



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

**Experimentos provocadores: ampolheta flutuante e garrafa sonora**  
(Material Instrucional)

Felipe Martins Silva

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de Felipe Martins Silva, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Orientador(es):  
Prof. Dr. Carlos Farina de Souza  
Prof. Dr. Thales Agrícola C. de Azevedo

Rio de Janeiro  
Março de 2023

## Sumário

Capítulo 1	Introdução .....	1
Capítulo 2	Hidrostática.....	3
2.1	Forças de contato e Forças de longo alcance.....	3
2.2	Definição de fluido e a Equação fundamental da Hidrostática .....	4
2.3	Princípio de Arquimedes .....	6
2.4	Equilíbrio de corpos flutuantes.....	8
Capítulo 3	Tubos Sonoros e Modos normais de vibração .....	10
3.1	Modos normais de vibração numa coluna de ar. ....	10
3.2	Ressonador de Helmholtz.....	12
Capítulo 4	Roteiro de atividades .....	14
4.1	Sequência didática – Ampulheta Flutuante .....	14
4.2	Sequência didática 2 – A garrafa sonora. ....	16
Capítulo 6	Conclusões .....	22
APÊNDICE	.....	23
Materiais utilizados:	.....	23
Sequência didática – Ampulheta Flutuante .....		23
Sequência didática – Garrafa Sonora.....		23
Fichas de acompanhamento de atividades.....		23
Referências	.....	34

## Lista de Figuras

Figura 1: Forças de contato e forças de longo alcance. ....	3
Figura 2: Lei de Stevin .....	6
Figura 3: Princípio de Arquimedes.....	6
Figura 4: Porção de fluido em equilíbrio.....	7
Figura 5: Centro de empuxo (CE). ....	8
Figura 6: centro de gravidade (G) e centro de empuxo (C) sobre a mesma vertical. Fonte: (NUSSENZVEIG, 2002).....	9
Figura 7: Metacentro. Fonte: (NUSSENZVEIG, 2002).....	9
Figura 8: Onda sonora propagando na atmosfera. Disponível em: <a href="https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/o-que-som.htm">https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/o-que-som.htm</a> . Acesso em: 02/10/2022.....	10
Figura 9: Modos normais num tubo aberto em ambas as extremidades.....	11
Figura 10: Modos normais no tubo fechado numa extremidade e aberto em outra. ....	11
Figura 11: Ressonador de Helmholtz. Disponível em: <a href="http://physicsvirtualmuseum.ufop.br/acoustics/ressonadores-de-Helmholtz.html">http://physicsvirtualmuseum.ufop.br/acoustics/ressonadores-de-Helmholtz.html</a> . Acesso em: 05/10/2022. ....	12
Figura 12: Esquema do ressonador de Helmholtz. Fonte: VIEIRA e AGUIAR, 2022..	13
Figura 13: Vídeo experimento da ampulheta flutuante. ....	14
Figura 14: Tela inicial do Audacity. ....	17
Figura 15: Intervalos sonoros produzidos pela caneta esferográfica.....	18
Figura 16: Intervalo sonoro produzido pela caneta selecionado. ....	18
Figura 17: Análise espectral de frequência.....	19
Figura 18: Análise espectral do som emitido pela caneta. ....	19

# Capítulo 1

## Introdução

Estimado professor, apresentamos aqui uma proposta de duas sequências didáticas com carácter investigativo, utilizando os pressupostos da aprendizagem significativa.

A hidrostática, assim como os tubos sonoros, são tópicos que podem ser explorados de diversas maneiras e sob vários aspectos no ensino de física. Esses tópicos, muita das vezes, são apresentados aos alunos através de um rigor matemático, no qual se perde a importância conceitual necessária. Portanto, o objetivo principal deste material é auxiliá-lo em suas aulas, a fim de contribuir para a formação crítica dos alunos. Para tal, apresentamos dois problemas desafiadores, através de sequências didáticas com características distintas.

A primeira sequência consiste em um quebra-cabeça conhecido como a ampulheta flutuante (*floating hourglass*). O propósito principal desta sequência didática é discutir o equilíbrio de corpos flutuantes. Para isso, precisamos de certa maneira apresentar aos alunos os principais tópicos de hidrostática. Portanto, iremos propor uma série de experimentos demonstrativos que ajudarão os alunos a resolver o problema da ampulheta.

A segunda sequência apresenta um carácter mais quantitativo, do ponto de vista experimental. Serão apresentados os modos normais de vibração em tubos abertos em ambas as extremidades, e em tubos abertos em uma extremidade e fechados em outra. Para isso, proporemos um confronto entre os dados teórico e os dados experimentais, com o objetivo de discutir os modos normais de vibração em uma garrafa com gargalo bem definido.

O material foi desenvolvido com a finalidade de aplicação na modalidade de ensino presencial. Porém, em virtude do cenário de pandemia iniciado em 2020, a

aplicação ficou prejudicada. Por alguns fatores o material em questão não foi adaptado para outra modalidade, o que também dificultou sua aplicação.

Contudo, acreditamos que este material poderá ser útil no ensino de física, pois, apresenta discussões importantes, no que tange conceitos e fenômenos físicos que não estão presentes nos livros didáticos em geral.

A seguir, discutiremos os conceitos necessários para a aplicação das sequências didáticas. Posteriormente, apresentaremos os materiais necessários e os roteiros de aplicação de cada sequência.

## Capítulo 2

### Hidrostatica

Nesse capítulo apresentaremos alguns tópicos de hidrostática, bem como alguns conceitos fundamentais necessários que estarão presentes nas atividades propostas. Para uma melhor compreensão, recomendamos a leitura do capítulo 3 da dissertação, a qual originou este material.

#### 2.1 Forças de contato e Forças de longo alcance

Quando nos referimos a uma partícula em uma distribuição contínua de matéria, devemos ter em mente que não devemos identifica-la como um ponto material. Consideramos uma partícula como um subsistema, ou seja, uma parte do sistema que ocupa uma região infinitesimal da distribuição.

As forças que atuam sobre o subsistema são de *contato*, ou são de *longo alcance*. As *forças de contato* são exercidas pela matéria fora da região, em contato com a fronteira da região. As *forças de longo alcance* são exercidas sobre os pontos interiores a região por agentes, ou campos externos, que não precisam estar em contato com a região.

As *forças de contato* ( $\vec{F}_c$ ) são chamadas de forças superficiais, pois são proporcionais à área ( $A$ ), enquanto as *forças de longo alcance* ( $\vec{F}_a$ ) são chamadas de forças volumares, já que são proporcionais ao volume ( $V$ ).

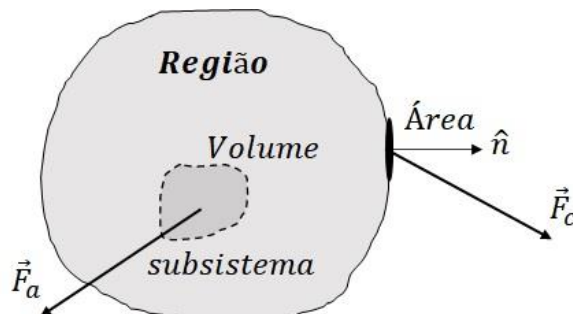


Figura 1: Forças de contato e forças de longo alcance.

Para as forças volumares, definimos uma densidade volumar força na região como:

$$\vec{f} = \frac{\vec{F}_a}{V}, \quad (2.1)$$

já para as forças de contato, definiremos uma densidade superficial de força no subsistema, ou uma tensão:

$$\vec{\tau} = \frac{\vec{F}_c}{A}. \quad (2.2)$$

A componente da tensão ao longo da normal à superfície é chamada de tensão normal ( $\vec{\tau}_n$ ), e a componente tangencial à superfície é chamada de tensão de cisalhamento, ou de corte ( $\vec{\tau}_c$ ). A tensão normal, cujo sentido coincide com o vetor unitário da normal ( $\hat{n}$ ) é designado por tração, e a que tem sentido oposto a  $\hat{n}$  de pressão ( $p$ ). As reações a essas tensões são exercidas pelo subsistema sobre as partículas exteriores em contato com sua fronteira, e são dadas pela 3ª lei de Newton.

Definimos pressão como sendo a componente da tensão normal ( $\vec{\tau}_n$ ) que tem sentido oposto ao vetor ( $\hat{n}$ ), de modo que

$$p = \left| \frac{\hat{n} \cdot \vec{F}_c}{A} \right|. \quad (2.3)$$

## 2.2 Definição de fluido e a Equação fundamental da Hidrostática

Um fluido é uma distribuição contínua incapaz de atingir o equilíbrio na presença de qualquer tensão de cisalhamento ( $\vec{\tau}_c$ ). O movimento característico de um fluido é chamado de escoamento, e a propriedade pela qual ele exerce tensões de cisalhamento (e trações) é chamada de viscosidade.

Em um fluido em repouso não pode haver tensões de cisalhamento ( $\vec{\tau}_c$ ). Desse modo, as tensões que restam são sempre normais à superfície em consideração e, juntamente com as forças de longo alcance, devem se equilibrar.

Pode-se mostrar que a pressão de um fluido em equilíbrio não depende da direção em que é considerada. Portanto, devemos considerar a pressão ( $p$ ) como uma função escalar. Enfatizamos que, para uma melhor compreensão, o capítulo 3 da dissertação que originou esse material deve ser consultado. De forma intuitiva, podemos descrever a chamada equação fundamental da hidrostática como sendo *a resultante das*

forças de pressão sobre a fronteira de uma região, que contém uma porção do fluido, equilibra a resultante das forças de longo alcance que sobre essa porção. E escrevê-la como:

$$\int_R \vec{\nabla} p \, dV = \int_R \vec{f} \, dV. \quad (2.4)$$

Na forma diferencial, a equação fundamental da hidrostática fica escrita como

$$\vec{\nabla} p = \vec{f}. \quad (2.5)$$

Podemos entender melhor a descrição acima a partir de exemplo particularmente simples, cujo objetivo é calcular como a pressão varia com a altura em um líquido incompressível em equilíbrio, considerando que a extensão do líquido varia pouco em altura. Neste caso, a densidade volumar de força de longo alcance será dada por  $\vec{f} = \rho \vec{g}$ , que não comprime o líquido a ponto de alterar sua densidade ( $\rho$ ), de resto uniforme.

Ao tomarmos o produto escalar de  $d\vec{r}$  com ambos os lados da equação fundamental da estática dos fluidos e integrarmos a equação resultante entre dois pontos quaisquer no interior do fluido, por exemplo,  $P_0, P$ , obtemos

$$\oint_{P_0}^P \vec{\nabla} p \cdot d\vec{r} = \rho \vec{g} \cdot \oint_{P_0}^P d\vec{r}. \quad (2.6)$$

Usando a definição de gradiente, onde  $dp = \vec{\nabla} p \cdot d\vec{r}$ ,

$$\int_{P_0}^P dp = \rho \vec{g} \cdot \int_{P_0}^P d\vec{r}. \quad (2.7)$$

Uma vez que  $\vec{g} = -g\hat{z}$ , a integração da equação 3.7 nos leva ao resultado

$$p(P) - p(P_0) = -\rho g(z - z_0). \quad (2.8)$$



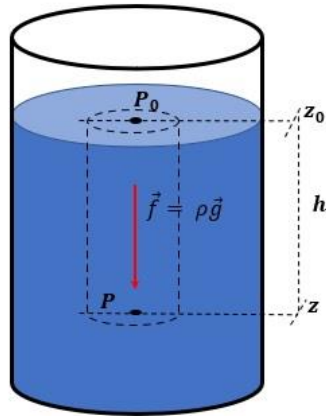


Figura 2: Lei de Stevin

Escolhendo  $P_0$  na superfície livre do líquido e definimos a profundidade (a partir da superfície livre) por  $h = z_0 - z$ , obtemos

$$p(P) = p(P_0) + \rho gh, \quad (2.9)$$

conhecida como lei de Stevin, onde  $p_0 = p(P_0)$  é a pressão na superfície livre do fluido, em geral a pressão atmosférica.

### 2.3 Princípio de Arquimedes

Consideremos uma porção cilíndrica do fluido em equilíbrio, de área  $A$ , altura  $h$ , e densidade  $\rho$ , conforme a Figura 3. As forças sobre a superfície lateral do cilindro se equilibram duas a duas. Porém, a pressão  $p_2$  nos pontos da base inferior é maior do que a pressão  $p_1$  nos pontos da base superior.

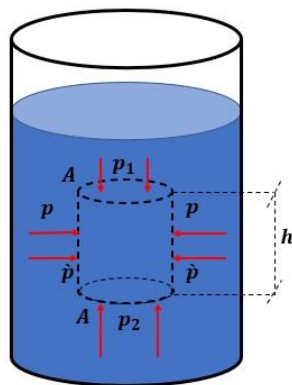


Figura 3: Princípio de Arquimedes

Usando a equação (lei de Stevin), temos

$$p_2 - p_1 = \rho gh. \quad (2.10)$$

Logo, a resultante das forças superficiais exercidas sobre a porção do fluido será dirigida verticalmente para cima, de modo que  $\vec{E} = E \hat{k}$ . Ao multiplicarmos os dois lados da equação acima por  $A$ , obtemos

$$E = p_2 A - p_1 A = \rho ghA. \quad (2.11)$$

Sendo  $V = hA$  o volume do cilindro que contém a porção de fluido, então

$$E = \rho gV. \quad (2.12)$$

Como  $m = \rho V$  é a massa da porção de fluido, podemos dizer que a força  $\vec{E}$ , chamada de *empuxo*, é dada por

$$\vec{E} = mg \hat{k} = -\vec{P}_f, \quad (2.13)$$

onde  $P_f$  é módulo do peso da porção do fluido em equilíbrio (Figura 4).

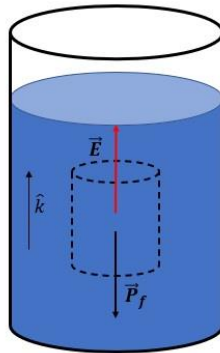


Figura 4: Porção de fluido em equilíbrio.

O resultado acima não depende da forma do sólido imerso. No caso de o sistema ser uma porção de um fluido,  $\vec{E}$  e  $\vec{P}_f$  se equilibram e atuam no centro de gravidade (CG) do fluido. No entanto, o empuxo  $\vec{E}$  sobre o sólido atua no que chamamos de centro de empuxo (CE), e o peso  $\vec{P}$  em seu centro de gravidade (CG), conforme a Figura 5.

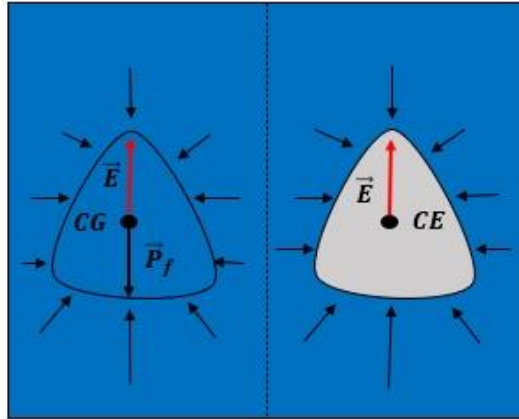


Figura 5: Centro de empuxo (CE).

Caso a densidade média do sólido seja menor que a do líquido, ele ficará parcialmente imerso, pois teremos  $|\vec{E}| = |\vec{P}|$ . O sólido então ficará flutuando, com o empuxo devido à porção imersa equilibrando o peso. Portanto, podemos enunciar, de forma geral o Princípio de Arquimedes: *Um corpo total ou parcialmente imerso num fluido recebe, do fluido, um empuxo igual e contrário ao peso da porção de fluido que ocuparia o volume submerso do corpo e aplicado no centro de gravidade da mesma.*

## 2.4 Equilíbrio de corpos flutuantes

Para que um corpo extenso esteja em equilíbrio, duas condições devem ser satisfeitas: a resultante das forças externas ( $\vec{F}_{ext}$ ) que atuam sobre o corpo deve ser nula, e o torque externo resultante ( $\vec{\tau}_r$ ) também deverá ser nulo.

No caso de um corpo flutuando em um líquido, além da resultante entre o empuxo ( $\vec{E}$ ) e a força peso ( $\vec{P}$ ) ser nula, o torque resultante desse par de forças também deverá ser nulo, o que exige que o centro de empuxo (C) e o centro de gravidade (G) do

corpo estejam sobre a mesma vertical (NUSSENZVEIG, 2002). Dependendo das respectivas posições do centro de gravidade ( $G$ ) e o do centro de empuxo ( $C$ ), o equilíbrio pode ser *instável*, ou *estável*.

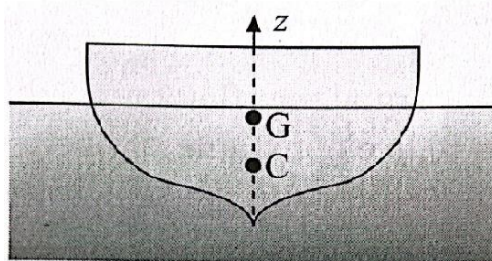


Figura 6: centro de gravidade ( $G$ ) e centro de empuxo ( $C$ ) sobre a mesma vertical.  
Fonte: (NUSSENZVEIG, 2002)

Os pontos  $G$  e  $C$  estarem sobre a mesma vertical não garante a estabilidade do equilíbrio. Ao girar, o corpo muda a forma da porção de fluido deslocada e, conseqüentemente, a posição do centro de empuxo mudará também.

O novo centro de empuxo ( $C'$ ) corta o eixo  $CG$  num ponto chamado de *metacentro* ( $M$ ). Para pequenas inclinações, independe do ângulo de inclinação. Se o metacentro ( $M$ ) está acima do centro de gravidade ( $G$ ), o torque gerado pelo “novo” empuxo ( $\vec{E}'$ ), e pelo peso do corpo ( $\vec{P}$ ), tende a restabelecer a posição de equilíbrio, o que o torna *estável*. Porém, se o metacentro ( $M$ ) estiver abaixo do centro de gravidade ( $G$ ), o torque tenderá a aumentar ainda mais o desvio, e o equilíbrio passa a ser *instável* (NUSSENZVEIG, 2002).

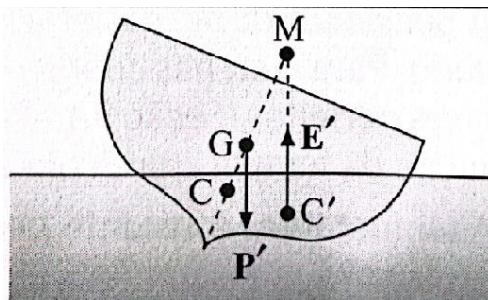


Figura 7: Metacentro. Fonte: (NUSSENZVEIG, 2002)

Por essa razão, é preciso termos cuidado ao subirmos num barco, pois, o centro de gravidade ( $G$ ) tende a subir e, caso suba acima do metacentro ( $M$ ), o barco tende a virar.

## Capítulo 3

### Tubos Sonoros e Modos normais de vibração

Nesse capítulo apresentaremos tópicos relevantes para discussão dos tubos sonoros, bem como alguns conceitos fundamentais necessários, que estarão presentes nas atividades propostas. Para uma melhor compreensão, recomendamos a leitura do capítulo 5 da dissertação, a qual originou este material.

#### 3.1 Modos normais de vibração numa coluna de ar.

Uma onda sonora propagando num fluido como a atmosfera é considerada uma *onda longitudinal*. Essa característica da onda sonora decorre do fato de que a atmosfera não transmite tensões tangenciais. A propagação longitudinal está associada as *variações de pressão*, ou seja, *compressões* e *rarefações*, como ondas ao longo de uma mola.

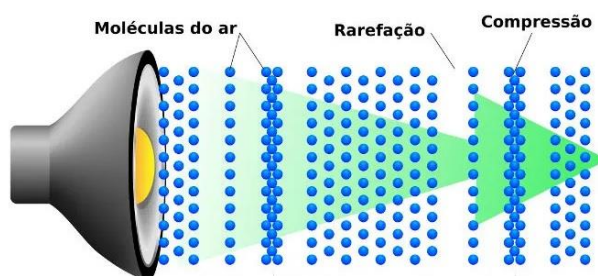


Figura 8: Onda sonora propagando na atmosfera. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/o-que-som.htm>. Acesso em: 02/10/2022

Uma onda sonora ao se propagar num tubo cilíndrico aberto numa extremidade, a partir da qual se produz a excitação da onda, e podendo ser aberto ou fechado na outra extremidade, irá produzir *modos normais de vibração* na coluna de ar contida no tubo, de maneira semelhante ao que ocorre nas cordas vibrantes.

A interferência entre as ondas incidente e refletida produzirá um padrão de *ondas estacionárias* correspondentes aos *modos normais de vibração* da coluna de ar contida no tubo.

Na Figura 9, estão representados graficamente os modos normais mais baixos da coluna de ar num tubo de extremidades abertas

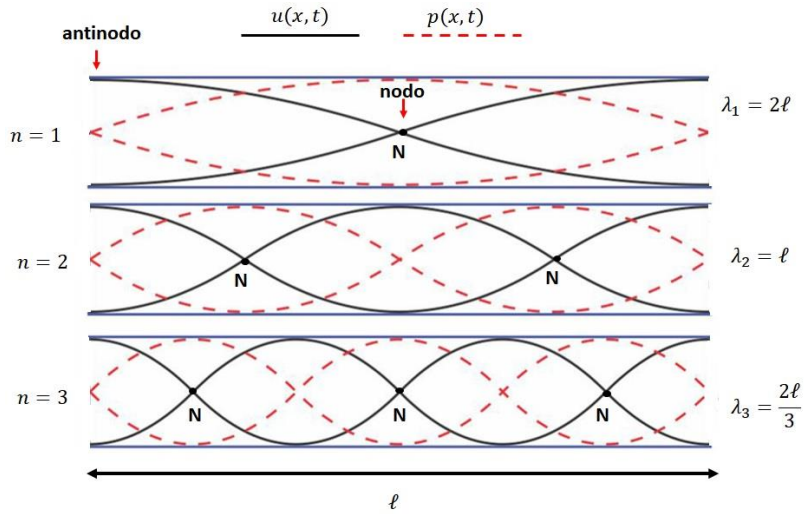


Figura 9: Modos normais num tubo aberto em ambas as extremidades.

Analogamente à corda vibrante de extremidades fixas, podemos escrever a frequência de vibração da seguinte maneira,

$$f_n = n \frac{v}{2\ell}. \quad (3.1)$$

onde  $n = 1, 2, 3, \dots$ , sendo as demais frequências um múltiplo inteiro da frequência fundamental  $f_1$ .

Na Figura 10 estão apresentados os modos normais de vibração da coluna de ar para o tubo fechado em uma extremidade e aberto na outra. Neste caso, somente os harmônicos ímpares estarão presentes.

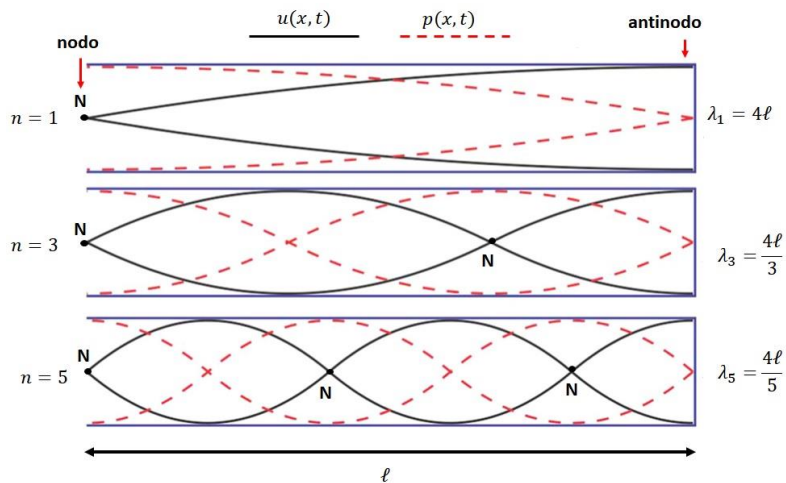


Figura 10: Modos normais no tubo fechado numa extremidade e aberto em outra.

Para o tubo fechado em uma extremidade e aberto em outra, podemos escrever as frequências de vibração da seguinte maneira,

$$f_n = \frac{v}{4\ell}, \quad (3.2)$$

onde  $n = 1, 3, 5, \dots$ , será um inteiro ímpar. As frequências também serão múltiplas da frequência fundamental  $f_1$ .

### 3.2 Ressonador de Helmholtz.

Hermann Helmholtz descreveu um ressonador em 1860. Ele desejava descrever quais frequências estavam presentes em sons musicais e estimar suas intensidades relativas. Podemos, de certa maneira, dizer que Helmholtz pretendia fazer uma análise de Fourier das ondas sonoras. Para isso, ele precisava de um dispositivo de ressonância com uma frequência conhecida. O dispositivo que Helmholtz projetou era uma casca esférica com um pequeno orifício em um dos lados, e um pequeno pescoço (gargalo) do outro, conforme a Figura 11



Figura 11: Ressonador de Helmholtz. Disponível em:  
<http://physicsvirtualmuseum.ufop.br/acoustics/ressonadores-de-Helmholtz.html>.  
Acesso em: 05/10/2022.

Para captar o som, o pescoço era colocado no canal auditivo, e o orifício voltado para a fonte. O nível de intensidade sonora transmitida ao ouvido fornecia um pico de frequência que dependia das dimensões do ressonador e da velocidade local do ar. Os ressonadores de Helmholtz eram comumente feitos em conjuntos que cobriam o padrão das notas musicais.

De uma maneira geral, podemos considerar o ressonador de Helmholtz como sendo um recipiente contendo ar conectado à parte externa por um pescoço fino (gargalo) como representado na Figura 12.

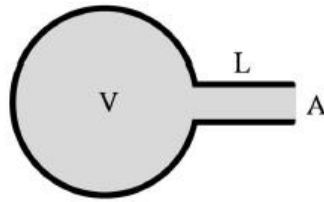


Figura 12: Esquema do ressonador de Helmholtz. Fonte: VIEIRA e AGUIAR, 2022

Para analisarmos a frequência produzida pelo ressonador de Helmholtz, levaremos em consideração um recipiente, de qualquer forma, cuja cavidade principal tem volume  $V$ , e possui um gargalo cilíndrico de comprimento  $L$ , e área de secção transversal  $A$ . Pode-se mostrar que o ar dentro do recipiente funciona como um colchão de ar que desempenha um papel equivalente ao de uma mola em um sistema massa-mola. No caso do ressonador, a massa é a massa de ar contida no gargalo do ressonador. Utilizando a 2ª Lei de Newton, não é difícil mostrar que (consulte o capítulo 5 da dissertação a qual originou esse material):

$$f = \frac{v_{som}}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{V_e L}}. \quad (3.3)$$

Para uma boa estimativa da frequência, precisamos levar em consideração a uma correção na qual o comprimento do gargalo passa a ser um comprimento efetivo ( $\ell_{ef}$ ), dado pelo comprimento real ( $L$ ) do gargalo somado a um termo proporcional ao raio ( $R$ ) de sua secção transversal de área  $A$ . Caso a área transversal seja circular e não se tenha uma aba em forma de coroa (flange), o valor do comprimento efetivo será,

$$\ell_{ef} = L + 1,4R. \quad (3.4)$$

Se houver um flange (VIERA e AGUIAR, 2022), teremos,

$$\ell_{ef} = L + 1,7R. \quad (3.5)$$

Logo a frequência do ressonador passará a ser escrita como,

$$f = \frac{v_{som}}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{V \cdot \ell_{ef}}}. \quad (3.6)$$



## Capítulo 4

### Roteiro de atividades

Os objetivos principais das sequências didáticas propostas são: estudar o equilíbrio de corpos flutuantes e os modos normais de vibração numa garrafa com gargalo. As atividades aqui presentes estão de acordo com a discussão apresentada no capítulo 7 da dissertação, a qual originou o material. A seguir propomos um roteiro de aplicação para cada uma das sequências.

#### 4.1 Sequência didática – Ampulheta Flutuante

Antes de começar a atividade sugerimos ao professor que relembre alguns tópicos de hidrostática, e contextualize historicamente o experimento a ser apresentado. Na sequência apresente o vídeo da ampulheta flutuante<sup>1</sup> aos alunos, ou realize o experimento em sala de aula, caso tenha o aparato. O professor disponibilizará um material de acompanhamento da atividade para cada aluno.



Figura 13: Vídeo experimento da ampulheta flutuante.

Após a apresentação do vídeo, o professor pede, inicialmente aos alunos que descrevam com o máximo de detalhes possível o movimento da ampulheta desde que o

---

<sup>1</sup> Deixamos como sugestão os links: <https://www.facebook.com/physicsfunbyrhall/videos/floating-hourglass-puzzle/347881685575785/> e <https://youtu.be/FgV-M04dc4Y>.

tubo é girado de  $180^\circ$  até o instante em que ela volta a ficar em equilíbrio na parte superior do tubo.

Ao término da descrição individual do experimento, o professor pede a cada aluno da turma que, em voz alta, responda se houve alguma coisa no movimento da ampulheta que o tenha surpreendido. Em caso afirmativo, o aluno deve dizer o que o surpreendeu e o porquê da surpresa. Depois que todos da turma tiverem comentado que coisas os surpreenderam, o professor volta a passar o vídeo mais uma vez.

O professor deve lembrar aos alunos que, por construção, o módulo do empuxo ( $|\vec{E}|$ ) que atua na ampulheta (sempre totalmente imersa) é maior que o módulo de seu peso ( $|\vec{P}|$ ). Em seguida, o professor pede aos alunos para marcarem todas as forças que atuam sobre a ampulheta no instante inicial, explicando, em cada caso, que corpos exercem cada uma dessas forças.

Após todos os alunos terem marcado as forças que atuam sobre a ampulheta, o professor pergunta à turma: *Após o tubo ter sido girado de  $180^\circ$ , até a ampulheta retornar ao equilíbrio no alto do tubo, os módulos das forças peso ( $|\vec{P}|$ ) e empuxo ( $|\vec{E}|$ ) permanecem constantes?* E solicita que justifiquem suas respostas.

Na sequência, o professor pede que a turma se divida em dois grupos: o primeiro com os que acham que tanto o  $|\vec{E}|$  quanto  $|\vec{P}|$  permanecem constantes e o outro, com os alunos que acham que  $|\vec{E}|$ ,  $|\vec{P}|$ , ou ambos, variam enquanto a areia da ampulheta flui da sua parte de cima para sua parte de baixo. E pede para que cada grupo debata suas ideias entre si. Após o debate os grupos devem apresentar e defender suas ideias.

Apresentados os argumentos, o professor explica que  $|\vec{E}|$  permanece constante pois a ampulheta é rígida, tem volume constante e está sempre totalmente submersa. Explica também que  $|\vec{P}|$  permanece constante pois a massa da ampulheta (incluindo a areia) não se altera durante todo o movimento.

O professor reproduz o vídeo mais uma vez e faz a seguinte pergunta: *Uma vez que o empuxo sobre a ampulheta e o seu peso permanecem constantes, e sendo  $|\vec{E}| > |\vec{P}|$ , por que a ampulheta não sobe assim que o tubo é girado de  $180^\circ$ ?* Na sequência, o professor pede aos alunos que exponham suas explicações.

Após ouvir todas as respostas da turma (algumas corretas e outras incorretas, ou parcialmente corretas), o professor fará uma sequência de perguntas com a finalidade de levar o aluno à construção da resposta correta. Sugerimos que o professor a cada pergunta aguarde as respostas da turma e faça as intervenções necessárias. As perguntas encontram-se no material de acompanhamento do aluno.

Terminada a discussão da sequência de perguntas, o professor reproduz mais uma vez o vídeo e pede aos alunos que descrevam com detalhes o movimento da ampulheta, mas agora, usando os conhecimentos construídos nas discussões anteriores. O professor pede aos alunos que comparem as duas descrições e comentem o quanto essa didática foi útil na compreensão do problema.

Por fim, para verificar a aprendizagem o professor propõe o mesmo problema, porém, com a massa da ampulheta maior e estando inicialmente no fundo do tubo. E faz a provocação: *O que acontece com a ampulheta quando o tubo é girado de  $180^\circ$ ?* Neste caso, ao girar o tubo, a ampulheta entra em equilíbrio instável, inclina-se para o lado e encosta nas paredes laterais do tubo e não desce pelos mesmos argumentos apresentados anteriormente.

## **4.2 Sequência didática 2 – A garrafa sonora.**

A segunda sequência didática deste trabalho tem como objetivo discutir o som emitido pela coluna de ar dentro de uma garrafa com gargalo bem definido quando soprarmos a boca da garrafa. O problema desafiador aqui proposto, de início, não produz muito surpresa aos estudantes. O impacto ocorre quando seus conhecimentos prévios da teoria, e os dados teóricos são confrontados com os dados experimentais.

Inicialmente, sugerimos ao professor que discuta com os alunos os modos normais de vibração em tubos abertos em ambas as extremidades, e em tubos abertos em uma extremidade e fechados em outra usando como exemplo os instrumentos musicais.

Após a contextualização e as formalizações necessárias, o professor solicita aos alunos que formem grupos, de três ou quatro alunos. Com os grupos formados, o professor disponibiliza o material de acompanhamento para os alunos, e o kit (uma régua ou trena, e uma garrafa de vinho) da atividade para cada grupo.

Na sequência, o professor perante os grupos apresenta um tubo cilíndrico aberto em uma de suas extremidades e fechado na outra. Como sugestão, um material mais acessível é um tubo com cartolina enrolada. E diz que fará uma análise espectral das frequências emitidas pelo ar dentro da garrafa ao soprarmos a sua boca. Sugerimos ao professor que peça a um aluno de algum grupo que meça o comprimento  $L$  do tubo. Em seguida, com o auxílio do software Audacity<sup>2</sup> faz o registro do som emitido pelo tubo, assoprando-o pela extremidade aberta próximo ao microfone conectado ao computador.

Para tal, o professor com o Audacity aberto, inicialmente, seleciona o ícone **REC** (Gravar) (Figura 14).

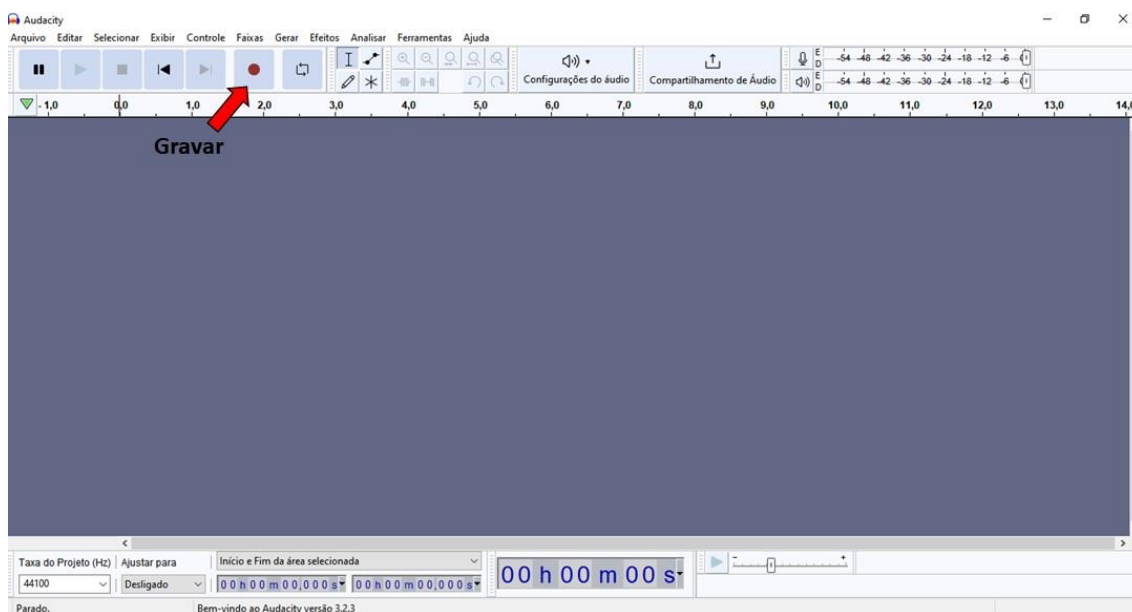


Figura 14: Tela inicial do Audacity.

<sup>2</sup> Disponível para download em: <https://www.audacityteam.org/download/>.

Em seguida, com o tubo próximo ao microfone assopra-o três vezes de modo a captar pelo menos três intervalos sonoros (Figura 15)

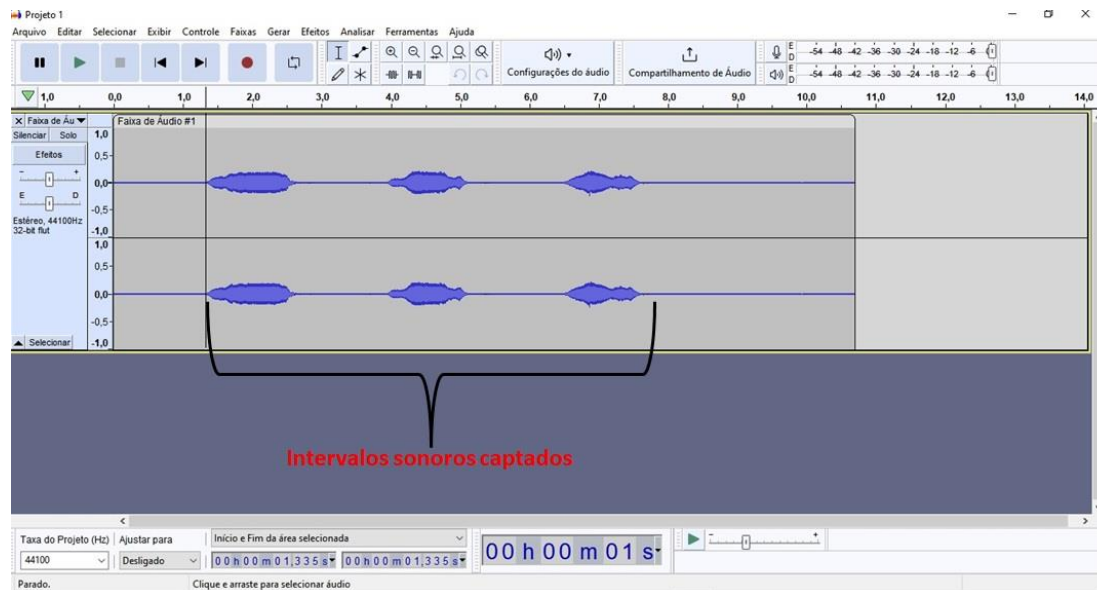


Figura 15: Intervalos sonoros produzidos pela caneta esferográfica.

Na seqüência, seleciona um dos três intervalos, para fazer a análise espectral de frequências (Figura 16).

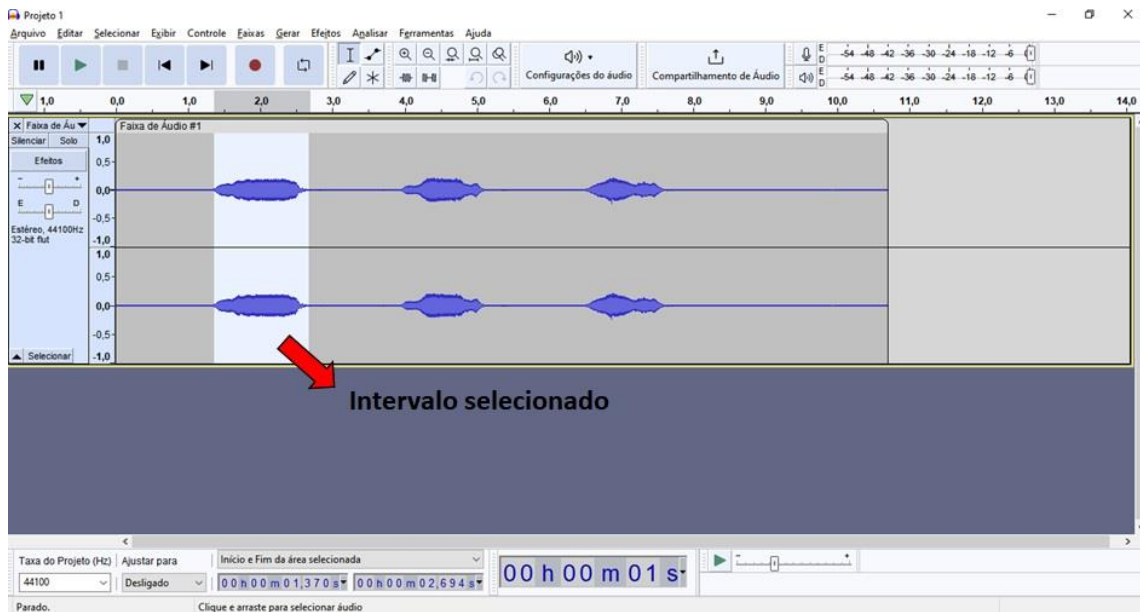


Figura 16: Intervalo sonoro produzido pela caneta selecionado.

Com o intervalo sonoro selecionado, o professor clica em **Analisar**, e na seqüência em Espectro de Frequência (Figura 17)

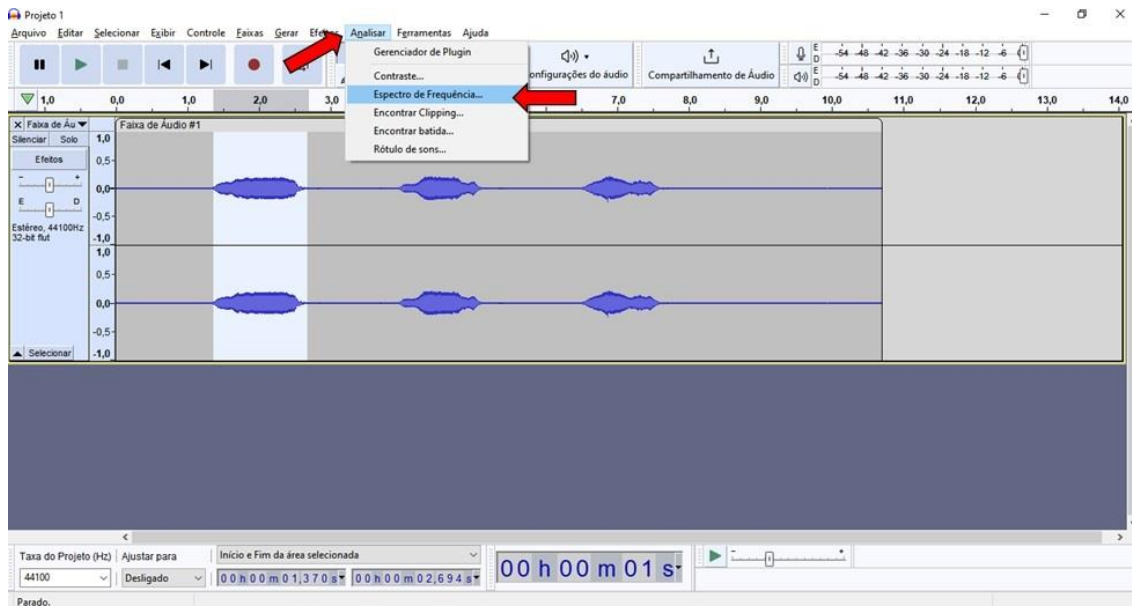


Figura 17: Análise espectral de frequência.

E, dessa forma, obtém a análise espectral é feita pelo Audacity (Figura 18)

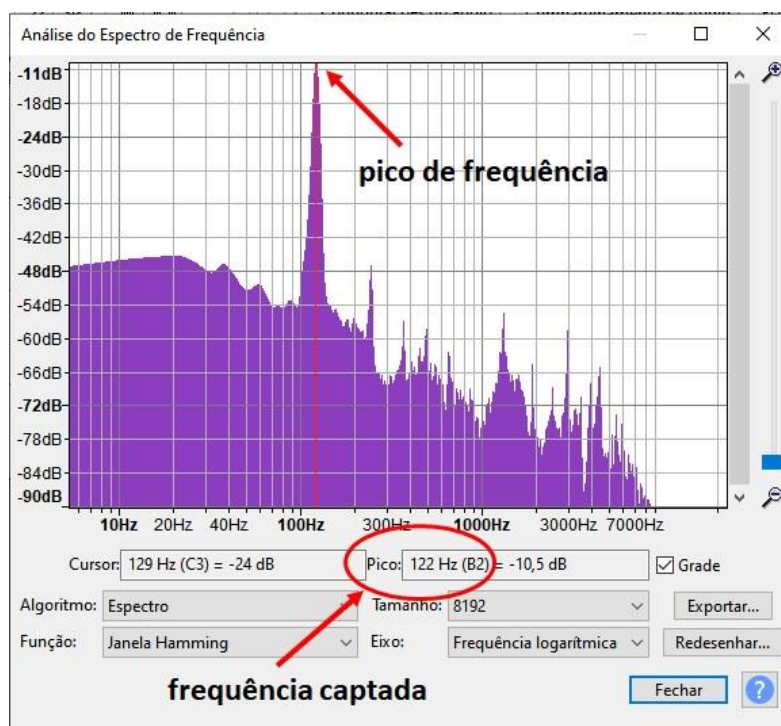


Figura 18: Análise espectral do som emitido pela caneta.

Após a análise espectral o professor solicita aos grupos que calculem, pela teoria dos modos normais para tubos abertos em uma extremidade e fechados na outra, a frequência para o modo  $n = 1$ . Na sequência, pergunta: *O valor de frequência*

*calculada está de acordo com o valor registrado pelo Audacity?* Em seguida, pede aos grupos que calculem a discrepância entre as medidas de frequências.

Com os erros calculados pelos grupos, o professor reforça que a teoria dos modos normais para tubos abertos em uma extremidade e fechados na outra, realmente está de acordo com o valor determinado experimentalmente. Em seguida, o professor assopra uma garrafa de vidro com gargalo bem definido, igual a disponibilizada aos grupos e pergunta: *Então, a garrafa também produz um som semelhante ao tubo apresentado antes?* Na sequência, pede aos grupos que realizem os procedimentos descritos nos itens 4, 5 e 6 do material de acompanhamento da atividade.

Após todos os grupos responderem os itens solicitados anteriormente, o professor pede a cada grupo que apresente o valor de erro encontrado. E faz a seguinte pergunta: *A teoria dos modos normais para tubos abertos em uma extremidade e fechados na outra, está de acordo com o que ocorre na garrafa?* O professor solicita que o grupo debata entre si quais fatores influenciaram no valor do erro encontrado. Em seguida, pede a cada grupo que exponha para a turma quais fatores foram listados, e argumente o porquê do erro encontrado ter sido tão grande.

Após ter ouvido todos os argumentos, o professor formaliza o ressonador de Helmholtz, deixando explícito a sua analogia com o sistema massa-mola. E solicita aos grupos que calculem a frequência pela teoria do ressonador. Neste ponto, o professor, a partir da descrição do experimento realizada na seção 6.2 da dissertação, a qual deu origem a esse material, orienta os grupos como calcular os parâmetros envolvidos na equação da frequência. E pede que determinem novamente o erro entre as frequências.

Com os erros calculados por cada grupo, o professor pergunta: *E, agora, a teoria do ressonador está de acordo com o que ocorre na garrafa?* Em seguida, complementa perguntando à turma: *Então, se dobrarmos o comprimento do gargalo, o que ocorrerá com a frequência do som emitido pela garrafa?* Para verificar se a teoria foi compreendida pelos alunos, o professor pede a cada grupo que exponha sua resposta à turma.

Na sequência, o professor pergunta à turma: *Se a garrafa for preenchida aos poucos com água, o que acontece com as frequências do som emitidas?* O professor, então, solicita aos grupos que registrem pelo menos três valores de frequências emitidas pela garrafa, quando preenchidas com volumes diferentes de água, de acordo com o descrito na seção 6.2 da dissertação.

Em seguida, o professor pede aos grupos que a partir dos valores de volume de ar e frequência construam um gráfico  $f^2 \times 1/V$ . Após a construção do gráfico feita pelos alunos, o professor pergunta à turma: *Seria possível, com esse experimento determinarmos a velocidade de propagação do som no ar?* Após ouvir algumas respostas, o professor discute com a turma a inclinação da reta fornecida pelo gráfico e, por fim, pede aos grupos que determinem a velocidade de propagação do som no ar.



## Capítulo 6

### Conclusões

O propósito deste material instrucional é auxiliar o professor no processo de ensino e aprendizagem em física. Para isso, elaboramos duas sequências didáticas simples, e ao mesmo tempo ricas em conteúdo, com o objetivo de ser um guia nos tópicos de física aqui apresentados.

As atividades investigativas experimentais propostas priorizaram materiais de fácil acesso, o que garante uma possível reprodução no âmbito escolar, e uma grande participação dos alunos no ensino básico.

Apesar das sequências didáticas não terem sido aplicadas diretamente, o rigor, e cuidado na sua elaboração permitem que este material seja consultado e aplicado.

Contudo, buscaremos num futuro próximo aplicar, e conseqüentemente, aperfeiçoar este material, com intuito de estendê-lo para outros tópicos de física.

# APÊNDICE

## **Materiais utilizados:**

### *Sequência didática – Ampulheta Flutuante*

- Computador com acesso a internet;
- Projetor;
- Alternativa: disponibilizar o link do vídeo para que os alunos acessem pelo smartfone.

### *Sequência didática – Garrafa Sonora*

- Computador com o software Audacity instalado e microfone acoplado (<https://www.audacityteam.org/download/>).
- Tubo cilindro aberto em uma extremidade e fechado na outra.
- Régua ou fita métrica;
- Garrafa de vinho vazia e sem rótulo.

## **Fichas de acompanhamento de atividades**

As fichas de acompanhamento de atividades a ser disponibilizadas aos alunos encontram-se a seguir.

## ATIVIDADE – A AMPULHETA FLUTUANTE

Professor (a): \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_ / \_\_ / \_\_  
Nome: \_\_\_\_\_

Caro aluno (a),

Este material nos auxiliará na aula de hoje e deve ser preenchido de acordo com as orientações do professor (a).

(1) Descreva com máximo detalhe o movimento da ampulheta desde que o tubo é girado de  $180^\circ$  até o instante em que ela retorna à posição de equilíbrio na parte superior do tubo.

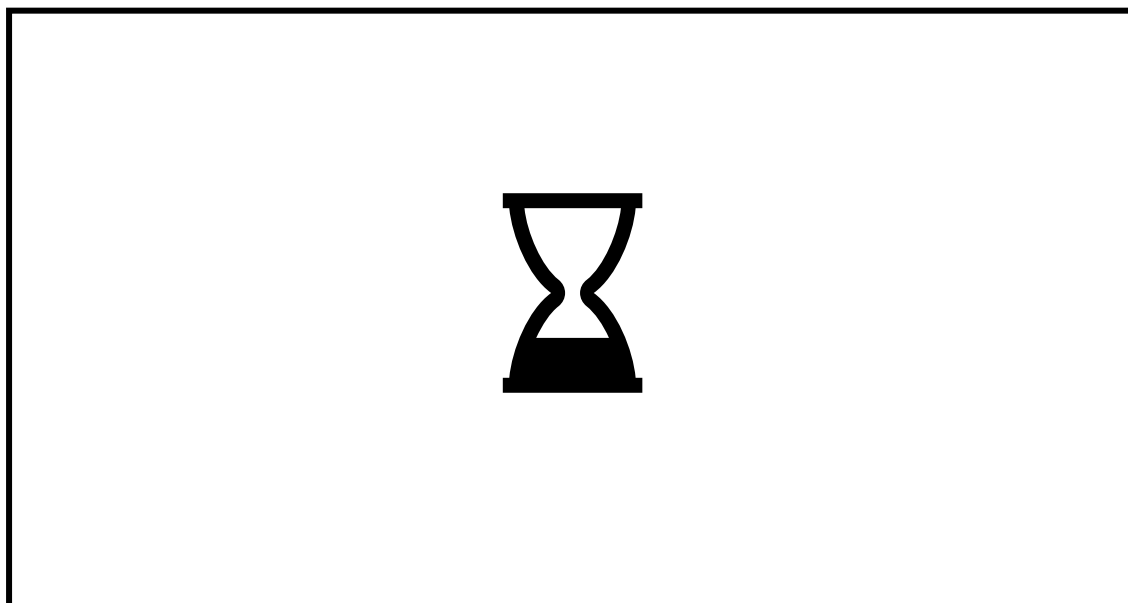
---

---

---

---

(2) Marque todas as forças que atuam sobre a no instante inicial, ou seja, antes do tubo ser girado de  $180^\circ$ , explicando, em cada caso, que corpos exercem cada uma das forças.



(3) Após o tubo ter sido girado de  $180^\circ$ , até a ampulheta retornar ao equilíbrio no alto do tubo, os módulos das forças peso ( $|\vec{P}|$ ) e empuxo ( $|\vec{E}|$ ) permanecem constantes?

Justifique sua resposta.

(4) Com seu grupo, liste os melhores argumentos para a pergunta anterior.

---

---

---

---

(5) Explique porque a ampulheta não sobe assim que o tubo é girado de  $180^\circ$ .

---

---

---

(6) No instante inicial, com a ampulheta em equilíbrio no alto do tubo, o centro de gravidade da ampulheta está acima, abaixo, ou na mesma altura que o centro de empuxo? Nesta situação, o equilíbrio da ampulheta é *estável* ou *instável*? Justifique a resposta.

---

---

---

---

(7) Responda a mesma pergunta feita no item anterior, mas, agora, considerando um instante logo após o giro de  $180^\circ$  do tudo.

---

---

---

---

(8) Por que após o giro de  $180^\circ$  do tubo a ampulheta tende a girar encostando a sua parte superior em algum ponto da superfície lateral do tudo e a sua parte inferior em um ponto do outro lado da superfície lateral do tubo?

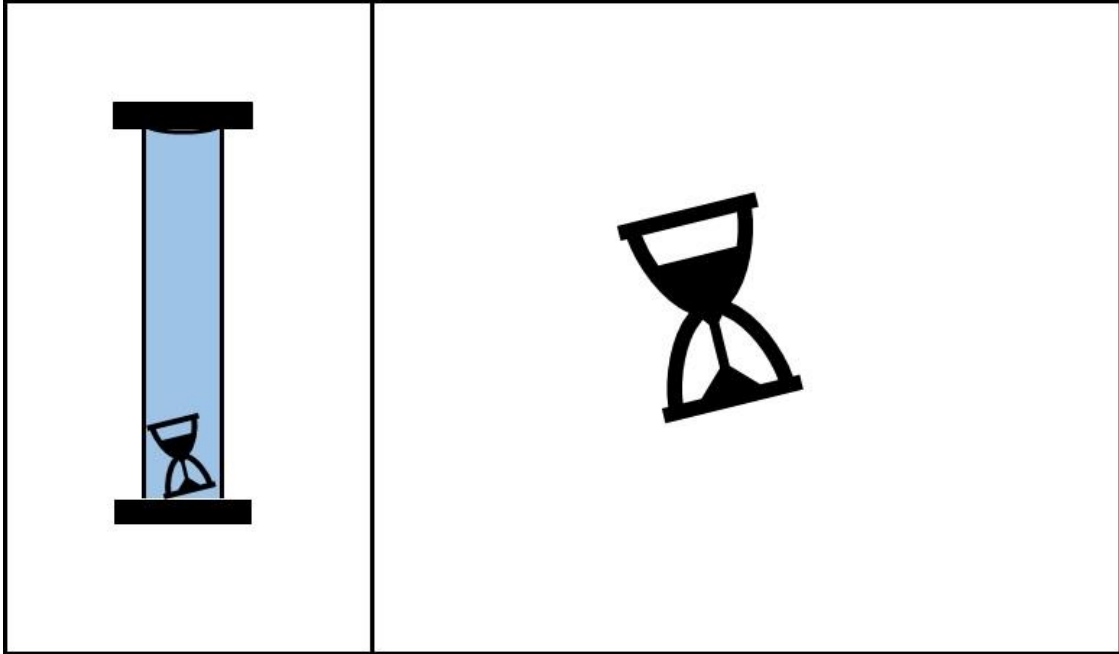
---

---

---

---

(9) Com a ampulheta no fundo do tubo, como mostra a figura abaixo e considerando que ela fique parada durante algum tempo, marque todas as forças que atuam sobre a ampulheta nesse instante. Trace os segmentos orientados para as forças de atrito e as normais exercidas pela superfície lateral do tubo na ampulheta.



(10) Existe força inferior da tampa inferior do tubo sobre a ampulheta? Justifique sua resposta.

---

---

---

---

(11) Durante alguns segundos, mesmo com a areia caindo da parte superior para a sua parte inferior, a ampulheta permanece em repouso no fundo do tubo. Nesse intervalo de tempo, o módulo da força de atrito (resultante dos atritos) permanece constante ou vai diminuindo à medida que a areia vai caindo? Justifique a sua resposta.

---

---

---

---

(12) O atrito máximo que a superfície lateral do tubo pode exercer sobre a ampulheta, diminui à medida que a areia vai caindo? Justifique a sua resposta.

---

---

---

---

(13) Ainda considerando a ampulheta em repouso no fundo do tubo, o que acontece com o centro de empuxo à medida que a areia flui de sua parte superior para a sua parte inferior? E o que acontece com o centro de gravidade da ampulheta?

---

---

---

---

(14) Descreva com palavras por que depois que boa parte da areia passa da parte superior da ampulheta para sua parte inferior a ampulheta começa a subir.

---

---

---

---

(15) Descreva com máximo detalhe, usando as discussões feitas acima, o movimento da ampulheta desde que o tubo é girado de  $180^\circ$  até o instante em que ela retorna à posição de equilíbrio na parte superior do tubo. Compare com a descrição feita no item (1).

---

---

---

---

---

---

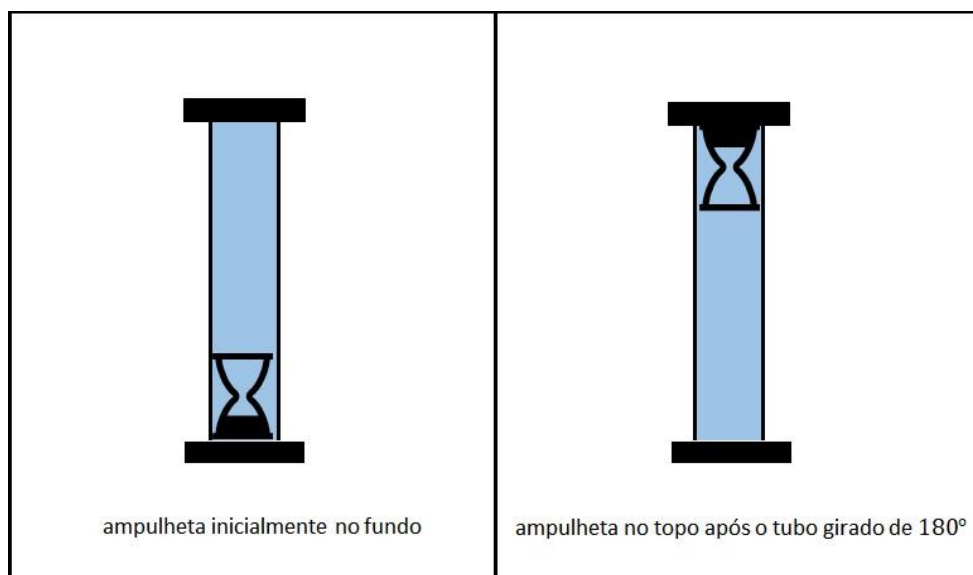
---

---

---

---

(16) Considere agora uma ampulheta com uma massa maior, de maneira que no instante inicial ela já se encontra no fundo. O que acontece após o tubo girar de  $180^\circ$ ? Explique usando os conhecimentos construídos nas discussões anteriores.



---

---

---

---

---

## ATIVIDADE – A GARRAFA SONORA

Professor (a): \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_ Data: \_\_ / \_\_ / \_\_  
Nome: \_\_\_\_\_

Caro aluno (a),

Este material nos auxiliará na aula de hoje e deve ser preenchido de acordo com as orientações do professor (a).

(1) Calcule a frequência para o primeiro modo normal de vibração ( $n = 1$ ) do tubo. Considere a velocidade de propagação do som no ar igual a  $340 \text{ m/s}$ .

(2) O valor de frequência determinado acima está próximo do valor registrado pelo Audacity?

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_.

(3) Determine a discrepância entre a frequência teórica e a frequência registrada pelo Audacity.

$$e = \frac{|f_{teórica} - f_{medida}|}{f_{medida}}$$

(4) Agora, com o auxílio do Audacity determine a frequência do som emitido pela garrafa disponibilizada, repetindo os procedimentos feitos pelo professor.



(5) Com a garrafa disponibilizada, determine a frequência emitida pela vibração do ar dentro da garrafa quando sopramos a boca do gargalo, usando a teoria dos tubos sonoros. Considere a velocidade de propagação do som no ar igual a  $340 \text{ m/s}$ .

Objeto	Comprimento (m)	$f_{teórica}$ (Hz)
Garrafa		

(6) Determine a discrepância entre a frequência teórica e a frequência registrada pelo Audacity.

$$e = \frac{|f_{teórica} - f_{medida}|}{f_{medida}}$$

(7) Debata com seu grupo quais fatores influenciaram no valor do erro encontrado. Liste-os aqui.

---



---



---



---

(8) Calcule a partir da teoria do ressonador de Helmholtz a frequência do som emitido pela garrafa. Considere a velocidade de propagação do som no ar igual a  $340 \text{ m/s}$ .

$$f_{R.H} = \frac{v_{som}}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{V \cdot \ell_{efetivo}}}$$



(9) Determine a discrepância entre a frequência teórica, calculada no item acima, e a frequência registrada pelo Audacity.

$$e = \frac{|f_{teórica} - f_{medida}|}{f_{medida}}$$

(10) O que ocorre com a som emitido pela garrafa se o comprimento do gargalo for dobrado? O som ficará mais ou menos grave? E, por qual fator? Justifique sua resposta.

---

---

---

---

(11) Se a garrafa for preenchida aos poucos com água, o que acontece com as frequências do som emitidas por ela? Justifique sua resposta.

---

---

---

---

(12) Preencha a tabela a seguir com os valores de frequência e volume.

$V_{água} (cm^3)$	$V (cm^3)$	$f_{teórica} (Hz)$	$f_{exper.} (Hz)$

(13) Analisando a tabela acima, os valores de frequência encontrados estão de acordo com a sua resposta no item (11)? Justifique, novamente, sua resposta.

---

---

---

---

(14) A partir dos valores determinados na tabela do item (12), construa um gráfico  $f^2 \times 1/V$ .

(15) A partir da interpretação do gráfico construído acima, determine a velocidade de propagação do som no ar, e compare com o valor usado teoricamente em itens anteriores.

## Referências

- ALVES , ; CAVALCANTE , M. R. Obstáculos (epistemológicos) e o ensino de ciências e matemática. **Interfaces da Educação.**, Mato Grosso, 2017.
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos:** Uma Perspectiva Cognitiva. Lisboa: Plátamo Edições Técnicas, 2003.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN , H. **Psicologia Educacional.** Rio de Janeiro: Interamericana , 1980.
- AZEVEDO , M. C. P. S. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO , A. M. P. **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática.** São Paulo : Cengage Learning., 2012. p. 19 - 33.
- BANCHI , ; BELL, R. The many levels of inquiry. **Science and Children** , v. 46, p. 26 - 29 , outubro 2008. ISSN 2.
- BONADIMAN , H.; NONENMACHER,. O gostar e o aprender no Ensino de Física: Uma proposta metodológica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física** , Ijuí , v. 24, n. 2, p. 194 - 223, Agosto 2007.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física.**, Santa Catarina, v. 19, n. 3, p. 291 - 313, Dezembro 2002.
- BRASIL. **Parâmetros curriculares nacionais.** Brasília : MEC , 2006.
- BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília : Médio, Ensino, 2006. p. 22.
- BRASIL. BNCC - Base Nacional Comum Curricular. Brasília : Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2018.
- CACHAPUZ, A. **A necessária renovação do ensino de ciências.** 1ª. ed. São Paulo: Cortez, 2005.
- CARVALHO, A. M. P. O ensino de Ciências e a proposição de sequências de ensino. In: CARVALHO, A. M. P. D. **Ensino de Ciências por Investigação: Condições para Implementação em Sala de Aula.** São Paulo: Cengage Learning, 2013. p. 1 - 20.
- CARVALHO, A. M. P. D. **Calor e Temperatura.** 1ª. ed. [S.l.]: Livraria da Física, 2014.
- FILHO, J. P. A. Atividades experimentais: do método à pratica construtivista. **Tese apresentada ao programa de pós-graduação da Universidade Federal de Santa Catarina,** Santa Catarina., 2000.

- HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 12<sup>a</sup>. ed. Porto Alegre - RS: Bookman Editora Ltda., 2015.
- MOREIRA, ., **Uma abordagem cognitivista ao ensino de física**. Porto Alegre : Editora da Universidade , 1983.
- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**: A teoria de David Ausubel. 2<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Centauro, 2001.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares. In: MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**: a teoria e textos complementares. 1<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2001. Cap. Capítulo 1, p. 180.
- MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares. In: MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**: a teoria e textos complementares. 1<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2011. Cap. 4, p. 179.
- MOREIRA, M. A.; MASINI, F. S. **A aprendizagem significativa**: A Teoria de David Ausubel. São Paulo: Editora Moraes Ltda., 1982.
- MORRIS, S. Beautiful but Wrong: The Floating Hourglass Puzzle. In: BERLEKAMP, E.; TOM, R. **The Mathemagician and Pied Puzzler - A collection in Tribute to Martin Gardner**. 1<sup>a</sup>. ed. [S.l.]: [s.n.], 2012. Cap. 2, p. 135 - 143.
- NOVAK, J. D. **Aprender a Aprender**. Lisboa: Plátomo Edições Técnicas, 1996.
- NUSSENZVEIG, H. M. Princípio de Arquimedes. In: NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. 4<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., v. 2 - , 2002. Cap. 1, p. 10 - 11.
- OLIVEIRA, J. R. S. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 12, 2010. ISSN 1.
- REIS, J. S. D. Ferramentas tecnológicas como organizadores prévios no ensino da matemática. **Revista Educação Online** , p. 137 - 145, setembro 2015. ISSN 20.
- SANTOS , E. I.; PIASSI, L. P. C.; FERREIRA, N. C. **Atividades experimentais de baixo custo como estratégia de construção da autonomia de professores de física**: uma experiência em formação continuada. IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Jaboticabutas : [s.n.]. 2004.
- SANTOS, J. C. F. D. **Aprendizagem significativa**: modalidade de aprendizagem e o papel do professor. 5<sup>a</sup>. ed. Porto Alegre : Mediações , 2008.
- VIERA, L. P.; AGUIAR, C. E. The sound of udu. **Phyiscs Education**, 22 April 2022.

WILSEK, M. A. G.; TOSIN, J. A. P. Ensinar e aprender ciências no ensino fundamental com atividades investigativas através da resolução de problemas. **Portal da Educação do Estado do Paraná**, Paraná, 2009. Disponível em: <<http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/pde/arquivos/1686-8.pdf?phpsessid=2010010708155290>>. Acesso em: 15 mar. 2020.

ZMANSKY, S. E. **Física I - Mecânica**. 10<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2003.