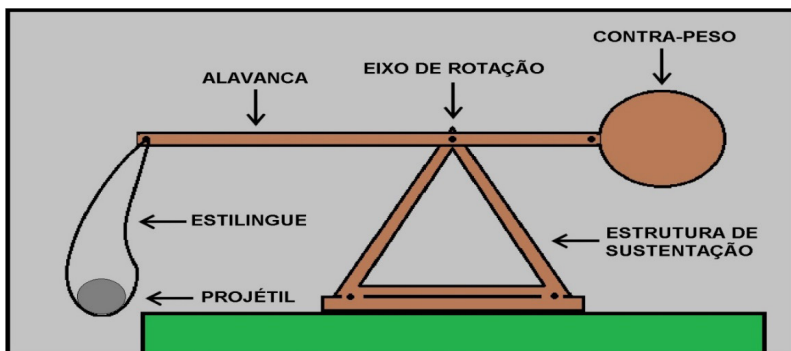


Figura 1 – Arranjo esquematizado de um Trebuchet

Conforme descrito acima, o projeto em miniatura baseia-se no modelo histórico, apresentando algumas alterações necessárias devido às limitações nos materiais disponíveis. Podemos visualizar as dimensões do protótipo na figura 2 e ele confeccionado na figura 3, de acordo com as especificações anteriormente mencionadas.

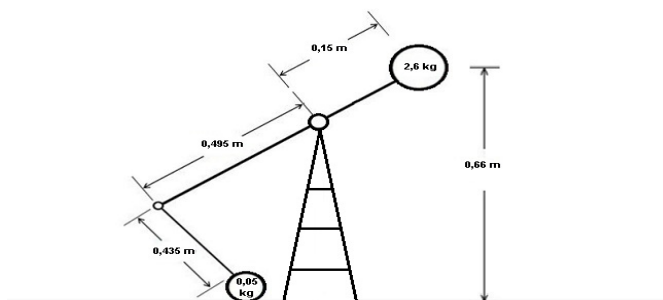


Figura 2 – Esquema das dimensões do protótipo.

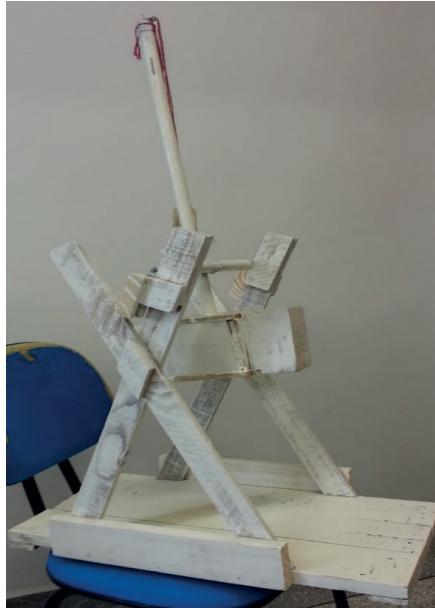


Figura 3 – Imagem contendo o modelo em escala do Trebuchet construído de acordo com as especificações propostos.

O projétil utilizado nos lançamentos foi um corpo de prova com dimensões comparáveis a um geóide, sendo confeccionado artesanalmente com massa adesiva epóxi e com aproximadamente 50 g.

A obtenção dos valores correspondentes à velocidade inicial ( $v_0$ ), tempo de voo ( $t_v$ ), alcance máximo ( $A_{max}$ ), ângulo de arremesso ( $\theta$ ), distância do projétil ao centro da alavanca ( $r$ ), entre outros parâmetros; foram aferidos através da recordação em vídeo para cada lançamento e sua posterior análise por meio do software livre Tracker. A região para lançamentos foi limitada para um alcance máximo de 11,5 m onde a posição inicial ( $x_0$ ) corresponde à média das posições no instante em que ocorre o desprendimento entre o corpo de prova e o aparato. A construção gráfica e análise das trajetórias – nas condições sem arrasto e com arrasto – foram intermediadas por um algoritmo escrito em linguagem Fortran 90.

## 1.2 Trebuchet e o movimento de projétil

A energia envolvida no processo é simplesmente a energia potencial gravitacional  $U$ , dada pela equação (1) a seguir:

$$U = mgh \quad (1)$$

com uma aceleração gravitacional  $g$  e de módulo constante de aproximadamente  $9,79 \text{ m/s}^2$  – Ponta Grossa, Paraná.

Fica evidente que ao acionarmos o Trebuchet, no instante em que o contra peso é liberado, um movimento semelhante ao de queda livre se iniciará, convertendo toda  $U$  acumulada no sistema em energia cinética de rotação, cinética de translação e em energias dissipativas – atrito, calor, som, etc., resultando no arremesso do projétil que se encontra na outra extremidade do artefato (HALLIDAY, 2009)

De todas as peças que compõem o Trebuchet, pode-se dizer que a alavanca é aquela que desempenha um papel chave em seu funcionamento. O torque resultante  $\tau_{Res}$  sobre o sistema (HALLIDAY, 2009; NUSSENZVEIG, 2002), segue a equação abaixo:

$$\tau_{Res} = F_p r \text{ sen } \theta \quad (2)$$

Conforme o conjunto realiza um movimento de rotação devido ao torque resultante, o corpo de prova se desloca de sua posição inicial até atingir o ponto de sua liberação do estilingue. Durante o deslocamento, há uma ampliação na distância  $r$  que separa o projétil do eixo de rotação bem como um aumento gradativo no momento de inercia total  $I_{Total}$  e no módulo da velocidade angular  $\omega$  na extremidade composta pela alavanca, estilingue e corpo de prova. Como resultado, parte da energia potencial gravitacional  $U$  é convertida em energia cinética de rotação  $K_r$ . A imagem da figura 4, nos mostra a realização do movimento, de forma que  $K_r$  acaba sendo escrita como:

$$K_r = \frac{1}{2} I_{Total} \omega^2 \quad (3)$$

Onde temos o momento de inercial total ( $I_{Total}$ ) e módulo da velocidade angular ( $\omega$ ). O momento de inércia (NUSSENZVEIG, 2002) do conjunto no instante do lançamento será descrito por:

$$\begin{aligned} I_{Total} &= I_{Haste} + I_{Bola} \\ I_{Total} &= \frac{1}{12} M r^2 + m r^2 \end{aligned} \quad (4)$$

com  $M$  à massa da haste e  $m$  à massa do corpo de prova.

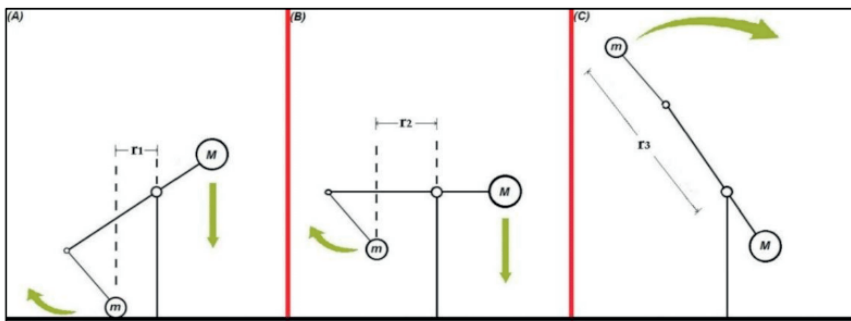


Figura 4 – Representação das posições do projétil durante o lançamento e a variação da distância até seu eixo de rotação.

Após a rotação da alavanca temos a liberação do objeto pelo estilingue, arremessando-o com uma velocidade inicial  $v_0$  e com uma trajetória parabólica. A razão por trás de tal funcionamento reside no fato de que, parte da energia potencial gravitacional é transformada – além da energia cinética de rotação – em cinética de translação,  $K_T = \frac{1}{2}mv_0^2$ , apresentando valor máximo no instante  $t_0$  da liberação do corpo (NUSSENZVEIG, 2002).

Numa primeira análise, se executássemos o arremesso sob condições ideais, sem atrito e somente a gravidade agindo sobre o corpo, obteríamos uma função parabólica (MARION, 1988) de  $y$  em função de  $x$  que pode ser descrita por:

$$y(x) = y_0 + x \tan \theta - x^2 \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} \quad (5)$$

Um olhar atento nos revela que a equação (5) corresponde a uma função do 2º grau onde o coeficiente  $a$  corresponde aos valores  $g/2v_0^2 \cos^2 \theta$ ,  $b$  equivale à  $\tan \theta$  e  $c$  associa-se a  $y_0$ . Embora válida, a mesma desconsidera a resistência oferecida pelo ar – ou arrasto – durante o deslocamento, responsável por reduzir os módulos de  $y(x)$  e  $v_0$ .

Se desejamos modelar o comportamento de um corpo em trajetória parabólica sob efeito de uma força resistiva  $e$ , considerando somente a influência do arrasto (CHANG, 2019), podemos assumir que o módulo da força resistiva  $F_{RES}$  será proporcional ao módulo da velocidade  $v$  do projétil conforme abaixo:

$$F_{RES} \propto v^n \quad (6)$$

Quando objetos pequenos se deslocando com velocidades que sejam aproximadamente menores que 24 m/s, o fator  $n$  assume um valor de  $n \cong 1$  (MARION, 1988). Logo, o módulo da força resistiva que atua sobre o corpo de prova será:

$$F_{RES} = -mkv \quad (7)$$

Conseqüentemente, devemos reescrever a equação (5) para que a constante positiva  $k$  possa ser levada em consideração, e que mais adiante, possibilitará uma modelagem com exatidão do movimento de um corpo sujeito ao arrasto, após seu arremesso. Assim sendo, consideremos o esboço do movimento de projétil sob efeito de uma força resistiva através da figura 5.

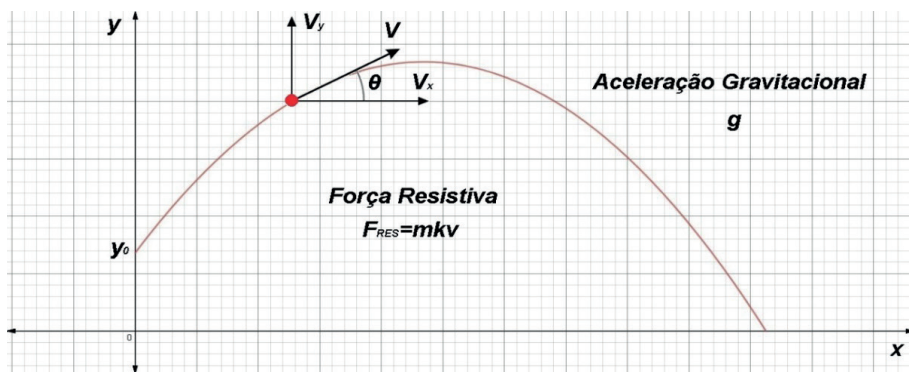


Figura 5 – Representação, em coordenadas retangulares, da trajetória parabólica de um corpo influenciado pela força de arrasto.

A expressão que satisfaz o modelo de Trebuchet analisado é (MARION, 1988):

$$y(x) = y_0 + \frac{g}{k^2} \ln \left| 1 - \frac{kx}{v_0 \cos \theta} \right| + \left( \frac{kx}{v_0 \cos \theta} \right) \left( \frac{g + kv_0 \sin \theta}{k^2} \right) \quad (8)$$

A equação (8) consiste na solução geral para trajetórias parabólicas de projéteis sob efeito de uma força resistiva do tipo  $F_{RES} = -mkv$ . Os parâmetros expressos em (8) podem ser identificados como sendo: equação parabólica da posição vertical em função da posição horizontal do projétil ( $y[x]$ ), altura inicial do projétil ( $y_0$ ), módulo da aceleração da gravidade local ( $g$ ), constante associada à intensidade da força de amortecimento ( $k$ ), módulo da velocidade inicial do projétil ( $v_0$ ), posição horizontal do projétil ( $x$ ) e o ângulo de arremesso do projétil ( $\theta$ ).

### 1.3 Vídeo-análise do movimento e linguagem fortran 90

A obtenção de parâmetros físicos para o estudo das propriedades mecânicas do Trebuchet ocorreu por intermédio do software de vídeo-análise Tracker (PARREIRAL, 2018) e a linguagem de programação Fortran 90. (ANAGNOSTOPOULOS, 2016) O primeiro é capaz de fornecer dados experimentais atrelados às trajetórias de corpos em movimento enquanto que, o segundo, permite o desenvolvimento de programas executáveis capazes de compilar e manipular dados de acordo com o que se deseja analisar.

O software Tracker apresenta uma barra de ferramenta poderosa contendo

comandos de ajuste e análise, a saber: eixo de coordenadas – permite orientar o sistema através de coordenadas retangulares definido em unidades de pixel, além de comportar o ajuste do ângulo formado entre o eixo e o plano do vídeo –, fita de calibração – possibilita que o software calibre o tamanho dos objetos em vídeo com suas dimensões reais –, bastão de medição – permite a extração precisa das dimensões dos objetos contidos em vídeo, estando dependente da utilização correta da fita de calibração –, ponto de massa – possibilita a inclusão da massa e rastreamento da trajetória do objeto retornando valores de grandezas físicas associadas à posição e massa –, entre outras opções.

A imagem da figura 6 exemplifica a funcionalidade das ferramentas eixo de coordenadas, fita de calibração, bastão de medição, ponto de massa, visualização de trajetória; disponibilizadas pelo software Tracker (PARREIRAL, 2018).

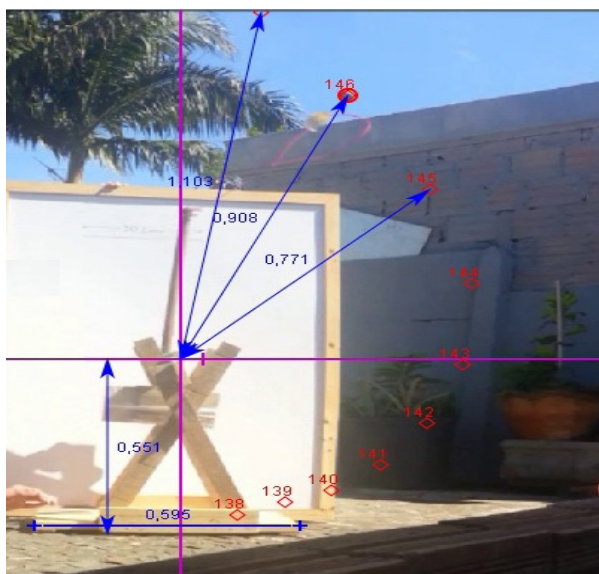


Figura 6 – Imagem extraída da análise do Teste nº5 do corpo de prova.

Por intermédio da linguagem em Fortran 90 (ANAGNOSTOPOULOS, 2016) desenvolveu-se um algoritmo contento os parâmetros experimentais específicos do corpo de prova. Desta forma, obteve-se uma comparação gráfica entre as trajetórias descritas nas condições sem atrito (ideal) e na presença, somente, da ação dissipativa da resistência do ar (intermediada pelo fator da força de amortecimento).

A tabela abaixo apresenta os comandos necessários para o desenvolvimento do algoritmo já mencionado.

```

program Projtil
  implicit none
  !!!!!!!DECLARAÇÃO DAS FUNÇÕES!!!!!!
  real :: y
  write(*,*)y()
end program Projtil
real function y()
  implicit none
  !!!!!!!DECLARAÇÃO DE VARIÁVEIS!!!!!!
  character(20),parameter :: inputfile ="Dados_A"
  character(20),parameter :: outputfile ="Resultados_A"
  integer,parameter :: n=104
  integer :: i
  real :: x(n),y1,y2
  real,parameter :: A1=0.151,B1=1.41,C1=1.362
  real,parameter :: k=0.175128387,h=1.362,g=9.79,V0=9.879,A=54.84
  !!!!!!!LEITURA DOS DADOS!!!!!!
  open(1,file=inputfile)
  open(2,file=outputfile)
  !!!!!!!CONDIÇÕES!!!!!!
  do i=1,n
    read(1,*)x(i)
  enddo
  do i=1,n
    y1=C1+B1*(x(i))-A1*(x(i)**2)
    y2=h+((g/k**2)*log(1-x(i)*k/V0*cos(A)))+(x(i)/V0*cos(A)*k**2)*(V0*sin(A))
    +(x(i)/V0*cos(A)*k**2)*(g/k)
    write(2,*)x(i),y1,y2
  enddo
  !!!!!!!FIM!!!!!!
  close(1)
  close(2)
end function

```

Tabela 1 – Programa Corpo\_de\_Prova em linguagem Fortran 90. A função  $y_1$  denota a trajetória sem atrito enquanto que, a função  $y_2$ , descreve a ação resistiva do ar.

## 2 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Podemos condensar na tabela que segue os valores médios provenientes dos respectivos testes executados com o corpo de prova. Os testes resumiram-se a cinco lançamentos do projétil, procedimento mencionado anteriormente.

MASSA $m$ (kg)	0,05
ALTURA INICIAL $y_0$ (m)	1,362
VELOCIDADE INICIAL $v_0$ (m/s)	9,879
TEMPO DE VOO $t_v$ (s)	1,922
ALCANCE MÁXIMO $A_{m\acute{a}x}$ (m)	8,558
ÂNGULO DE LANÇAMENTO $\theta$ (graus)	54,84
ACELERAÇÃO GRAVITACIONAL $g$ (m/s <sup>2</sup> )	9,79

Tabela 2 – Valores médios dos parâmetros experimentais extraídos com auxílio da ferramenta Tracker.

Com auxílio das informações contidas na tabela acima e da equação 5, podemos construir uma função parabólica da suposta trajetória do corpo de prova na ausência da ação resistiva do ar. Portanto, considere abaixo:

$$y_{SA} = -(0,151)x^2 + (1,420)x + (1,362) \quad (9)$$

Onde a notação  $y_{SA}$  representa à função matemática do corpo de prova sem influência do atrito. Alternativamente, em posse da equação 8 que prevê a influência do arrasto sobre o corpo de prova – denotado por  $y_{CA} - e$ , limitando-a no intervalo  $0 \leq x \leq 8,558$ , realizou-se uma manipulação numérica do módulo da constante  $k_A$  de maneira que a função se aproximasse de zero ( $y_{CA} \approx 0$ ) no instante  $x \cong 8,558$ , valor correspondente ao alcance máximo de  $A$ . Sendo assim, a função  $y_{CA}$  utilizada na manipulação matemática já descrita, encontrasse explícita abaixo:



$$y_{CA} = 1,362 + \left( \frac{9,79}{(k_A)^2} \right) \ln \left| 1 - \frac{xk_A}{(9,879)\cos(54,84)} \right| + x \left( \frac{\tan(54,84)}{k_A} + \frac{(9,79)}{(9,879)\cos(54,84)} \right) \quad (10)$$

Conforme o raciocínio prévio, o ajuste para constante K capaz de descrever satisfatoriamente a trajetória experimental do projétil equivale a  $K = 0,175128387$  – ou, aproximadamente  $0,175$  –, em unidades de  $s^{-1}$ . Conseqüentemente, a comparação entre a trajetória sem arrasto (cor azul) e com arrasto (cor vermelha) pode ser observada abaixo:

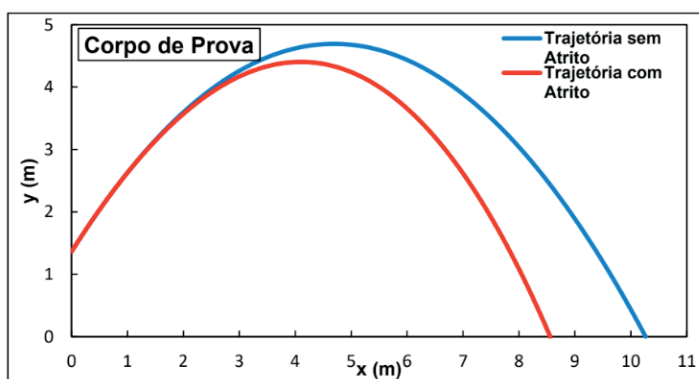


Figura 7 – Comparação entre as funções trajetória do corpo de prova.

Aplicando na equação 7 os parâmetros  $m \cong 0,05$  kg,  $v_0 \cong 9,879$  m/s e  $k_A \cong 0,175$   $s^{-1}$  teremos uma força resistiva diretamente proporcional a velocidade do corpo de prova com intensidade aproximada de:

$$F_{RES}^A \cong -0,086 \text{ N} \quad (11)$$

As trajetórias balísticas contidas na Figura 7 evidenciam uma clara influência do arrasto do ar em sistemas físico-mecânicos. Nota-se nesta figura, que para condições ideais descritas pela equação (9) o projétil teria um alcance total de aproximadamente 10,264 m. Não obstante, ao contabilizarmos os efeitos do arrasto na trajetória efetuada, podemos extrair duas informações expressivas: a redução significativa no módulo do alcance total, equivalente a 8,558 m, e a elevada acurácia das equações em fornecer o valor do alcance máximo teórico (8,5582 m) em relação ao valor experimental (8,558 m).

### 3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se que o modelo experimental criado neste trabalho está em excelente concordância com a simulação computacional. De sorte que o modelo proposto é adequado para o estudo balístico de projéteis.

Experimentalmente a catapulta, Trebuchet, aqui utilizada é uma ferramenta adequado para o estudo e determinação da resistência oferecida pelo ar na propagação de um projétil.

### AGRADECIMENTOS

Ao programa de Iniciação Científica da Fundação Araucária, Laboratório Multiusuários da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

### REFERÊNCIAS

ANAGNOSTOPOULOS, K. N., **Computacional Physics**, National Technical University of Athens, 2ª ed., 2016.

ANNOSCIA, G. et al. **Virtual prototyping of medieval weapons for historical reconstruction of siege scenarios starting from topography and archaeological investigations**. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng, v. 364, n. 012098, 2018.

BORGES, J. F. M., GABRIEL, M. C., SALEM, R. E. P. **resistores não ôhmicos à base de água**, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 23, n. 2, p. 267-276, 2006.

CHANG, J. O., et al., **Obtenção experimental do coeficiente de arrasto com o lançamento de foguetes de garrafas PET**, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 36, n. 2, p. 529-542, 2019.

CHEVEDDEN, P. et al. **The Trebuchet**. Scientific American, v. 273, p. 66-71, 1995.

HALLIDAY, D. **Fundamentos de Física**, volume 1: Mecânica / David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker. 8ª edição – Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MARION, J. B. and THORNTON, S. T., **Classical Dynamics of Particles & Systems**, Third Edition, 1988.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica, volume 1: Mecânica** 4ª edição – São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2002.

PARREIRAL, J. E., **Um curso de Mecânica com o uso do programa de videoanálise Tracker**, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 35, n. 3, p. 980-1003, 2018.

SAIMRE, T. – **Trebuchet – A gravity-operated siege engine: A study in experimental archaeology**. Estonian Journal of archaeology, v. 10, n. 1, p. 61-80, 2006.

## 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)



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