

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**JUAN CARLO SABBI**

**PRODUTO EDUCACIONAL  
A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL E O APLICATIVO PHYPHOX  
NO ENSINO DE FÍSICA**

**MEDIANEIRA**

**2024**

**JUAN CARLO SABBI**

**PRODUTO EDUCACIONAL**  
**A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL E O APLICATIVO PHYPHOX**  
**NO ENSINO DE FÍSICA**

Produto Educacional apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Professor Dr. Leandro Herculano da Silva.

Coorientador(a): Professora Dra. Shiderlene Vieira de Almeida.

**MEDIANEIRA**

**2024**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

24/04/2024, 16:04



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Medianeira



JUAN CARLO SABBI

**A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL E O APLICATIVO PHYPHOX NO ENSINO DE FÍSICA**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ensino De Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Física Na Educação Básica.

Data de aprovação: 24 de Abril de 2024

Dr. Leandro Herculano Da Silva, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Daiene De Mello Schaefer, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Fabio Rogerio Longen, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Vitor Santaella Zanuto, Doutorado - Universidade Estadual de Maringá (Uem)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 24/04/2024.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>PENDULO SIMPLES .....</b>	<b>193</b>
<b>1.1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>193</b>
1.1.1	Descrição do tema.....	193
1.1.2	Objetivo Geral.....	193
1.1.3	Objetivos Específicos .....	193
1.1.4	Conteúdo.....	194
1.1.5	Recursos .....	194
<b>1.2</b>	<b>Procedimento Metodológico .....</b>	<b>196</b>
1.2.1	Mapeamento de subsunçores. ....	198
1.2.2	Realização de Pré-teste com apresentação de situação problema.....	198
1.2.3	Apresentação da experiência .....	199
1.2.4	Realizar a experiência de forma livre .....	199
1.2.5	Identificar os subsunçores.....	200
1.2.6	Apresentar conceitos necessários.....	200
1.2.7	Realizar a experiência de forma guiada .....	200
1.2.8	Consolidar os resultados .....	200
1.2.9	Concluir a experimentação com o conceito e cálculo de g (gravidade)..	201
1.2.10	Avaliação individual .....	201
1.2.11	Avaliação da qualidade e quantificar o aprendizado .....	201
1.2.12	Concluir o procedimento.....	201
1.2.13	Conclusão final .....	201
<b>2</b>	<b>LEI DE STEVIN .....</b>	<b>203</b>
<b>2.1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>203</b>
2.1.1	Descrição do tema.....	203
2.1.2	Objetivo Geral.....	203
2.1.3	Objetivos Específicos .....	203
2.1.4	Conteúdo.....	204
2.1.5	Recursos .....	204
<b>2.2</b>	<b>Procedimento Metodológico .....</b>	<b>207</b>
2.2.1	Mapeamento de subsunçores. ....	209
2.2.2	Realização de Pré-teste com apresentação de situação problema.....	209
2.2.3	Apresentação da experiência .....	210
2.2.4	Realizar a experiência de forma livre .....	210

2.2.5	Identificar os subsunçores.....	211
2.2.6	Apresentar conceitos necessários.....	211
2.2.7	Realizar a experiência de forma guiada .....	211
2.2.8	Consolidar os resultados .....	211
2.2.9	Concluir a experimentação com o conceito e cálculo de g (gravidade) (ou densidade).....	212
2.2.10	Avaliação individual .....	212
2.2.11	Avaliação da qualidade e quantificar o aprendizado .....	212
2.2.12	Concluir o procedimento.....	212
2.2.13	Conclusão final.....	212
<b>3</b>	<b>FENÔMENO DE INTERFERÊNCIA SONORA DO BATIMENTO.....</b>	<b>214</b>
<b>3.1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>214</b>
3.1.1	Descrição do tema.....	214
3.1.2	Objetivo Geral.....	214
3.1.3	Objetivos Específicos .....	214
3.1.4	Conteúdo.....	215
3.1.5	Recursos .....	215
<b>3.2</b>	<b>Procedimento Metodológico .....</b>	<b>216</b>
3.2.1	Mapeamento de subsunçores. ....	218
3.2.2	Realização de Pré-teste com apresentação de situação problema.....	218
3.2.3	Apresentação da experiência .....	219
3.2.4	Realizar a experiência de forma livre .....	219
3.2.5	Identificar os subsunçores.....	220
3.2.6	Apresentar conceitos necessários.....	220
3.2.7	Realizar a experiência de forma guiada .....	220
3.2.8	Consolidar os resultados .....	220
3.2.9	Concluir a experimentação com o conceito de batimento .....	221
3.2.10	Avaliação individual .....	221
3.2.11	Avaliação da qualidade e quantificar o aprendizado .....	221
3.2.12	Concluir o procedimento.....	221
3.2.13	Conclusão final.....	221
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>223</b>
	<b>APÊNDICE A - Pré-teste – Pêndulo Simples .....</b>	<b>224</b>
	<b>APÊNDICE B - Guia para experimentação – Pêndulo Simples.....</b>	<b>227</b>
	<b>APÊNDICE C - Pré-teste – Lei de Stevin.....</b>	<b>234</b>

<b>APÊNDICE D - Guia para experimentação – Lei de Stevin .....</b>	<b>237</b>
<b>APÊNDICE E - Pré-teste – Observação do fenômeno de interferência sonora do batimento .....</b>	<b>246</b>
<b>APÊNDICE F - Guia para experimentação – Observação do fenômeno de interferência sonora do batimento .....</b>	<b>249</b>

## 1 PENDULO SIMPLES

Este primeiro capítulo apresenta o primeiro experimento de três que constam no Produto Educacional e trata de um plano de aula sobre Pêndulo Simples.

### 1.1 Introdução

O plano de aula é um documento elaborado para definir o tema a ser abordado, os objetivos geral e específicos, o que exatamente será ensinado, qual a metodologia a ser empregada e a avaliação utilizada para entender a assimilação do conteúdo ensinado.

#### 1.1.1 Descrição do tema

O tema deste plano de aula abordará o movimento harmônico simples resultante sobre uma massa suspensa por um fio inextensível que é deslocada de sua posição de equilíbrio na presença de uma força gravitacional, o pêndulo simples.

#### 1.1.2 Objetivo Geral

Nesta atividade o objetivo principal é demonstrar e permitir a compreensão da atuação da gravidade sobre um corpo suspenso.

#### 1.1.3 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos para a construção dos subsunçores que permitam o entendimento da atuação da gravidade sobre um corpo no seu deslocamento do ponto de equilíbrio temos:

- Entender o que é gravidade
- Compreender o que é equilíbrio
- Realizar experimento que possibilite a observação da força de restauração sobre um corpo que foi deslocado de sua posição de equilíbrio (pêndulo simples)

#### 1.1.4 Conteúdo

Para o estudo em tela alguns conceitos subsunçores são importantes, como a definição de equilíbrio e o conceito de gravidade.

Um pêndulo é um sistema que “consiste num pequeno corpo suspenso de um ponto fixo por um fio inextensível e sem peso” (SEARS; ZEMANSKY; YOUNG, 1984, p.281). Se deslocado de sua posição de equilíbrio e solto, inicia um movimento oscilatório sujeito à força restauradora causada pela gravidade.

O referencial teórico para este trabalho pode ser consultado na dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

#### 1.1.5 Recursos

Para permitir a experimentação objetivo deste plano de aula serão necessários os seguintes recursos para cada ilha de experimentação:

- Smartphone
- Aplicativo PhyPhox
- 1,0m de cano PVC 25mm
- 1 DN 100x75 NBR 5688
- 1 DN 100x50 NBR 5688
- 1 cap para cano de esgoto PVC 100mm
- 2 T PVC 25mm
- 3 joelhos 90° PVC 25mm
- 1 rolo de papel higiênico
- Fio de nylon
- Cola para PVC
- Cola quente
- 3 parafusos
- 1 gancho de crachá

Com antecedência à exposição e com o material acima, será necessário construir previamente uma estrutura para a suspensão do celular.

Para isso, apresenta-se o seguinte projeto:

**Figura 1 – Projeto para montagem instrumental do experimento (sketchup)**

Fonte: Autoria própria (2023)

**Fotografia 1 – Instrumental montado para experimentação de pêndulo**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

## 1.2 Procedimento Metodológico

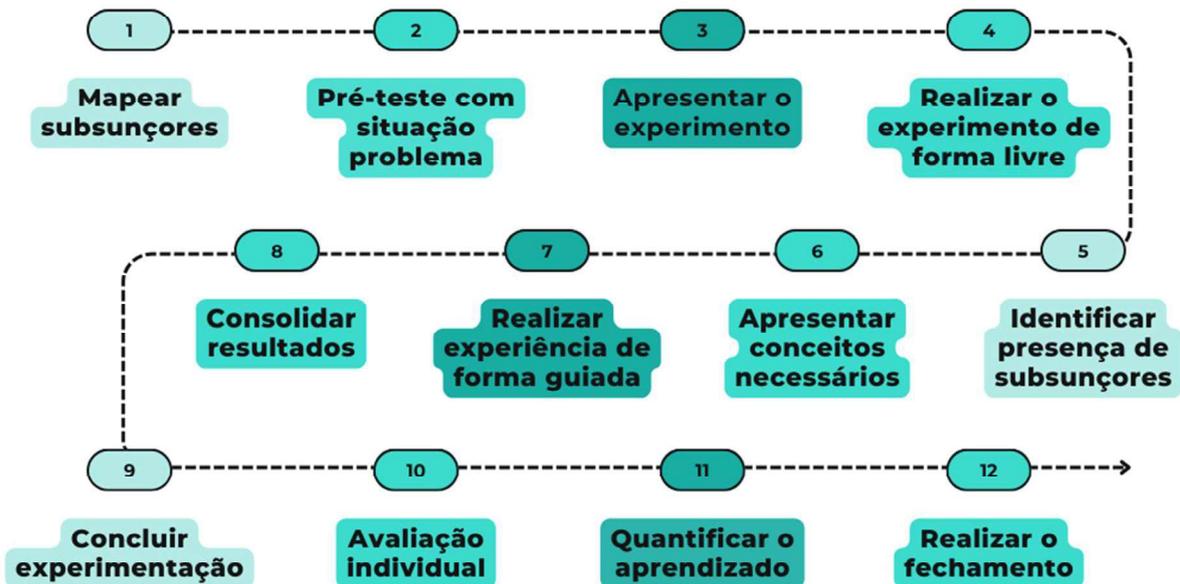
Para permitir uma adequada compreensão do experimento a ser realizado foi elaborado o procedimento metodológico conforme passos descritos a seguir nesse plano de aula, onde, considerando o conceito da Aprendizagem Significativa<sup>1</sup> de

---

<sup>1</sup> Ausubel traz uma diferenciação entre o que chama de aprendizagem mecânica (ou automática) e a aprendizagem significativa. A aprendizagem mecânica seria aquela em que as novas informações são “registradas” sem interação com conceitos subsunçores, ou seja, previamente existentes na estrutura cognitiva. Pode-se, assim, associar o processo como uma memorização ou decora de conteúdo, onde não há a verdadeira compreensão. Por sua vez, a aprendizagem significativa estabelece uma necessidade de ligação, de uma relação, com a estrutura cognitiva do aprendiz. É preciso que exista um potencial significativo na aprendizagem, realizado através do encaixe do novo conteúdo aos conceitos subsunçores, de maneira não arbitrária e não literal (MOREIRA, 2022, p.146).

Ausubel<sup>2</sup>, busca-se a identificação de subsunçores<sup>3</sup> para o conteúdo, apresentação experimental e posterior avaliação da compreensão dos novos conceitos ofertados.

Figura 2 – fluxograma da execução do plano de aula



Fonte: Autoria própria (2023)

Este fluxograma apresenta, portanto, uma sequência didática. Conforme Zabala (1998, p. 17), uma sequência didática é uma série ordenada e articulada de atividades com o objetivo de promover o ensino e aprendizagem. No caso temos:

1. Mapeamento dos subsunçores pelo professor
2. Apresentação de situação problema – pré-teste

<sup>2</sup> MOREIRA (2022, p. 147-148) apresenta um processo instrucional segundo uma abordagem “ausubeliana” inferindo ao professor o papel de facilitador da aprendizagem significativa e estabelece quatro tarefas fundamentais:

- I. Identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino (conceitos e princípios) e hierarquizá-los;
- II. Identificar quais subsunçores o aluno deveria ter para poder aprender significativamente o conteúdo;
- III. Diagnosticar quais subsunçores o aluno detém;
- IV. Ensinar utilizando recursos e princípios com o objetivo de facilitar a absorção conceitual de maneira significativa. Auxiliar o aluno a assimilar a estrutura do conteúdo e a organizar sua própria estrutura cognitiva.

<sup>3</sup> Termo derivado do inglês “subsumer” e que teria o significado de inseridor, facilitador ou subordinador. O subsunçor teria um papel de âncora para o novo conhecimento na estrutura cognitiva.

3. Apresentação do experimento a ser realizado com indagações sobre o que poderia ser observado
4. Realizar a experiência de forma livre e abrir o espaço para a apresentação das interpretações individuais sobre o que está ocorrendo.
5. Buscar a presença de subsunçores nas respostas intuitivas e fortalecer os não identificados
6. Exposição do tema e dos conceitos envolvidos no experimento
7. Repetição do experimento de forma guiada com indagação quanto aos fatores que precisam ser observados e analisados. Proposição de questões sobre o experimento realizado.
8. Consolidar e registrar os dados coletados. Exercícios de finalização experimental.
9. Apresentação conceitual dos fundamentos do experimento. Exposição de conteúdo para fortalecer subsunçores
10. Avaliação individual
11. Avaliar a qualidade e quantidade de aprendizado
12. Elaboração de conclusões

#### 1.2.1 Mapeamento de subsunçores.

A primeira etapa do plano de aula busca identificar os subsunçores importantes para a incorporação do conhecimento a ser apresentado. Em nossa avaliação inicial os subsunçores importantes para o conteúdo são: equilíbrio, força, peso, gravidade.

É importante entender se os acadêmicos passaram por esses conceitos de forma teórica ou prática previamente à realização deste plano de aula.

#### 1.2.2 Realização de Pré-teste com apresentação de situação problema

O passo seguinte, de interação com os alunos, é a realização de um pré-teste que objetiva identificar conhecimentos prévios e a presença de subsunçores necessários para a aprendizagem significativa.

Nesta etapa é feito um mapeamento para, não sendo identificados os subsunçores necessários, realizar uma nova exposição sobre os conteúdos antes de executar os passos seguintes desta sequência didática.

### 1.2.3 Apresentação da experiência

Num primeiro momento a ideia é apenas apresentar o procedimento que será adotado no desenvolvimento experimental (o movimento harmônico pendular) para permitir o exercício individual e em grupo sobre quais seriam os objetivos para a coleta de dados. Ou seja, o objetivo é apenas apresentar a ferramenta que será utilizada e perceber a compreensão dos estudantes sobre o que é equilíbrio e o que ocorre ao deslocar o corpo de seu ponto de equilíbrio (em um processo de *brainstorming*<sup>4</sup>).

Levantar questões como:

- a. Se colocarmos o celular no rolo de papel higiênico e deixarmos parado, o que acontece?
- b. E se causarmos um deslocamento da posição de equilíbrio?
- c. Por que ocorre o movimento? O que gera o esse movimento pendular?

### 1.2.4 Realizar a experiência de forma livre

De forma livre, sem necessidade de registrar resultados, realizar a experiência uma vez e abrir o espaço para a apresentação das interpretações individuais (ou por grupo) sobre o que está ocorrendo, inquirindo sobre o que ocorreria ao deslocar-se o celular de seu ponto de equilíbrio. É importante perceber o entendimento dos estudantes em relação à ação gravitacional sobre o corpo fora de seu ponto de equilíbrio.

Levantar questões como:

- a. O que poderia ser medido nesse experimento?
- b. Qual poderia ser o objetivo final da coleta de dados?
- c. Seria possível determinar a gravidade nesse movimento?

---

<sup>4</sup> O *brainstorming* é uma técnica usada para levantar ideias de soluções de problemas ou para desenvolver coisas novas. Trata de criar um volume de sugestões e interpretações sem julgar as ideias inicialmente.

### 1.2.5 Identificar os subsunçores

Analisar as ideias apresentadas para estabelecer um mapeamento dos subsunçores que permitiriam a fixação dos novos conceitos (ver item 1.2.1). Reforçar aqueles que se apresentarem falhos ou inexistentes.

Pode ser utilizado um questionário como o disponibilizado no Apêndice A para avaliação dos subsunçores. O questionário deve ser respondido individualmente e tem objetivo preparatório para o presente plano de aula.

### 1.2.6 Apresentar conceitos necessários

Distribuir o guia e apresentar os conceitos envolvidos no experimento realizado a partir do mapeamento de conhecimentos subsunçores: equilíbrio, força, peso e gravidade.

Esta etapa precede a realização da atividade experimental e é fundamental o reforço conceitual de subsunçores que permitam a correta interpretação dos fenômenos estudados na prática a ser desenvolvida.

### 1.2.7 Realizar a experiência de forma guiada

Com a utilização do guia disponibilizado, repetir o experimento com a sequência apropriada e indagando os acadêmicos quanto aos fatores que precisam ser observados e analisados. Neste caso: questionar sobre o que poderia ocorrer sobre o smartphone ao deslocá-lo da posição de equilíbrio.

### 1.2.8 Consolidar os resultados

Solicitar e verificar o registro dos dados capturados para permitir o avanço do conteúdo. De forma individual ou coletiva os estudantes elaboram as conclusões que se referem às questões e aos problemas propostos no roteiro experimental.

O roteiro traz pequenos exercícios tem o objetivo de auxiliar no processo de memorização dos resultados e conclusões individuais.

### 1.2.9 Concluir a experimentação com o conceito e cálculo de $g$ (gravidade)

Apresentação conceitual dos fundamentos do experimento. Neste caso, a interpretação do movimento causado pela ação restauradora gravitacional ao deslocar o celular do ponto de equilíbrio, resultando em um movimento harmônico pendular.

Com esta etapa encerra-se a fase experimental devendo ser entregue pelos acadêmicos o relatório das atividades desenvolvidas (modelo conforme o guia).

### 1.2.10 Avaliação individual

Realizar avaliação individual disponível no guia experimental para identificar a absorção do conhecimento propagado. Este material pode ser entregue em data posterior e deve ser reforçado ao aluno que seja respondido individualmente visto o objetivo de identificação da construção cognitiva particular.

### 1.2.11 Avaliação da qualidade e quantificar o aprendizado

Posteriormente, avaliar a qualidade e quantidade de aprendizado com a correção da avaliação individual dos acadêmicos.

Ou seja, a partir do pré-teste, observação da experimentação livre, realização da experimentação guiada, apresentação do relatório e avaliação individual, o professor registra o resultado da avaliação das aprendizagens realizadas.

### 1.2.12 Concluir o procedimento

Fornecer um encerramento para a turma reforçando os conceitos tratados, principalmente aqueles que se mostraram degradados na avaliação individual.

### 1.2.13 Conclusão final

Para a eficiência do aprendizado significativo é importante a identificação da presença dos subsunçores que serão fundamentais para a fixação dos conceitos novos apresentados aos acadêmicos. Posteriormente, com o fortalecimento dos subsunçores deficitários, apresenta-se os novos conteúdos e, por fim, inquire-se os participantes sobre os conceitos que se busca fixação. Nesta última etapa será possível identificar o nível de compreensão apresentada pelos estudantes.

Espera-se a compreensão do processo de aceleração gravitacional que origina o movimento harmônico pendular na tendência de restaurar o equilíbrio do corpo (celular) deslocado. Neste sentido, é fundamental a compreensão do conceito de gravidade.

## 2 LEI DE STEVIN

Este capítulo apresenta o segundo experimento de três que constam no Produto Educacional e trata de um plano de aula sobre a Lei de Stevin.

### 2.1 Introdução

O plano de aula é um documento elaborado para definir o tema a ser abordado, os objetivos geral e específicos, o que exatamente será ensinado, qual a metodologia a ser empregada e a avaliação utilizada para entender a assimilação do conteúdo ensinado.

#### 2.1.1 Descrição do tema

O tema deste plano de aula abordará a variação da pressão em um fluido com a alteração da profundidade ou altura e a apresentação de um experimento que objetiva facilitar a compreensão do processo.

#### 2.1.2 Objetivo Geral

Nesta atividade o objetivo principal é demonstrar e permitir a compreensão variação de pressão sobre um corpo na sua imersão em um fluido com a variação da altura ou profundidade.

#### 2.1.3 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos para a construção dos subsunçores que permitam o entendimento do aumento de pressão sobre um corpo na sua imersão em um fluido temos:

- Entender o que é um fluido
- Compreender o que é densidade
- Realizar experimento que possibilite a observação do aumento de pressão com a imersão de um corpo em um fluido (líquido)

#### 2.1.4 Conteúdo

Para o estudo em tela alguns conceitos subsunçores são importantes, como a definição de fluido e o conceito de densidade.

Fluido é toda substância que pode escoar e, por isso, compreendem os líquidos e os gases. Conforme Tipler (2000, p.349), os líquidos escoam sob a ação da gravidade e ocupam as regiões mais baixas possíveis dos vasos que os contém, enquanto os gases se expandem até ocuparem todo o volume do vaso, independente da sua forma.

Sears; Zemansky; Young (1984, p.289) complementam que líquidos e gases diferem notavelmente em suas compressibilidades, sendo um gás facilmente comprimido e um líquido é praticamente incompressível.

Nussenzveig (2002, p. 1) destaca que *“a diferença fundamental entre sólidos e fluidos está na forma de responder às tensões tangenciais. Um sólido submetido a uma força externa tangencial a sua superfície deforma-se até que sejam produzidas tensões tangenciais internas que equilibrem a força externa: depois, permanecem em equilíbrio”*.

Em linha com a demonstração de Sears; Zemasky; Young (1984, p.290-291), para determinar a relação geral entre pressão num ponto qualquer de um fluido e a variação de altura ou profundidade desse ponto é preciso relacionar a variação da força peso exercida pelo fluido sobre o referido ponto, ou seja, relacionar o volume do líquido que passa a acrescentar força peso. A força exercida sobre esse elemento pelo fluido que o envolve é normal à superfície em qualquer parte.

O referencial teórico para este trabalho pode ser consultado na dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

#### 2.1.5 Recursos

Para permitir a experimentação objetivo deste plano de aula serão necessários os seguintes recursos para cada ilha de experimentação:

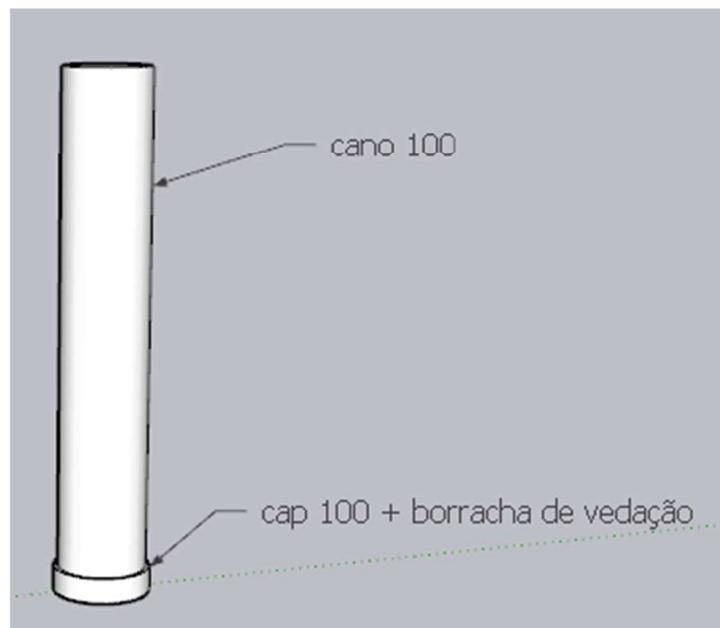
- Smartphone com sensor de pressão
- Aplicativo PhyPhox

- Notebook com acesso a rede wireless
- 1,5m de cano de esgoto PVC 100mm
- 1 haste ou cabo de pelo menos 1,2m
- 1 cap para cano de esgoto PVC 100mm
- 1 anel de vedação de borracha 100mm
- 1 vidro “de conserva” de 3l (S11 E 19)
- 3m de mangueira de ¼” x 1,5mm
- Cola para PVC
- 1 barra com marcações de comprimento: 0,25m; 0,50m; 0,75m; 1m.

Com antecedência à exposição e com o material acima, será necessário construir previamente uma estrutura para contenção de um volume de água.

Para isso, apresenta-se o seguinte projeto:

**Figura 3 – Projeto para montagem instrumental 1 do experimento (sketchup)**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Além da estrutura para a água, é preciso montar a estrutura com vedação para depositar o celular e ser possível mensurar a propagação da variação de pressão no fluido.

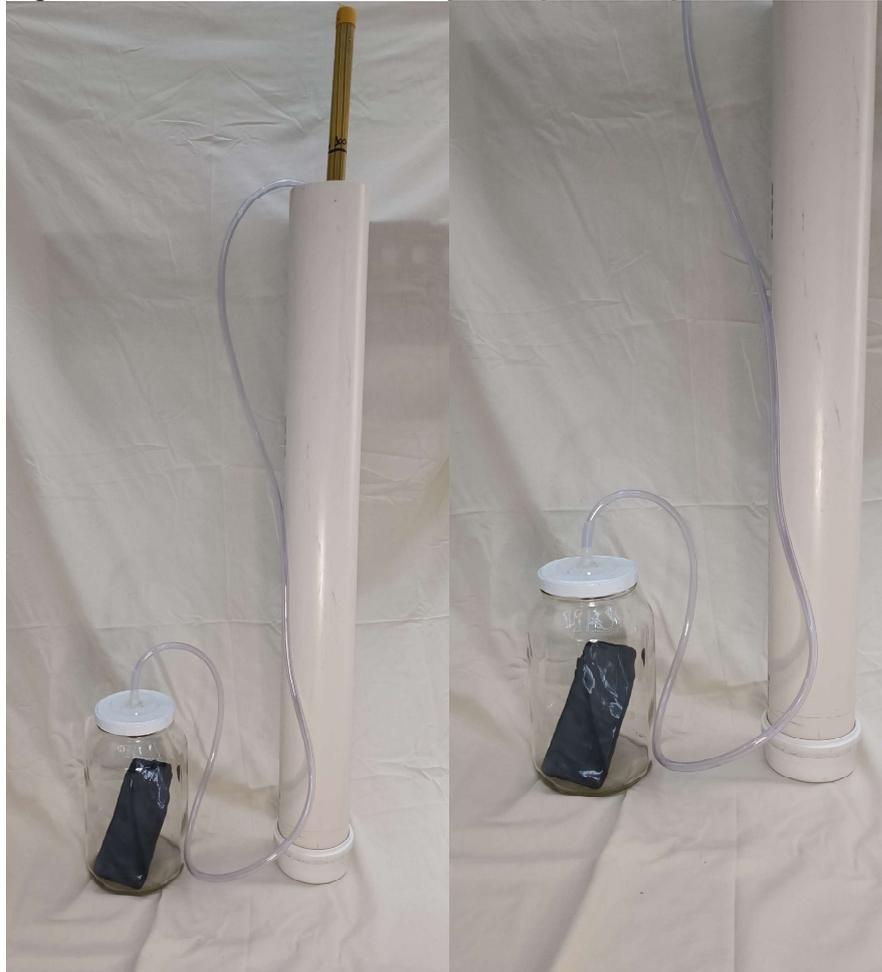
Para essa segunda estrutura apresenta-se o seguinte projeto:

**Figura 4 – Projeto para montagem instrumental 2 do experimento**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

**Fotografia 2 – Instrumental montado para experimentação de Lei de Stevin**



**Fonte: A autoria própria (2023)**

## **2.2 Procedimento Metodológico**

Para permitir uma adequada compreensão do experimento a ser realizado foi elaborado o procedimento metodológico conforme passos descritos a seguir nesse plano de aula, onde, considerando o conceito da Aprendizagem Significativa<sup>5</sup> de

---

<sup>5</sup> Ausubel traz uma diferenciação entre o que chama de aprendizagem mecânica (ou automática) e a aprendizagem significativa. A aprendizagem mecânica seria aquela em que as novas informações são “registradas” sem interação com conceitos subsunçores, ou seja, previamente existentes na estrutura cognitiva. Pode-se, assim, associar o processo como uma memorização ou decora de conteúdo, onde não há a verdadeira compreensão. Por sua vez, a aprendizagem significativa estabelece uma necessidade de ligação, de uma relação, com a estrutura cognitiva do aprendiz. É preciso que exista um potencial significativo na aprendizagem, realizado através do encaixe do novo conteúdo aos conceitos subsunçores, de maneira não arbitrária e não literal (MOREIRA, 2022, p.146).

Ausubel<sup>6</sup>, busca-se a identificação de subsunçores<sup>7</sup> para o conteúdo, apresentação experimental e posterior avaliação da compreensão dos novos conceitos ofertados.

Figura 5 – fluxograma da execução do plano de aula



Fonte: Autoria própria (2023)

Este fluxograma apresenta, portanto, uma sequência didática. Conforme Zabala (1998, p. 17), uma sequência didática é uma série ordenada e articulada de atividades com o objetivo de promover o ensino e aprendizagem. No caso temos:

1. Mapeamento dos subsunçores pelo professor
2. Apresentação de situação problema – pré-teste

<sup>6</sup> MOREIRA (2022, p. 147-148) apresenta um processo instrucional segundo uma abordagem “ausubeliana” inferindo ao professor o papel de facilitador da aprendizagem significativa e estabelece quatro tarefas fundamentais:

- I. Identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino (conceitos e princípios) e hierarquizá-los;
- II. Identificar quais subsunçores o aluno deveria ter para poder aprender significativamente o conteúdo;
- III. Diagnosticar quais subsunçores o aluno detém;
- IV. Ensinar utilizando recursos e princípios com o objetivo de facilitar a absorção conceitual de maneira significativa. Auxiliar o aluno a assimilar a estrutura do conteúdo e a organizar sua própria estrutura cognitiva.

<sup>7</sup> Termo derivado do inglês “subsumer” e que teria o significado de inseridor, facilitador ou subordinador. O subsunçor teria um papel de âncora para o novo conhecimento na estrutura cognitiva.

3. Apresentação do experimento a ser realizado com indagações sobre o que poderia ser observado
4. Realizar a experiência de forma livre e abrir o espaço para a apresentação das interpretações individuais sobre o que está ocorrendo.
5. Buscar a presença de subsunçores nas respostas intuitivas e fortalecer os não identificados
6. Exposição do tema e dos conceitos envolvidos no experimento
7. Repetição do experimento de forma guiada com indagação quanto aos fatores que precisam ser observados e analisados. Proposição de questões sobre o experimento realizado.
8. Consolidar e registrar os dados coletados. Exercícios de finalização experimental.
9. Apresentação conceitual dos fundamentos do experimento. Exposição de conteúdo para fortalecer subsunçores
10. Avaliação individual
11. Avaliar a qualidade e quantidade de aprendizado
12. Elaboração de conclusões

#### 2.2.1 Mapeamento de subsunçores.

A primeira etapa do plano de aula busca identificar os subsunçores importantes para a incorporação do conhecimento a ser apresentado. Em nossa avaliação inicial os subsunçores importantes para o conteúdo são: volume, massa, peso, densidade, pressão.

É importante entender se os acadêmicos passaram por esses conceitos de forma teórica ou prática previamente à realização deste plano de aula.

#### 2.2.2 Realização de Pré-teste com apresentação de situação problema

O passo seguinte, de interação com os alunos, é a realização de um pré-teste que objetiva identificar conhecimentos prévios e a presença de subsunçores necessários para a aprendizagem significativa.

Nesta etapa é feito um mapeamento para, não sendo identificados os subsunçores necessários, realizar uma nova exposição sobre os conteúdos antes de executar os passos seguintes desta sequência didática.

### 2.2.3 Apresentação da experiência

Num primeiro momento a ideia é apenas apresentar o procedimento que será adotado no desenvolvimento experimental (a submersão de um aparelho celular) para permitir o exercício individual e em grupo sobre quais seriam os objetivos para a coleta de dados. Ou seja, o objetivo é apenas apresentar a ferramenta que será utilizada e perceber a compreensão dos estudantes sobre o que é a variação de pressão (em um processo de *brainstorming*<sup>8</sup>).

Levantar questões como:

- a. O que acontece se mergulharmos a mangueira na coluna de água presente dentro do tubo de PVC?
- b. A água pode exercer alguma força sobre o fluido no interior da mangueira? E sobre o fluido no interior do vidro de conserva?
- c. Se usássemos um líquido diferente no interior da tubulação de PVC poderíamos ter um impacto diferente?

### 2.2.4 Realizar a experiência de forma livre

De forma livre, sem necessidade de registrar resultados, realizar a experiência uma vez e abrir o espaço para a apresentação das interpretações individuais (ou por grupo) sobre o que está ocorrendo, inquirindo sobre o que ocorreria ao mergulhar-se o celular no líquido. Associar ao processo de mergulho e sensação ao afundar em uma piscina.

Levantar questões como:

- a. O que poderia ser medido nesse experimento?
- b. Qual poderia ser o objetivo final da coleta de dados?
- c. Seria possível determinar a densidade do líquido nesse experimento?

---

<sup>8</sup> O *brainstorming* é uma técnica usada para levantar ideias de soluções de problemas ou para desenvolver coisas novas. Trata de criar um volume de sugestões e interpretações sem julgar as ideias inicialmente.

### 2.2.5 Identificar os subsunçores

Analisar as ideias apresentadas para estabelecer um mapeamento dos subsunçores que permitiriam a fixação dos novos conceitos (ver item 2.1). Reforçar aqueles que se apresentarem falhos ou inexistentes.

Pode ser utilizado um questionário como o disponibilizado no Apêndice A para avaliação dos subsunçores. O questionário deve ser respondido individualmente e tem objetivo preparatório para o presente plano de aula.

### 2.2.6 Apresentar conceitos necessários

Distribuir o guia e apresentar os conceitos envolvidos no experimento realizado a partir do mapeamento de conhecimentos subsunçores: massa, peso, volume, a densidade de um material, pressão e Lei de Stevin.

Esta etapa precede a realização da atividade experimental e é fundamental o reforço conceitual de subsunçores que permitam a correta interpretação dos fenômenos estudados na prática a ser desenvolvida.

### 2.2.7 Realizar a experiência de forma guiada

Com a utilização do guia disponibilizado, repetir o experimento com a sequência apropriada e indagando os acadêmicos quanto aos fatores que precisam ser observados e analisados. Neste caso: questionar sobre o que poderia ocorrer sobre o smartphone na imersão ao longo da profundidade aplicada.

### 2.2.8 Consolidar os resultados

Solicitar e verificar o registro dos dados capturados para permitir o avanço do conteúdo. De forma individual ou coletiva os estudantes elaboram as conclusões que se referem às questões e aos problemas propostos no roteiro experimental.

O roteiro traz pequenos exercícios tem o objetivo de auxiliar no processo de memorização dos resultados e conclusões individuais.

### 2.2.9 Concluir a experimentação com o conceito e cálculo de $g$ (gravidade) (ou densidade)

Apresentação conceitual dos fundamentos do experimento. Neste caso, a imersão no líquido que implica em um aumento de massa sobre o celular, resultando em um conseqüente aumento de pressão.

Com esta etapa encerra-se a fase experimental devendo ser entregue pelos acadêmicos o relatório das atividades desenvolvidas (modelo conforme o guia).

### 2.2.10 Avaliação individual

Realizar avaliação individual disponível no guia experimental para identificar a absorção do conhecimento propagado. Este material pode ser entregue em data posterior e deve ser reforçado ao aluno que seja respondido individualmente visto o objetivo de identificação da construção cognitiva particular.

### 2.2.11 Avaliação da qualidade e quantificar o aprendizado

Posteriormente, avaliar a qualidade e quantidade de aprendizado com a correção da avaliação individual dos acadêmicos.

Ou seja, a partir do pré-teste, observação da experimentação livre, realização da experimentação guiada, apresentação do relatório e avaliação individual, o professor registra o resultado da avaliação das aprendizagens realizadas.

### 2.2.12 Concluir o procedimento

Fornecer um encerramento para a turma reforçando os conceitos tratados, principalmente aqueles que se mostraram degradados na avaliação individual.

### 2.2.13 Conclusão final

Para a eficiência do aprendizado significativo é importante a identificação da presença dos subsunçores que serão fundamentais para a fixação dos conceitos novos apresentados aos acadêmicos. Posteriormente, com o fortalecimento dos subsunçores deficitários, apresenta-se os novos conteúdos e, por fim, inquire-se os participantes sobre os conceitos que se busca fixação. Nesta última etapa será possível identificar o nível de compreensão apresentada pelos estudantes.

Espera-se a compreensão do processo de aumento de pressão decorrente do aumento de massa sobre o “celular” devido à ação gravitacional (Peso). Neste sentido, é fundamental a compreensão do conceito de pressão.

### **3 FENÔMENO DE INTERFERÊNCIA SONORA DO BATIMENTO**

Este capítulo apresenta o terceiro experimento de três que constam no Produto Educacional e trata de um plano de aula sobre o fenômeno de interferência sonora conhecido como batimento.

#### **3.1 Introdução**

O plano de aula é um documento elaborado para definir o tema a ser abordado, os objetivos geral e específicos, o que exatamente será ensinado, qual a metodologia a ser empregada e a avaliação utilizada para entender a assimilação do conteúdo ensinado.

##### **3.1.1 Descrição do tema**

O tema deste plano de aula abordará o processo de interferência sonora conhecido como batimento e a apresentação de um experimento que objetiva facilitar a compreensão do processo.

##### **3.1.2 Objetivo Geral**

Nesta atividade o objetivo principal é demonstrar e permitir a compreensão do fenômeno de batimento ocasionado por duas emissões sonoras de frequência próxima.

##### **3.1.3 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos para a construção dos subsunçores que permitam o entendimento do processo adiabático em um gás ideal temos:

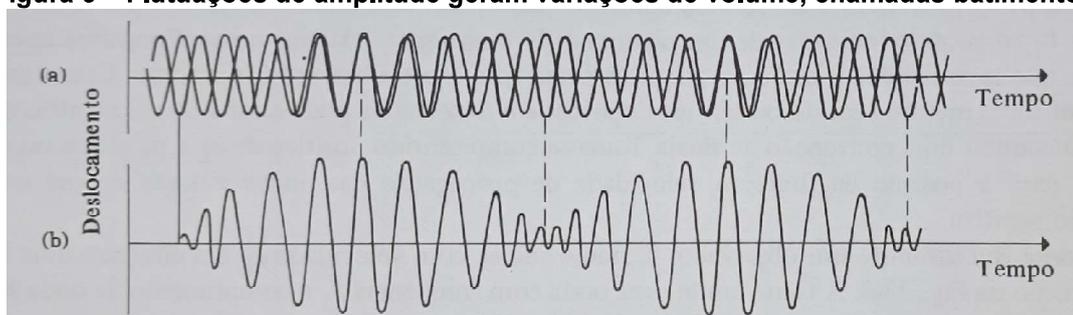
- Entender o que é uma onda sonora.
- Compreender o que é um processo de interferência.
- Realizar experimento que possibilite a observação do fenômeno da interferência.

### 3.1.4 Conteúdo

O fenômeno de interferência sonora conhecido como "batimento" é o resultado da superposição de duas ondas que se propagam numa mesma direção com frequências levemente diferentes, o que resulta em um padrão de intensidade sonora variável no tempo. Esse batimento é perceptível como uma variação repetitiva e perceptível na intensidade do som, ou seja, alterna-se entre momentos fracos (vales da sobreposição das ondas – interferência destrutiva) e momentos fortes (picos da sobreposição das ondas – interferência construtiva).

Consequentemente, como destaca Sears; Zemansky; Young (1984, p. 485), essas “variações de amplitude originam variações de volume, chamadas *batimentos*”.

**Figura 6 – Flutuações de amplitude geram variações de volume, chamadas batimentos.**



**Fonte:** (SEARS; ZEMANSKY; YOUNG, 1984, p. 485)

O referencial teórico para este trabalho pode ser consultado na dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

### 3.1.5 Recursos

Nesta atividade o objetivo principal é demonstrar e permitir a compreensão do fenômeno de batimento ocasionado por duas emissões sonoras de frequência próxima.

Para permitir a experimentação objetivo deste plano de aula serão necessários os seguintes recursos para cada ilha de experimentação:

- 3 Smartphones
- Aplicativo PhyPhox instalado nos 3 smartphones

Com antecedência à exposição e com o material acima, será necessário instalar o aplicativo PhyPhox.

**Fotografia 3 – Instrumental necessário para experimentação do fenômeno do batimento**



Fonte: Autoria própria (2023)

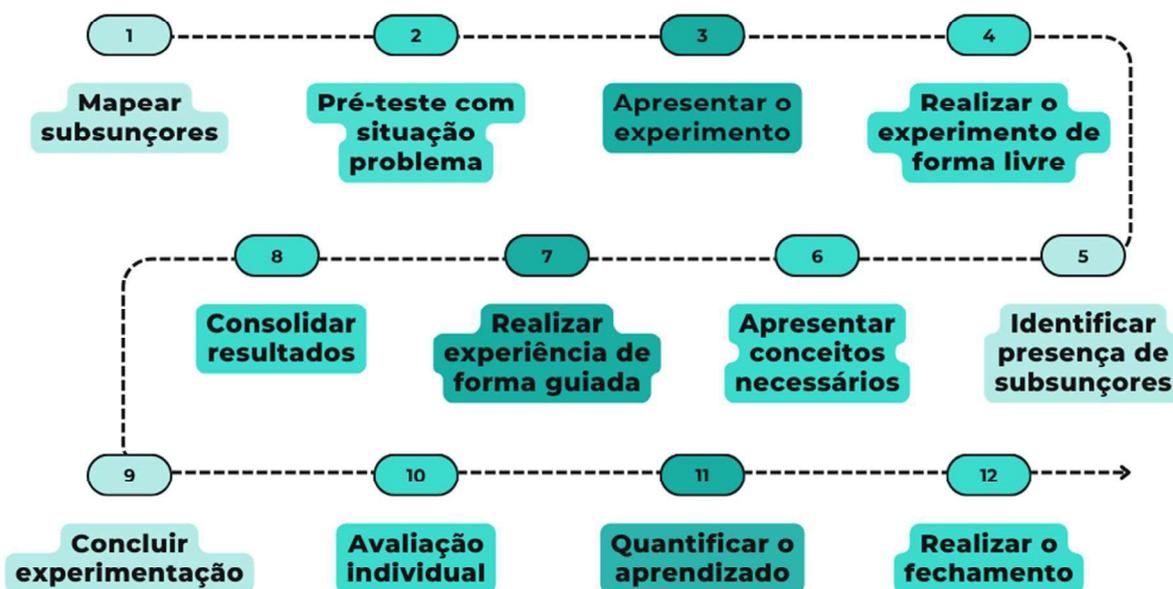
### 3.2 Procedimento Metodológico

Para permitir uma adequada compreensão do experimento a ser realizado foi elaborado o procedimento metodológico conforme passos descritos a seguir nesse plano de aula, onde, considerando o conceito da Aprendizagem Significativa<sup>9</sup> de

<sup>9</sup> Ausubel traz uma diferenciação entre o que chama de aprendizagem mecânica (ou automática) e a aprendizagem significativa. A aprendizagem mecânica seria aquela em que as novas informações são “registradas” sem interação com conceitos subsunçores, ou seja, previamente existentes na estrutura cognitiva. Pode-se, assim, associar o processo como uma memorização ou decora de conteúdo, onde não há a verdadeira compreensão. Por sua vez, a aprendizagem significativa estabelece uma necessidade de ligação, de uma relação, com a estrutura cognitiva do aprendiz. É preciso que exista um potencial significativo na aprendizagem, realizado através do encaixe do novo conteúdo aos conceitos subsunçores, de maneira não arbitrária e não literal (MOREIRA, 2022, p.146).

Ausubel<sup>10</sup>, busca-se a identificação de subsunçores<sup>11</sup> para o conteúdo, apresentação experimental e posterior avaliação da compreensão dos novos conceitos ofertados.

Figura 7 – fluxograma da execução do plano de aula



Fonte: Autoria própria (2023)

Este fluxograma apresenta, portanto, uma sequência didática. Conforme Zabala (1998, p. 17), uma sequência didática é uma série ordenada e articulada de atividades com o objetivo de promover o ensino e aprendizagem. No caso temos:

1. Mapeamento dos subsunçores pelo professor
2. Apresentação de situação problema – pré-teste

<sup>10</sup> MOREIRA (2022, p. 147-148) apresenta um processo instrucional segundo uma abordagem “ausubeliana” inferindo ao professor o papel de facilitador da aprendizagem significativa e estabelece quatro tarefas fundamentais:

- I. Identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino (conceitos e princípios) e hierarquizá-los;
- II. Identificar quais subsunçores o aluno deveria ter para poder aprender significativamente o conteúdo;
- III. Diagnosticar quais subsunçores o aluno detém;
- IV. Ensinar utilizando recursos e princípios com o objetivo de facilitar a absorção conceitual de maneira significativa. Auxiliar o aluno a assimilar a estrutura do conteúdo e a organizar sua própria estrutura cognitiva.

<sup>11</sup> Termo derivado do inglês “subsumer” e que teria o significado de inseridor, facilitador ou subordinador. O subsunçor teria um papel de âncora para o novo conhecimento na estrutura cognitiva.

3. Apresentação do experimento a ser realizado com indagações sobre o que poderia ser observado
4. Realizar a experiência de forma livre e abrir o espaço para a apresentação das interpretações individuais sobre o que está ocorrendo.
5. Buscar a presença de subsunçores nas respostas intuitivas e fortalecer os não identificados
6. Exposição do tema e dos conceitos envolvidos no experimento
7. Repetição do experimento de forma guiada com indagação quanto aos fatores que precisam ser observados e analisados. Proposição de questões sobre o experimento realizado.
8. Consolidar e registrar os dados coletados. Exercícios de finalização experimental.
9. Apresentação conceitual dos fundamentos do experimento. Exposição de conteúdo para fortalecer subsunçores
10. Avaliação individual
11. Avaliar a qualidade e quantidade de aprendizado
12. Elaboração de conclusões

### 3.2.1 Mapeamento de subsunçores.

A primeira etapa do plano de aula busca identificar os subsunçores importantes para a incorporação do conhecimento a ser apresentado. Em nossa avaliação inicial os subsunçores importantes para o conteúdo são: ondas sonoras, propagação de ondas sonoras, período e frequência.

É importante entender se os acadêmicos passaram por esses conceitos de forma teórica ou prática previamente à realização deste plano de aula.

### 3.2.2 Realização de Pré-teste com apresentação de situação problema

O passo seguinte, de interação com os alunos, é a realização de um pré-teste que objetiva identificar conhecimentos prévios e a presença de subsunçores necessários para a aprendizagem significativa.

Nesta etapa é feito um mapeamento para, não sendo identificados os subsunçores necessários, realizar uma nova exposição sobre os conteúdos antes de executar os passos seguintes desta sequência didática.

### 3.2.3 Apresentação da experiência

Num primeiro momento a ideia é apenas apresentar o procedimento que será adotado no desenvolvimento experimental (o fenômeno de interferência do batimento) para permitir o exercício individual e em grupo sobre quais seriam os objetivos para a coleta de dados. Ou seja, o objetivo é apenas apresentar a ferramenta que será utilizada e perceber a compreensão dos estudantes sobre o que é uma onda sonora (em um processo de *brainstorming*<sup>12</sup>).

Levantar questões como:

- a. O que acontece se temos dois emissores de sons num mesmo ambiente?
- b. Como acontece a propagação do som? Ela ocorre no vácuo?
- c. Uma onda sonora pode interferir na propagação de outra? Como pode o som se propagar num mesmo material?

### 3.2.4 Realizar a experiência de forma livre

De forma livre, sem necessidade de registrar resultados, realizar a experiência uma vez e abrir o espaço para a apresentação das interpretações individuais (ou por grupo) sobre o que está ocorrendo, inquirindo sobre o tipo de interferência que ocorre entre os sons emitidos, como a frequência pode afetar a intensidade sonora.

Levantar questões como:

- a. O que poderia ser medido nesse experimento?
- b. Que tipo de impacto pode ser sentido na emissão simultânea de sons através de dois aparelhos?
- c. Seria possível determinar uma relação entre as frequências sonoras?

---

<sup>12</sup> O *brainstorming* é uma técnica usada para levantar ideias de soluções de problemas ou para desenvolver coisas novas. Trata de criar um volume de sugestões e interpretações sem julgar as ideias inicialmente.

### 3.2.5 Identificar os subsunçores

Analisar as ideias apresentadas para estabelecer um mapeamento dos subsunçores que permitiriam a fixação dos novos conceitos (ver item 2.1). Reforçar aqueles que se apresentarem falhos ou inexistentes.

Pode ser utilizado um questionário como o disponibilizado no Apêndice A para avaliação dos subsunçores. O questionário deve ser respondido individualmente e tem objetivo preparatório para o presente plano de aula.

### 3.2.6 Apresentar conceitos necessários

Nesta etapa, foi distribuído o guia e apresentados os conceitos envolvidos no experimento e descritos no material: o que é interferência sonora construtiva e destrutiva, frequência, período, picos e vales de ondas.

Esta etapa naturalmente antecedeu a realização da atividade experimental e é fundamental o reforço conceitual de subsunçores que permitam a correta interpretação dos fenômenos estudados na prática desenvolvida.

### 3.2.7 Realizar a experiência de forma guiada

Com a utilização do guia disponibilizado, repetir o experimento com a sequência apropriada e indagando os acadêmicos quanto aos fatores que precisam ser observados e analisados. Neste caso: questionar sobre como poderiam ocorrer interações entre as ondas sonoras ao propagarem-se por um mesmo material e reforçar o conceito de como ocorre a propagação do som.

### 3.2.8 Consolidar os resultados

Solicitar e verificar o registro dos dados capturados para permitir o avanço do conteúdo. De forma individual ou coletiva os estudantes elaboram as conclusões que se referem às questões e aos problemas propostos no roteiro experimental.

O roteiro traz pequenos exercícios tem o objetivo de auxiliar no processo de memorização dos resultados e conclusões individuais.

### 3.2.9 Concluir a experimentação com o conceito de batimento

Com a apresentação dos resultados obtidos o professor deve estabelecer as leis, os modelos e os princípios que são deduzidos com o trabalho apresentado, ou seja, ocorre a apresentação conceitual dos fundamentos do experimento. Neste caso, a interferência destrutiva e construtiva das ondas.

Nesta etapa encerra-se a fase experimental devendo ser entregue pelos acadêmicos o relatório das atividades desenvolvidas (modelo conforme o guia).

### 3.2.10 Avaliação individual

Realizar avaliação individual disponível no guia experimental para identificar a absorção do conhecimento propagado. Este material pode ser entregue em data posterior e deve ser reforçado ao aluno que seja respondido individualmente visto o objetivo de identificação da construção cognitiva particular.

### 3.2.11 Avaliação da qualidade e quantificar o aprendizado

Posteriormente, avaliar a qualidade e quantidade de aprendizado com a correção da avaliação individual dos acadêmicos.

Ou seja, a partir do pré-teste, observação da experimentação livre, realização da experimentação guiada, apresentação do relatório e avaliação individual, o professor registra o resultado da avaliação das aprendizagens realizadas.

### 3.2.12 Concluir o procedimento

Fornecer um encerramento para a turma reforçando os conceitos tratados é fundamental. Principalmente aqueles conceitos que se mostraram degradados na avaliação individual.

### 3.2.13 Conclusão final

Para a eficiência do aprendizado significativo é importante a identificação da presença dos subsunçores que serão fundamentais para a fixação dos conceitos novos apresentados aos acadêmicos. Posteriormente, com o fortalecimento dos subsunçores deficitários, apresenta-se os novos conteúdos e, por fim, inquire-se os

participantes sobre os conceitos que se busca fixação. Nesta última etapa será possível identificar o nível de compreensão apresentada pelos estudantes.

Espera-se a compreensão do processo de interferência sonora, construtiva e destrutiva, além de uma melhor compreensão do que são ondas mecânicas. Neste sentido, é fundamental a compreensão do conceito de frequência e período.

## REFERÊNCIAS

Moreira, M. A. (2022). *Teorias de aprendizagem* (3rd ed.). LTC.

Nussenzveig, H. M. (2002). *Curso de física básica: fluidos, oscilações e ondas, calor* (4th ed., Vol. 2). Editora Edgard Blucher LTDA.

SEARS, F., ZEMANSKY, M. W., & YOUNG, H. D. (1984). Física 2: mecânica dos fluidos, calor e movimento ondulatório. In *Rio de Janeiro: Editora LCT* (2nd ed., Vol. 2). LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

SERWAY, R., JÚNIOR, J., & de Física Volume, J. P. (2014). *2: oscilações, ondas e termodinâmica*. São Paulo: Cengage Learning.

TIPLER, P. A. (2000). Física: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica. In *Rio de Janeiro: LTC* (4th ed., Vol. 1).

Zabala, A. (1998). *A prática educativa: como ensinar*. ArtMed.

[https://books.google.com.br/books?hl=pt-](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ypR9CAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT157&dq=a+pratica+educativa+antonio+zabala&ots=xxCr5CSkYJ&sig=zsvhVHGSDG-xEtpiNGbeZarB9AA)

[BR&lr=&id=ypR9CAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT157&dq=a+pratica+educativa+antonio+zabala&ots=xxCr5CSkYJ&sig=zsvhVHGSDG-xEtpiNGbeZarB9AA](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ypR9CAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT157&dq=a+pratica+educativa+antonio+zabala&ots=xxCr5CSkYJ&sig=zsvhVHGSDG-xEtpiNGbeZarB9AA)

## **APÊNDICE A - Pré-teste – Pêndulo Simples**

## Pré-teste de subsunçores – Pêndulo Simples

### SITUAÇÃO PROBLEMA

1. Imagine que você está em uma missão espacial em um planeta desconhecido. Você só possui um pêndulo simples com você para medir a gravidade local desse planeta. Quando você o pendura e o observa, você percebe que ele oscila de forma diferente do que você está acostumado na Terra. Agora, sua tarefa é determinar a aceleração de gravidade local desse planeta usando o pêndulo simples que você trouxe. Como você faria isso?

---

---

---

---

---

### QUESTIONÁRIO

2. O que você entende por equilíbrio de um corpo (posição de equilíbrio)?

---

---

---

---

3. O que é inércia?

---

---

---

---

4. O que pode quebrar a inércia de um corpo?

---

---

---

---

5. O que é força?

---

---

---

---

6. O que é gravidade?

---

---

---

---

Nome: \_\_\_\_\_

Email: \_\_\_\_\_

## **APÊNDICE B - Guia para experimentação – Pêndulo Simples**

## GUIA PARA EXPERIMENTAÇÃO

### Determinação da gravidade através de um movimento pendular

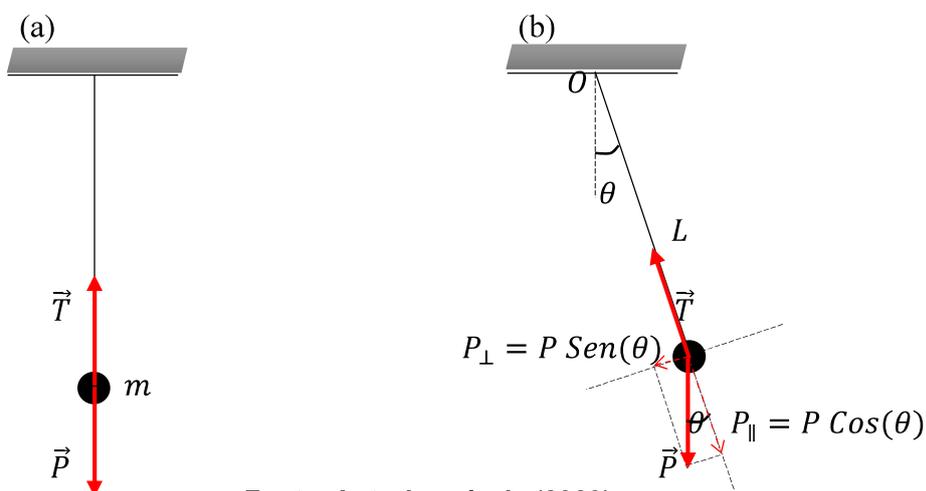
Nome: \_\_\_\_\_

Um pêndulo é um sistema que “consiste num pequeno corpo suspenso de um ponto fixo por um fio inextensível e sem peso” (SEARS; ZEMANSKY; YOUNG, 1984, p.281). Se deslocado de sua posição de equilíbrio e solto, inicia um movimento oscilatório sujeito à força restauradora causada pela gravidade.

Existem inúmeros pêndulos estudados e descritos no meio científico, já que se caracteriza como um objeto de fácil previsão de movimentos e que possibilitou uma série de avanços tecnológicos. Alguns exemplos de pêndulos são os físicos, cônicos, duplos, espirais, invertidos, de torção, de Foucault e de Karter.

Como apresentado inicialmente, a formatação mais comum é o pêndulo simples, um sistema mecânico ideal constituído de um corpo de massa  $m$  suspensa por um fio (de massa desprezível e inextensível) de comprimento  $L$ , conforme representação na figura abaixo.

**Figura 8 – Diagrama com a representação da força peso e tração atuando sobre a partícula de massa  $m$ .**



Fonte: Autoria própria (2023)

Após retirado de sua posição de equilíbrio, o corpo de massa  $m$  move-se sobre um semicírculo de raio  $L$  sob a ação do peso e tração. Na Figura 8 (a), onde o pêndulo é representado em repouso, as duas forças que atuam sobre a partícula se equilibram. Na Figura 8 (b) é representado o pêndulo deslocado de sua posição de

equilíbrio, de forma que a direção do fio monte um ângulo  $\theta$  com a vertical e a componente do peso perpendicular ao fio tende a restaurar o equilíbrio, trazendo oscilação ao pêndulo.

Ao analisar o esquema, é possível observar que a componente paralela do fio é anulada pela tração e, portanto, a força resultante que atua sobre o corpo de massa  $m$  é igual à componente perpendicular da força gravitacional.

Ou seja,  $F_r = P_{perpendicular} = P_{\perp}$ , portanto:

$$F_r = m g \text{ Sen}(\theta) \quad (1)$$

O ângulo  $\theta$  é dado em radianos. Para pequenas oscilações de  $\theta$  em relação à posição de equilíbrio  $\text{sen}\theta \ll 1 \rightarrow \text{Sen}(\theta) \approx \theta$ , conforme Tabela 1.

**Tabela 1 – Desvio percentual entre o Ângulo e o Seno respectivo**

Ângulo		Seno	Desvio percentual entre o Ângulo e o Seno
Graus	Radianos		%
1	0,017	0,017	0,0
5	0,087	0,087	0,1
10	0,175	0,174	0,5
15	0,262	0,259	1,2
25	0,436	0,423	3,2
35	0,611	0,574	6,5

**Fonte: A autoria própria (2023)**

Então, a  $F_{restauradora}$  pode ser reescrita como:

$$F_{restauradora} = - m g \theta = - m g \frac{x}{L} \quad (2)$$

ou

$$F_{restauradora} = - x \frac{m g}{L} \quad (3)$$

Portanto, força restauradora é proporcional à coordenada apenas para pequenos deslocamentos e a expressão  $\frac{m \cdot g}{L}$  é uma constante de força  $k$ .

Complementarmente, temos que

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (4)$$

é a frequência angular do sistema. Os parâmetros  $g$  e  $L$  definem a frequência natural  $\omega_0$  de oscilação do sistema.

O período do movimento oscilatório é dado por:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad (5)$$

Ao substituir a equação (4) na equação (5) encontramos:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (6)$$

Onde:

$T$  – período do movimento

$L$  – comprimento do pêndulo

$g$  – gravidade

Essa equação (6) descreve a Relação entre a aceleração gravitacional  $g$ , o comprimento  $L$  do fio e o período  $T$  de oscilação.

Nessa definição é possível observar que o período de oscilação não depende da massa do corpo. E existe uma proporcionalidade entre o comprimento do pêndulo e o período do movimento: quanto maior o comprimento, maior o período e, portanto, mais lenta a oscilação.

Como destaca SERWAY; JÚNIOR (2014), visto que temos uma independência entre período e massa é possível concluir e observar experimentalmente que pêndulos simples que estejam numa mesma posição (para estarem sujeitos a uma mesma gravidade) e tenham um mesmo comprimento, oscilam com o mesmo período.

Vale observar que o pêndulo simples executa um movimento harmônico simples, além de poder ser utilizado para a determinação da aceleração gravitacional local.

### **Preparação para coleta de dados.**

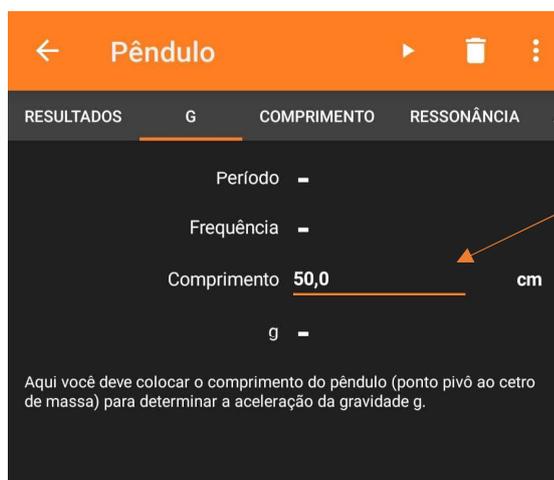
Iniciar o PhyPhox no celular.



Abrir o experimento Pêndulo conforme tela abaixo:



Selecionar a opção G, informe o comprimento do pêndulo e prepare a coleta dos dados:



### Procedimento experimental.

1. Introduzir o celular no rolo de papel higiênico em posição que permita o equilíbrio do aparelho na horizontal.
2. Iniciar a coleta de dados no aplicativo.
3. Aplicar um deslocamento do celular de no máximo  $10^\circ$  para reduzir o erro possível decorrente da estrutura pendular.
4. Com o auxílio de aplicativo PhyPhox, medir o período e a frequência do movimento.
5. Observar o cálculo da aceleração da gravidade local.

6. Cessar o movimento.
7. Interromper a coleta de dados no aplicativo PhyPhox.

### Questões

**Questão 1.** Apresente os valores iniciais abaixo relacionados

Determinar o comprimento do pêndulo (m): \_\_\_\_\_

**Questão 2.** Registre os valores de comprimento, período, frequência e gravidade para cada um dos ângulos relacionadas na tabela abaixo.

Medida	ângulo	comprimento	Período	Frequência	Gravidade
1	5°				
2	10°				
3	15°				

**Questão 3.** O que é possível concluir ao observar as medidas obtidas ao longo do movimento quando o corpo (celular) aumentava o ângulo de oscilação?

---

---

---

**Questão 4.** Existe uma aparente padronização de g nas diversas mensurações realizadas?

---

---

---

### Avaliação individual

1. Imagine que você está em uma missão espacial em um planeta desconhecido. Você só possui um pêndulo simples com você para medir a gravidade local desse planeta. Quando você o pendura e o observa, você percebe que ele oscila de forma diferente do que você está acostumado na Terra. Agora, sua tarefa é determinar a aceleração de gravidade local desse planeta usando o pêndulo simples que você trouxe. Como você faria isso?

---

---

---

---

2. O que é gravidade? E qual a relação da gravidade com o movimento oscilatório do pêndulo?

---

---

---

---

3. Foi possível determinar a gravidade local com o movimento pendular? O cálculo teórico foi condizente com o dado capturado pelo aplicativo PhyPhox?

---

---

---

---

4. Se alterássemos a massa do celular existiria variação no tempo de movimento do pêndulo (período)? Por quê?

---

---

---

---

---

**APÊNDICE C - Pré-teste – Lei de Stevin**

**Pré-teste de subsunçores – Lei de Stevin****SITUAÇÃO PROBLEMA**

1. Imagine que você e seus colegas são jovens cientistas marinhos embarcando em uma emocionante jornada de exploração submarina. Vocês estão em uma missão para compreender como a pressão muda à medida que mergulham mais fundo nas profundezas do oceano. Seu objetivo é coletar dados e fazer descobertas incríveis sobre as variações na pressão em diferentes profundidades.

Como você acha que a pressão pode mudar à medida que você desce mais fundo no oceano?

---

---

---

---

---

2. O que você entende por pressão?

---

---

---

---

3. Que fatores você acredita que influenciam a pressão em um líquido, como a água do mar?

---

---

---

---

---

4. O que ocorre ao mergulharmos em uma piscina? Qual a sensação que você experimenta ao mergulhar até o fundo da piscina?

---

---

---

---

---

5. Qual a diferença entre massa e peso de um material?

---

---

---

---

---

6. O que é densidade?

---

---

---

---

7. Considerando a Lei de Stevin, o que acontece com a pressão nos movimentos horizontais dentro de um mesmo fluido?

---

---

---

---

Nome: \_\_\_\_\_

Email: \_\_\_\_\_

## **APÊNDICE D - Guia para experimentação – Lei de Stevin**

## GUIA PARA EXPERIMENTAÇÃO

### Um estudo sobre a Lei de Stevin

Nome: \_\_\_\_\_

Fluido é toda substância que pode escoar e, por isso, compreendem os líquidos e os gases. Conforme Tipler (2000, p.349), os líquidos escoam sob a ação da gravidade e ocupam as regiões mais baixas possíveis dos vasos que os contém, enquanto os gases se expandem até ocuparem todo o volume do vaso, independente da sua forma.

Sears; Zemansky; Young (1984, p.289) complementam que líquidos e gases diferem notavelmente em suas compressibilidades, sendo um gás facilmente comprimido e um líquido é praticamente incompressível.

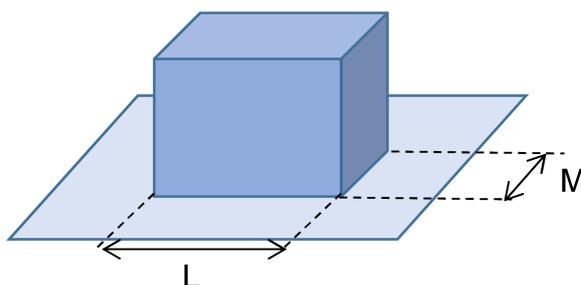
Nussenzveig (2002, p. 1) destaca que *“a diferença fundamental entre sólidos e fluidos está na forma de responder às tensões tangenciais. Um sólido submetido a uma força externa tangencial a sua superfície deforma-se até que sejam produzidas tensões tangenciais internas que equilibrem a força externa: depois, permanecem em equilíbrio”*.

Densidade ( $\rho$ ) é definida como uma relação entre massa e o volume ocupado por um material. Vale observar que densidade dependente da temperatura e de forças de compressão exercidas sobre a matéria.

Aqui surge a necessidade da definição de pressão.

Se imaginarmos um objeto que esteja apoiado sobre uma superfície plana e horizontal, a força que o objeto exerce sobre a superfície é igual ao peso do objeto ( $P=m.g$ ), onde  $m$  é a massa do objeto e  $g$  é a aceleração da gravidade.

Suponha que a superfície seja retangular com dimensões  $L$  e  $M$ , como mostrado na figura abaixo:



A força exercida pelo objeto sobre a superfície é  $F = P = m \cdot g$ . Devido à simetria do objeto e da superfície, podemos supor que a força é distribuída uniformemente sobre a superfície. Nesse caso, a pressão em qualquer ponto da superfície é dada por:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{P}{A} = \frac{m \cdot g}{L \cdot M} \quad (7)$$

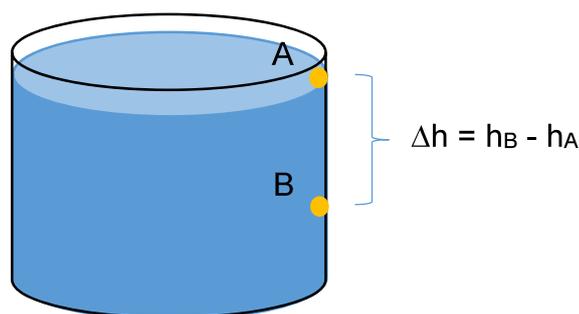
Quando um corpo está imerso num fluido, recebe uma força perpendicular à superfície em todo ponto de contato (força do fluido por unidade de área da superfície do corpo imerso). Pode ser estudada pontualmente, como a relação entre a força normal  $F$ , exercida sobre uma área  $A$ :

$$p = \frac{F}{A} \quad (8)$$

Rearranjando os termos da equação:

$$F = p \cdot A \quad (9)$$

Para determinar a relação geral entre pressão num ponto qualquer de um fluido e a variação de altura ou profundidade desse ponto é preciso relacionar a variação da força peso exercida pelo fluido sobre o referido ponto, ou seja, relacionar o volume do líquido que passa a acrescentar força peso. A força exercida sobre esse elemento pelo fluido que o envolve é normal à superfície em qualquer parte.



A força exercida sobre o ponto B é maior que a força exercida sobre o ponto A (na superfície do fluido), já que o ponto B possui um acréscimo de força causado pelo peso do fluido sobre esse ponto, que pode ser representado por  $P$ , força decorrente da variação do peso do fluido

$$P = m \cdot g \quad (10)$$

Onde a variação da massa do fluido pode ser calculada com base na densidade e volume, ou seja,

$$P = \rho V g \quad (11)$$

Se a variação de volume decorre da relação  $V = A h$  (área da base x altura), tem-se:

$$P = \rho A h g \quad (12)$$

Ou seja, substituindo (9),

$$p A = \rho A h g \quad (13)$$

Simplificando A (área):

$$p = \rho h g \quad (14)$$

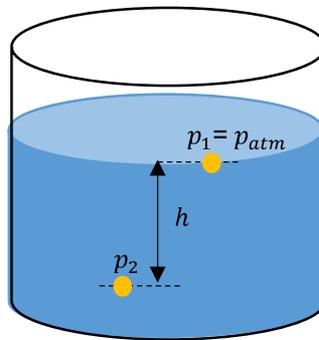
Como  $\rho$  e  $g$  são quantidades positivas, o aumento de profundidade ( $h$  positivo) implica em aumento de pressão ( $p$  positivo).

Então, a variação da pressão sobre um corpo imerso pode ser apresentada como

$$\Delta p = \rho \Delta h g \quad (15)$$

Ou seja,

$$p_2 - p_1 = -\rho g (h_2 - h_1) \quad (16)$$



Se essa equação for aplicada em um recipiente aberto, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, tem-se:

$$p_2 - p_1 = -\rho g (h_2 - h_1) \quad (17)$$

De onde:

$$p_2 = p_1 + \rho g (h_2 - h_1) \quad (18)$$

Ou seja,

$$p_2 = p_1 + \rho g \Delta h \quad (19)$$

Onde:

$\Delta h$  – variação da profundidade

$p_1$  – pressão atmosférica

$p_2$  – pressão final

$g$  – gravidade

$\rho$  – densidade

Com a definição acima é possível perceber que a pressão em um fluido depende exclusivamente da altura (ou profundidade) em que se está imerso em um líquido. Essa é a Lei de Stevin. Com esta lei estabelecida chegamos à conclusão de que corpos a uma mesma profundidade estão sujeitos à mesma pressão e o movimento horizontal não altera essa medida.

### Preparação para coleta de dados.

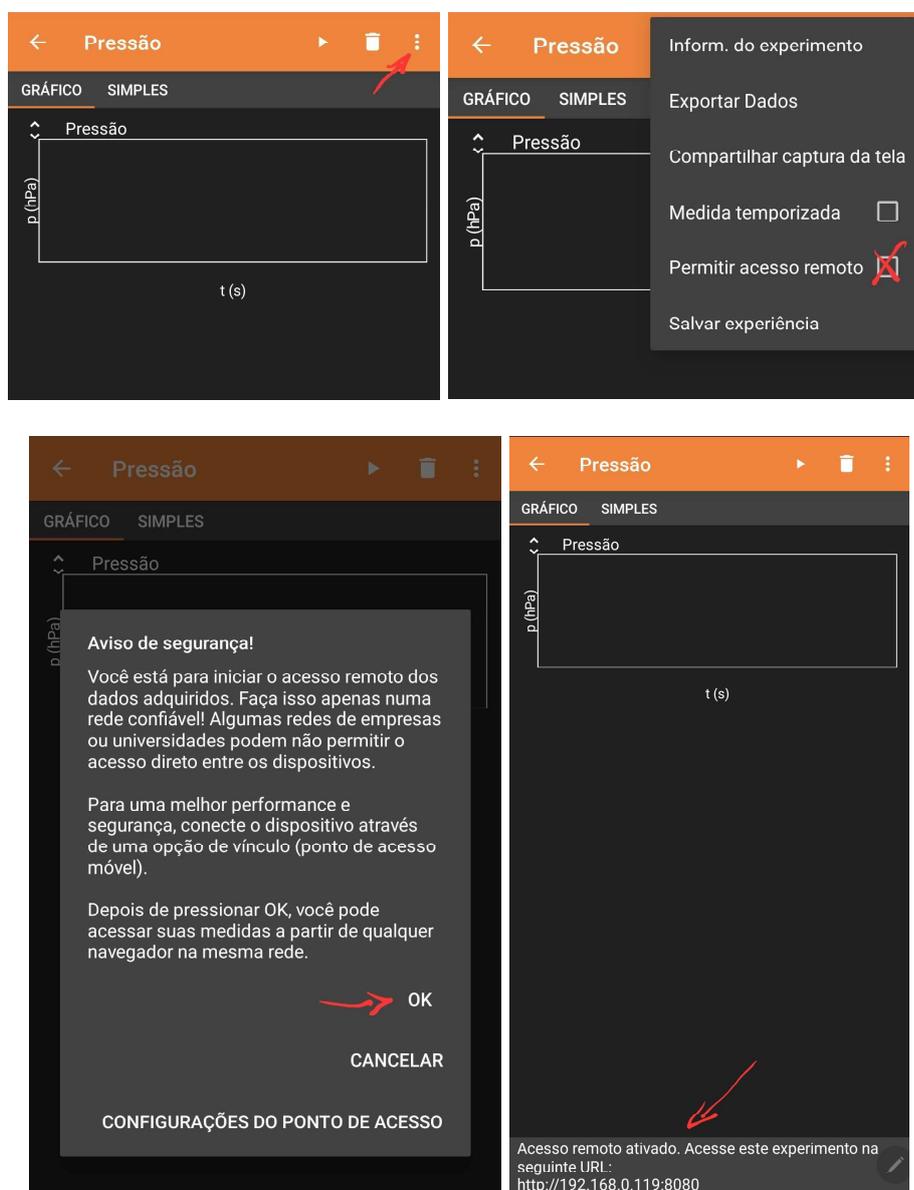
Iniciar o PhyPhox no celular que possua sensor de pressão.



Abrir o experimento Pressão conforme tela abaixo:



Compartilhar dados com o notebook para iniciar, interromper e visualizar a coleta dos dados:



Agora basta acessar o endereço apresentado no aplicativo em um *browser* no computador/notebook.

### Procedimento experimental.

1. Encher a estrutura de PVC com água.
2. Introduzir o smartphone no vidro de conserva e fechar a tampa de forma a manter a pressão interna.
3. Iniciar a coleta de dados através do computador/notebook.
4. Com o auxílio de aplicativo Phythox, medir a pressão atmosférica local.
5. Manter ativa a coleta de dados através do computador/notebook.
6. Com a ajuda de uma haste ou cabo de vassoura mergulhar a ponta aberta da tubulação até a profundidade indicada na tabela da questão 2. A imersão deve

- ser relativamente rápida, seguida de um movimento horizontal e com a imersão em seguida (movimentos de 1s, por exemplo, totalizando 3s no total).
7. Repetir a operação anterior tantas vezes quantas forem necessárias para preencher os dados na tabela da questão 2.
  8. Interromper a coleta de dados através do computador/notebook.
  9. Retirar o smartphone do vidro de conserva.
  10. Após a coleta, exportar os dados para Excel, identificar os valores de pressão para cada variação de profundidade.

**Dica:** aproveitar o excel para fazer os cálculos exigidos nessa experimentação.

### Questões

**Questão 1.** Medir a pressão atmosférica local com o uso do smartphone

Pressão atmosférica local ( $p_{atm}$ ): \_\_\_\_\_

**Questão 2.** Registre os valores de pressão para cada uma das profundidades relacionadas na tabela abaixo.

Medida	Compr	Pressão atmosférica	Pressão na imersão
1	50 cm		
2	50 cm		
3	50 cm		
4	100 cm		
5	100 cm		
6	100 cm		

**Questão 3.** Observando os dados coletados, na movimentação horizontal foi percebida variação de pressão (Lei de Stevin)?

---



---



---

**Questão 4.** O que é possível concluir ao observar os dados coletados a medida que a tubulação afundava?

---



---



---

**Questão 5.** Com os dados capturados e registrados nas tabelas anteriores, calcular a densidade do líquido ( $\rho$ ) utilizando a equação (II).

Medida	Profundidade	Var. media Pressão	gravidade	$\rho$
1	50 cm			
2	100 cm			
Média				

**Questão 6.** Existe um aparente padrão de  $\rho$  nas diversas mensurações realizadas?

---



---



---

### Avaliação individual

- Imagine que você e seus colegas são jovens cientistas marinhos embarcando em uma emocionante jornada de exploração submarina. Vocês estão em uma missão para compreender como a pressão muda à medida que mergulham mais fundo nas profundezas do oceano. Seu objetivo é coletar dados e fazer descobertas incríveis sobre as variações na pressão em diferentes profundidades.

Como você acha que a pressão pode mudar à medida que você desce mais fundo no oceano?

---



---



---



---

- O que é pressão?

---



---

---

---

3. Qual a relação da pressão com a sensação sentida nos ouvidos ao mergulhar em uma piscina?

---

---

---

---

4. Foi possível concluir que o processo de imersão experimentado demonstra o aumento da pressão causada pelo líquido? Por quê?

---

---

---

---

5. Se o líquido for substituído por outro mais denso, por exemplo misturando-se sal na água, qual seria a consequência sobre a pressão medida experimentalmente? Por quê?

---

---

---

---

6. Considerando a Lei de Stevin, o que acontece com a pressão nos movimentos horizontais dentro de um mesmo fluido?

---

---

---

---

---

**APÊNDICE E - Pré-teste – Observação do fenômeno de interferência sonora do batimento**

**Pré-teste de subsunçores – Observação do fenômeno de interferência sonora do batimento**

**SITUAÇÃO PROBLEMA**

1. Imagine que um grupo de alunos está participando de um evento de música ao ar livre em um parque. Durante o concerto, eles percebem algo estranho: uma orquestra está tocando música, mas de repente, a música começa a parecer "irregular" e "pulsante". As pessoas na plateia estão confusas e intrigadas com esse fenômeno sonoro inesperado. O que pode estar causando essa "irregularidade pulsante"?

---

---

---

---

---

**QUESTIONÁRIO**

2. O que são ondas sonoras?

---

---

---

---

---

3. O que é período?

---

---

---

---

4. O que é frequência?

---

---

---

---

5. Vamos supor um estudante tocando um violão em uma sala. O que acontece se um segundo estudante passar a tocar um violão emitindo as mesmas notas musicais nessa mesma sala? Como será a percepção dos sons?

---

---

---

---

6. O que é interferência sonora?

---

---

---

---

Nome: \_\_\_\_\_

Email: \_\_\_\_\_

**APÊNDICE F - Guia para experimentação – Observação do fenômeno de interferência sonora do batimento**

## GUIA PARA EXPERIMENTAÇÃO

### Observação do fenômeno de interferência sonora do batimento

Nome: \_\_\_\_\_

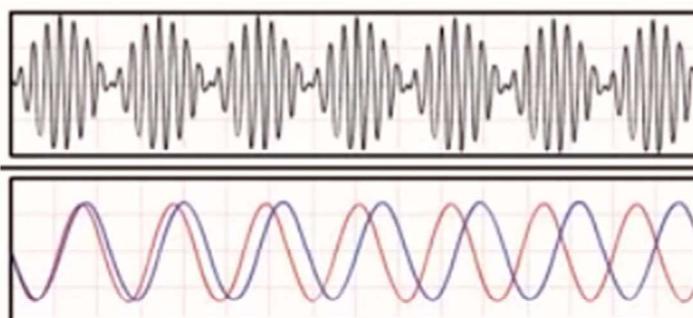
O fenômeno de interferência sonora conhecido como "batimento" ocorre quando duas ondas sonoras de frequências ligeiramente diferentes se superpõem, resultando em um padrão de intensidade sonora variável no tempo. Esse efeito é perceptível como uma variação regular e audível na intensidade do som, alternando entre momentos mais fortes (picos) e momentos mais fracos (vales).

Vamos considerar duas ondas sonoras, A e B, com frequências  $f_A$  e  $f_B$ , respectivamente. A diferença de frequência entre essas duas ondas, chamada de frequência de batimento ( $f_{\text{batimento}}$ ), é dada por:

$$f_{\text{batimento}} = |f_A - f_B|$$

Agora, vamos analisar a interferência dessas duas ondas. Quando as duas ondas se superpõem, as compressões (picos de pressão) e rarefações (vales de pressão) se combinam. Se as duas ondas estiverem em fase (ou seja, seus picos coincidirem com picos e vales com vales), haverá reforço construtivo e a amplitude resultante será maior. Por outro lado, se as ondas estiverem fora de fase, ocorrerá interferência destrutiva, resultando em uma amplitude resultante menor.

O batimento acontece devido à interferência construtiva e destrutiva que ocorre periodicamente à medida que as duas ondas se aproximam e se afastam em fase. A variação na intensidade sonora que percebemos é causada por essas flutuações na amplitude resultante da superposição das duas ondas (veja imagem abaixo).



*Figura 1. O quadro superior apresenta a soma das duas ondas apresentadas no quadro inferior. Existe uma interferência construtiva quando os picos coincidem e destrutiva quando do encontro de pico de uma onda e vale da outra.*

Em resumo, o batimento sonoro é um fenômeno de interferência entre duas ondas sonoras de frequências ligeiramente diferentes, que resulta em variações periódicas na intensidade sonora. Esse fenômeno pode ser explicado teoricamente considerando a superposição das ondas e as flutuações na amplitude resultante devido à interferência construtiva e destrutiva.

### Preparação para coleta de dados.

Iniciar o PhyPhox no celular.



Em um celular abrir o experimento Osciloscópio de som conforme tela abaixo:

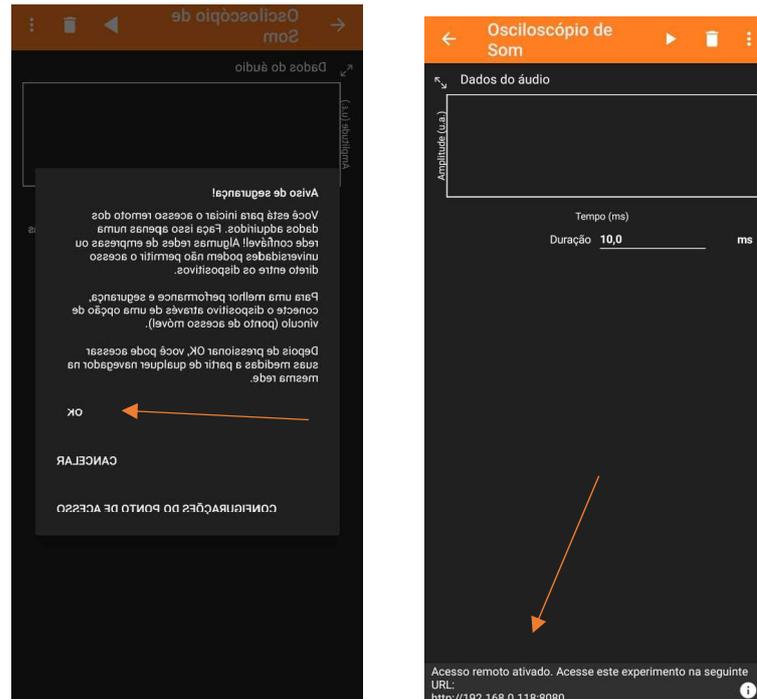


Em outros dois celulares, abrir o experimento Gerador de tom



Compartilhar dados com o notebook para iniciar, interromper e visualizar a coleta dos dados do celular com o experimento Osciloscópio aberto.:





Agora basta acessar o endereço apresentado no aplicativo em um *browser* no computador/*notebook*.

### Procedimento experimental.

1. Buscar um local com o menor ruído possível no ambiente.
2. Em um dos celulares que estão com o aplicativo PhyPhox aberto no experimento “Gerador de tom” aberto, iniciar a emissão do som com frequência de 440Hz.
3. Com o celular que está com o aplicativo PhyPhox aberto no experimento “Osciloscópio de som”, iniciar a coleta de dados e observar o gráfico dos dados de áudio e responder a questão 01.
4. Se possível, conectar o celular com o Osciloscópio de som à um notebook e observar os dados coletados pelo aplicativo.
5. Parar a coleta de dados no celular com o Osciloscópio ativo.
6. No segundo celular que está com o aplicativo PhyPhox aberto no experimento “Gerador de tom” aberto, iniciar a emissão do som com frequência de 442Hz.
7. Com o celular que está com o experimento “Osciloscópio de som”, iniciar a coleta de dados e observar o gráfico dos dados de áudio e responder as questões 02, 03 e 04.
8. Interromper a emissão nos “Geradores de tom” e interromper a coleta de dados pelo “Osciloscópio de som”.

**Dica:** Caso seja necessário, cobrir os celulares com uma caixa de papelão para evitar a poluição sonora causada pela absorção de ruídos externos indesejados.

## Questões

**Questão 1.** É possível observar algum padrão de onda nos dados coletados no aplicativo que apenas um celular emitia a frequência de 440Hz?

---

---

---

---

**Questão 2.** O que aconteceu com o padrão estático após acrescentar a segunda onda emitida com o gerador de tom e de frequência de 442Hz?

---

---

---

---

---

**Questão 3.** Qual o fenômeno sonoro que causa o “batimento” observado no celular com o experimento “Osciloscópio de som”? Como é gerada a oscilação sonora observada?

---

---

---

---

---

**Questão 4.** Com base no que foi estudado, você entende ser importante a afinação de instrumentos em uma orquestra? Um instrumento desafinado pode prejudicar uma apresentação? Por quê?

---

---

---

---

---

**Avaliação individual**

1. Imagine que um grupo de alunos está participando de um evento de música ao ar livre em um parque. Durante o concerto, eles percebem algo estranho: uma orquestra está tocando música, mas de repente, a música começa a parecer "irregular" e "pulsante". As pessoas na plateia estão confusas e intrigadas com esse fenômeno sonoro inesperado. O que pode estar causando essa "irregularidade pulsante"?

---

---

---

2. O que são ondas sonoras?

---

---

3. O que é período?

---

---

4. O que é frequência?

---

---

5. Vamos supor um estudante tocando um violão em uma sala. O que acontece se um segundo estudante passar a tocar um violão emitindo as mesmas notas musicais nessa mesma sala? Como será a percepção dos sons?

---

---

---

---

6. O que é interferência sonora?

---

---

---

---

---