

A Newton's cradle with five spheres. One sphere on the left is in motion, having just struck the others, as indicated by its blurred position and the motion lines. The other four spheres are stationary. The background is a solid orange color.

# Física:

Produção de conhecimento  
relevante e qualificado 2

Sabrina Passoni Maravieski  
(Organizadora)

A Newton's cradle with five silver spheres hanging from thin wires against a dark grey background. One sphere on the left is in motion, having just struck or about to strike the others.

# Física:

Produção de conhecimento  
relevante e qualificado 2

Sabrina Passoni Maravieski  
(Organizadora)

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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 Exatas e da Terra e Engenharias**

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

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
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 Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
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  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
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. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Física: produção de conhecimento relevante e qualificado 2

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Yaidy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadora:** Sabrina Passoni Maravieski

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

F537 Física: produção de conhecimento relevante e qualificado 2 / Organizadora Sabrina Passoni Maravieski. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0335-7

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.357222406>

1. Física. I. Maravieski, Sabrina Passoni (Organizadora).  
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



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## 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; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

O presente livro “Física: Produção de conhecimento relevante e qualificado 2?” é o segundo volume de uma obra que tem como foco principal a discussão científica por intermédio de trabalhos diversos que compõe seus capítulos. O volume está dividido em duas partes.

A primeira parte, contempla três propostas metodológicas para o ensino de física, nas quais são utilizados *softwares* como ferramenta auxiliadora à prática docente no ensino e aprendizagem de conceitos, teorias e equações da física.

Já a segunda, apresenta também três artigos que levam os docentes à reflexões sobre questões polêmicas como: o meio ambiente atrelados ao avanço tecnológico, o serviço Educacional Brasileiro em conjunto com políticas públicas e órgãos responsáveis, bem como o cenário das mulheres atuantes na área das profissões denominadas “masculinas”.

Ao final da leitura, mesmo que aqui estejam reunidos apenas alguns temas, o leitor poderá concluir que de fato, a educação brasileira, hoje apresenta avanços significativos no que diz respeito a fatores como infraestrutura, formação de professores, material didático, inovações tecnológicas, etc. Mas que, apesar dos investimentos e incentivos, os dados de aprendizagem obtidos através de avaliações o ENEM, por exemplo, entre outras avaliações, apontam resultados que não condizem com os esforços governamentais e os investimentos feitos na área.

Em um segundo momento, o leitor verá que o contexto educacional em que a física se realiza, visando sua aplicação no cotidiano; a relação professor-aluno e as diferenças dos recursos utilizados antigamente e na atualidade. O aprendizado da disciplina de Física tem sido considerada por muitos uma disciplina difícil e desconectada de seu cotidiano o que torna importante considerarmos aspectos culturais, econômicas e sociais para uma melhor compreensão da Física. Portanto, essa percepção do saber físico faz-se necessária para que se promova uma consciência ética e social.

Deste modo, esta obra visa contribuir para o docente de Física e demais áreas tecnológicas, pois 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.

Sabrina Passoni Maravieski

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

EXPERIMENTOS COM OSCILAÇÕES HARMÔNICAS AMORTECIDAS E RESSONÂNCIA EM UM RESSONADOR DE HELMHOLTZ

Niels Fontes Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3572224061>

### **CAPÍTULO 2..... 13**

*MODELLUS*: PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O ENSINO DE FÍSICA A ALUNOS DO 1º ANO DO ENSINO MÉDIO DE UMA ESCOLA PÚBLICA, NA PERSPECTIVA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Luiz Gustavo Fernandes dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3572224062>

### **CAPÍTULO 3..... 26**

RELATO DE EXPERIÊNCIA: O USO DE SIMULADORES VIRTUAIS DO PHET COMO METODOLOGIA DE ENSINO DE CAMPO ELÉTRICO NO 3º ANO DO ENSINO MÉDIO

Nayara Lima de Souza

Daniel Cesar de Macedo Cavalcante

Alessio Tony Batista Celeste

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3572224063>

### **CAPÍTULO 4..... 31**

OBSERVAÇÃO, CATALOGAÇÃO E MONITORAMENTO DE DEBRIS ESPACIAIS COM ABORDAGENS PARA REFLEXÕES EDUCACIONAIS

Marcos Rincon Voelzke

Orlando Ferreira Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3572224064>

### **CAPÍTULO 5..... 43**

UM OLHAR PARA A ARTE DO INTENSIVISMO HUMANIZADO COMO ALIADO AOS PROFESSORES NO PROCESSO DE ENSINO DA FÍSICA

Clodoaldo Rodrigueis Vieira

Rodolfo de Lyra Ferreira

Irlane Silva de Souza

Regiane Magalhães Rêgo

Sabrina Batista Justiniano

Josivaldo Rodrigues da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3572224065>

### **CAPÍTULO 6..... 58**

UMA PROFESSORA NO DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Lucimeiry Batista da Silva Rabay

Glória de Lourdes Freire Rabay

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3572224066>

<b>SOBRE A ORGANIZADORA .....</b>	<b>72</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>73</b>

# CAPÍTULO 1

## EXPERIMENTOS COM OSCILAÇÕES HARMÔNICAS AMORTECIDAS E RESSONÂNCIA EM UM RESSONADOR DE HELMHOLTZ

*Data de aceite: 01/06/2022*

**Niels Fontes Lima**

Instituto Federal da Bahia, Departamento de Física, Câmpus Salvador

**RESUMO:** O ressonador de Helmholtz é um sistema simples composto por um volume de ar confinado e um gargalo, como uma garrafa. O ar contido no gargalo oscila em primeira aproximação como um oscilador harmônico amortecido, e a pressão acústica no interior da garrafa está diretamente relacionada ao deslocamento do centro de massa do ar no gargalo. Nos experimentos apresentados, o sinal de um microfone colocado dentro de uma garrafa PET é gravado em arquivo de áudio e analisado com os próprios recursos do programa editor de som. O sinal gravado é um registro indireto da posição do oscilador em função do tempo, representando assim a própria equação horária da posição. Os parâmetros do ressonador, frequência natural e o tempo de decaimento, são determinados de duas maneiras diferentes ilustrando importantes aspectos do movimento do oscilador harmônico amortecido e sua descrição matemática. O primeiro experimento estuda a equação horária do oscilador harmônico amortecido, em duas condições: i) sujeito a uma força externa senoidal de frequência definida e ii) oscilando espontaneamente após ser retirado do equilíbrio. O sinal gravado pelo microfone é comparado com a equação horária do oscilador harmônico amortecido,

permitindo a observação qualitativa dos regimes transiente e permanente, e seus parâmetros são determinados. O segundo experimento estuda a curva de ressonância do oscilador analisando a dependência da amplitude da oscilação do sinal gravado num ressonador sujeito a um som de frequência variável, função da frequência do som. A frequência de ressonância e o fator de qualidade são determinados pela posição e pela largura em frequência da curva de ressonância. Estudamos a dispersão estatística de resultados obtidos por diferentes alunos a partir dos mesmos registros e em registros diferentes dos mesmos experimentos, para avaliar a acurácia e a incerteza dos dois métodos e poder finalmente comparar os dois experimentos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Experimentos didáticos. Oscilador Harmônico Amortecido. Ressonância.

**ABSTRACT:** The Helmholtz resonator is a simple system consisting of a confined air volume and a neck, like a bottle. The air contained in the bottleneck oscillates in first approximation as a damped harmonic oscillator, and the acoustic pressure inside the bottle is directly related to the displacement of the center of mass of the air in the neck. In the experiments herein presented, the signal from a microphone placed inside a PET bottle is recorded in an audio file and is analyzed using the sound editor program's own resources. The recorded signal is an indirect record of the oscillator's position as a function of time, thus representing the position time equation. The resonator parameters, natural frequency and decay time, are determined in two different ways illustrating important aspects of damped harmonic

oscillator motion and its mathematical description. The first experiment studies the time equation of the damped harmonic oscillator, under two conditions: i) subjected to an external sinusoidal force of defined frequency and ii) spontaneously oscillating after being taken out of equilibrium. The signal recorded by the microphone is compared with the time equation of the damped harmonic oscillator, allowing the qualitative observation of the transient and steady regimes, and its parameters are determined. The second experiment studies the resonance curve of the oscillator analyzing the dependence of the amplitude of the oscillation of the signal recorded in a resonator subjected to a sound of variable frequency, as a function of the sound frequency. The resonant frequency and quality factor are determined by the position and frequency width of the resonant curve. We studied the statistical dispersion of results obtained by different students from the same records and in different records of the same experiments, to assess the accuracy and uncertainty of the two methods and finally be able to compare the two experiments.

**KEYWORDS:** Didactic experiments. Damped Harmonic Oscillator. Resonance.

## INTRODUÇÃO

Apresentamos neste artigo dois experimentos didáticos envolvendo a física e a matemática do oscilador harmônico amortecido, livre e forçado. Os experimentos são simples e usam material muito simples e barato, além de um computador *desktop* ou *notebook* comuns, e permitem a comprovação qualitativa e quantitativa da descrição teórica do oscilador harmônico amortecido e do fenômeno de ressonância. Nunca é demais lembrar a imensa importância do oscilador harmônico na física, como modelo teórico para muitos diferentes fenômenos e primeiro exemplo paradigmático do emprego de equações diferenciais para descrever o movimento em modelos físicos que definem as forças que atuam no sistema em diferentes níveis de complexidade, o que estes experimentos ilustram muito bem.

Os experimentos consistem na gravação do sinal de um microfone comum de computador inserido no interior de uma garrafa PET. A garrafa é um ressonador de Helmholtz (HELMHOLTZ) e a pressão no interior da garrafa varia por efeito do deslocamento do centro de massa do ar no gargalo. O sinal do microfone em função do tempo representa a equação horária do movimento do centro de massa do ar do gargalo da garrafa. Um som externo de frequência definida produzido pelo computador através de caixas de som padrão ligeiramente modificadas age como uma força periódica sobre o ressonador e dessa forma define as características da equação horária do movimento.

É usado um mesmo programa editor para gerar o som com as características desejadas e para gravar o sinal do microfone. O editor trabalha com a representação visual do sinal e possui ferramentas que possibilitam a análise matemática numérica dos sinais gravados. A atividade de análise dos experimentos executada pelos alunos envolve a representação visual e a descrição matemática do sinal gravado e além de mostrarem qualitativamente a validade das equações do movimento do oscilador amortecido e do

oscilador amortecido forçado, permitem a determinação numérica dos parâmetros característicos do oscilador: frequência natural e fator de qualidade.

Estes experimentos vêm sendo realizados nas aulas práticas da disciplina “Física Geral e Experimental II” para alunos de engenharia e de “Ondas, Som e Luz” para licenciandos em física do Câmpus Salvador do IFBA, com muito sucesso, tanto no que diz respeito à reprodutibilidade e consistência dos resultados, conforme mostramos neste trabalho, quanto no que tange ao resultado didático da atividade, como a experiência destes anos tem indicado ao autor deste artigo.

Este trabalho reflete uma preocupação com a precisão e a acurácia do experimento, no sentido da concordância entre si de resultados obtidos por diferentes grupos de alunos a partir dos mesmos dados experimentais. A metodologia da análise dos dados nos experimentos propostos envolve escolher trechos do sinal para analisar, e isso pode mudar de grupo para grupo de alunos. Um mesmo conjunto de registros foi portanto apresentado a muitos grupos diferentes de alunos para serem analisados, de forma a podermos determinar a dispersão dos resultados obtidos e assim avaliarmos a imprecisão e a acurácia dos métodos propostos em cada experimento.

Também analisaremos a reprodutibilidade dos experimentos, comparando os resultados obtidos em duas realizações diferentes de cada experimento, e encontraremos basicamente a mesma estatística. Essa informação é importante para podermos comparar os resultados obtidos nos dois experimentos diferentes, o objetivo principal da atividade.

## **EQUAÇÃO HORÁRIA DO OSCILADOR HARMÔNICO AMORTECIDO E FORÇADO**

Um ressonador de Helmholtz, como a garrafa do experimento, sujeito a um som de intensidade e frequência definidas é um oscilador harmônico amortecido forçado periodicamente (OLSON). O modelo físico que representa um oscilador harmônico mecânico em uma dimensão amortecido por força viscosa e forçado periodicamente considera a ação das seguintes forças sobre um ponto material de massa  $m$ :

- i) força restauradora linear, com constante de mola  $k$ ;
- ii) força viscosa linear, com constante de atrito viscoso  $b$ ; e
- iii) força externa periódica, com amplitude  $F_0$  e frequência angular  $w$ .

A força total (resultante) que age sobre a massa  $m$  é dada assim por

$$F(t) = -kx - bv + F_0 \cos(\omega t) \quad (1)$$

A partir das leis de força consideradas no modelo mecânico adotado, expressas na equação (\*) e da segunda lei de Newton, obtemos a equação diferencial do movimento do oscilador harmônico amortecido forçado (OHAF):

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos(\omega t) \quad (2)$$

onde os parâmetros do oscilador harmônico amortecido, o tempo de decaimento  $\tau$  e a frequência natural  $\omega_0$ , são dados em termos dos parâmetros mecânicos do modelo por

$$\tau = \frac{m}{b} \text{ e } \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3)$$

e determinam o fator de qualidade definido como  $Q \equiv \omega_0 \tau$ .

Muitos outros sistemas físicos compartilham da equação (2) e têm a frequência natural e o fator de qualidade determinados por seus parâmetros sejam elétricos, como no caso dos circuitos RLC, ou acústicos, como no ressonador de Helmholtz, por exemplo. Esta introdução teórica trata de um oscilador mecânico do tipo massa-mola pois os alunos que estão iniciando o estudo das oscilações têm maior familiaridade com a mecânica. Entretanto, é possível abordar o modelo acústico com referência a conhecimentos básicos de teoria de fluidos e fazer uma relação precisa entre os parâmetros do oscilador teórico e os parâmetros acústicos do ressonador de Helmholtz, para alunos de uma disciplina típica de Física Geral e Experimental II. Os resultados dos experimentos podem ser comparados com a previsão teórica a partir dos parâmetros geométricos e condições de ambiente, mas o principal objetivo destes experimentos é determinar os valores dos parâmetros do oscilador de duas formas diferentes, expressos em diferentes propriedades do movimento, e compará-las entre si.

A equação (2) é uma equação diferencial não-homogênea, cuja equação homogênea associada representa o oscilador harmônico amortecido livre. Sua solução geral é a soma da solução geral do oscilador harmônico amortecido com a solução particular da equação não-homogênea que corresponde ao movimento sob efeito da força periódica com a frequência dada.

$$A_0 \exp\left(-\frac{t}{2\tau}\right) \cos(\omega' t - \varphi_0) + A_\omega \cos(\omega t - \varphi_\omega) \quad (4)$$

O primeiro termo, a solução geral do oscilador amortecido, é o transiente que decai para zero quando  $t \gg \tau$ . As constantes  $A_0$  e  $\varphi_0$  são determinados pelas condições iniciais e a frequência do movimento amortecido é dada por

$$\omega' = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{4Q^2}} \quad (5)$$

Observe-se que para  $Q \gg 1$  a frequência da oscilação amortecida é praticamente igual à frequência natural.

O segundo termo de (5) corresponde ao regime permanente, e descreve o comportamento a longo prazo do oscilador forçado. O movimento é oscilatório com

frequência igual à da força externa, e a amplitude e a fase relativa à força são funções da frequência da força externa, que satisfazem à equação diferencial. A amplitude da oscilação no regime permanente é uma função da frequência bastante concentrada em torno de  $\omega \sim \omega_0$ , com altura diretamente proporcional e largura inversamente proporcional ao fator de qualidade  $Q$ .

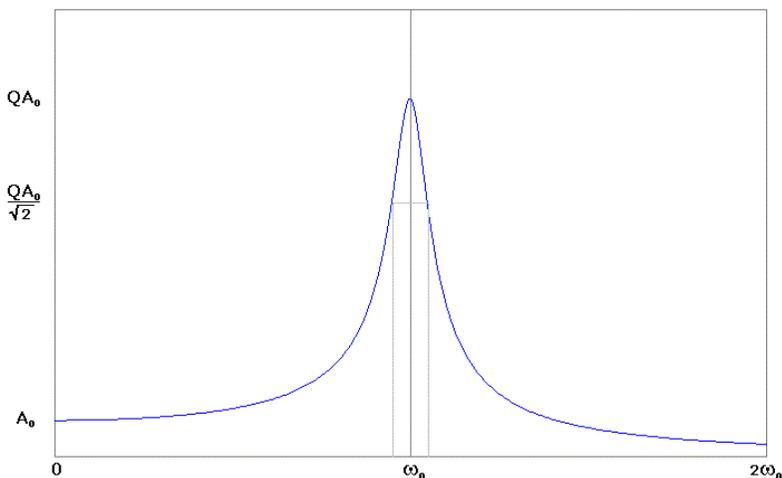


Figura 1: Gráfico da amplitude da oscilação no regime permanente em função da frequência angular da força externa ( $A_\omega \times \omega$ ) para um fator de qualidade  $Q=10$ . A amplitude máxima é  $Q$  vezes maior que a amplitude para frequência zero e ocorre próximo à frequência de ressonância  $\omega = \omega_0$ . A largura da curva medida na altura igual a  $\sqrt{2}/2$  da amplitude máxima é igual a  $\omega_0 Q^{-1}$ .

A forma de  $A_\omega \times \omega$  pode ser vista na Figura 1, calculada num caso com  $Q = 10$ . A Figura 1 superpõe ao gráfico da amplitude em função da frequência um retângulo centrado em  $\omega_0$ , com altura igual a  $\sqrt{2}/2$  vezes a amplitude máxima de oscilação e largura igual a  $\omega_0 Q^{-1}$ , que mostra como a largura da curva a essa amplitude tem a largura do retângulo. Essa largura de curva no gráfico de amplitude corresponde à semi-largura da curva da potência da força externa, proporcional ao quadrado da amplitude.

O máximo da amplitude não ocorre na ressonância, mas em um valor de frequência diferente da, mas próximo à, frequência natural. Para  $Q \gg 1$ , o máximo de amplitude praticamente ocorre na ressonância, como se vê na Figura 1.

## EXPERIMENTOS COM O RESSONADOR DE HELMHOLTZ

Um roteiro dos experimentos (LIMA, 2006) com instruções detalhadas para a geração dos sinais para a excitação do ressonador e para gravação do sinal do microfone, além dos procedimentos para análise do sinal gravado está disponível online e pode ser acessado no endereço dado nas referências. Também a lista de material necessário e

detalhes da montagem podem ser procurados lá.

O programa editor de som usado nestes experimentos é o “CoolEdit 96” (JOHNSTON), aplicativo *shareware* que pode ser encontrado em inúmeros sítios da internet, como no endereço fornecido nas referências. O aplicativo é gratuito e de distribuição gratuita.

## PRIMEIRO EXPERIMENTO: EQUAÇÃO HORÁRIA DO OSCILADOR HARMÔNICO AMORTECIDO E FORÇADO

O primeiro experimento consiste na gravação e análise da equação horária do oscilador forçado periodicamente com frequência definida. O ressonador é submetido a um som de frequência conhecida, durante certo tempo, ao fim do qual o som é interrompido. O som é gerado com o mesmo programa editor usado para a gravação e análise dos sinais do microfone e é produzido pelo alto-falante fora da caixa com a disposição descrita anteriormente. A abertura do arquivo com o sinal gravado do microfone no programa editor permite a imediata visualização da equação horária do movimento do ressonador, como mostra a Figura 2.

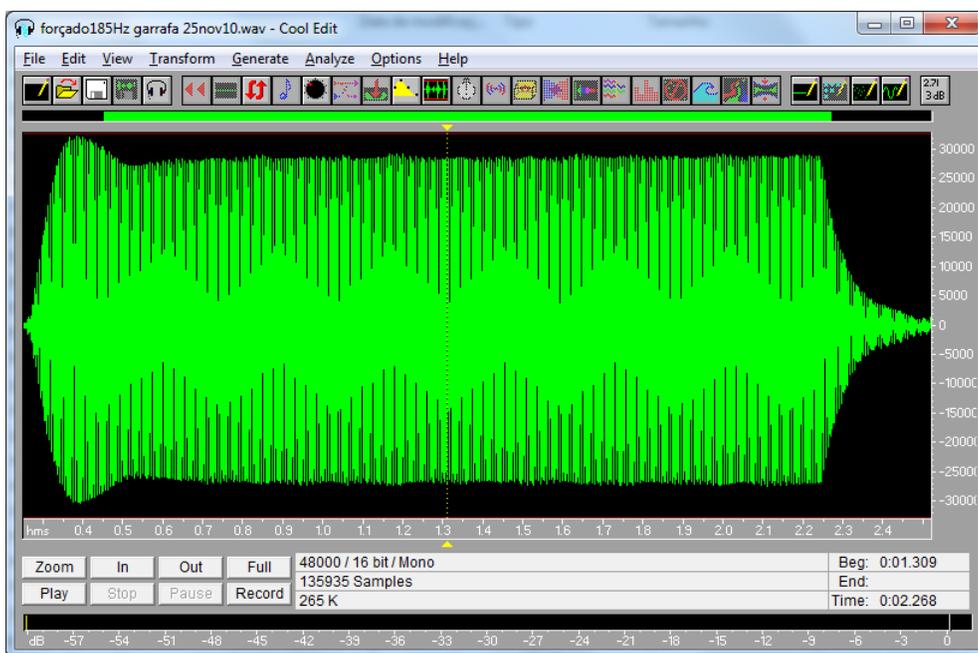


Figura 2: Visualização do registro do sinal do microfone dentro da garrafa em função do tempo, submetida a som de frequência 185 Hz e duração de dois segundos. Nota-se o comportamento transiente até por volta dos cinco primeiros décimos de segundo; a partir daí o ressonador oscila com amplitude constante no regime permanente. Depois de 2,0 s de iniciada, o som cessa e o ressonador oscila decaindo espontaneamente. A frequência escolhida é muito próxima da frequência natural do ressonador, de forma que quase não há batimento entre as duas frequências no regime transiente.

A análise qualitativa inicial consiste basicamente em identificar no registro os intervalos que correspondem aos diferentes regimes de validade da equação (4): o regime transiente, que depende das condições iniciais; o regime permanente, quando a informação sobre as condições iniciais foi dissipada; e o regime de oscilação amortecida livre, que passa a ocorrer quando a força externa é interrompida.

Esses intervalos são muito bem definidos neste experimento, como se pode ver na Figura 2, que mostra a janela do programa analisador exibindo o sinal do microfone gravado enquanto a garrafa era submetida a um som de frequência de 185 Hz e 2,00 s de duração, numa das realizações do experimento que são analisadas neste trabalho.

As Figuras 3a e 3b mostram o sinal do microfone numa escala de tempo ampliada nos intervalos que correspondem ao regime transiente e início do permanente e ao regime de oscilação livre, respectivamente os trechos inicial e final do sinal mostrado na Figura 2. O trecho não mostrado nas Figuras 3a e 3b, o intervalo intermediário entre elas, corresponde ao regime permanente.

Além da observação qualitativa, a identificação dos regimes é a base da análise quantitativa no experimento da equação horária, com os seguintes objetivos:

- 1 - Determinar experimentalmente a frequência da oscilação do ressonador no regime permanente;
- 2 - Determinar experimentalmente a frequência da oscilação e o tempo de decaimento do oscilador amortecido livre.

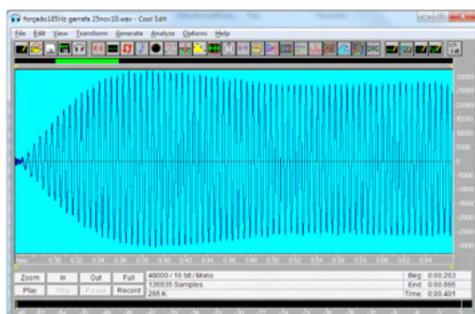


Figura 3a: Os primeiros quatro a cinco décimos de segundo da gravação da Figura 2, quando se dá o comportamento transiente e o início do regime permanente.

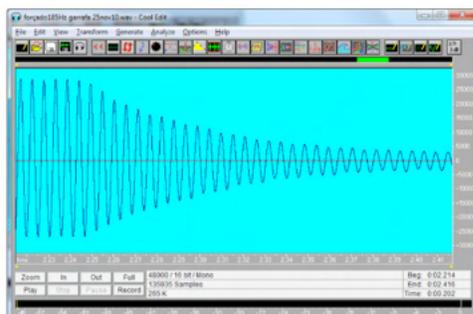


Figura 3b: Trecho final da gravação da Figura 2, quando a força externa (o som de frequência 185 Hz) cessa e o movimento torna-se uma oscilação amortecida livre.

O resultado experimental para a frequência no regime permanente pode ser diretamente comparada com o valor previsto, a frequência do som utilizada. Além de proporcionar uma boa verificação da previsão teórica (como mostram os resultados que vêm sendo obtidos) eles servem como bons indicadores da precisão e da acurácia do

próprio método experimental, e assim serão usados quando analisarmos a estatística de vários resultados experimentais no item seguinte.

A determinação das frequências de oscilação em cada regime é feita tomando-se um intervalo que contenha um número inteiro de ciclos e medindo-se a duração do intervalo com as ferramentas do programa editor de som. O programa dispõe de uma ferramenta de análise de frequência baseada em transformadas de Fourier, que pode servir como uma indicação (rápida) das frequências (e da sua composição harmônica, mas isso é outro problema), mas o método sempre utilizado para medir frequências nestas atividades é a contagem de ciclos, já que é um processo que pode ser muito bem controlado, diferentemente da ferramenta de análise que funciona de acordo com um algoritmo desconhecido.

As ferramentas de análise do editor também permitem a localização no registro da altura e instante dos máximos e mínimos, ou seja, fornecem os dados para construir uma tabela  $A(t) \times t$  representando a dependência temporal da amplitude da oscilação no oscilador amortecido livre. Esses dados são linearizados tomando-se o logaritmo da amplitude em função do tempo e ajustados a uma reta pelos mínimos quadrados. A análise desses resultados fornece o tempo de decaimento  $\tau$ . Todo o trabalho de obtenção dos dados é feito no programa editor, e o tratamento dos dados é feito em planilha eletrônica, em particular os gráficos e a regressão linear no oscilador amortecido livre.

## **SEGUNDO EXPERIMENTO: CURVA DE RESSONÂNCIA DO OSCILADOR FORÇADO**

Os alunos geram um som de frequência variável (uma rampa de frequência com taxa de variação constante, conhecida) com o programa editor de som e gravam o sinal do microfone na garrafa enquanto reproduzem o som no alto-falante dedicado ao experimento.

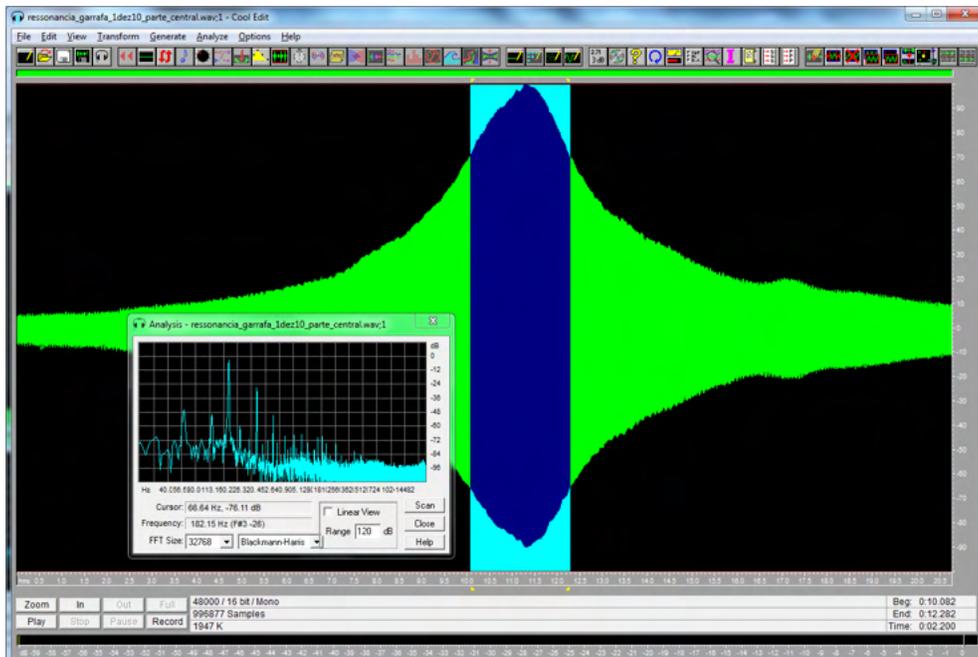


Figura 4. Sinal gravado pelo microfone na garrafa submetida a som gerado por rampa de frequência, mostrando a região onde a amplitude é maior ou igual a aproximadamente 70% do máximo. A amplitude do sinal gravado em função do tempo representa a amplitude  $A_{\omega}$  em função da frequência, uma vez que a frequência varia linearmente com o tempo durante o intervalo de medição. A duração em tempo da faixa central, igual a 2,200 s, corresponde no caso à largura de 4,400 Hz, com uma rampa de frequência de 2 Hz/s.

O sinal gravado visualizado no editor mostra claramente o fenômeno da ressonância, e analisando-o é possível determinar os dois parâmetros do oscilador, através da medição da posição do máximo em frequência e da largura da curva como definida anteriormente. A frequência do máximo e a largura da curva em frequência podem ser determinadas usando as ferramentas do programa editor e os dados da rampa de frequência empregada e fornecem estimativas experimentais da frequência natural e do fator de qualidade do oscilador.

## RESULTADOS

Os resultados que vamos apresentar e discutir foram obtidos por diferentes grupos de alunos que analisaram algumas gravações dos experimentos “equação horária” e “curva de ressonância”, feitas em diferentes datas usando a mesma garrafa e montagem experimental. Dessa forma, obtivemos um conjunto estatístico de dados que reflete a distribuição típica dos resultados da análise efetuada pelos alunos, mostrando a reprodutibilidade intrínseca dos procedimentos experimentais de medida. Além disso, podemos comparar resultados de diferentes realizações do mesmo experimento entre si, e os resultados dos dois experimentos. Como veremos, ambos experimentos são bastante

reprodutíveis e a comparação dos dois experimentos revela ótimo acerto entre a teoria e a prática.

Foram realizadas seis gravações para o experimento “equação horária”. Os experimentos foram realizados usando som em três frequências (170, 185 e 200 Hz), sempre com a duração de 2,00 s, em dois dias diferentes. Do experimento sobre a curva de ressonância foram feitas duas gravações, também obtidas em dias diferentes. Todas elas foram realizadas em sala do laboratório pelas turmas de física prática (FIS212) do segundo semestre de 2010, que foram as primeiras turmas a analisá-las. Essas mesmas gravações vêm sendo apresentadas a grupos de alunos de outras turmas posteriores, que as analisam e com seus resultados contribuem para a estatística do experimento.

Para apresentar os resultados, vamos dividir o primeiro experimento em duas partes: a determinação da frequência na oscilação permanente, que pode ser visto como uma calibração do próprio experimento, e a determinação dos parâmetros do oscilador na oscilação amortecida livre, cujos resultados serão comparados com o segundo experimento.

Os resultados da primeira parte estão apresentados no Quadro 1, que traz a média e o desvio padrão da frequência de oscilação medida no regime permanente, bem como o número de amostras de análises feitas pelos grupos. A estatística mostrada reúne os resultados obtidos nas duas realizações do experimento com cada frequência. Não houve (nem se esperaria) diferenças relevantes ou significativas entre as duas realizações, em dias diferentes, desse mesmo experimento.

<b>Frequência de excitação nominal</b>	<b>170</b>	<b>185</b>	<b>200</b>
Média e desvio padrão dos resultados	170,8±1,3	184,5±0,9	199,4±0,6
Número de amostras	11	10	9

Quadro 1: Média e desvio-padrão dos resultados obtidos para a medição da frequência no regime permanente por diferentes alunos nas três frequências de excitação (em Hz).

Os resultados resumidos no Quadro 1 avaliam a qualidade geral do método experimental de medida de frequências. A frequência da oscilação medida em cada realização do experimento deve ser igual a do som gerado, e os desvios em relação ao esperado indicam a precisão e a acurácia do experimento. Podemos, a partir deles, assumir que o desvio relativo experimental do método de medir frequências no programa editor de som é menor do que 1%, acurácia imensamente satisfatória no contexto dos experimentos didáticos de física. O desvio padrão das medições também tem aproximadamente esse mesmo valor e assim podemos escrever as frequências com três algarismos significativos.

Os resultados da segunda parte do primeiro experimento são apresentados no Quadro 2. Os resultados obtidos da análise das três gravações realizadas em cada dia foram reunidos por dia. Não se espera diferença na frequência com a qual o ressonador oscila

após o desligamento do som, e por isso juntamos as análises com diferentes frequências de excitação, mas a diferença de frequência em dias diferentes pode ser esperada, já que essa depende da velocidade do som e portanto da temperatura ambiente. Entretanto, isso não se verificou nos experimentos realizados em dias diferentes, que coincidiram de maneira notável, tanto no valor da frequência medida (o que indica que a temperatura da sala não deve ter variado significativamente de um dia para o outro) como no desvio padrão, com resultados da determinação da frequência amortecida muito semelhantes aos do regime permanente, confirmando a estimativa da imprecisão experimental.

Gravações do experimento 1 realizadas em:	24/11/2010	25/11/2010
frequência da oscilação amortecida(Hz)	181,3±1,5	181,1±1,2
tempo de decaimento (s)	0,031±0,004	0,034±0,006
Número de amostras	13	16

Quadro 2: Média e desvio padrão dos resultados obtidos pelos alunos na análise do sinal gravado nas realizações do experimento 1 nas datas indicadas.

Os resultados obtidos para o tempo de decaimento mostram um desvio relativo consideravelmente mais alto, que pode chegar a quase 20%. Isso é devido a uma dispersão grande entre os valores dos máximos e mínimos na oscilação amortecida, que podem ser muito afetados por ruídos, e que pode ser notada nos dados dos quais se determina o tempo de decaimento. Cada oscilação individual é mais afetada pelo ruído, e isso é uma característica do método experimental que acarreta a maior dispersão no tempo de decaimento. Os resultados obtidos nos dois dias, que teoricamente deveriam ser os mesmos, de fato coincidem dentro da incerteza das duas determinações, de forma bastante satisfatória. A diferença relativa entre eles é de 10%, com método que como mostra a dispersão dos resultados obtidos tem imprecisão de mais do que 10%.

Os resultados do segundo experimento estão mostrados no Quadro 3. Todas as determinações feitas pelos alunos das duas gravações foram reunidas, por dia, e mostram também a mesma consistência estatística que as determinações de frequência do primeiro experimento. Além de coincidirem entre si nos dois dias, mostram uma notável coincidência com os resultados do primeiro experimento na determinação dos parâmetros do oscilador.

Gravações do experimento 2 realizadas em:	1/12/2010	2/12/2010
frequência da oscilação amortecida(Hz)	181,7±0,7	181,6±1,1
tempo de decaimento (s)	0,036±0,002	0,037±0,005
Número de amostras	11	13

Quadro 3: Média e desvio padrão dos resultados obtidos pelos alunos na análise do sinal gravado nas realizações do experimento 2 nas datas indicadas.

## CONCLUSÃO

Os experimentos didáticos apresentados neste artigo qualificam-se muito bem como atividades de ensino e aprendizagem de física das oscilações para cursos de graduação em engenharias e ciências, em particular física. A montagem experimental é simples e barata, mas o aparente imprevisto não deixa a desejar no que diz respeito aos resultados que podem ser obtidos. O método de determinação de frequências por contagem de ciclos é acurado e preciso, permitindo escrever as frequências medidas com três algarismos significativos, com a incerteza na ordem de 1 Hz.

O envolvimento dos alunos no uso do programa editor, que também é usado em outros experimentos, parece ser também um elemento motivador, pelo menos para alguns alunos. Para os alunos que não se entusiasмам tanto, o programa é de simples e intuitivo e seu uso pode ser demonstrado pelo professor, além do recurso ao roteiro indicado na referência.

A comparação entre os resultados obtidos a partir das análises da equação horária do oscilador amortecido e da curva de ressonância do mesmo, cada experimento significando o estudo de um dos termos transiente ou permanente da equação horária do oscilador, é uma bela demonstração da relação entre teoria e experimento mesmo em modelos físicos simplificados. Na experiência do autor deste artigo, a realização do conjunto de práticas aqui descrita em estreita relação com a teoria do oscilador harmônico, tem sido para os alunos dos cursos de engenharia do curso de licenciatura em física do IFBA um importante elemento motivador da aprendizagem significativa do tema das oscilações lineares e sua física matemática.

## REFERÊNCIAS

HELMHOLTZ, Hermann. **On the Sensations of Tone**. Tradução de ELLIS, Alexander (1885). Nova Iorque: Dover Publications, 1954.

LIMA, Niels F.. **Experimentos com o ressonador de Helmholtz**. Salvador: IFBA, 2006. Disponível em <<http://www.ifba.edu.br/fisica/nfl/fge2/RessonadorDeHelmholtz/ExperimentoRessonadorDeHelmholtz.pdf>>. Acesso em 1 ago. 2014.

JONHSTON, David. **Aplicativo “Cool Edit 96”**. Syntrillium Software, 1996. Disponível em <<http://www.ifba.edu.br/fisica/NFL/ftp/C96SETUP.EXE>>. Acesso em 1 nov. 2014.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Alunos 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 55, 56, 63, 64, 68, 69

Aprendizagem 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 34, 35, 36, 41, 45, 46, 48, 50, 52, 53, 55

Aprendizagem significativa 12, 13, 14, 15, 16, 22, 23, 25, 35, 41, 53

Astronomia 31, 33, 34, 35, 36, 38, 40, 41

### C

Campo acadêmico 58, 60, 61, 62, 64

Carreira acadêmica feminina 58

Carreiras masculinas 58

Comportamento organizacional 43, 56, 57

Comunidade 43, 44, 46

Conhecimento científico 31, 38, 40, 46

### D

Debris espaciais 31, 32, 33, 34, 37, 39, 41

### E

Ensino 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 53, 55, 56, 58, 60, 70, 72

Escola 13, 18, 22, 43, 44, 45, 47, 48, 50, 51, 53, 54, 55, 56

Experimentos didáticos 1, 2, 10, 12

### F

Força 1, 2, 3, 4, 5, 7, 48, 64

Frequência 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 50

### G

Gênero 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 69, 70, 71

### L

Lançamento de projéteis 13, 14, 17, 18

Lei de Newton 3

### M

Metodologia 3, 26, 28, 29, 34, 37, 38, 46, 63

Movimento 1, 2, 3, 4, 6, 7, 14, 17, 19

Mulheres 49, 50, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 70

## **O**

Oscilador harmônico amortecido 1, 2, 3, 4, 6

## **P**

Professores 14, 23, 27, 29, 30, 31, 33, 34, 36, 38, 40, 41, 43, 44, 45, 47, 48, 49, 53, 55, 60

## **R**

Remoto 26, 27, 29

Ressonância 1, 2, 5, 8, 9, 10, 12, 72

## **S**

Sala de aula 14, 17, 27, 28, 36, 43, 45, 46, 48, 51, 53

Simulações 24, 26, 27, 28, 29

Software Modellus 13, 23

Som 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11

# Física:

A Newton's cradle with five silver spheres. One sphere on the left is in motion, having just struck or about to strike the others. The background is a dark, textured grey.

Produção de conhecimento  
relevante e qualificado 2

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# Física:

Produção de conhecimento  
relevante e qualificado 2

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)