

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JUAN CARLO SABBI

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

MEDIANEIRA

2024

JUAN CARLO SABBI

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

**MEANINGFUL LEARNING BY AUSUBEL AND THE PHYPHOX APP IN PHYSICS
EDUCATION**

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).

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

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

MEDIANEIRA

2024



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.

Dedico este trabalho à minha família, cujo amor e incentivo foram a base sólida que sustentou cada passo desta jornada. Aos meus professores e orientadores, expresso minha gratidão pelos ensinamentos preciosos e orientações cruciais. Esta dissertação é dedicada a todos que, de alguma forma, tornaram possível alcançar este marco em minha vida acadêmica. Obrigado por fazerem parte desta conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Ensino de Física do polo UTFPR - Campus Medianeira. Complementarmente, destaco um agradecimento indispensável à dois ilustres professores: ao orientador, Professor Dr. Leandro Herculano da Silva, pela sua orientação dedicada, sabedoria acadêmica e constante encorajamento ao longo desta jornada; à coorientadora, Professora Dra. Shiderlene Vieira de Almeida, expresse minha gratidão pela sua colaboração valiosa e *insights* enriquecedores que contribuíram significativamente para o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), agradeço por proporcionar o ambiente acadêmico propício e pelos recursos essenciais que viabilizaram a realização do Mestrado em Ensino de Física.

Singularmente, convém destacar a dedicação e visão da Sociedade Brasileira de Física (SBF) ao criar e manter o programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. O MNPEF tem contribuído significativamente para o avanço da Física em nosso país ao disponibilizar canais para o desenvolvimento de uma sólida base teórica e valiosas oportunidades de pesquisa para a comunidade científica brasileira.

Não poderia deixar de mencionar que o presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), órgão do Governo Federal do Brasil, ligado ao Ministério da Educação.

Um agradecimento especial também aos estudantes que participaram da aplicação do produto educacional elaborado, pois sua participação foi fundamental para a validação e aprimoramento deste trabalho. Cada um de vocês desempenhou um papel crucial neste projeto e, por isso, minha gratidão é singular.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

"Se vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de gigantes." - Isaac Newton

Newton expressa a ideia irrefutável de que o progresso no conhecimento só ocorre através da construção sobre o trabalho e a sabedoria daqueles que vieram antes de nós, destacando a importância da continuidade e evolução do conhecimento de forma perene e sustentável.

RESUMO

Os smartphones hoje são uma ferramenta extremamente acessível, disponível e presente em toda sala de aula. Ao mesmo tempo, muitas escolas têm carência na disponibilidade de laboratórios experimentais de física que acaba por limitar a atividade docente. Nesse sentido, buscou-se alternativas para a realização de experimentos de baixo custo com uso de smartphones e outros materiais de fácil acesso. Esses experimentos foram norteados por uma sequência didática baseada nos estudos de Antoni Zabala e com foco na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. A sequência didática desenvolvida, portanto, apresentou uma variedade de atividades que objetivavam satisfazer os condicionantes para que a aprendizagem fosse o mais significativa possível. Três experimentos foram realizados com base na sequência didática desenvolvida, incluindo os seguintes temas: Pêndulo Simples, Lei de Stevin e Fenômeno da Interferência conhecido como Batimento. Os smartphones são instrumentos importantes para o ensino de Física com sua série de poderosos sensores capazes de descrever grandezas físicas e as mensurar com a utilização de aplicativos. Nesse sentido, o *PhyPhox* apresentou-se como um excelente aplicativo para servir de meio para a realização das atividades experimentais em escola que não possuía laboratório de física disponível. Após a aplicação do produto educacional foi possível identificar uma evolução no conhecimento dos estudantes, o que reforça a argumentação de que o trabalho resultou em aprendizagem significativa para os participantes.

Palavras-chave: *PhyPhox*; aprendizagem significativa; Ausubel; sequência didática; Zabala.

ABSTRACT

Smartphones today are an extremely accessible tool, available and present in every classroom. At the same time, many schools lack access to experimental physics laboratories, limiting teaching activities. In this sense, alternatives were sought for conducting low-cost experiments using smartphones and other easily accessible materials. These experiments were guided by a didactic sequence based on the studies of Antoni Zabala and focused on David Ausubel's theory of meaningful learning. The developed didactic sequence presented a variety of activities aimed at satisfying the conditions for the most meaningful learning possible. Three experiments were conducted based on the developed didactic sequence, including the following themes: Simple Pendulum, Stevin's Law, and the Interference Phenomenon known as Beats. Smartphones are important instruments for teaching physics with their series of powerful sensors capable of describing physical quantities and measuring them using applications. In this regard, Phyphox proved to be an excellent application to facilitate the implementation of experimental activities in schools without access to a physics laboratory. After the application of the educational product, an improvement in students' knowledge was identified, reinforcing the argument that the work resulted in meaningful learning for the participants.

Keywords: PhyPhox; meaningful learning; Ausubel; didactic sequence; Zabala.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma da Teoria da Assimilação de Ausubel	28
Figura 2 – Diagrama com a representação da força peso e tração atuando sobre a partícula de massa m	38
Figura 3 – Representação gráfica da equação (39), que descreve a posição do pêndulo em função do tempo.	46
Figura 4 – Representação gráfica da equação (40), que descreve a posição da partícula em MCU.	47
Figura 5 – Diagrama com a representação da área de contato entre um corpo e superfície.	51
Figura 6 – Volume infinitesimal na forma de um cilindro com altura dz , sujeito a ação de forças volumétricas.	53
Figura 7 – Forças sobre um elemento de fluido em equilíbrio.....	57
Figura 8 – Representação de um recipiente preenchido com um fluido.....	59
Figura 9 – Flutuações de amplitude geram variações de volume, chamadas batimentos.	60
Figura 10 – Menu Sensores no aplicativo <i>PhyPhox</i>	67
Figura 11 – Pressão no aplicativo <i>PhyPhox</i>	68
Figura 12 – Menu Acústica no aplicativo <i>PhyPhox</i>	69
Figura 13 – Espectro do áudio no aplicativo <i>PhyPhox</i>	71
Figura 14 – Gerador de tom no aplicativo <i>PhyPhox</i>	72
Figura 15 – Menu Mecânica no aplicativo <i>PhyPhox</i>	73
Figura 16 – Pêndulo no aplicativo <i>PhyPhox</i>	75
Figura 17 – Projeto para montagem instrumental do experimento (sketchup) .	78
Figura 18 – Projeto para montagem instrumental 1 do experimento (sketchup)	80
Figura 19 – Projeto para montagem instrumental 2 do experimento	81
Figura 20 – Fluxograma da execução do plano de aula	84
Figura 21 – Posicionamento dos eixos de coordenadas no <i>Phyphox</i> em relação à tela do celular	100
Figura 22 – Gerador de tom com função multi tom.....	121

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Instrumental montado para experimentação de pêndulo.....	79
Fotografia 2 – Instrumental montado para experimentação de Lei de Stevin ...	81
Fotografia 3 – Instrumental necessário para experimentação do fenômeno do batimento	82
Fotografia 4 – Apresentação do experimento de pêndulo para a turma, com o smartphone posicionado.....	98
Fotografia 5 – Notebook conectado ao celular e projeção da tela do experimento Pendulo	99
Fotografia 6 – Configuração do pêndulo com apenas um fio suspendendo o smartphone.....	100
Fotografia 7 – Água no interior da tubulação	108
Fotografia 8 – Smartphone no interior do vidro de conserva	109
Fotografia 9 – Tubulação é presa em uma haste de madeira e imersa na coluna de água.....	110
Fotografia 10 – Projeção da captura de dados durante o experimento e identificação dos picos de pressão	111
Fotografia 11 – Variação com imersão direta do smartphone com sensor de pressão	112
Fotografia 12 – Montagem experimental com 3 smartphones com emissões de mesma frequência (440 Hz)	120
Fotografia 13 – Montagem experimental com 3 smartphones com emissões de frequências diferentes (440 Hz e 442Hz)	120
Fotografia 14 – Montagem experimental com 2 smartphones, sendo um emissor com multitom	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Desvio percentual entre o Angulo e o Seno respectivo	42
Tabela 2 – Respostas no pré-teste (Pêndulo Simples)	97
Tabela 3 – Respostas na avaliação individual (pós-teste) (Pêndulo Simples).	101
Tabela 4 – Evolução entre o pré-teste e o pós-teste (avaliação individual) (Pêndulo Simples)	102
Tabela 5 – Respostas no pré-teste (Lei de Stevin)	107
Tabela 6 – Respostas na avaliação individual (pós-teste) (Lei de Stevin)	113
Tabela 7 – Evolução entre o pré-teste e o pós-teste (avaliação individual) (Lei de Stevin)	113
Tabela 8 – Respostas no pré-teste (Batimento).....	118
Tabela 9 – Respostas na avaliação individual (pós-teste) (Batimento).....	122
Tabela 10 – Evolução entre o pré-teste e o pós-teste (avaliação individual) (Batimento)	122

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Experimentação com Smartphones no Ensino de Física	14
1.2	Objetivos	24
1.2.1	Objetivo Geral.....	24
1.2.2	Objetivos específicos.....	24
1.3	Justificativa	25
2	REFERENCIAL DE ENSINO	27
2.1	Aprendizagem Significativa	27
2.2	Sequência Didática	33
3	REFERENCIAL TEÓRICO	37
3.1	Pêndulo Simples	37
3.2	Lei de Stevin	49
3.3	Interferência Sonora – Batimento	60
4	O APLICATIVO PHYPHOX	64
4.1	Histórico e Desenvolvimento	64
4.2	Aplicações	65
4.3	Experimentos	65
4.3.1	Sensores	67
<u>4.3.1.1</u>	<u>Pressão</u>	<u>67</u>
4.3.2	Acústica	68
<u>4.3.2.1</u>	<u>Espectro de áudio</u>	<u>69</u>
<u>4.3.2.2</u>	<u>Gerador de tom</u>	<u>71</u>
4.3.3	Mecânica	73
<u>4.3.3.1</u>	<u>Pêndulo</u>	<u>73</u>
4.4	Considerações	75
5	CONFECÇÃO DO MATERIAL NECESSÁRIO PARA A APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	77
5.1	Experimentos	77
5.1.1	Experimento 1 – Pêndulo Simples.....	77
5.1.2	Experimento 2 – Lei de Stevin.....	79
5.1.3	Experimento 3 – Fenômeno da Interferência Sonora do Batimento.....	82
6	SEQUÊNCIA DIDÁTICA DESENVOLVIDA	83
6.1	Mapeamento de subsunçores	85

6.2	Pré-teste com apresentação de situação problema	85
6.3	Apresentação da experiência	86
6.4	Experiência de forma livre	87
6.5	Identificação dos subsunçores	88
6.6	Apresentação dos conceitos necessários	88
6.7	Realização da experiência de forma guiada	88
6.8	Consolidação dos resultados	89
6.9	Conclusão da experimentação com o conceito base motivo da experimentação	89
6.10	Avaliação individual	89
6.11	Avaliação da qualidade e quantificar o aprendizado	90
6.12	Conclusão do procedimento	90
6.13	Considerações finais	90
7	RELATO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	92
7.1	Pêndulo Simples	92
7.1.1	Aplicação da sequência didática.....	92
<u>7.1.1.1</u>	<u>Mapeamento de subsunçores</u>	<u>92</u>
<u>7.1.1.2</u>	<u>Realização de pré-teste com apresentação de situação problema</u>	<u>93</u>
<u>7.1.1.3</u>	<u>Apresentação da experiência</u>	<u>93</u>
<u>7.1.1.4</u>	<u>Realização da experiência de forma livre</u>	<u>94</u>
<u>7.1.1.5</u>	<u>Identificação dos subsunçores</u>	<u>94</u>
<u>7.1.1.6</u>	<u>Apresentação dos conceitos necessários para a experimentação</u>	<u>94</u>
<u>7.1.1.7</u>	<u>Realização da experiência de forma guiada</u>	<u>95</u>
<u>7.1.1.8</u>	<u>Consolidação dos resultados</u>	<u>95</u>
<u>7.1.1.9</u>	<u>Conclusão da experimentação com o conceito e cálculo de g (gravidade)</u>	<u>96</u>
<u>7.1.1.10</u>	<u>Avaliação individual</u>	<u>96</u>
<u>7.1.1.11</u>	<u>Avaliação da qualidade e qualificação do aprendizado</u>	<u>96</u>
<u>7.1.1.12</u>	<u>Conclusão do procedimento</u>	<u>96</u>
7.1.2	Análise da participação.....	96
7.1.3	Análise da aprendizagem.....	101
7.2	Lei de Stevin	102
7.2.1	Aplicação da sequência didática.....	102
<u>7.2.1.1</u>	<u>Mapeamento de subsunçores</u>	<u>103</u>
<u>7.2.1.2</u>	<u>Realização de Pré-teste com apresentação de situação problema</u>	<u>103</u>

7.2.1.3	<u>Apresentação da experiência</u>	104
7.2.1.4	<u>Realização da experiência de forma livre</u>	104
7.2.1.5	<u>Identificação dos subsunçores</u>	104
7.2.1.6	<u>Apresentação dos conceitos necessários para a experimentação</u>	105
7.2.1.7	<u>Realização da experiência de forma guiada</u>	105
7.2.1.8	<u>Consolidação dos resultados</u>	105
7.2.1.9	<u>Conclusão da experimentação com o conceito e cálculo de g (gravidade) (ou densidade)</u>	105
7.2.1.10	<u>Avaliação individual</u>	106
7.2.1.11	<u>Avaliação da qualidade e qualificação do aprendizado</u>	106
7.2.1.12	<u>Conclusão do procedimento</u>	106
7.2.2	Análise da participação	106
7.2.3	Análise da aprendizagem	112
7.3	Fenômeno de Interferência Sonora do Batimento	114
7.3.1	Aplicação da sequência didática	114
7.3.1.1	<u>Mapeamento de subsunçores</u>	114
7.3.1.2	<u>Realização de Pré-teste com apresentação de situação problema</u>	115
7.3.1.3	<u>Apresentação da experiência</u>	115
7.3.1.4	<u>Realização da experiência de forma livre</u>	116
7.3.1.5	<u>Identificação dos subsunçores</u>	116
7.3.1.6	<u>Apresentação dos conceitos necessários</u>	116
7.3.1.7	<u>Realização da experiência de forma guiada</u>	117
7.3.1.8	<u>Consolidação dos resultados</u>	117
7.3.1.9	<u>Conclusão da experimentação com o conceito de batimento</u>	117
7.3.1.10	<u>Avaliação individual</u>	117
7.3.1.11	<u>Avaliação da qualidade e qualificação do aprendizado</u>	118
7.3.1.12	<u>Conclusão do procedimento</u>	118
7.3.2	Análise da participação	118
7.3.3	Análise da aprendizagem	121
8	CONCLUSÃO	124
	REFERÊNCIAS	126
	APÊNDICE A – APLICATIVO PHYPHOX	129
	APÊNDICE B – PRODUTO EDUCACIONAL	187

1 INTRODUÇÃO

Os smartphones hoje são uma ferramenta extremamente acessível, disponível em toda sala de aula, e que muitas vezes divide atenção do aluno com o professor. A sua utilização como uma ferramenta de estudo pode, além de permitir o acesso facilitado a sensores e informações, garantir que o aparelho não seja utilizado para dispersar o estudo.

A proliferação de dispositivos móveis de diferentes tipos e características (smartphones, *tablets*, entre outros) é exponencial, e abre um amplo espectro para a criação de aplicativos com o objetivo de que alunos possam aprender em qualquer lugar e a qualquer tempo.

Nesse sentido os smartphones são ferramentas importantes para o ensino de Física com sua série de poderosos sensores capazes de descrever grandezas físicas e as mensurar com a utilização de aplicativos.

Todos os smartphones possuem emissor e receptor de som e a maioria também conta com giroscópio, acelerômetro, GPS e sensor de luminosidade, podendo ainda possuir sensor de temperatura, de pressão atmosférica e de campo magnético.

Grande parte das escolas hoje não possuem laboratório de Física estruturado, seja pelo custo dos equipamentos, seja pela indisponibilidade de espaço, e o celular pode funcionar como um laboratório portátil para uma série de experimentos.

Além disso, o uso do smartphone pode somar nos laboratórios existentes, pois é possível automatizar uma série de medidas que em muitos experimentos dependem da intervenção humana e abrem margem para uma série de erros de percepção e paralaxe.

Nesse sentido, Braga (2017 apud REIS, 2020, p. 22) apresenta que com a utilização dos dispositivos móveis nas aulas práticas de física é possível substituir o uso de aparatos complexos na realização de atividades experimentais. Com isso, permite-se ao aluno uma instrumentalização preciosa para seu aprendizado e ao professor uma diferenciada prática pedagógica que pode favorecer e atrair a atenção do acadêmico.

Nesse cenário destaca-se o *Phyphox*, um aplicativo gratuito e de código aberto para *Android* ou *IOS* que permite aos usuários realizar experimentos científicos

usando um smartphone como dispositivo de captura de informações. Ele permite coletar dados de sensores do telefone, como o acelerômetro, o giroscópio, o magnetômetro, entre outros, e realize análises em tempo real. O *Phyphox* também permite criar experimentos personalizados através de blocos de construção e oferece uma ampla variedade de ferramentas de análise de dados, incluindo gráficos, histogramas e análise estatística.

O *Phyphox* é um aplicativo para smartphones que se apresenta como uma excelente ferramenta para servir de meio para a realização de experimentos em escolas que não possuem laboratório disponível, ou mesmo para dar suporte naquelas que possuem equipamentos e que dependem exclusivamente de intervenção humana para a coleta de dados.

1.1 Experimentação com Smartphones no Ensino de Física

Um dos primeiros passos para o desenvolvimento deste trabalho envolveu um levantamento bibliográfico sobre algumas produções realizadas que traziam a Aprendizagem Significativa de Ausubel em seu contexto e/ou o uso de smartphones como ferramenta para a construção de atividades experimentais focadas no ensino da Física, primordialmente utilizando o aplicativo *Phyphox*¹, mas não só.

Reis (2020) apresentou em sua dissertação de mestrado (MNPEF) na Universidade Federal do Pará uma descrição teórica do Movimento Retilíneo Uniforme e Movimento Retilíneo Uniformemente Variado, além da propagação de ondas sonoras nos gases. O objetivo do seu trabalho foi primeiramente analisar a velocidade de propagação do som com o uso do aplicativo *Phyphox* (Cronômetro Acústico) em dois aparelhos distanciados em 5 metros. De forma simples, apenas com o receptor sonoro, foi possível encontrar o resultado aproximado médio de 347 m/s. Como segundo experimento procurou determinar a altura de uma queda livre que partiu do aro da cesta de basquete, também dependendo apenas do aplicativo *Phyphox* (Cronômetro Acústico), com o som do estouro de um balão iniciando o movimento e com a interrupção no impacto no solo. Obteve-se a altura de aproximadamente 3

¹ O *Phyphox* foi desenvolvido por um grupo de cientistas da RWTH Aachen University na Alemanha, liderado pelo Prof. Dr. Christoph Stampfer. O projeto iniciou em 2016 com o objetivo de criar uma ferramenta fácil de ser utilizada para que estudantes e professores pudessem realizar experimentos científicos usando equipamentos disponíveis na palma da mão, os smartphones. <https://phyphox.org/>

metros. Como terceiro experimento foi realizado um estudo de movimento em planos inclinados, sendo um plano curvo e outro em linha reta. Com o aplicativo *Phyphox* (Aceleração (sem g)) os sensores acelerômetro os celulares puderam registrar informações sobre inclinação e velocidade do aparelho ao longo do movimento e apresentar as informações através de representações gráficas. Nos seus estudos, 79,1% dos alunos concordaram que as atividades ajudaram a superar as dificuldades enfrentadas na disciplina de física. E reforçou em suas conclusões que:

“O smartphone com seus inúmeros sensores, se tornam um poderoso alicerce no ensino de física. Pois, como mostrado nessa dissertação, o emprego desse dispositivo possibilitou comparar os conhecimentos teóricos com os dados obtidos a partir de experiências em tempo real em que o aluno passou a ter um papel mais ativo, devido a utilização dos celulares como instrumento de medição e análise” (REIS, 2000, p. 94).

Pereira (2021) investigou uma experiência de baixo custo para explorar a força peso e a normal em uma lâmina de água em rotação. Com o uso do *Phyphox* realizou medidas da velocidade angular para comparar com a curva teórica calculada. O experimento foi montado com alguns materiais simples para a base, como um *spinner*, uma folha de papel cartão, uma capinha de smartphone, pedaços de plástico, barbante e fita dupla face. E para a “lâmina de água” utilizou duas placas de acrílico, silicone, água com corante e fita preta. Com o aplicativo *Phyphox* (experiência Giroscópio) capturou a informação de velocidade de rotação do experimento em um notebook com o qual foram compartilhados os dados coletados instantaneamente. Com imagens do experimento, associou a curvatura da superfície da água com a velocidade angular instantânea e pode gerar resultados para discussão com o apoio do software GeoGebra. Com o experimento foi possível abordar conceitos importantes relacionados as Leis de Newton, força normal e velocidade angular. Em suas conclusões destacou a comparação da curva teórica e experimental da “lâmina de água” e reforçou a importância do uso de experiências divertidas para despertar a curiosidade do público aprendiz.

Freitas (2021) realizou um trabalho interessante em sua dissertação de mestrado (MNPEF) na Universidade Federal de São Carlos utilizando o aplicativo *Physics Toolbox Sensor Suite*, produzido pela *Vieyra Software*. Embora não tenha utilizado o *Phyphox* como objetivamos nesse trabalho, apresentou uma importante descrição do impacto positivo do uso de smartphones no ensino de física embasado

na aprendizagem significativa de Ausubel e realizou 4 experimentos. O primeiro baseou-se na mensuração da intensidade sonora com o decibelímetro para discutir poluição sonora com os estudantes, onde bastou a captura de dados pelo smartphone. No segundo experimento utilizou o acelerômetro com o objetivo de calcular o coeficiente de atrito estático entre duas superfícies. Para isso posicionou o celular sobre uma placa de vidro e deslizou a mesma sobre uma superfície de madeira que foi gradualmente inclinada até ocorrer o movimento. O terceiro experimento envolveu o luxímetro com o objetivo de obter a aceleração da gravidade local. Este experimento baseou-se em um movimento pendular onde o smartphone realizava a mensuração da passagem do pêndulo pela redução da luminosidade. O quarto experimento teve como objetivo a verificação da Lei de Ampere com o uso do magnetômetro. Este quarto experimento envolveu a construção de um eletroímã com o uso de uma pilha, um prego e um fio condutor enrolado em torno deste prego. Em suas conclusões trouxe a observação sobre o baixo custo para a estruturação dos experimentos e a importância da realização desse tipo de atividade para potencializar a motivação, aprendizagem, envolvimento e formação do aluno. O trabalho reforçou o maior interesse e entusiasmo pelos estudantes de forma geral no aprendizado da física.

Com o objetivo de trazer uma alternativa para a realização de experimentos durante a pandemia de Covid-19, Hernandez et al. (2021) trouxe uma adaptação de experimentos para os acadêmicos desenvolverem durante o ensino remoto da disciplina de Física Experimental II da UFRJ com o apoio de smartphone e de aplicativos, entre eles o *PhyPhox*. O trabalho partiu do princípio de que cada aluno montaria o seu próprio kit experimental, recebendo suporte por aulas síncronas e assíncronas no modelo de “sala de aula invertida”. O cronograma foi montado com a realização de seis experimentos. O primeiro experimento envolvia a exploração do Princípio de Arquimedes, empuxo e densidade, e consiste em elevar um frasco com água e observar a variação da coluna de água e a variação da distensão do dinamômetro fabricado. O tratamento de dados nesse primeiro experimento foi realizado com o uso do aplicativo *LeastSquares*². O segundo experimento consiste na análise do movimento pendular para relacionar a dependência do período de

² Least Square App,

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.andrecreppe.LeastSquares&hl=en&gl=US>

oscilação com o comprimento do fio de forma a obter a aceleração da gravidade local. O terceiro experimento tem como objetivo estudar experimentalmente as oscilações harmônicas em sistemas com molas de constante elástica. O movimento é registrado por webcam com posterior processamento de dados por software (sendo recomendado o *Qtiplot*³). O quarto experimento é o oscilador harmônico amortecido e tem como objetivo a determinação do coeficiente de amortecimento. Nesse estudo o smartphone pode ser utilizado como corpo atritado com o ar (celular posicionado perpendicularmente ao eixo de oscilação) e foi observado que o tempo necessário para que o sistema pare de oscilar está associado ao inverso da constante de amortecimento e proporcional à massa do sistema. Os dados foram coletados no aplicativo *PhyPhox* (Aceleração (sem g)) e transportados para uma planilha de modo a permitir a análise quantitativa dos dados em um computador. O quinto experimento tem como objeto a medida das frequências dos modos normais que se propagam no interior de corpos cilíndricos, além de determinar a velocidade de propagação do som no ar. Foram utilizados tubos com e sem êmbolo com um gerador de sinais (alto-falante). Na alternativa com o tubo semiaberto o alto-falante pôde ser substituído por um smartphone com o aplicativo gratuito Gerador de Sinais⁴. O que se busca encontrar experimentalmente nesse procedimento é a frequência de primeiro modo normal de vibração (menor frequência de ressonância) para diferentes comprimentos de tubo (alterados com o êmbolo). Também sobre ondas, o sexto experimento trabalha com os tubos aberto e, para isso, em uma das extremidades pode ser posicionado um rádio fora de sintonia e um smartphone na extremidade oposta responsável pela captação e análise com o aplicativo *PhyPhox* (Espectro de Áudio) que faz a transformada de Fourier do sinal e monta um gráfico das frequências observadas (uma vez que a captura de dados é automatizada, esse experimento tende a apresentar resultados mais acurados que o experimento com o tubo semiaberto). O trabalho apresentou um relato muito positivo por partes dos alunos que conseguiram resultados de qualidade com materiais tão simples. Além disso, a maioria manifestou ter gostado da disciplina, embora não tenha sido observado grande diferença nos índices de evasão e reprovação.

³ Qtiplot – Data Analysis and Scientific Visualisation, www.qtiplot.com

⁴ Gerador de Ruído, <https://www.tmssoft.com/noise-generator>

Embora não tenha focado o trabalho no uso de smartphones, Silva (2018) focou em experimentos com Arduino⁵ e a aprendizagem significativa de Ausubel. Em sua dissertação de mestrado reforçou a importância da experimentação para o ensino de física, uma vez que é o elo que liga o mundo dos objetos, conceitos, leis e teorias e das linguagens simbólicas, além de favorecer a interação e aproximar o acadêmico do método científico. Também, demonstrou a possibilidade de estruturação de experimentos com baixo custo, como queda livre, pêndulo simples e sistema massa-mola. Seu trabalho focou na importância da integração entre os objetivos propostos pelo professor, o aluno e seu mapa conceitual⁶. Nesse sentido, os próprios alunos foram responsáveis pela montagem dos experimentos utilizando roteiros pré-elaborados, embora não tenha aparentemente desenhado uma estrutura de identificação dos subsunçores dos acadêmicos previamente à execução das aulas experimentais.

Kretschmann (2019) também não utilizou *Phyphox* em seu estudo, mas montou um trabalho interessante considerando a perspectiva ausubeliana ao desenvolver planos de aula com regência musical para estudo de ondulatória e acústica.

Landeira et al. (2020) focou o seu estudo em um comparativo entre sistemas diferentes de coleta e análise de dados para identificar as precisões de cada alternativa com o objetivo de validar o *PhyPhox* como ferramenta didática eficiente para estimar a aceleração da gravidade. O experimento base foi o Pêndulo Simples com o objetivo de determinar a aceleração da gravidade local. O primeiro experimento envolveu a montagem de um pêndulo tradicional com seis comprimentos (20, 30, 35, 45, 50 e 60 cm) e mensurado o período de 10 oscilações com um cronômetro digital de precisão de 0,01 segundos (10 repetições). Os dados coletados foram analisados através do programa *QtiPlot*. O segundo experimento foi realizado com uma montagem de pêndulo onde o smartphone desempenhou o papel de corpo de prova (celular posicionado na horizontal em seu eixo maior)⁷. O celular foi colocado em

⁵ É uma plataforma que foi construída para promover a interação física entre o ambiente e o computador utilizando dispositivos eletrônicos de forma simples e baseada em softwares e hardwares livres. Arduino®; Fonte: <https://www.Arduino@.cc/>

⁶ Diagramas onde indicam uma relação hierárquica entre conceitos.

⁷ Apesar de considerar a geometria retangular da maioria dos aparelhos, sendo que, em geral, o centro geométrico coincide, em boa aproximação, com o centro de massa. Convém observar que a fixação do smartphone na horizontal pode resultar em erro sistemático por ser desconhecido o

movimento pendular e o aplicativo *PhyPhox* foi utilizado para capturar os dados do movimento (experiência Pendulo). O aplicativo utiliza o sensor giroscópio do aparelho para medir o seu movimento pendular e calcular o período de oscilação e frequência. O terceiro experimento envolveu a análise dos dados do primeiro e segundo experimentos, que foram filmados com um smartphone⁸ e transferidos para um computador para utilização do software *Tracker*⁹. A marcação da trajetória do pêndulo, determinada através de uma sequência de pontos de massa, pode ser feita manualmente, selecionando ponto a ponto, ou ainda, pode-se escolher a opção de pesquisa automática, na qual a marcação é feita pelo próprio programa. Naturalmente é possível imaginar que a análise concluiu que as capturas dos movimentos através do software *Tracker* apresentaram menor erro que os registros com a utilização do cronômetro digital. Além disso, de todas as metodologias testadas, o uso do pêndulo com *PhyPhox* e análise com o programa *Tracker* foi o que apresentou o resultado mais próximo ao valor de referência, com um erro de apenas 0,01%. Enfim, no trabalho foi possível concluir que as medidas não apresentaram erro relevante ao ser utilizado o *PhyPhox* como ferramenta ao comparar com as metodologias tradicionais, inclusive os resultados demonstram que a montagem com o smartphone para utilização do aplicativo *PhyPhox* possui até maior precisão em relação ao tradicional experimento.

Outra proposta que envolveu a Lei de Hooke e o *PhyPhox* foi apresentado por Santos et al. (2019). Na motivação já é tratado o uso excessivo dos smartphones como meio de distração entre os alunos e ressalta os benefícios que podem ser obtidos ao desviar o seu uso integrando às atividades acadêmicas. Assim, destaca a Sequência de Ensino Investigativa (SEI)¹⁰ como uma importante ferramenta para o ensino da Física e inclui o smartphone entre elas. No trabalho em questão a sequência didática aplicada foi composta por 11 etapas sendo que duas etapas utilizam o simulador

posicionamento do giroscópio do aparelho e ser apresentado erro no comprimento do fio por esse motivo.

⁸ iPhone 7 com resolução 1080 HD a 30 fps

⁹ Open Source Physics. File: Tracker windows installer. Disponível em: <<https://physlets.org/tracker/>>

¹⁰ “Uma SEI é entendida como uma sucessão de práticas em que uma temática é analisada. Por meio de uma investigação, busca-se as relações de conceitos, entre as práticas observadas via experimento ou simulação, onde procura-se correlacionar os conhecimentos que possam ser trabalhados para compreensão de determinado fenômeno, fomentando o ensino por investigação como uma abordagem didática, ou seja, o professor provoca uma problemática e ao mesmo tempo que desempenha o papel de orientador dentro das análises construídas pelos alunos” (Sasseron apud Santos, 2019, p.92).

*Phet*¹¹ e duas etapas utilizam o aplicativo *PhyPhox* para o estudo da força elástica e oscilações de um sistema massa-mola. A utilização do simulador *Phet* foi no sentido de conceituar e definir a Lei de Hooke através de demonstrações (variação das massas e das constantes das molas, entre grande e pequena) com posterior execução de uma prática experimental em sistema massa-mola composto por tripé, mola, gancho e massas variadas. Posteriormente, seguido por nova simulação no *Phet* “Massas e molas” para a discussão de Movimento Harmônico Simples. Na sequência foi realizado o experimento com o uso do smartphone e o aplicativo *PhyPhox* (Aceleração (sem g)), sendo os dados coletados exportados para o computador para análise de dispersão no Excel para posterior cálculo da frequência e período de oscilação e finalmente a constante elástica da mola. Para a aplicação da atividade, 96% dos estudantes possuíam smartphone com capacidade para utilização do aplicativo *PhyPhox* e 95,8% possuíam acesso à internet (sendo que o acesso a internet não é requisito para a execução do aplicativo em questão, mas sim para sua instalação). O resultado da aplicação do smartphone nas atividades do ensino de física foram muito bons, sendo que 84% dos estudantes avaliaram como boa ou excelente a proposta da aula, além de ter sido perceptível a maior atenção ao comparar-se com as aulas de perfil mais tradicional. Ao serem indagados sobre o uso do *PhyPhox* auxiliar na compreensão do conteúdo e visualização do fenômeno físico, 60% dos alunos indicaram que contribui, 32% afirmaram que contribui um pouco e 8% relataram que não contribui. Assim, baseado nos resultados dos questionários e desenvolvimento das atividades, observou-se que a inserção dos smartphones com o uso de aplicativos pode auxiliar no processo de compreensão e atrair a atenção dos estudantes, algo que representa um desafio para alguns docentes de física.

Barroso, Oliveira e Jesus (2020) apresentaram uma interessante simulação utilizando o pêndulo cônico e o smartphone para a detecção de exoplanetas por meio da variação da iluminância da estrela hospedeira. Para tanto, é utilizada uma técnica para detectar o efeito da sombra do exoplaneta quando passa diante da estrela hospedeira, ou seja, quando existe o bloqueio parcial do fluxo de luz (método do trânsito). O pêndulo cônico descreve um movimento circular uniforme da massa do

¹¹ Sigla em inglês para Tecnologia Educacional em Física. “O Phet foi idealizado por Carl Wieman, ganhador do Nobel de física em 2001 pela criação experimental do condensado de Bose-Einstein (Cornell e Wieman, 2001), as simulações são cativantes e instigadoras da perspectiva educacional, uma ferramenta eficiente para alcançar diferentes níveis de formação (Wieman, apud Santos, 2019, p.92).

pêndulo (exoplaneta) no plano horizontal, em torno da lâmpada (estrela hospedeira). Utilizando uma lâmpada como a estrela hospedeira e uma esfera em papel alumínio como exoplaneta, um smartphone com o aplicativo *PhyPhox* coletou os dados com o sensor de iluminância (luxímetro). A partir dos dados do gráfico da iluminância detectada pelo sensor de luminosidade do smartphone no tempo é possível determinar o período de translação orbital em torno da “estrela” e o raio do “exoplaneta”. Os autores destacaram a vantagem do aplicativo *PhyPhox* em permitir o acesso remoto ao experimento por uma interface web, sem necessidade de instalação de nenhum aplicativo no computador, apenas um navegador atualizado. Ao compararem os resultados obtidos para o período orbital e raio do “exoplaneta” com o modelo teórico utilizado pelo método do trânsito, entenderam que a proposta didática se mostra factível em qualquer ambiente educacional.

Durante a realização de um curso de especialização junto à UTFPR campus Medianeira, Santos (2020) estudou o uso dos smartphones como laboratório móvel para o ensino de Física. Reforçado pela falta de bons equipamentos escolares para apoiar a docência em Física, focou seu trabalho no aproveitamento da ferramenta fortemente difundida entre os estudantes: os *smarphones*, normalmente utilizados para jogos, redes sociais, distração e pesquisas escolares. Citou uma série de aplicativos disponíveis que podem ser utilizados nas medidas de diferentes grandezas físicas, como *Phyphox*, *Physics Toolbox Sensor*, *Tracker* e *Physics Lab*. Sabendo da precariedade dos laboratórios disponíveis, foi realizada pesquisa sobre o uso de ferramentas digitais junto às escolas públicas do estado de São Paulo e, embora os professores da rede pública tenham reconhecido a relevância de aulas práticas para um aprendizado significativo de física, relataram a dificuldade da aplicação prática principalmente com a justificativa de pequeno número de aulas semanais e internet lenta.

Com uma proposta para o ensino da cinemática através da robótica educacional, Leite (2021) incorporou o uso de um robô controlado por Arduino Uno e desenvolvido para observar diferentes trajetórias de movimento com gráficos de aceleração gerados através do aplicativo *PhyPhox*. O carrinho percorre uma linha utilizando sensores reflexivos (Infravermelho) e pode ter sua velocidade variada por obstáculos ao longo do trajeto. A parte experimental proposta nas aulas utilizou o movimento do carrinho com celular acoplado e com o aplicativo *PhyPhox* responsável

pela captura dos dados de aceleração do movimento (experiência Aceleração (sem g)). Naturalmente a captura de dados não foi condizente com a teoria no caso do movimento retilíneo e uniforme (MRU). Esperava-se uma reta (valor zero para a aceleração), porém existiram variações, uma vez que constantemente o movimento precisava ser ajustado pelos sensores, além de existir a trepidação das rodas. No caso do movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV), observou-se a mesma condição do experimento em MRU, porém existiam picos de aceleração mais destacados quando do início do movimento e interrupção. Apesar desse contratempo, o trabalho concluiu que a proposta experimental foi satisfatória para fortalecer a compreensão do conteúdo além de permitir uma relação com aspectos do cotidiano dos estudantes.

Em 2021, durante a pandemia de Covid-19, Pinto e Saraiva (2021) propuseram um experimento para a determinação da aceleração gravitacional com o aplicativo *PhyPhox*. Para isso foi montado um experimento que envolvia a queda de uma esfera de aço fixada a um suporte por um eletroímã ligado à uma fonte de alimentação com um interruptor, sendo um smartphone com o aplicativo *PhyPhox* (experimento Cronômetro Acústico) sobre a bancada responsável pela captura do som do interruptor início e do som impacto da esfera no solo para a finalização do movimento. Os detalhes relativos à esta montagem deste experimento estão na disponibilidade de um eletroímã e no fato, relatado pelos autores, de que pode existir magnetismo residual no núcleo de ferro do eletroímã causando atraso no início do movimento. Para reduzir esse risco, foi utilizado um parafuso de ferro com a ponta pontiaguda em contato com a esfera.

No seu tempo, Pedroso et al. (2020) propuseram três experimentos de baixo custo construídos com objetos facilmente encontrados no cotidiano apoiados pelo aplicativo *PhyPhox* para a coleta dos dados. O *PhyPhox* foi reconhecido pelos autores como o que possui a maior latência e qualidade nas respostas no momento da coleta dos dados, necessário para um laboratório de ensino de Ciências. O primeiro experimento foi o pêndulo simples e a montagem (transformação do smartphone na posição horizontal em um pêndulo) envolveu um suporte e um aparato simples para a fixação do smartphone com elásticos, barbante e papelão. O *PhyPhox* foi utilizado com a experiência Pêndulo para a determinação da gravidade local utilizando-se vários comprimentos para a oscilação. O segundo experimento tratou da aceleração

no Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV) e a montagem envolveu um balde para receber uma determinada massa, pendurado por um barbante que passa por uma polia e puxa um segundo corpo (carrinho) com o celular fixado à sua estrutura por barbantes. O *Phyphox* (experiência Aceleração (sem g)) foi utilizado para a determinação da aceleração linear do movimento e o resultado obtido foi compatível com o cálculo teórico. O terceiro experimento tratou do cálculo da aceleração gravitacional local com uma montagem envolvendo um suporte, um martelo, uma esfera de aço, uma trena e uma chapa de metal para apoio da esfera. O *Phyphox* (Cronômetro Acústico) foi utilizado para a captura dos dados, sendo o tempo de início de movimento determinado pelo som do impacto do martelo na chapa de metal e o encerramento pelo som do impacto da esfera de aço no solo. Foram realizadas diversas medidas para alturas diferentes e determinado um valor médio das medidas realizadas. Os autores destacaram a facilidade que pode ser obtida para a dispersão do conhecimento de Física com os aplicativos em smartphones, além de permitir a percepção de que o conhecimento científico se dá por meio de um processo dinâmico e aberto ao permitir a construção do conhecimento pelo próprio estudante. Os experimentos foram validados em laboratório e mostraram-se adequados para o uso em laboratório de ensino.

Em seu produto educacional Malacrida (2021) apresentou uma proposta de sequência didática que envolveu a definição de energia cinética, energia potencial gravitacional e energia potencial elástica. Seu trabalho utilizou a referência da aprendizagem significativa e partiu, portanto, com a identificação do conhecimento prévio dos alunos. Propôs dois experimentos para o estudo e compreensão da conservação da energia total em dois sistemas dissipativos. O primeiro experimento consistiu em abandonar duas bolinhas de borracha de tamanhos diferentes de duas alturas determinadas e relacionar o acúmulo de energia potencial no impacto com o solo e a altura de retorno ao conceito de energia dissipada. Para esse experimento foram utilizados dois smartphones, um com o aplicativo *PhyPhox* (Colisão (IN)elástica) instalado e outro com o aplicativo *VideoShow* instalado. O *PhyPhox* determina as alturas após o primeiro impacto utilizando dados de tempo coletados com o cronômetro acústico e o *VideoShow* permite identificar as alturas atingidas com base em uma escala fixada na região da realização do experimento. O segundo experimento consiste em um plano inclinado montado com uma canaleta elétrica

dentro da qual o smartphone deverá escorregar. Neste experimento é utilizada a função “Aceleração com g” no *PhyPhox* para a coleta dos dados, ajuste linear da curva e determinação da aceleração do movimento para posteriormente avaliar a variação da energia cinética e consequente dissipação de energia (com base na energia potencial gravitacional inicial do corpo). O autor reforça a maior motivação e participação dos alunos na aplicação de experimentos com o auxílio de smartphone em sala de aula.

Outra proposta que utilizou o *PhyPhox* como ferramenta foi apresentada por Prazeres (2021) em uma sequência didática sobre o Movimento Circular Uniforme em uma metodologia ativa de sala de aula invertida. No experimento proposto foi utilizada uma roda de bicicleta com um smartphone posicionado próximo ao eixo de rotação do aro da bicicleta e outro posicionado o mais afastado possível do eixo de rotação, sendo registrados os raios respectivos. Nos dois smartphones foi utilizado o *PhyPhox* na função “Giroscópio (taxa de rotação)” para a captura dos dados do movimento na opção ABSOLUTO e determinar a velocidade angular do processo. O movimento foi registrado por 10 períodos (10 rotações completas). O autor relatou que durante a execução das atividades o “colocar a mão na massa” com materiais do cotidiano foi fundamental para despertar o interesse e discutir o fenômeno, sendo observada nitidamente uma empolgação por parte dos estudantes.

1.2 Objetivos

Para este trabalho foi definido um objetivo geral e alguns objetivos específicos. Abaixo, esses objetivos estão associados.

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver, aplicar e avaliar um produto educacional que se baseia na utilização de smartphones, através do *software Phyphox*, como ferramenta auxiliar na realização de atividades experimentais para o ensino de física.

1.2.2 Objetivos específicos

Desenvolver sequências didáticas, para realização de atividades experimentais com auxílio do *software Phyphox*, que busquem a aprendizagem significativa de Ausubel e usem os conceitos de sequência didática de Antoni Zabala em sua fundamentação.

Construir as sequências didáticas, utilizando os conceitos de aprendizagem significativa e o *software Phyphox*, para realização das seguintes atividades experimentais:

Pêndulo simples: abordar 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 objetivo desta atividade é demonstrar e permitir a compreensão da atuação da gravidade sobre um corpo suspenso.

Lei de Stevin: abordar 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. O objetivo desta atividade 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.

Fenômeno da interferência sonora: abordar o processo de interferência sonora conhecido como batimento e a apresentação de um experimento que objetiva facilitar a compreensão do processo. O objetivo da realização desta atividade é demonstrar e permitir a compreensão do fenômeno de batimento ocasionado por duas emissões sonoras de frequência próxima.

1.3 Justificativa

Os smartphones são ferramentas importantes para o ensino de Física com sua série de poderosos sensores capazes de descrever grandezas físicas e as mensurar com a utilização de aplicativos. São instrumentos acessíveis em uma sala de aula e disponíveis nas mais diversas residências e escolas pelo país. Assim, o desenvolvimento e a disponibilização de produtos educacionais que utilizem esse instrumental são fundamentais para facilitar o acesso à experimentação, independentemente da presença de laboratórios estruturados.

Nesse sentido, o *Phyphox* apresenta-se como uma excelente ferramenta para servir de meio para a realização de experimentos em escolas que não possuem laboratório disponível ou mesmo para dar suporte naquelas que possuem equipamentos que dependem exclusivamente de intervenção humana para a coleta de dados.

2 REFERENCIAL DE ENSINO

Para o desenvolvimento do produto educacional foram utilizados os conceitos de aprendizagem significativa de David Ausubel e de sequência didática proposto por Antoni Zabala. Portanto, inicialmente faz-se necessário abordar estes temas para então adentrar ao trabalho proposto e aplicado.

2.1 Aprendizagem Significativa

David Ausubel apresentou sua teoria da aprendizagem significativa em uma série de publicações durante as décadas de 1960 e 1970, sendo que os seus primeiros estudos foram apresentados em 1963 (*The Psychology of Meaningful Verbal Learning*)¹².

Como relata Moreira (2022, p.139), Ausubel era médico-psiquiatra de formação e foi professor da Universidade de Columbia, NY, tendo muito do seu trabalho refinado e divulgado por Joseph D. Novak, professor da Universidade de Cornell.

Convém reforçar que Ausubel nos apresenta uma teoria da aprendizagem, da construção do conhecimento, e não um método de ensino, sendo muito enfático na importância da identificação do conhecimento prévio do aluno para essa construção: “[...] o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; descubra isso e ensine-o de acordo.” (AUSUBEL, 1968, 1978, 1980, 200 apud MOREIRA, 2022, p.148).

O que Ausubel apresenta nessa afirmação é a “*importância da estrutura cognitiva preexistente e a necessidade de identificá-la de alguma forma a fim de ensinar com base nesse arcabouço prévio*”. (MOREIRA, 2022, p.148).

A utilização do conhecimento prévio do aluno é decisiva “*O novo passa a ter significados para o indivíduo e o prévio adquire novos significados, fica mais diferenciado, elaborado*” (MASINI; MOREIRA, 2008, p.16).

Por conhecimento prévio entende-se conceitos, proposições, modelos, concepções, crenças, enfim, o que já existe na estrutura cognitiva de quem aprende e pode funcionar como precursor de novos conhecimentos ou como obstáculo epistemológico. Conhecimentos prévios que servem como

¹² Ausubel (1963)

“ancoradouro” cognitivo para dar significado a novos conhecimentos, em um processo interativo, são chamados conceitos subsunçores, mas não são necessariamente conceitos. Por isso, é melhor chamá-los apenas de subsunçores. O termo ancoradouro é metafórico, ou seja, subsunçores funcionam como se fossem ancoradouros, mas o processo é interativo e nessa interação o subsunçor pode se modificar, adquirir novos significados, ficar mais rico, mais diferenciado, mais estável e ainda mais capaz de ancorar (dar significados) a novos conhecimentos (MOREIRA, 2021, p. 4).

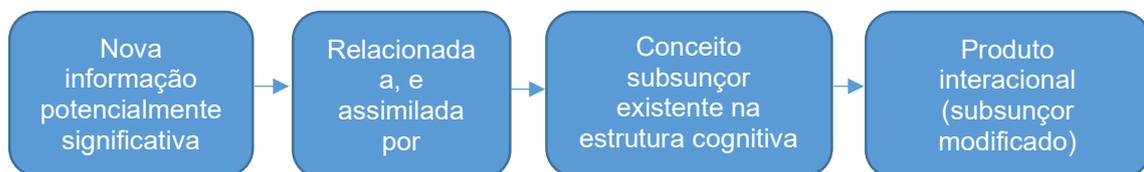
Como pode ser percebido, Ausubel foca seus estudos na aprendizagem cognitiva, sendo, portanto, um representante do cognitivismo e *“propõe uma explicação teórica do processo de aprendizagem segundo o ponto de vista cognitivista, embora reconheça a importância da experiência afetiva”*. (MOREIRA, 2022, p.140)

É importante distinguir os três tipos gerais de aprendizagem descritos por Moreira: cognitiva, efetiva e psicomotora.

“A aprendizagem cognitiva é aquela que resulta no armazenamento organizado de informações na mente do ser que aprende, e esse complexo organizado é conhecido como estrutura cognitiva. A aprendizagem afetiva resulta de sinais internos ao indivíduo e pode ser identificada com experiências como prazer e dor, satisfação ou descontentamento, alegria ou ansiedade” ... “A aprendizagem psicomotora envolve repostas musculares adquiridas por meio de treino e prática, mas alguma aprendizagem cognitiva é geralmente importante na aquisição de habilidades psicomotoras”. (MOREIRA, 2022, p.139-140).

Para facilitar o entendimento desse processo de aquisição e organização de significados, Ausubel propõe a *“teoria da assimilação”*, que possui poder explanatório tanto para a aprendizagem como para a retenção (MOREIRA, 2022, p.144) (Figura 1).

Figura 1 – Fluxograma da Teoria da Assimilação de Ausubel



Fonte: Autoria própria (2023)

Assim, a assimilação (ou ancoragem) seria um processo que efetivamente ocorre quando o conceito é assimilado, ou seja, ligado sob uma ideia que já existe na estrutura cognitiva do aluno. Portanto, teria um efeito facilitador para o processo de aprendizagem cognitiva.

O professor tem uma grande importância no processo ao selecionar os materiais e métodos que entende possuírem maior potencial significativo para os alunos, de forma a possibilitar a ancoragem de forma facilitada.

“É errado dizer que um material educativo é significativo. Não tem sentido dizer, por exemplo, que um livro é significativo ou que uma aula é significativa. Os significados não estão nos materiais educativos. Eles estão nos alunos, nos professores, nos autores. Os materiais são apenas potencialmente significativos. E isso implica que tenham significados lógicos e que os aprendizes tenham conhecimentos prévios especificamente relevantes” (MASINI; MOREIRA, 2008, p.19).

Segundo Ausubel, existem dois processos que podem ocorrer durante a aprendizagem significativa: a) diferenciação progressiva – está ligada à assimilação de conhecimentos novos na estrutura (subordinada) pelo subsunçor; b) reconciliação integrativa – aprendizagem superordenada e combinatória, que relaciona estruturas de conhecimento que aparentemente seriam distintas, mas são correlacionadas (MOREIRA, 2022, p.146).

Para reforçar o conceito, 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.

Nessa linha, uma aprendizagem é mecânica até que elementos de conhecimento sejam incorporados à estrutura cognitiva e possam servir como subsunçores para o conhecimento, possibilitando uma verdadeira compreensão da informação aprendida.

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.

Voltando ao cerne da questão, para ocorrer a aprendizagem significativa, como visto acima, um processo de identificação dos conceitos já existentes no aluno torna-se fundamental para viabilizar o correto ponto de partida e para permitir uma estruturação verdadeira do conhecimento.

E nesse sentido, vale destacar que essa identificação prévia pode ser realizada de várias formas interativas, sendo a realização de experimentos participativos antes da apresentação de um conteúdo teórico de Física um caminho para tal fim.

Uma base experimental pode ser muito importante para preceder a apresentação conceitual na Física, através de um desafio ao estudo acadêmico sobre o que está acontecendo na prática realizada.¹³ Assim, inclusive, a experiência antecessora pode ser responsável por produzir os conhecimentos subsunçores¹⁴ para a aprendizagem significativa de Física.¹⁵ Além disso, também despertar o interesse pelo conteúdo, uma vez que:

para assimilar significativamente um conceito o estudante deve primeiramente querer aprender, deve construir uma necessidade de mexer com seu conhecimento prévio, uma vez que será este conhecimento resgatador dos novos conhecimentos. Deve também perceber o potencial do novo conceito, incluindo seu significado, sua importância, suas aplicações e suas correlações com outros conceitos já existentes na estrutura cognitiva (LINO; FUSINATO, 2011, p.77)

¹³ Conhecimento prévio não tem pretensão de ser pré-requisito. Ele pode servir como catalisador, mas sua ausência não impede a aprendizagem significativa.

¹⁴ 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.

¹⁵ Por exemplo, na experiência com o pêndulo, é possível identificar o conhecimento prévio através de uma abordagem participativa para a explicação sobre o que está causando o movimento harmônico, permitindo uma posterior associação da gravidade ao movimento pendular na discussão teórica do experimento.

É natural concluir que o aprendizado depende do interesse em aprender pelo aluno. A assimilação de um conteúdo depende da bagagem prévia, mas fundamentalmente da vontade do indivíduo. E despertar esse interesse e essa vontade no aluno é o grande desafio na educação atual, frente à grande quantidade de distrações disponíveis com o avanço tecnológico.

Para serem aprendidos significativamente, novos conhecimentos devem fazer sentido para o aprendiz. As situações devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade e abstração. As primeiras situações devem ser do entorno de aluno. Parecem asserções óbvias, mas, usualmente, não são levadas em consideração no ensino de Física. É comum começar o ensino da Física com situações que não fazem sentido para os alunos e, muitas vezes, em níveis de abstração e complexidade acima de suas capacidades cognitivas. É nesse começo que o ensino da Física “perde” os alunos que, por sua vez, começam a não gostar da Física (MOREIRA, 2021, p. 2).

Com o exposto concluímos que dois aspectos são fundamentais para a aprendizagem significativa: o conhecimento prévio e a predisposição para aprender.

E aqui pode estar a importância em associar as atividades aos instrumentos tecnológicos disponíveis, seja por marcar o conhecimento à interação do acadêmico com sua atividade prática, seja por limitar a potencial distração com o comprometimento do aparelho celular à experiência realizada com o suporte de aplicativos.

É fácil de concluir que o ensino de Física pode se tornar muito abstrato e distante do cotidiano dos acadêmicos, o que dificulta sua compreensão e aprendizado. Esta ocorrência pode levar à perda de interesse ou desmotivar a assimilação na escola. Assim, definir uma sequência de ensino que busque associar a Física ao cotidiano ou que pretenda diminuir a abstração do conhecimento com a inclusão de experimentos práticos é fundamental para despertar o interesse e facilitar a compreensão dos conteúdos.

Assim, o professor poderia apoiar as seguintes orientações ou estratégias que permitiriam estruturar o processo de Ensino e Aprendizagem utilizando o conceito de Aprendizagem Significativa de Ausubel:

1. Mapear os subsunçores necessários
2. Realizar pré-teste com situação problema
3. Apresentar a experiência a ser realizada pelos acadêmicos, como por exemplo uma avaliação do movimento pendular.

4. Realizar a experiência e abrir o espaço para a apresentação das interpretações individuais sobre o que está ocorrendo. No exemplo do movimento pendular, inquirindo sobre o tipo de movimento, o que gera o movimento e o que pode afetar o tempo de movimento.
5. Analisar as ideias apresentadas para estabelecer um mapeamento dos conhecimentos subsunçores que permitiriam a fixação dos novos conceitos.
6. Apresentar os conceitos envolvidos no experimento realizado a partir do mapeamento de conhecimentos subsunçores. No exemplo do movimento pendular, apresentar o movimento harmônico simples, a ação gravitacional.
7. Repetir o experimento agora indagando os acadêmicos quanto aos fatores que precisam ser observados e analisados. No exemplo do pêndulo: questionar sobre o que poderia afetar o tempo de movimento (comprimento do fio, massa pendular, ângulo de movimento) e sobre como determinar a aceleração da gravidade local.
8. Apresentação dos resultados dos experimentos realizados.
9. Apresentação conceitual dos fundamentos do experimento. No caso do pêndulo, o movimento harmônico simples, a gravidade, a relação entre velocidade, tempo e aceleração gravitacional.
10. Realizar avaliação individual.
11. Avaliar a qualidade e quantidade de aprendizado
12. Fornecer um encerramento para a turma.

Na avaliação é de extrema importância considerar não só as respostas corretas, mas também o motivo que tenha levado à resposta. Isso para possibilitar uma análise da compreensão e aprendizagem significativa. Em princípio, as novas informações são essencialmente incorporadas a estrutura cognitiva preexistente, mas podem também formar novas cadeias cognitivas. E, claro, como já mencionado anteriormente, também é indispensável que o aluno esteja interessado em aprender o que é apresentado.

2.2 Sequência Didática

A sequência didática é uma configuração de atividades com traços claros e estruturados que tem objetivo de diferenciar uma prática educativa. Nas palavras de Zabala (1998, p. 17), “são um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos”.

A sequência desemboca em um plano de aula que 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.

Uma sequência didática, de acordo com Zabala (1998, p.20), é uma série de atividades planejadas e organizadas com o objetivo de promover a aprendizagem dos alunos de forma progressiva e significativa.

Portanto, a sequência didática é um instrumento pedagógico que considera as etapas necessárias para que os alunos adquiram conhecimentos, habilidades e competências de maneira efetiva. Assim, envolve o desenvolvimento de atividades que começam com a ativação dos conhecimentos prévios dos alunos (os subsunçores), passam pela apresentação de novos conceitos, prática, aplicação e avaliação. Zabala (1998, p. 63-76) apresenta etapas típicas de uma sequência didática:

- I. Ativação de conhecimentos prévios: uma a sequência didática deve começar perguntando aos alunos o que eles já sabem sobre o tópico a ser abordado. Esse passo ajuda a identificar os subsunçores necessários para conectar o novo conhecimento com o que eles já possuem.
- II. Objetivos de aprendizagem: definir claramente os objetivos de aprendizagem que os alunos devem alcançar ao final da sequência permite foco e um melhor mapeamento dos conhecimentos prévios necessários.
- III. Apresentação dos conteúdos: introduzir novos conceitos, informações ou habilidades de forma organizada e clara, com estratégias diversas: exposição oral, materiais visuais, atividades práticas, entre outras.

- IV. Atividades de prática: proporcionar oportunidades para os alunos praticarem e consolidarem o que aprenderam, através da proposição de problemas ou questões, por exemplo.
- V. Atividades de aplicação: desafiar os alunos a aplicar o conhecimento adquirido em situações do mundo real ou em contextos práticos. Dar significância e funcionalidade aos conteúdos.
- VI. Reflexão: incentivar os alunos a refletirem sobre o que aprenderam e como podem aplicar esse conhecimento em suas vidas. Elaborar conclusões. Conflito cognitivo e atividade mental que pode ser produzido por visitas, observações, ensaios de laboratório, entrevistas, simulações, etc.
- VII. Ampliação: sugerir maneiras de aprofundar o conhecimento ou explorar tópicos relacionados. Busca da informação. Permite significância e funcionalidade para os novos conteúdos.
- VIII. Síntese: ajudar os alunos a consolidar o que aprenderam, resumir os principais conceitos e conexões feitas durante a sequência. Aprender a aprender.
- IX. Generalização: ajudar os alunos a transferir o conhecimento adquirido para outras situações ou contextos. Do específico, pontual, para o geral, associativo.
- X. Avaliação: avaliar o progresso dos alunos e a aquisição dos objetivos de aprendizagem estabelecidos. Pode ser realizado através de testes, projetos, discussões, entre outros métodos.

É indispensável destacar que as sequências didáticas propostas por Zabala são flexíveis e podem ser ajustadas conforme as necessidades dos alunos e objetivos de aprendizagem. O objetivo das sequências didáticas é tornar a aprendizagem mais ativa, envolvente e significativa.

Complementarmente, Zabala define uma tipologia para os conteúdos de forma a permitir uma identificação de semelhanças na forma de “aprendê-los e, portanto, de ensiná-los, pelo fato de serem conceitos, fatos, métodos, procedimentos, atitudes, etc., e não pelo fato de estarem adstritos a uma ou outra disciplina” (ZABALA, 1998, p. 39). Portanto, na teoria de Antoni Zabala, as sequências didáticas são

planejadas pelo tipo de conteúdo, que requer abordagem pedagógica específica para promover a aprendizagem significativa.

Os tipos de conteúdo identificados por Zabala (1998, p. 41-48):

- I. Conteúdo Conceitual: este tipo de conteúdo refere-se a fatos, conceitos, ideias e teorias. Normalmente descrevem relações de causa-efeito ou de correlação. Ou seja, envolve a compreensão de informações, princípios e estruturas que são fundamentais para uma determinada disciplina. Para ensinar conteúdo conceitual, as sequências didáticas podem incluir atividades de explicação, exemplificação, discussão e prática para ajudar os alunos a compreender e aplicar os conceitos. “Trata-se sempre de atividades que favoreçam a compreensão do conceito a fim de utilizá-lo para a interpretação ou o conhecimento de situações, ou para a construção de outras ideias” (ZABALA, 1998, p.43). São exemplos de conceitos: inseto, massa, função, demografia, cidade, concerto, densidade, etc.
- II. Conteúdo Procedimental: este tipo de conteúdo está relacionado às habilidades, procedimentos, técnicas, destrezas, regras, estratégias, processos e métodos. É um conjunto de ações ordenadas dirigidas para atingir um objetivo. Portanto, inclui ações práticas, como ler, desenhar, resolver problemas matemáticos, escrever ensaios, realizar experimentos científicos e outras tarefas que envolvem processos específicos. Para ensinar conteúdo procedimental as sequências didáticas podem incluir atividades práticas, demonstrações, exercícios de prática e feedback para desenvolver habilidades. “Aquele que sabe raciocinar em matemática será capaz de fazê-lo em qualquer circunstância”(ZABALA, 1998, p.44).
- III. Conteúdo Atitudinal: este tipo de conteúdo está relacionado às atitudes (tendências ou predisposições), valores (princípios ou ideias éticas), normas (padrões ou regras de comportamentos) e crenças. Portanto, envolve a formação de atitudes positivas em relação ao aprendizado, o trabalho em equipe, a reflexão sobre os possíveis modelos, análise e avaliação das normas, apropriação e elaboração do conteúdo, entre outros. Para ensinar conteúdo atitudinal as sequências didáticas podem

incluir atividades de discussão, reflexão, debates, estudos de caso e experiências que incentivam os alunos a refletir sobre suas atitudes e valores, implicar na “análise dos fatores positivos e negativos, uma tomada de posição, um envolvimento afetivo e uma revisão e avaliação da própria atuação”(ZABALA, 1998, p.48).

É possível concluir, portanto, que a teoria de Antoni Zabala reconhece que a aprendizagem é mais eficaz quando os diferentes tipos de conteúdo (conceitual, procedimental e atitudinal) são abordados de maneira integrada. Ou seja, as sequências didáticas são propostas para promover o desenvolvimento de conhecimentos, habilidades e atitudes, com o objetivo de propiciar uma educação mais completa, abrangente e significativa.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será descrito o referencial necessário para a compreensão da teoria que descreve os fenômenos físicos das atividades experimentais proposta para realização deste trabalho.

3.1 Pêndulo Simples

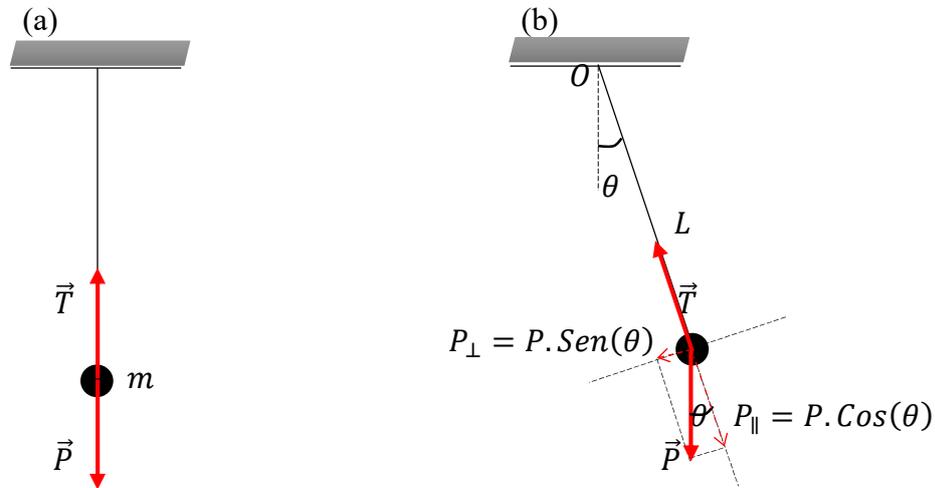
Para a compreensão do pêndulo simples alguns conceitos subsunçores são importantes, como a definição de equilíbrio e o conceito de gravidade.

Um pêndulo simples 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 Foucalt 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 2 .

Figura 2 – 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 2 (a), onde o pêndulo é representado em repouso, as duas forças que atuam sobre a partícula se equilibram. Na Figura 2 (b) é representado o pêndulo deslocado de sua posição de equilíbrio, de forma que a direção do fio monte um ângulo θ 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.

Pela 2ª Lei de Newton temos que

$$F_r = m a \quad (1)$$

E, pelo descrito acima, encontraremos a Força Resultante com a seguinte igualdade: $F_r = P_{\text{perpendicular}} = P_{\perp}$.

Como $P_{\perp} = m g \text{sen}(\theta)$, chegamos em

$$F_r = m g \text{sen}(\theta) \quad (2)$$

Na qual, m é a massa suspensa e g é a aceleração gravitacional.

Convém observar o caráter regenerativo da componente perpendicular da força gravitacional, uma vez que ela sempre se opõe ao deslocamento da posição inicial da massa, numa “tentativa” de retornar a massa para sua posição de equilíbrio (posição inicial). Ao considerar essa característica da força, vamos incluir um sinal negativo no lado direito da equação e reescrevê-la como

$$F_r = -m g \text{sen}(\theta) \quad (3)$$

A equação de movimento pode ser obtida aplicando a 2ª lei de Newton para rotações:

$$\sum \tau = I \alpha \quad (4)$$

Na qual, τ é o torque, I o momento de inércia e α a aceleração angular.

O torque sobre um corpo também é definido como (SEARS; ZEMANSKY; YOUNG, 1985, p.186):

$$\tau = F l \quad (5)$$

Onde F é a força perpendicular ao eixo de rotação e l é a distância perpendicular à linha de ação da força e ao eixo de rotação. É claro que se $l = 0$, não haverá rotação.

Como observado anteriormente, a única componente de força que realiza torque sobre o eixo de rotação O é

$$P_{\perp} = m g \text{sen}(\theta) \quad (6)$$

Assim chegamos em um torque resultante como

$$\tau_{res} = \sum \tau = P_{\perp} L \quad (7)$$

Onde a componente perpendicular do Peso varia ao longo do movimento, visto sua dependência com o ângulo formado com a vertical, conforme pode ser observado na Figura 2 (b).

Ao substituir a equação (6),

$$\sum \tau = -m g \text{sen}(\theta) L \quad (8)$$

O sinal negativo na expressão está relacionado ao fato de o torque ser restaurador, ou seja, direcionado a rotacionar o pêndulo para a posição de equilíbrio, uma vez que a força atua no sentido de oposição ao deslocamento da posição inicial da massa.

Como apresenta SEARS; ZEMANSKY; YOUNG (1985, p.209), o momento de inércia pode ser calculado usando a definição

$$I = \sum m_i r_i^2 \quad (9)$$

Se cada elemento de massa Δm é multiplicada pelo quadrado da sua distância ao eixo de rotação e todos os produtos $r^2 \Delta m$ são somados, encontramos

$$I = \lim_{\Delta m \rightarrow 0} \sum r^2 \Delta m \quad (10)$$

Assim, o momento de inércia é definido pela integração de todas as partes, ou seja,

$$I = \int r^2 dm \quad (11)$$

Onde dm é o elemento de massa infinitesimal e r a distância do elemento ao eixo de rotação. No caso particular do pêndulo simples, toda a massa está situada a uma distância L do eixo de rotação, logo, $r = cte = L$. Assim,

$$I = L^2 m \quad (12)$$

A aceleração angular é, por definição a derivada segunda da posição angular,

$$\alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (13)$$

Substituindo o torque resultante (8), o momento de inércia (12) e a aceleração angular (13) na Eq. (4) obtemos

$$-m g \text{sen}(\theta) L = L^2 m \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (14)$$

Na qual o ângulo varia com o tempo $\theta(t)$.

Dividindo ambos os lados da igualdade por m e L encontramos

$$-g \text{sen}(\theta(t)) = L \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} \quad (15)$$

Reescrevendo a equação,

$$\frac{d^2\theta(t)}{dt^2} = -\frac{g}{L} \text{sen}(\theta(t)) \quad (16)$$

A equação (16) é conhecida como equação diferencial do Pêndulo Simples. Esta equação não possui uma solução analítica, mas é possível fazer algumas aproximações para obter uma solução mais amigável.

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

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

Ângulo		Senos	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: Autoria própria (2023)

Logo, para pequenos desvios da posição de equilíbrio estável, podemos aproximar o valor do seno pelo valor do próprio ângulo ($\text{sen}(\theta) \approx \theta$) e a equação de oscilação harmônica (16) pode ser reescrita conforme abaixo ao considerar essa aproximação:

$$\frac{d^2\theta(t)}{dt^2} = -\frac{g}{L}\theta(t) \quad (17)$$

Devido à aproximação utilizada, a equação acima é válida para descrever o pêndulo simples para pequenos valores de ângulo em relação à vertical. Ou seja, a amplitude máxima aplicada no deslocamento da posição inicial deve ser pequena.

Este mesmo resultado pode ser encontrado em uma análise diferente se lembrarmos que

$$F_r = m a = m \frac{d^2s}{dt^2} \quad (18)$$

E retomarmos a Eq. (3), encontramos

$$F_r = -m g \text{sen}(\theta) = m \frac{d^2s}{dt^2} \quad (19)$$

Sendo s comprimento do arco medido a partir do ponto mais baixo da trajetória. Então,

$$s = L \theta \quad (20)$$

E, portanto, substituindo a Eq (20) na Eq. (19)

$$-m g \text{sen}(\theta) = m L \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (21)$$

Ao dividir a igualdade por m,

$$-g \text{sen}(\theta) = L \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (22)$$

Seguindo a aproximação já discutida para pequenos ângulos ($\text{sen}(\theta) \approx \theta$), encontramos

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{L} \theta \quad (23)$$

A aceleração é proporcional ao deslocamento e tem o sentido oposto ao do deslocamento e assim TIPLER (2000, p. 376) destaca as condições do movimento harmônico simples: *“Sempre que a aceleração de um corpo for proporcional ao seu deslocamento e tiver direção oposta à do deslocamento, o corpo se moverá com movimento harmônico simples”*.

Nesse sentido, é possível adotar a equação da posição no movimento harmônico simples para o pêndulo.

$$x = A \cos(\omega t + \phi) \quad (24)$$

Em que A, ω e ϕ são constantes. A é a amplitude, ou seja, o deslocamento máximo em relação à posição de equilíbrio. $\omega t + \phi$ (argumento da função cosseno) é a fase do movimento e a contante ϕ é a constante de fase. TIPLER (2000, p. 377) destaca que quando se tem um só sistema oscilante, podemos sempre escolher $t = 0$ de modo que $\phi = 0$.

Ao derivar a equação (24) encontramos a velocidade v no movimento harmônico simples:

$$v = \frac{dx}{dt} = -A \operatorname{sen}(\omega t + \phi) \quad (25)$$

Ao derivar a velocidade, encontramos a aceleração no movimento harmônico simples:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \operatorname{sen}(\omega t + \phi) \quad (26)$$

Ou, substituindo a equação (24),

$$a = -\omega^2 x \quad (27)$$

Em radianos, $a = \alpha r$ e $x = \theta r$. Portanto,

$$\alpha r = -\omega^2 \theta r \quad (28)$$

Ao dividir a igualdade por r , encontramos,

$$\alpha = -\omega^2 \theta = \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} \quad (29)$$

Ao comparar a equação Eq. (17) com a Eq. (29) tem-se que

$$\omega^2 = \frac{g}{L} \quad (30)$$

Retorna-se para a seguinte equação

$$\frac{d^2\theta(t)}{dt^2} = -\omega^2 \theta(t) \quad (31)$$

A Eq. (31) é uma equação diferencial ordinária de 2ª ordem, cuja solução geral é (TIPLER, 2000, p.389):

$$\theta(t) = \theta_0 \cos(\omega_0 t + \phi) \quad (32)$$

em que, θ_0 é a amplitude da oscilação, ϕ é a fase inicial do movimento e ω_0 é a frequência angular do sistema.

Nessa equação, o termo $\cos(\omega_0 t + \phi)$ pode assumir valores que vão de -1 a 1 . Portanto, a equação pode assumir valores que vão de $-\theta_0$ a θ_0 . Esse intervalo de valores é chamado de amplitude de oscilação.

Para representar essa função em um gráfico e melhorar a compreensão sobre a relação entre essa equação e o experimento, vamos considerar a seguinte condição inicial: o movimento inicia a partir do repouso. Isso significa dizer que a velocidade angular inicial é igual a zero, ou seja

$$\omega(0) = 0 \quad (33)$$

Para aplicar a condição inicial é preciso primeiro obter a função $\omega(t)$ que representa a função velocidade angular do pêndulo. Para isso vamos derivar, em relação ao tempo a equação (32).

$$\omega(t) = \frac{d}{dt} \theta(t) \quad (34)$$

$$\omega(t) = \frac{d}{dt} \theta_0 \cos(\omega_0 t + \phi) \quad (35)$$

$$\omega(t) = -\omega_0 \theta_0 \text{sen}(\omega_0 t + \phi) \quad (36)$$

Agora aplica-se a condição inicial dada pela equação (33)

$$\omega(0) = -\omega_0 \theta_0 \text{sen}(\omega_0 0 + \phi) = 0 \quad (37)$$

$$-\omega_0 \theta_0 \text{sen}(\phi) = 0 \quad (38)$$

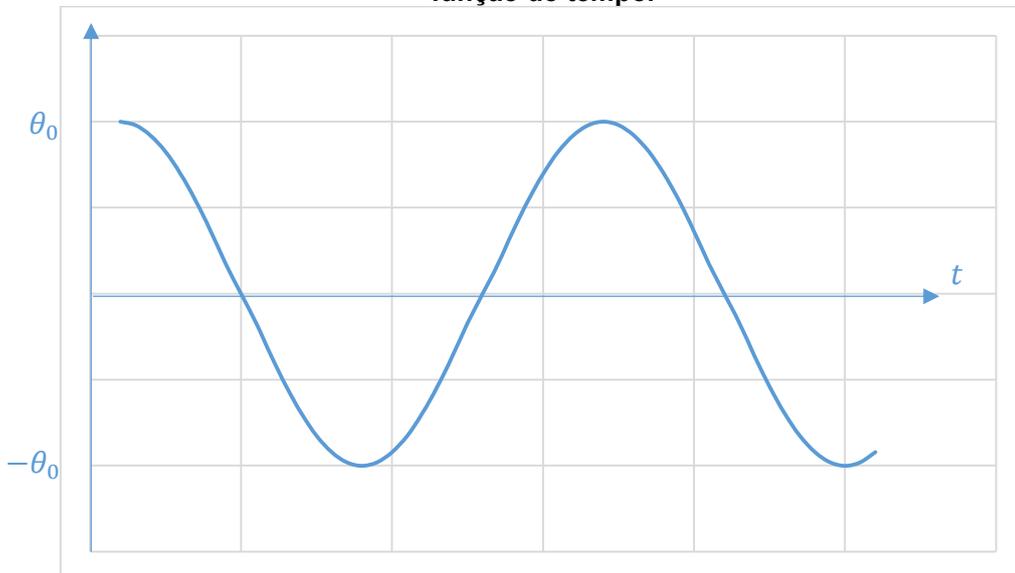
Essa igualdade só é atendida com $\text{sen}(\phi) = 0$, ou seja, $\phi = 0$.

Assim, voltando para a equação (32), temos que

$$\theta(t) = \theta_0 \cos(\omega_0 t) \quad (39)$$

Agora é possível representar graficamente esta equação, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Representação gráfica da equação (39), que descreve a posição do pêndulo em função do tempo.



Fonte: Autoria própria (2023)

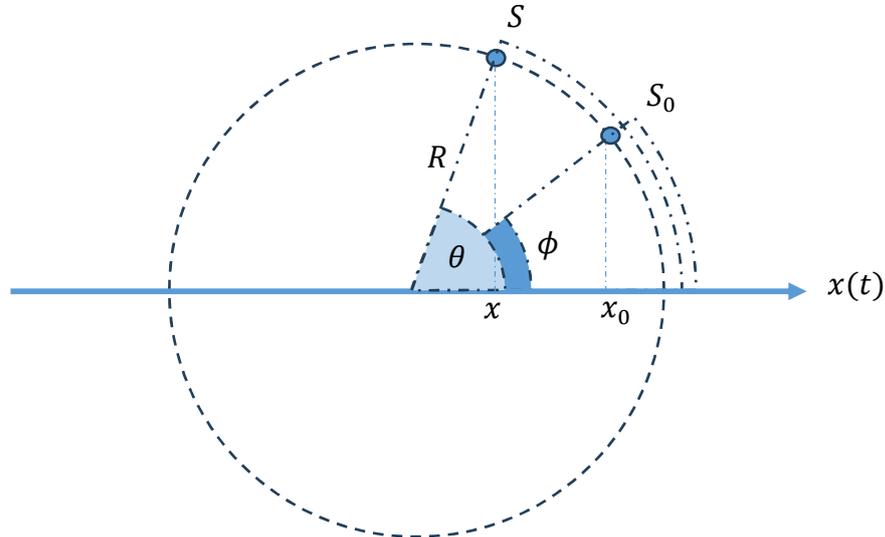
O termo $\omega_0 t + \phi$ presente na função cosseno da equação (32) pode ser entendido por associação com o Movimento Circular Uniforme (MCU), sendo que uma partícula que executa um MHS ou MCU retorna a uma dada posição em um determinado intervalo de tempo.

Veja a figura abaixo que descreve o movimento de uma partícula que percorre uma distância S em uma trajetória circular de raio R (MCU) associada a um deslocamento x em Movimento Harmônico Simples.

A equação (40) representa o MCU, movimento “em que a trajetória é um círculo e o módulo da velocidade instantânea é constante, de modo que a partícula descreve arcos de círculo iguais em tempos iguais” (NUSSENZVEIG, 2013, p.77).

$$\theta = \phi + \omega t \quad (40)$$

Figura 4 – Representação gráfica da equação (40), que descreve a posição da partícula em MCU.



Fonte: Autoria própria (2023)

O lado direito da equação (40) é igual ao argumento da função cosseno da equação (32). O parâmetro ϕ é a constante de fase e o termo $\omega_0 t + \phi$ é chamado de ângulo de fase.

Como visto anteriormente (Eq. (30)) ω_0 é definida como:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (41)$$

Os parâmetros g e L definem a frequência natural ω_0 de oscilação do sistema.

Uma vez que ω é a frequência angular e descrita em radianos/segundo, temos a expressão abaixo para uma oscilação completa.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (42)$$

Portanto, o período do movimento oscilatório é dado por:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad (43)$$

Ao substituir a equação (41) na equação (43) encontramos:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{L}}} \quad (44)$$

Que pode ser reescrita como:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (45)$$

Na qual, g é a aceleração da gravidade.

Essa equação (45) 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.

Também é possível encontrar uma relação constante entre período e comprimento do pêndulo, ao aplicar o desenvolvimento abaixo.

Elevando ao quadrado a equação (45), temos:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{L}{g} \quad (46)$$

Isolando-se os termos constantes quando num mesmo planeta, ou seja $g = cte$, chegamos na seguinte expressão:

$$\frac{T^2}{L} = 4 \frac{\pi^2}{g} \quad (47)$$

Com isso, encontramos uma relação de valor constante entre período do movimento (T) e comprimento do pêndulo (L), quando num mesmo planeta:

$$\frac{T^2}{L} = cte \quad (48)$$

Ou seja, visto que essa relação é uma constante, uma vez determinado seu valor é possível calcular o período para qualquer comprimento escolhido para o pendulo simples.

3.2 Lei de Stevin

Para o estudo da Lei de Stevin 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”*.

E complementa que um fluido, por sua vez, “*não pode equilibrar uma força tangencial, por menor que ela seja*”. Um fluido escoar, “*e permanece em movimento enquanto a força estiver sendo aplicada*”. No entanto, um fluido real opõe resistência que mede a sua viscosidade, que depende da taxa de variação espacial da velocidade relativa de deslizamento relativo de camadas adjacentes. Portanto, para um fluido estar em equilíbrio, não pode haver tensões tangenciais. (NUSSENZVEIG, 2002, p.2)

Macroscopicamente um fluido se comporta como um meio contínuo, isso quer dizer que suas propriedades variam continuamente em uma região em torno de cada ponto do fluido. Como as distâncias interatômicas são muito menores quando comparadas com as dimensões macroscópicas, as flutuações nas propriedades dos fluidos são imperceptíveis e a aproximação de meio contínuo pode ser assumida. (NUSSENZVEIG, 2002, p.2)

Assim, um elemento infinitesimal do volume de um fluido pode ser referido como

$$\Delta V = \Delta x \Delta y \Delta z \quad (49)$$

Onde Δx , Δy e Δz são muito menores do que as dimensões macroscópicas e simultaneamente maiores que as dimensões interatômicas. Assim, é possível definir a densidade ρ num ponto Q do fluido como

$$\rho = \lim_{\Delta V} \left(\frac{\Delta m}{\Delta V} \right) = \frac{dm}{dV} \quad (50)$$

Onde Δm é a massa de um volume ΔV do fluido em torno do ponto Q. O limite “ $\Delta V \rightarrow 0$ ” nesta expressão deve ser interpretado como significando de que ΔV é um infinitésimo físico. Conseqüentemente, a densidade é expressa em kg/m^3 (quilograma por metro cúbico) no sistema internacional de unidades (SI).

Densidade (ρ), portanto, é definida como uma relação entre massa e unidade de volume. Naturalmente é uma relação que dependente da temperatura, ou seja, a densidade das substâncias varia com a temperatura. Além disso, a densidade depende de forças de compressão exercidas sobre a matéria.

Como destaca ALONSO; FINN (2018, p. 36), a equação abaixo pode ser utilizada para os corpos homogêneos, que possuem a mesma composição em toda a extensão.

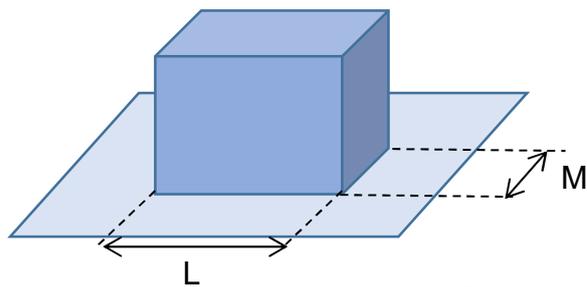
$$\rho = \frac{m}{V} \quad (51)$$

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:

Figura 5 – Diagrama com a representação da área de contato entre um corpo e superfície.



Fonte: Autoria própria (2023)

A força exercida pelo objeto sobre a superfície é igual ao seu peso, ou seja, $F = P = m g$. Devido à simetria do objeto e da superfície, podemos supor que a força é distribuída uniformemente sobre a superfície. As forças superficiais são forças de interação entre uma dada porção do meio, limitada por uma superfície “ $S = L M$ ”, e porções adjacentes são forças interatômicas, de curto alcance, transmitidas através da superfície S . A força superficial sobre um elemento de superfície ΔS é proporcional à área ΔS , e a força por unidade de área corresponde à tensão.

Nesse caso, a pressão em qualquer ponto da superfície é dada por:

$$p = \left| \frac{dF}{dS} \right| = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta F}{\Delta S} \right| \quad (52)$$

Na representação da Figura 5 temos apenas a aplicação da força peso, perpendicular à superfície. Considerando $F = P = m g$ e $S = L M$, teríamos

$$p = \frac{F}{S} = \frac{m g}{L M} \quad (53)$$

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).

Como discutido anteriormente neste tópico, em um fluido em equilíbrio não há ação de forças tangenciais. No entanto, pode existir a presença de forças volumétricas e forças superficiais. A força superficial $d\vec{F}_s$ (interação de uma dada camada de um fluido com camadas adjacentes, separadas por uma superfície S) sobre um elemento de superfície dS corresponde a uma pressão p .

$$d\vec{F}_s = p dS \hat{n} \quad (54)$$

Onde \hat{n} é um vetor unitário perpendicular a superfície dS . Com isso, a pressão p pode ser apresentada como

$$p = \left| \frac{d\vec{F} \cdot \hat{n}}{dS} \right| \quad (55)$$

Consequentemente, a pressão exercida por uma força superficial F sobre uma superfície de área S é dada por:

$$p = \frac{F}{S} \quad (56)$$

Essa equação nos apresenta a unidade da pressão como N/m^2 ou Pa (Pascal):

$$[p] = \frac{[F]}{[S]} = \frac{N}{m^2} = 1 Pa \quad (57)$$

Além das forças superficiais, em um fluido em equilíbrio também podem agir as forças volumétricas. As forças volumétricas atuam ao longo do volume de um objeto, como a força gravitacional, por exemplo. Desta forma, é possível definir a densidade de força volumétrica \vec{f} como

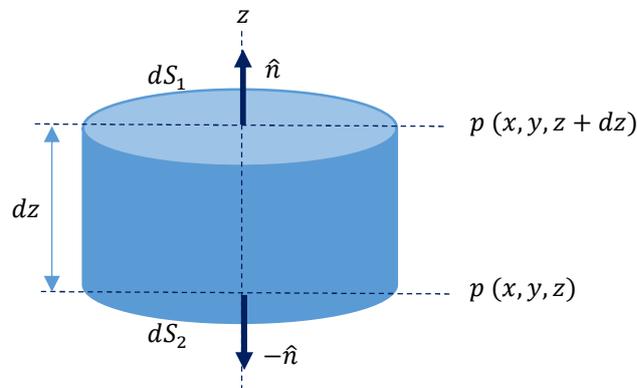
$$\vec{f} = \frac{\Delta \vec{F}_v}{\Delta V} \quad (58)$$

Ou seja,

$$\Delta \vec{F}_v = \vec{f} \Delta V \quad (59)$$

Para obter os efeitos das forças volumétricas num fluido em equilíbrio é preciso definir um elemento infinitesimal conforme Figura 6.

Figura 6 – Volume infinitesimal na forma de um cilindro com altura dz , sujeito a ação de forças volumétricas.



Fonte: Autoria própria (2023)

Se esse elemento infinitesimal está imerso em um fluido em equilíbrio, estará sujeito a ação de forças volumétricas e superficiais.

O módulo da força volumétrica que atua na direção z no volume infinitesimal dz , visto a equação (59), pode ser apresentado como

$$dF_v = f_z dS dz \quad (60)$$

Já as forças superficiais que atuam nas superfícies dS_1 e dS_2 , visto a equação (54), são apresentadas como

$$dF_{s_1} = -p(x, y, z + dz) dS \quad (61)$$

$$dF_{s_2} = p(x, y, z) dS \quad (62)$$

Portanto, a soma das forças superficiais é dada por (observando que $dS_1 = dS_2 = dS$)

$$dF_s = [-p(x, y, z + dz) + p(x, y, z)] dS \quad (63)$$

E a força resultante dF é dada pela soma entre as forças volumétricas e superficiais

$$dF = dF_v + dF_s \quad (64)$$

Ao substituir nesta as equações (61), (62) e (60), é encontrada

$$dF = f_z dS dz + [-p(x, y, z + dz) + p(x, y, z)] dS \quad (65)$$

Em um fluido em equilíbrio temos a força resultante igual a zero (nula)

$$dF = 0 \quad (66)$$

Então,

$$f_z dS dz + [-p(x, y, z + dz) + p(x, y, z)] dS = 0 \quad (67)$$

$$[f_z dz - p(x, y, z + dz) + p(x, y, z)] dS = 0 \quad (68)$$

$$\left\{ f_z + \left[\frac{-p(x, y, z + dz) + p(x, y, z)}{dz} \right] \right\} dS = 0 \quad (69)$$

$$\left\{ f_z - \left[\frac{p(x, y, z + dz) - p(x, y, z)}{dz} \right] \right\} dS = 0 \quad (70)$$

O termo entre colchetes representa a derivada parcial da pressão em relação ao eixo z:

$$\left[\frac{p(x, y, z + dz) - p(x, y, z)}{dz} \right] = \frac{\partial}{\partial z} p(x, y, z) \quad (71)$$

Portanto, ao substituir esta equação na equação (70), encontramos

$$\left[f_z - \frac{\partial}{\partial z} p(x, y, z) \right] dS = 0 \quad (72)$$

Onde é necessário que

$$f_z = \frac{\partial}{\partial z} p(x, y, z) \quad (73)$$

para que a igualdade seja verificada.

Esta equação mostra que a força f_z , ao longo do eixo z causa uma variação de pressão na mesma direção da força, o mesmo sendo aplicável às demais direções cartesianas.

Se considerar a ação gravitacional sobre um fluido em equilíbrio, é possível descrever a força que a Terra exerce sobre essa porção de fluido de massa m como:

$$F = m g \quad (74)$$

Ao dividir ambos os lados dessa equação pelo volume V encontra-se

$$\frac{F}{V} = \frac{m g}{V} \quad (75)$$

No lado esquerdo dessa equação encontramos a definição da densidade de força volumétrica, $f = F/V$, e a densidade $\rho = m/V$. Assim, podemos reescrever como

$$f = \rho g \quad (76)$$

Uma vez que a força gravitacional atua apenas ao longo da direção z (vertical), podemos escrever $f = f_z$, ou seja

$$f_z = \rho g \quad (77)$$

Ao substituir a equação (73) encontramos

$$\rho g = \frac{\partial}{\partial z} p(x, y, z) \quad (78)$$

Como a força atua apenas na direção z , a derivada parcial pode ser substituída pela derivada total.

$$\rho g = \frac{d}{dz} p(x, y, z) \quad (79)$$

Como a força atua apenas na direção z , a variação da pressão também será realizada na direção z e $p(x, y, z) = p(z)$.

$$\rho g = \frac{d}{dz} p(z) \quad (80)$$

Integrando ambos os termos em relação a z , de z_0 a z , encontramos

$$\int_{z_0}^z \rho g dz = \int_{z_0}^z \frac{d}{dz} p(z) dz \quad (81)$$

$$\rho g (z - z_0) = p(z) - p(z_0) \quad (82)$$

$$p(z) = p(z_0) + \rho g (z - z_0) \quad (83)$$

Utilizando as seguintes definições

$$z - z_0 = h \quad (84)$$

$$p(z_0) = p_0 \quad (85)$$

E substituindo na equação (83)

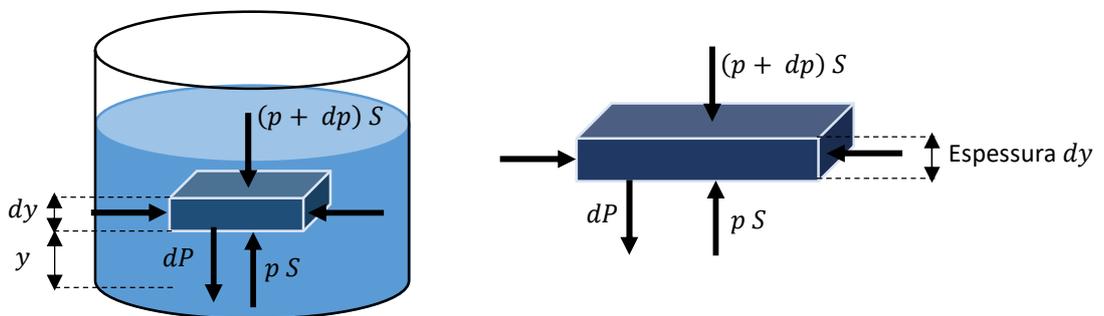
$$p(z) = p_0 + \rho g h \quad (86)$$

A equação (86) é o teorema de Stevin que enuncia que a pressão no interior do fluido em equilíbrio, sujeito a ação da força gravitacional, aumenta linearmente com a profundidade.

De forma complementar, é possível trazer a demonstração apresentada por 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. Nesta demonstração 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.

Como $p = F/S$, é possível reescrever a igualdade como $p S = F$.

Figura 7 – Forças sobre um elemento de fluido em equilíbrio.



Fonte: Autoria própria (2023)

Portanto, a força exercida sobre a parte superior do elemento é dada por

$$F = p S \quad (87)$$

Já a parte inferior possui um acréscimo de força, que pode ser representado por:

$$F = (p + dp) S, \quad (88)$$

Então é possível descrever a variação da força exercida entre a parte superior e inferior do elemento de fluido em equilíbrio como a diferença entre (87) e (88):

$$dF = p S - (p + dp) S \quad (89)$$

Sendo esse acréscimo de força decorrente da variação do peso do fluido tem-se:

$$dF = dP = dm g \quad (90)$$

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

$$dP = \rho dV g \quad (91)$$

Se a variação de volume decorre da relação $dV = A. dy$, tem-se:

$$dP = \rho S dy g \quad (92)$$

Igualando-se (89) e (92) chega-se a:

$$p A - (p + dp) S = \rho S dy g \quad (93)$$

Desenvolvendo:

$$- dp S = \rho S dy g \quad (94)$$

Dividindo ambos os lados da igualdade por S (área):

$$- dp = \rho dy g \quad (95)$$

De onde:

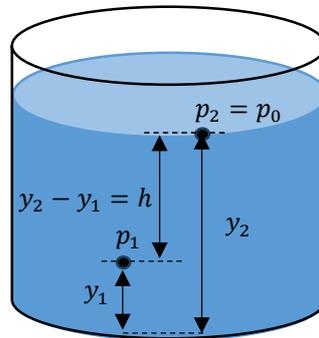
$$\frac{dp}{dy} = -\rho g \quad (96)$$

Como ρ e g são quantidades positivas, o aumento de altura (dy positivo) implica em redução de pressão (dp será negativo).

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

$$p_2 - p_1 = -\rho g (y_2 - y_1) \quad (97)$$

Figura 8 – Representação de um recipiente preenchido com um fluido.



Fonte: Autoria própria (2023)

Se essa equação for aplicada em um recipiente aberto, conforme Figura 8, tem-se:

$$p_a - p = -\rho g (y_2 - y_1) \quad (98)$$

De onde:

$$p = p_a + \rho g (y_2 - y_1) \quad (99)$$

Ou seja,

$$p = p_a + \rho g \Delta h \quad (100)$$

Onde:

Δh – variação da profundidade/altura

p_a – pressão atmosférica

p – pressão final

g – gravidade

ρ – densidade do fluido

Com a equação (100) é possível perceber que a pressão em um fluido depende exclusivamente da altura h (ou profundidade) em que se está imerso em um líquido. Essa é a Lei de Stevin. Com esta lei estabelecida chegamos à conclusão de

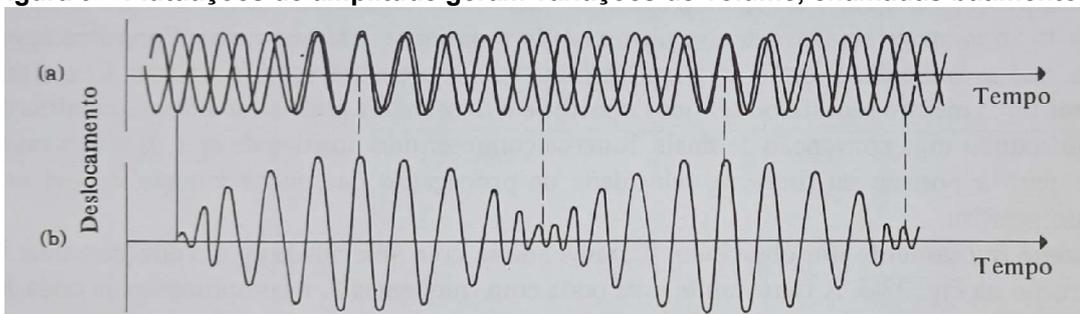
que corpos a uma mesma profundidade estão sujeitos à mesma pressão e o movimento horizontal não altera essa medida.

3.3 Interferência Sonora – Batimento

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).

Conseqüentemente, como destaca Sears; Zemansky; Young (1984, p. 485), essas “variações de amplitude originam variações de volume, chamadas *batimentos*”. (Figura 9).

Figura 9 – Flutuações de amplitude geram variações de volume, chamadas batimentos.



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

Seguindo a proposta de Nussenzveig, (2002, p. 111), para descrever esse fenômeno, vamos considerar duas ondas sonoras de amplitudes iguais A , que se propagam no mesmo meio e no mesmo sentido, porém com frequências ligeiramente diferentes e representadas pelas equações

$$y_1(x, t) = A \cos(k_1x - \omega_1t) \quad (101)$$

$$y_2(x, t) = A \cos(k_2x - \omega_2t) \quad (102)$$

Nas equações acima, A é a amplitude, k é o chamado número de onda, ω a frequência angular e t é o tempo.

Algumas relações podem ser interessantes relembrar antes de avançar neste estudo,

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau} \quad (103)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (104)$$

$$v = \lambda f \quad (105)$$

$$vk = \omega \quad (106)$$

Nas equações acima, λ é o comprimento de onda, v é a velocidade de propagação de onda e f é a frequência.

Pelo princípio da superposição o deslocamento resultante num ponto considerado é dado pela soma das ondas, dando origem a uma nova função de onda $y(x, t)$:

$$y(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) \quad (107)$$

Ao substituir (101) e (102) em (107), é possível encontrar

$$y(x, t) = A \cos(k_1x - \omega_1t) + A \cos(k_2x - \omega_2t) \quad (108)$$

$$y(x, t) = A [\cos(k_1x - \omega_1t) + \cos(k_2x - \omega_2t)] \quad (109)$$

Nesse ponto, a identidade trigonométrica abaixo pode ser utilizada (soma de cossenos)

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta) \quad (110)$$

E a equação (109) pode ser reescrita como

$$y(x, t) = 2A \cos \left[\frac{k_1 x - \omega_1 t + k_2 x - \omega_2 t}{2} \right] \cos \left[\frac{k_1 x - \omega_1 t - k_2 x - \omega_2 t}{2} \right] \quad (111)$$

$$y(x, t) = 2A \cos \left[\left(\frac{k_1 + k_2}{2} \right) x - \left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \right) t \right] \cos \left[\left(\frac{k_1 - k_2}{2} \right) x - \left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \right) t \right] \quad (112)$$

Ao adotar as seguintes definições,

$$\bar{k} = \frac{k_1 + k_2}{2} \quad (113)$$

$$\Delta k = k_1 - k_2 \quad (114)$$

$$\bar{\omega} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \quad (115)$$

$$\Delta \omega = \omega_1 - \omega_2 \quad (116)$$

E substituir as equações (113), (114), (115) e (116) na equação (112), encontra-se

$$y(x, t) = 2A \cos \left[\left(\frac{\Delta k}{2} \right) x - \left(\frac{\Delta \omega}{2} \right) t \right] \cos(\bar{k}x - \bar{\omega}t) \quad (117)$$

Esta equação representa, portanto, a função de onda que surge devido a interferência de duas ondas com frequências diferentes. E mostra que a onda que surge possui uma frequência $\bar{\omega}$ e é modulada por uma frequência $\Delta \omega$.

Assim, surge o chamado batimento para valores de frequências ω_1 e ω_2 muito próximas, sendo que a Figura 9-b apresenta o gráfico da equação (117).

Ao comparar a equação (101) com a equação (112) é possível observar que o deslocamento resultante da combinação das duas ondas tem uma frequência efetiva igual à frequência média dos dois tons, $\bar{\omega} = (\omega_1 + \omega_2)/2$ e uma amplitude não constante, mas modulada por uma função oscilatória, ou seja, $\Delta \omega/2 = (\omega_1 - \omega_2)/2$. Se ω_1 for muito próximo de ω_2 a amplitude variará muito vagarosamente.

Sears; Zemansky; Young (1984, p. 486) complementam que, assim, “o fenômeno de interferência conhecido como batimento resultará dos máximos e mínimos de amplitude que serão percebidos sempre que $\cos = \pm 1$. São dois os

máximos em cada ciclo e, por isso, o número de batimentos por segundo será o dobro da frequência de batimentos, ou seja $f_1 - f_2$. Assim, diferença de frequência entre essas duas ondas, chamada de frequência de batimento ($f_{\text{batimento}}$), é dada por:

$$f_{\text{batimento}} = |f_1 - f_2| \quad (118)$$

Vale observar que o batimento pode ser detectado pelo ouvido até uma frequência de batimento de 6 a 7Hz (SEARS; ZEMANSKY; YOUNG, 1984, p. 486).

O período do batimento pode ser calculado através do inverso da frequência de batimento:

$$T_{\text{batimento}} = \frac{1}{f_{\text{batimento}}} \quad (119)$$

Nesse sentido é possível concluir que o batimento sonoro é um fenômeno de interferência entre duas ondas sonoras, de frequências ligeiramente diferentes, que resulta em variações periódicas na intensidade sonora, dando origem à percepção de um batimento decorrente da variação da amplitude como demonstrado.

Paul Tipler traz a mesma conclusão, embora ofereça uma demonstração diferente da apresentada acima, ao afirmar que a “frequência desta variação de intensidade, que é o dobro de $\Delta f/2$, é a frequência dos batimentos” (TIPLER, 2000, p. 452).

Ou seja, “ $f_{\text{bat}} = \Delta f$ ”, frequência de batimento é igual a diferença de frequência das ondas sobrepostas.

4 O APLICATIVO PHYPHOX

Phyphox é um aplicativo gratuito e de código aberto para *Android* e *IOS* que permite aos usuários realizar experimentos científicos usando um smartphone como dispositivo de captura de informações. Ele permite coletar dados de sensores do telefone, como o acelerômetro, o giroscópio, o magnetômetro, entre outros, e realize análises em tempo real. O *Phyphox* também permite criar experimentos personalizados através de blocos de construção e oferece uma ampla variedade de ferramentas de análise de dados, incluindo gráficos, histogramas e análise estatística.

Além do aplicativo para *Android* e *IOS*, o projeto *Phyphox* também inclui o *PhyphoxLab*, um ambiente de laboratório virtual baseado na web que permite aos usuários realizarem experimentos usando dados coletados por dispositivos móveis e outros sensores. O *PhyphoxLab* é acessível gratuitamente pela internet e oferece uma variedade de experimentos práticos que abrangem diferentes áreas da física, como eletricidade, mecânica e óptica. Além disso, a equipe do *Phyphox* oferece *workshops* e treinamentos para educadores interessados em integrar o aplicativo em suas aulas e atividades de laboratório. Muito conteúdo pode ser encontrado *online* no site dos desenvolvedores¹⁶, no *youtube*¹⁷ e no *Phyphox Wiki*¹⁸ (KUHLEN, 2015).

4.1 Histórico e Desenvolvimento

O *Phyphox* foi desenvolvido por um grupo de cientistas da RWTH Aachen University na Alemanha, liderado pelo Prof. Dr. Christoph Stampfer. O projeto iniciou em 2016 com o objetivo de criar uma ferramenta fácil de ser utilizada para que estudantes e professores pudessem realizar experimentos científicos usando equipamentos disponíveis na palma da mão, os smartphones.¹⁹

O aplicativo é de código aberto, o que significa que qualquer pessoa pode acessar e contribuir para o seu desenvolvimento.

Desde o início do projeto a equipe do *Phyphox* continuou a atualizar o aplicativo com base no *feedback* de usuários, sempre com o objetivo de tornar a

¹⁶ <https://phyphox.org/>

¹⁷ <https://www.youtube.com/@phyphox>

¹⁸ https://phyphox.org/wiki/index.php/Main_Page

¹⁹ <https://phyphox.org/>

ciência mais acessível e divertida para todos. O foco é tornar a ferramenta cada vez mais poderosa e útil para a realização de experimentos científicos através de smartphones.

4.2 Aplicações

O *Phyphox* se apresenta como uma ferramenta poderosíssima para auxiliar a atividade educacional e experimental ao transformar um smartphone em um laboratório portátil.

Como foi possível observar no levantamento bibliográfico, uma série de trabalhos de cunho educacional já vem aproveitando a ferramenta para auxiliar o ensino da física.

Assim, é possível elencar algumas aplicações possíveis para o *Phyphox* como: a) ensino da física – excelente para aprender e ensinar conceitos de física; b) laboratório portátil – permite a realização de alguns experimentos em qualquer lugar para explorar a física e suas bases; c) análise de movimentos – analisar o movimento de objetos; d) estudar ondas – estudar propriedades das ondas como frequência, amplitude e velocidade; e) medir força e aceleração – estudar forças utilizando o acelerômetro dos smartphones; f) projetos científicos – pode ser usado para coletar dados experimentais de forma conveniente e precisa.

4.3 Experimentos

O *Phyphox* pode usar uma ampla variedade de sensores disponíveis em smartphones modernos para coletar dados experimentais. Isso inclui sensores como o acelerômetro, giroscópio, magnetômetro, sensor de luz, sensor de temperatura, sensor de umidade, microfone, câmera, sensor de pressão, *Bluetooth* e muitos outros, conforme o modelo do smartphone. O aplicativo também suporta sensores externos que podem ser conectados ao smartphone via *Bluetooth*, como sensores de pH e sensores de temperatura²⁰. Isso torna o *Phyphox* uma ferramenta versátil para a realização de experimentos científicos em várias áreas da física, química e biologia.

²⁰ Conforme informação dos desenvolvedores, a disponibilidade de sensores de temperatura em smartphones é bastante limitado e a maior parte dos aparelhos que possuem o sensor acaba por

Existem muitas experiências que podem ser realizadas através do *Phyphox*, dependendo dos sensores disponíveis no smartphone e do objetivo da experiência.

Algumas das experiências que podem ser realizadas incluem:

- Medir a intensidade da luz em diferentes ambientes usando o sensor de luz do smartphone.
- Medir a aceleração de um objeto em queda livre usando o acelerômetro do smartphone.
- Estudar o comportamento de um circuito elétrico usando o microfone e o alto-falante do smartphone.
- Medir a pressão arterial usando a câmera do smartphone e a técnica de fotopletiografia.
- Estudar o movimento harmônico simples de um pêndulo usando o giroscópio e o magnetômetro do smartphone.
- Estudar a variação da pressão ambiente com o sensor de pressão.
- Capturar sons para estudar o fenômeno da interferência com o microfone do smartphone.
- Medir a temperatura e a umidade relativa do ambiente usando os sensores de temperatura e umidade do smartphone.

Nos próximos tópicos serão detalhados alguns experimentos pré-formatados e que estão disponíveis no aplicativo *Phyphox* em uma classificação estabelecida em:

- Sensores
- Acústica
- Dia a Dia
- Ferramentas
- Mecânica
- Temporizadores
- *Tools*

Neste título da dissertação apenas serão destacados os menus e as experiências utilizadas no produto educacional. No entanto, o apêndice A desta dissertação traz uma referência completa dos experimentos disponíveis no aplicativo,

travar o acesso às informações, visto que o objetivo da sua presença é relacionado ao monitoramento de performance dos aparelhos.

bem como relaciona alguns trabalhos que fazem uso do Phyphox nos estudos apresentados.

4.3.1 Sensores

A figura 10 apresenta o menu inicial que é observado ao acessar o *Phyphox*. Nesta figura, é possível visualizar o menu de acesso aos sensores disponíveis no smartphone. Caso o aparelho não possua um sensor disponível, a opção estará desabilitada.

Figura 10 – Menu Sensores no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

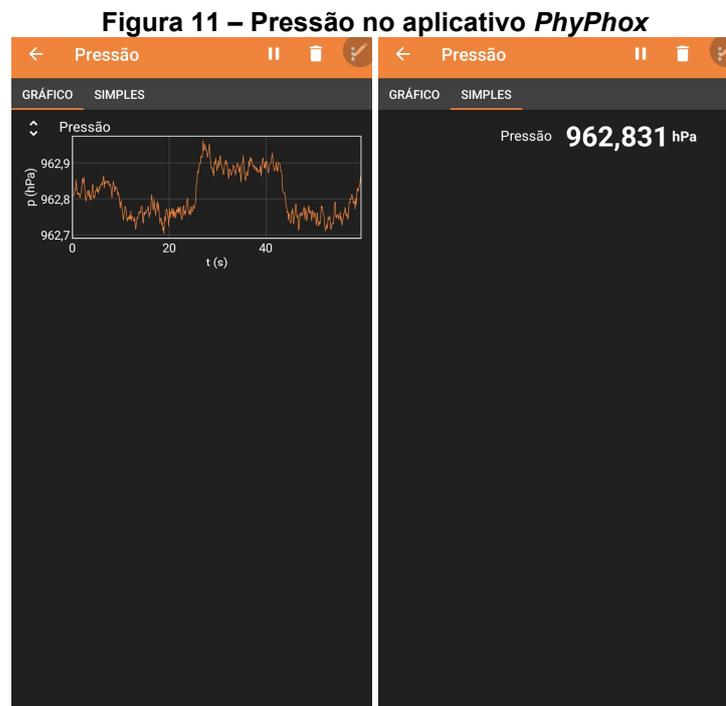
4.3.1.1 Pressão

O experimento de pressão no *Phyphox* permite medir a pressão atmosférica através do sensor de pressão do smartphone. Esse experimento é útil para estudar o comportamento da pressão em diferentes situações e ambientes.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Pressão" no *Phyphox* e depois "iniciar a medição". O smartphone idealmente deve ser mantido imóvel para evitar interferências na medição, exceto se o objetivo for detectar variações de pressão por alterações de altura e profundidade (Figura 11).

O *Phyphox* usa o sensor de pressão do smartphone para medir a pressão atmosférica em unidades de hPa (hectopascals). A medição da pressão é afetada pela altitude, portanto, o usuário deve levar em consideração a altitude do local onde a medição está sendo feita (por exemplo, determinar um valor de pressão inicial).

Ao final da medição, o *Phyphox* exibe a pressão atmosférica em unidades de hPa, bem como a temperatura (caso o sensor esteja disponível) e a altitude do local onde a medição foi feita.



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

Esse experimento pode ser usado para estudar o comportamento da pressão em diferentes situações e ambientes. Também pode ser combinado com outros experimentos do *Phyphox* para estudar a relação entre a pressão e outros parâmetros físicos, como a temperatura e a umidade.

Esta dissertação apresenta uma experimentação de Pressão com o Phyphox.

4.3.2 Acústica

A figura 12 apresenta o menu inicial que é observado ao acessar o *Phyphox*. Nesta figura, é possível visualizar o menu de acesso aos experimentos de acústica no

aplicativo. Caso o aparelho não possua um sensor disponível, a experiência que depende do mesmo estará desabilitada.

Figura 12 – Menu Acústica no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

4.3.2.1 Espectro de áudio

O experimento de Espectro de Áudio no *Phyphox* permite visualizar a composição de frequências de um sinal de áudio, com a apresentação de quais frequências estão presentes e em que intensidade. Isso é possível porque cada som é composto por diversas frequências diferentes que se somam para produzir o som que ouvimos.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Espectro de Áudio" no *Phyphox* e configurar os parâmetros do experimento, como o tempo de amostragem do sinal e o tipo de filtro que será aplicado. Na sequência, o usuário deve iniciar a gravação do áudio que deseja analisar (Figura 13).

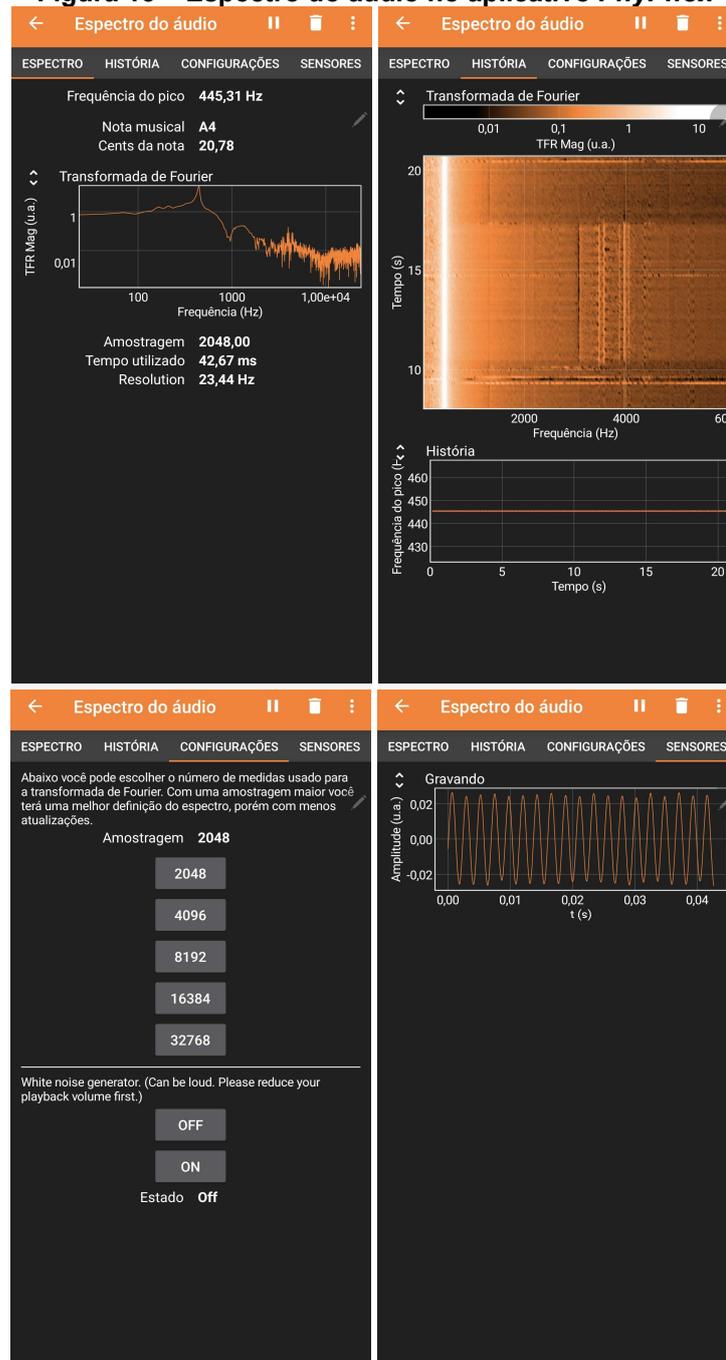
Durante a gravação, o *Phyphox* utiliza o microfone do smartphone para captar o sinal de áudio e processa a separação das diferentes frequências que compõem esse sinal. Em seguida, o *Phyphox* exibe um gráfico que mostra a composição de frequências do sinal com o seu valor em um eixo e a intensidade em outro eixo.

O usuário pode usar o espectro de áudio para analisar diversos tipos de sons, desde sons de instrumentos musicais até sons ambientais, e observar a composição de frequências de cada som. Isso pode ser útil para estudar os diferentes aspectos do som, como a sua tonalidade, a sua intensidade e a sua qualidade.

O experimento de Espectro de Áudio no Phyphox é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a música, o som e a acústica, e pode ser usado para análise de sons em diversas situações, desde a gravação de um concerto até a medição de ruídos ambientais em um ambiente de trabalho. Pode inclusive ser utilizado para determinar a afinação de instrumentos musicais.

Da Silva; Santos; Da Rocha Silva (2019) apresentam proposta de aplicação com este experimento no Phyphox.

Figura 13 – Espectro do áudio no aplicativo *PhyPhox*



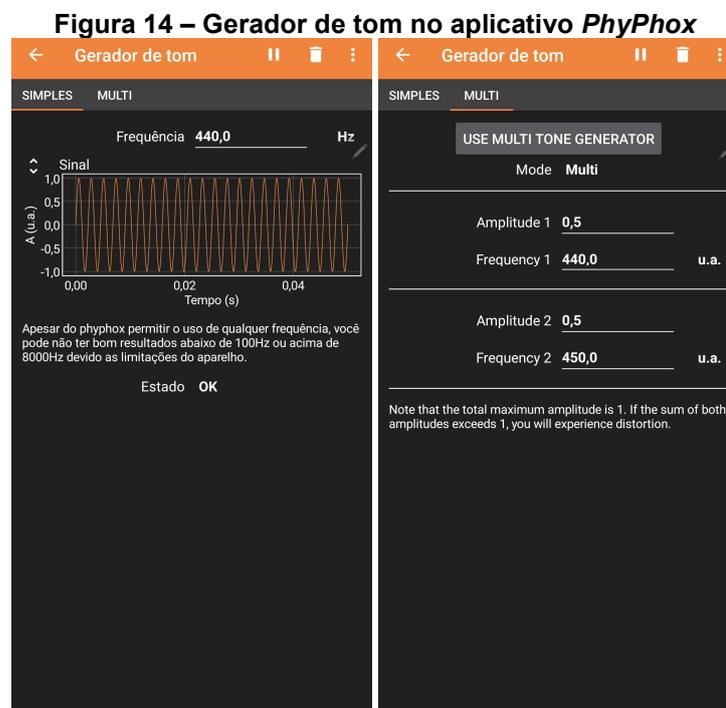
Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

4.3.2.2 Gerador de tom

O experimento Gerador de Tom no *Phyphox* permite gerar um sinal de áudio com uma frequência específica e ajustável, que pode ser utilizada para diversas finalidades, como testes de equipamentos, ajustes de instrumentos musicais, entre outras aplicações.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Gerador de Tom" no *Phyphox* e configurar a frequência do tom que deseja gerar. Em seguida, o usuário deve conectar o smartphone a um sistema de som ou a um instrumento musical que deseja testar ou ajustar (Figura 14).

Ao iniciar a geração do tom, o *Phyphox* produz um sinal de áudio com a frequência configurada, que é enviado para o sistema de som ou para o instrumento musical conectado. O usuário pode então ouvir o som gerado e utilizar essa informação para realizar testes ou ajustes no equipamento ou no instrumento.



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

O experimento Gerador de Tom no *Phyphox* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a música, o som e a acústica, e pode ser usado para diversas aplicações, desde testes de equipamentos até ajustes de instrumentos musicais. Além disso, a possibilidade de ajustar a frequência do tom gerado torna o experimento uma ferramenta versátil e flexível, capaz de se adaptar a diversas situações e necessidades.

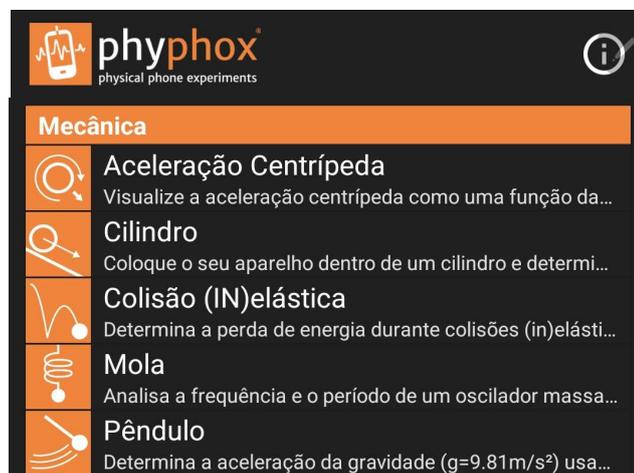
O experimento Gerador de Tom também pode ser combinado com outros dispositivos e experimentos do *Phyphox* para estudar fenômenos de interferência, como o batimento.

Esta dissertação apresenta uma experimentação com o uso do *Phyphox* e o experimento Gerador de tom.

4.3.3 Mecânica

A figura 15 apresenta o menu inicial que é observado ao acessar o *Phyphox*. Nesta figura, é possível visualizar o menu de acesso aos experimentos de mecânica no aplicativo. Caso o aparelho não possua um sensor disponível, a experiência que depende do mesmo estará desabilitada.

Figura 15 – Menu Mecânica no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

4.3.3.1 Pêndulo

O experimento "Pêndulo" no *Phyphox* permite medir o período de oscilação de um pêndulo utilizando o acelerômetro do dispositivo móvel.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Pêndulo" no *Phyphox* e fixar o dispositivo móvel em um suporte, de modo que o acelerômetro esteja na posição vertical. Na sequência, o usuário deve iniciar a oscilação do pêndulo e manter o dispositivo móvel próximo ao pêndulo, ou como pêndulo.

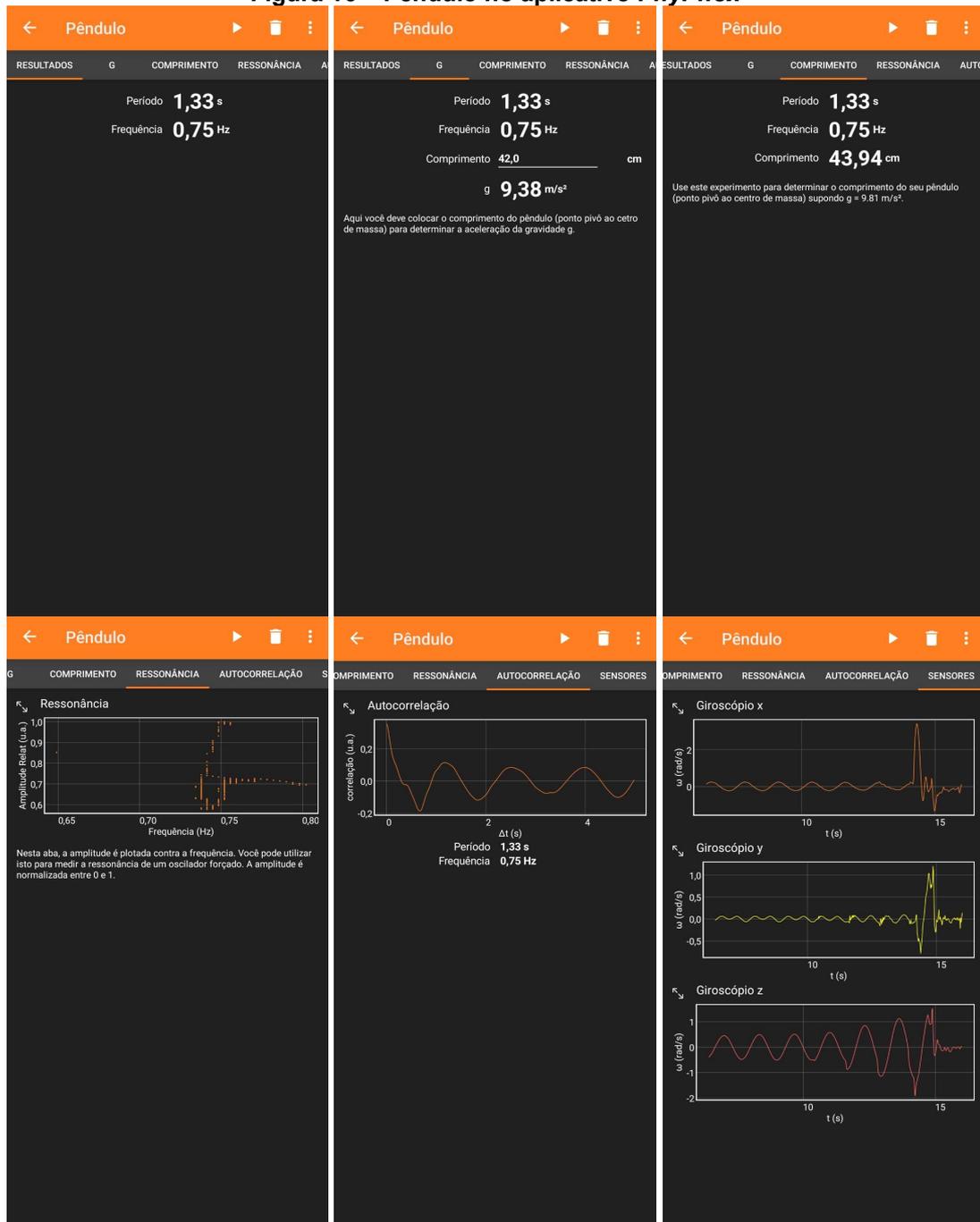
Ao capturar a oscilação do pêndulo com o acelerômetro, o *Phyphox* mede o período de oscilação a partir da análise da variação da aceleração em função do tempo (Figura 16).

O experimento pode ser usado em diversas aplicações, como a medição do período de oscilação de pêndulos utilizados em balanças, relógios, metrônomos, entre outros. Além disso, o experimento pode ser usado para fins educacionais ao permitir a exploração de conceitos como a gravidade, a energia potencial, a energia cinética, a conservação da energia, entre outros.

O experimento "Pêndulo" no *Phyphox* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a física, a engenharia mecânica, a engenharia elétrica, entre outras, ao permitir a realização de medições precisas e a análise de dados em tempo real.

Esta dissertação, Pedroso et al (2020) e Landeira et al (2020) apresentam uma experimentação com o uso do *Phyphox* e o experimento Pêndulo.

Figura 16 – Pêndulo no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

4.4 Considerações

Ver o Apêndice A para ter acesso a uma breve descrição de todas as funcionalidades do *Phyphox* e para algumas referências que já utilizaram experimentos com o aplicativo em seu conteúdo.

Existe um manual do *Phyphox* disponível no site oficial do projeto que contém informações detalhadas sobre o aplicativo, incluindo instruções de uso, explicações

dos experimentos, informações sobre os sensores e muitas outras informações úteis. O manual está disponível em vários idiomas no formato *wiki* e pode ser acessado gratuitamente em https://phyphox.org/wiki/index.php/Main_Page. Além disso, existem vários tutoriais em vídeo disponíveis no *YouTube*²¹ que podem ser úteis para aprender a utilizar o aplicativo e realizar experimentos interessantes.

²¹ <https://www.youtube.com/@phyphox>

5 CONFEÇÃO DO MATERIAL NECESSÁRIO PARA A APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Uma etapa fundamental para o produto educacional é a confecção do material necessário para a experimentação proposta.

Nesse capítulo são apresentadas as montagens utilizadas na aplicação do produto educacional.

5.1 Experimentos

Para aplicar a sequência didática desenvolvida foram escolhidos três experimentos que pudessem ser aplicados em sala de aula por fazerem parte da grade curricular do 9º ano do ensino fundamental e do 1º ano do ensino médio.

Abaixo são apresentados cada uma das montagens dos experimentos, cujos objetivos de aplicação foram apresentados anteriormente.

Os materiais necessários foram pensados com direcionamento ao baixo custo para possibilitar a aplicação nas mais diversas escolas, possuindo ou não laboratórios de física estruturados.

Naturalmente, podem ser feitas adaptações aos projetos apresentados, conforme a disponibilidade e facilidade de acesso aos materiais.

5.1.1 Experimento 1 – Pêndulo Simples

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

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 17 – Projeto para montagem instrumental do experimento (sketchup)



Fonte: Autoria própria (2023)

Fotografia 1 – Instrumental montado para experimentação de pêndulo



Fonte: Autoria própria (2023)

Na base foi utilizado uma tubulação de maior diâmetro para aumentar a superfície de contato e permitir o seu preenchimento com materiais (pedras, areia, por exemplo) com o objetivo de deslocar o centro de massa da estrutura para uma posição próximo da superfície de exposição da estrutura, de forma a garantir estabilidade durante o movimento oscilatório.

5.1.2 Experimento 2 – Lei de Stevin

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.

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

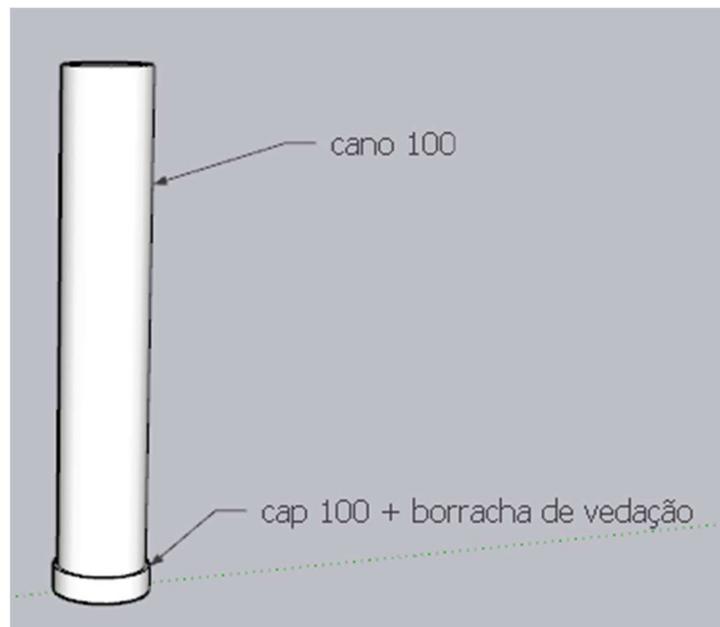
- Smartphone com sensor de pressão
- Aplicativo PhyPhox
- Notebook com acesso a rede wireless
- 1,5m de cano de esgoto PVC 100mm
- 1 haste ou cabo de pelo menos 1,2m
- 1 cap para cano de esgoto PVC 100mm
- 1 anel de vedação de borracha 100mm

- 1 vidro “de conserva” de 3l (S11 E 19)
- 3m de mangueira de $\frac{1}{4}$ ” 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 18 – 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 19 – Projeto para montagem instrumental 2 do experimento



Fonte: Aatoria própria (2023)

Fotografia 2 – Instrumental montado para experimentação de Lei de Stevin



Fonte: Aatoria própria (2023)

5.1.3 Experimento 3 – Fenômeno da Interferência Sonora do Batimento

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)

6 SEQUÊNCIA DIDÁTICA DESENVOLVIDA

Para permitir uma adequada compreensão do experimento a ser realizado e para buscar a aprendizagem significativa dos conteúdos, foi elaborada uma sequência didática baseada na teoria de Zabala composta pelos passos descritos a seguir, onde, considerando o conceito da Aprendizagem Significativa²² de Ausubel²³, busca-se a identificação de subsunçores²⁴ para o conteúdo, apresentação experimental e posterior avaliação da compreensão dos novos conceitos ofertados.

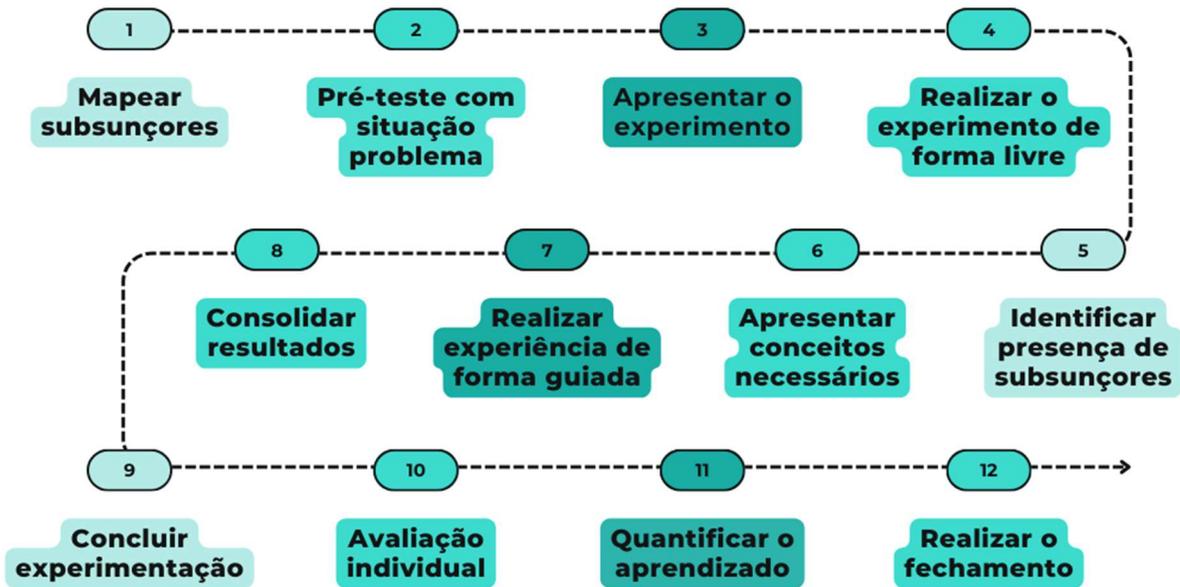
²² Ausubel traz uma diferenciação entre o que chama de aprendizagem mecânica (ou automática) e a aprendizagem significativa. A aprendizagem mecânica seria aquela em que as novas informações são “registradas” sem interação com conceitos subsunçores, ou seja, previamente existentes na estrutura cognitiva. 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).

²³ 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.

²⁴ 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.

Figura 20 – 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 (tipo de conteúdo: conceitual)
2. Apresentação de situação problema – pré-teste (tipo de conteúdo: conceitual, procedimental)
3. Apresentação do experimento a ser realizado com indagações sobre o que poderia ser observado (tipo de conteúdo: conceitual, procedimental e atitudinal)
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 (tipo de conteúdo: conceitual, procedimental, atitudinal)
6. Exposição do tema e dos conceitos envolvidos no experimento. (tipo de conteúdo: conceitual)
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. (tipo de conteúdo: conceitual, procedimental)
8. Consolidar e registrar os dados coletados. Exercícios de finalização experimental. (tipo de conteúdo: conceitual, procedimental)
 9. Apresentação conceitual dos fundamentos do experimento. Exposição de conteúdo para fortalecer subsunçores (tipo de conteúdo: conceitual, procedimental)
 10. Avaliação individual (tipo de conteúdo: conceitual, procedimental)
 11. Avaliar a qualidade e quantidade de aprendizado (tipo de conteúdo: conceitual, procedimental)
 12. Elaboração de conclusões (tipo de conteúdo: conceitual)

6.1 Mapeamento de subsunçores.

A primeira etapa do plano de aula busca a identificação, pelo professor, pelos subsunçores importantes para a incorporação do conhecimento a ser apresentado.

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

Nesta etapa, seguindo a classificação de conteúdo de Antoni Zabala anteriormente apresentada, temos a identificação dos conhecimentos prévios necessários e estabelecimento de objetivos da sequência didática, portanto conteúdo conceitual.

6.2 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.

Conforme Zabala (1998, p. 58), na apresentação de uma situação problema o professor desenvolve um tema relacionado a um fato ou acontecimento e destaca aspectos problemáticos e aspectos desconhecidos para os alunos. Essa situação problema pode ser um conflito histórico ou social, pode ser uma divergência na

interpretação textual, uma contraposição entre um fenômeno físico e um conhecimento vulgar, entre outros.

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.

Ou seja, o objetivo consiste em, antes de iniciar uma investigação, busca-se que um conhecimento prévio aflore “ou que os alunos se inclinem por possíveis soluções, quer dizer, que elaborem suas hipóteses ou suposições. Estes dados serão cruciais para saber que conhecimentos têm os alunos sobre o tema tratado” (ZABALA, 1998, p.73).

Nesta etapa, seguindo a classificação de conteúdo de Antoni Zabala anteriormente apresentada, temos um procedimento de pré-teste aplicado (procedimental) para a identificação dos conhecimentos prévios necessários (conceitual), com a busca por soluções para uma situação problema apresentada (atitudinal), portanto, conteúdo conceitual, procedimental e atitudinal

6.3 Apresentação da experiência

Num primeiro momento a ideia é apenas apresentar o procedimento que será adotado no desenvolvimento experimental 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 alguns conceitos basilares para o desenvolvimento experimental (em um processo de *brainstorming*²⁵).

Essa etapa envolve a explicitação de respostas intuitivas ou suposições. O professor deve levantar questões direcionadas à identificação de subsunçores mapeados na primeira etapa. A estrutura da sequência didática “se organiza em torno das contribuições que os alunos fazem em cada momento. São eles que manifestam seus problemas ou perguntas, que serão os que deverão articular toda a intervenção” (ZABALA, 1998, p.73).

²⁵ 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.

Seguindo a classificação de conteúdo de Antoni Zabala anteriormente apresentada, temos a exposição do tema, com conteúdo conceitual, e o processo de *brainstorming* com conteúdo procedimental e atitudinal.

6.4 Experiência de forma livre

De forma livre, com base na contribuição dos estudantes, sem necessidade de registrar resultados, esta etapa pretende a realização da experiência uma vez, com espaço para a apresentação das interpretações individuais (ou por grupo) sobre o que está ocorrendo. O professor deve inquirir sobre o que ocorreria ao realizar determinadas intervenções sobre a estrutura apresentada. É importante perceber o entendimento dos estudantes, de forma a tentar identificar a presença dos subsunçores necessários para o desenvolvimento experimental.

Levantar questões como:

- a. O que poderia ser medido nesse experimento?
- b. Qual poderia ser o objetivo final da coleta de dados?
- c. Apresentar outras questões específicas sobre o tema do experimento que pode ajudar os estudantes a associar conceitos e objetivos.

Nesta etapa, seguindo a classificação de Antoni Zabala, temos a apresentação de uma estrutura experimental (conteúdo conceitual), com estímulo para a descoberta, apresentação de suposições (conteúdo atitudinal) e experimentação (conteúdo procedimental).

É importante reforçar, como faz Zabala (1998, p. 74), que a motivação é a alma da sequência didática. Ter a atitude favorável. “Ou os alunos estão interessados ou a sequência se interrompe em algumas fases”. Essa etapa também pretende criar os primeiros interesses, provocar questionamentos e motivar a participação.

Nesse sentido, também é importante a atuação do professor com a finalidade de garantir que a dinâmica não fique concentrada na intervenção de poucos alunos e busque promover a participação de todos os estudantes.

6.5 Identificação dos subsunçores

Analisar as ideias apresentadas para estabelecer um mapeamento dos subsunçores que permitiriam a fixação dos novos conceitos (ver item 6.1). Esta etapa é fundamental para identificar aqueles que se apresentarem falhos ou inexistentes e que precisam ser reforçados.

Os dados coletados no processo de *brainstorming* e na experimentação livre devem ser conciliados com o levantamento proveniente do questionário aplicado anteriormente, para avaliação dos subsunçores.

Nesta etapa, seguindo a classificação de Antoni Zabala anteriormente apresentada, temos a presença de conteúdo conceitual.

6.6 Apresentação dos conceitos necessários

Distribuir o guia experimental e apresentar os conceitos envolvidos no experimento realizado a partir do mapeamento de conhecimentos subsunçores falhos: 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.

Nesta etapa, seguindo a classificação de Antoni Zabala temos conteúdo conceitual, visto a exposição de conceitos e fundamentos, subsunçores ou não.

6.7 Realização da 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.

Assim, os alunos, coletiva e individualmente, com o auxílio direcional fornecido pelo professor, realizam a coleta dos dados que as ferramentas experimentais fornecem, selecionam e classificam esses dados.

Nesta etapa, seguindo a classificação de Antoni Zabala, temos a exposição de conteúdo conceitual, além da experimentação para buscar informações, com conteúdo procedimental e atitudinal.

6.8 Consolidação dos 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.

Nesta etapa, seguindo a classificação de Antoni Zabala, temos conteúdo conceitual com os fatos e teorias envolvidos no experimento; conteúdo procedimental com as habilidades e métodos utilizados; e conteúdo atitudinal com atitudes e crenças que influenciam as conclusões apresentadas.

6.9 Conclusão da experimentação com o conceito base motivo da experimentação

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.

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

Nesta etapa, seguindo a classificação de Antoni Zabala anteriormente apresentada, temos a elaboração das conclusões, com conteúdo conceitual, procedimental e atitudinal.

6.10 Avaliação individual

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

6.11 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.

Nesta etapa, seguindo a classificação de Antoni Zabala anteriormente apresentada, temos o conteúdo conceitual com a consolidação dos resultados alcançados.

6.12 Conclusão do procedimento

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

Ou seja, “a partir das observações que o professor fez ao longo da unidade e a partir do resultado da prova, este comunica aos alunos a avaliação das aprendizagens realizadas” (ZABALA, 1998, p.58).

Nesta etapa, seguindo a classificação de Antoni Zabala anteriormente apresentada, temos o conteúdo conceitual com a apresentação dos resultados alcançados.

6.13 Considerações finais

Para a eficiência e para o 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, realiza-se uma atividade experimental de forma livre e guiada, apresenta-se uma avaliação e, por fim, apresenta-se uma conclusão sobre os resultados de aprendizado alcançados.

Esta sequência didática, portanto, apresenta uma variedade de atividades que objetivam satisfazer os condicionantes para que a aprendizagem seja o mais significativa possível.

Naturalmente para uma sequência didática ser eficaz, também é fundamental que os professores “deverão ter uma consciência clara a respeito do sentido de cada fase” (ZABALA, 1998, p.76). Por isso, o processo ideal de preparação do profissional deveria envolver a leitura completa desse trabalho e não apenas do produto educacional a ser aplicado.

7 RELATO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

A aplicação do produto educacional se deu em uma escola da rede privada de ensino fundamental e médio.

Embora tenha-se apenas uma sequência didática aplicada, trata-se de três conteúdos distintos, ou seja, três experimentos educacionais executados. Desta forma, o relato da aplicação também é dividido em três tópicos, de modo a permitir uma diferenciação das questões encontradas em cada aplicação.

7.1 Pêndulo Simples

Nos dias 25 e 26 de outubro de 2023, na cidade de Medianeira-PR, foi aplicado o produto Educacional na turma do 1º (primeiro) ano matutino do ensino médio, totalizando aproximadamente 3 horas aulas de 45 minutos.

O produto educacional envolveu uma sequência didática para abordar conceitos relacionados ao 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. A apresentação se deu através de um experimento com o uso do aplicativo *Phyphox* com o objetivo de facilitar a compreensão do processo.

7.1.1 Aplicação da sequência didática

A sequência didática apresentou etapas que tinham objetivo de verificar a presença e/ou formar os subsunçores que permitiram o entendimento da atuação da gravidade sobre um corpo suspenso.

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

7.1.1.1 Mapeamento de subsunçores.

A primeira etapa da sequência didática envolveu apenas o professor e a sua avaliação introspectiva por identificar os subsunçores importantes para a incorporação do conhecimento a ser apresentado. Nessa etapa foram identificados os subsunçores importantes para o conteúdo como: equilíbrio, força, peso e gravidade.

Para entender se os acadêmicos passaram por esses conceitos de forma teórica ou prática previamente à realização deste plano de aula passou para a segunda etapa da sequência didática.

7.1.1.2 Realização de pré-teste com apresentação de situação problema

Esse passo envolveu o final de uma aula que antecede a experimentação. Num período de 15 minutos foi realizado um pré-teste que pretendeu identificar conhecimentos prévios e a presença de subsunçores necessários para a aprendizagem significativa.

No “Apêndice B – Produto Educacional – Apêndice A – Pré-teste – Pêndulo Simples” é apresentado o pré-teste e a situação problema escolhida para este conteúdo: “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.”

Esta etapa foi feita em aula anterior a experimentação para permitir ao professor a leitura de todas as respostas e mapeamento dos conceitos que precisavam ser revistos antes de seguir a sequência didática.

Nessa mesma etapa foi apresentado o aplicativo *PhyPhox* e solicitado aos alunos que buscassem a ferramenta na loja de aplicativos de forma a evitar desvios de atenção no dia da realização do experimento.

Com base nos dados coletados, na aula seguinte, antes de prosseguir com a sequência didática, foram reforçados os conceitos que mais apresentaram erros no pré-teste: equilíbrio, força e gravidade.

As próximas etapas consumiram aproximadamente duas aulas de 45 minutos.

7.1.1.3 Apresentação da experiência

Num primeiro momento foi apenas apresentado o material a ser utilizado na experimentação sem trazer o guia de execução experimental, 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*²⁶).

Ao longo da apresentação do material o celular foi posicionado como a “massa” do pêndulo e algumas questões foram direcionadas, 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 inicial (de equilíbrio)?
- c. Por que ocorre o movimento? O que é responsável por causar esse movimento oscilatório?

7.1.1.4 Realização da experiência de forma livre

De forma livre, sem necessidade de registrar resultados, foi realizada a experiência que consistiu em deslocar o smartphone (pêndulo) de sua posição de equilíbrio. O objetivo foi abrir o espaço para a apresentação das interpretações individuais sobre o que estava ocorrendo. Foi importante perceber o entendimento dos estudantes em relação à ação gravitacional sobre o corpo fora de seu ponto de equilíbrio.

Questões que foram levantadas nessa etapa foram:

- 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?

7.1.1.5 Identificação dos subsunçores

Nessa etapa foram analisadas as ideias apresentadas para estabelecer um mapeamento dos subsunçores que permitiriam a fixação dos novos conceitos. Alguns conceitos foram novamente reforçados, como: gravidade e peso.

7.1.1.6 Apresentação dos conceitos necessários para a experimentação

Nesta etapa, foi distribuído o guia disponível no “Apêndice B – Produto Educacional – Apêndice B – Guia para experimentação – Pêndulo Simples” e

²⁶ 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.

apresentados os conceitos envolvidos no experimento e descritos no material: o que é um pêndulo, o que é equilíbrio, força restauradora, força gravitacional, frequência e período.

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.

7.1.1.7 Realização da experiência de forma guiada

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

A realização da experiência ocorreu em dois posicionamentos: a) o smartphone na horizontal fixado no rolo de papel higiênico; b) o smartphone na vertical fixado por um gancho de crachá.

Com o smartphone na posição horizontal o movimento do pêndulo foi estável, sem embaraço, porém o cálculo com a medida resultante da experimentação apresentou um erro superior para o valor da gravidade local.

Com o smartphone na vertical, pendurado por apenas um fio, qualquer intercorrência causava um movimento de rotação no celular que dificultava para o PhyPhox realizar o cálculo da gravidade, visto que os eixos de movimento do osciloscópio mudavam de posição constantemente. No entanto, ao conseguir um movimento de oscilação sem rotação, a determinação da gravidade local apresentou menor erro em relação ao valor teórico esperado.

7.1.1.8 Consolidação dos resultados

Com a experimentação foi solicitado o registro dos dados capturados para permitir o avanço do conteúdo. Foram registrados os dados do comprimento L do pêndulo, seu período, frequência de oscilação e gravidade (calculada pelo *Phyphox*).

De forma 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.

7.1.1.9 Conclusão da 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 encerrou-se a fase experimental e foi entregue pelos acadêmicos o relatório das atividades desenvolvidas.

7.1.1.10 Avaliação individual

Como última etapa no dia de atividades, foi realizada a avaliação individual disponível no “Apêndice B – Produto Educacional – Apêndice B – Guia para experimentação – Pêndulo Simples” para identificar a absorção do conhecimento propagado. Nesse momento foi reforçado com os discentes a importância da avaliação individual.

7.1.1.11 Avaliação da qualidade e qualificação do aprendizado

A avaliação da qualidade e quantidade do aprendizado foi realizado pelo professor posteriormente, 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 das aprendizagens realizadas.

7.1.1.12 Conclusão do procedimento

Na aula seguinte, um tempo de 15 minutos foi utilizado para fornecer um encerramento para a turma reforçando os conceitos tratados, principalmente aqueles que se mostraram degradados na avaliação individual final.

Nesse sentido, foram reforçados os conceitos de gravidade e a relação entre a massa do pêndulo e a determinação da gravidade.

7.1.2 Análise da participação

Conforme a sequência didática elaborada, no dia 25 de outubro de 2023, nos 15 minutos finais da aula, foi realizado um pré-teste com apresentação de situação

problema. Os estudantes responderam individualmente as questões para possibilitar um mapeamento dos conhecimentos fixados anteriormente à experimentação.

Durante a realização do teste reforçou-se a importância de respostas individuais com base nos conhecimentos prévios.

O resultado do pré-teste é apresentado na tabela abaixo.

Tabela 2 – Respostas no pré-teste (Pêndulo Simples)

Questões	Correta	Incorreta
Situação problema - Determinação da gravidade	5,88%	94,12%
O que é equilíbrio?	29,41%	70,59%
O que é inércia?	64,71%	35,29%
O que pode quebrar a inércia de um corpo?	67,65%	32,35%
O que é força?	44,12%	55,88%
O que é gravidade?	35,29%	64,71%
Média final da avaliação	41,18%	58,82%

Fonte: Autoria própria (2023)

Após a resolução do pré-teste foi apresentado o aplicativo *Phyphox*, o que naturalmente já resultou em alvoroço na sala de aula. Por esse motivo, o aplicativo deve ser apresentado em aula anterior à sua utilização em experimentação prática, visto a possibilidade de o estudante investigar o aplicativo e suas funcionalidades com antecedência.

No dia 26 de outubro de 2023, durante o período de duas aulas de 45 minutos, foram realizadas as etapas da sequência didática que envolviam desde a apresentação da experiência até a avaliação individual (pós-teste).

Na apresentação da experiência poucos estudantes relacionaram o experimento com a determinação da gravidade, mas muitos já associaram o instrumento com o estudo de um movimento oscilatório.

Fotografia 4 – Apresentação do experimento de pêndulo para a turma, com o smartphone posicionado



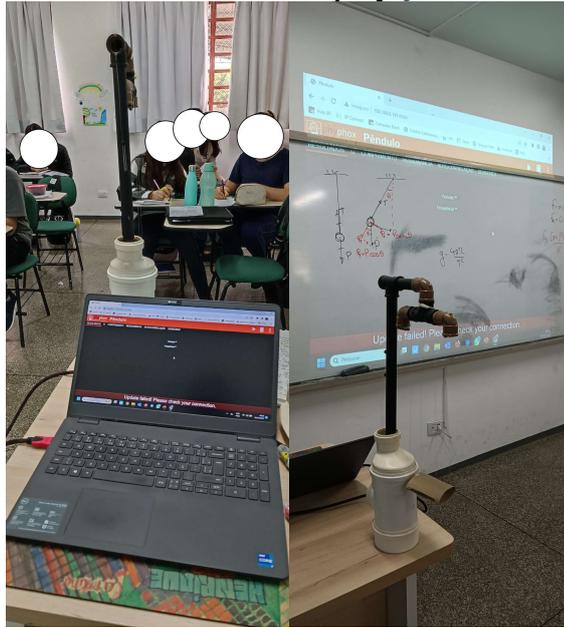
Fonte: Autoria própria (2023)

A turma mostrou-se extremamente receptiva para a realização da atividade, visto que se apresentava como uma atividade diferente da convencional aula expositiva. Portanto, não foi difícil de concentrar a atenção no proposto para a turma.

Durante a realização da experiência de forma livre, com os questionamentos levantados, vários estudantes começaram a associar a gravidade ao motivo da experiência, sendo que na sequência foram reforçados vários conceitos importantes como subsunçores para a aprendizagem significativa pretendida.

Na experimentação guiada muitas dúvidas puderam ser sanadas sobre a motivação do uso do pêndulo para o cálculo da gravidade, especialmente com a exposição teórica realizada.

Fotografia 5 – Notebook conectado ao celular e projeção da tela do experimento Pendulo



Fonte: Autoria própria (2023)

É importante destacar a necessidade de cuidado para que o ângulo de deslocamento inicial seja bem pequeno, para diminuir o potencial erro de determinação da gravidade pelo aplicativo.

Durante a realização do experimento com o smartphone posicionado no “rolo de papel higiênico” também se iniciou uma discussão interessante sobre como seria possível aumentar a fidelidade dos dados, que traziam uma margem de erro de aproximadamente 11% no experimento realizado em sala (considerando uma gravidade de $9,8 \text{ m/s}^2$).

Com o estímulo, surgiu proposta dos próprios estudantes para a configuração em que apenas um fio fosse responsável pela suspensão do smartphone, conforme registro abaixo.

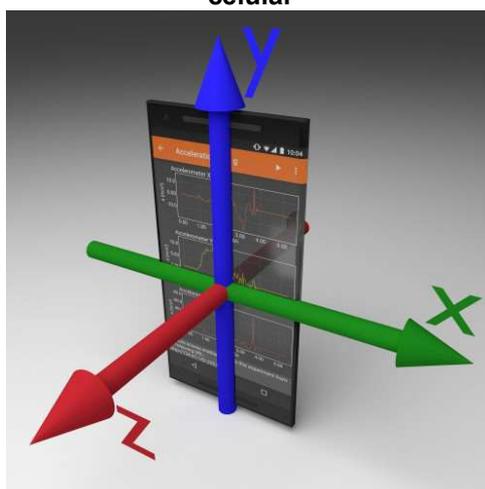
Fotografia 6 – Configuração do pêndulo com apenas um fio suspendendo o smartphone



Fonte: Autoria própria (2023)

O problema dessa configuração é a necessidade de um cuidado grande para que o smartphone não rotacione, o que altera a posição dos eixos de coordenadas e dificulta o cálculo dos dados pelo aplicativo *PhyPhox*.

Figura 21 – Posicionamento dos eixos de coordenadas no Phyphox em relação à tela do celular



Fonte: <https://phyphox.org/sensors/>, acesso em 01/09/2023

Realizando o experimento nesse formato, no entanto, adquiriu-se dados que trouxeram uma fidelidade maior em relação ao valor teórico esperado para a

gravidade local, pois trouxe uma margem de erro de aproximadamente 3,4% (considerando uma gravidade de $9,8 \text{ m/s}^2$).

Convém destacar que, em aula posterior a aplicação do produto educacional, existiu ainda uma atividade de conclusão de cerca de 15 minutos onde foi apresentado o fechamento do experimento com reforço dos conceitos onde ainda se identificou lacuna com a avaliação final individual dos discentes, conforme tratado no próximo tópico.

7.1.3 Análise da aprendizagem

Um método interessante para a identificação da aprendizagem com a realização das atividades é a comparação dos resultados obtidos no pré-teste e no pós-teste.

Na avaliação individual (pós-teste) o resultado abaixo foi atingido pelos estudantes.

Tabela 3 – Respostas na avaliação individual (pós-teste) (Pêndulo Simples)

Questões	Correta	Incorreta
Situação problema - Determinação da gravidade	58,82%	41,18%
O que é gravidade? Qual a relação com o movimento do pêndulo?	58,82%	41,18%
Foi possível determinar a gravidade com o movimento pendular?	73,53%	26,47%
Se alterar a massa do celular existiria variação no tempo de movimento do pêndulo (período)? Por quê?	29,41%	70,59%
Média final da avaliação	55,15%	44,85%

Fonte: Autoria própria (2023)

Embora não tenhamos exatamente as mesmas questões entre o pré-teste e o pós-teste, percebe-se uma evolução na assertividade das respostas, mesmo com a avaliação individual, em tese, apresentar questões mais complexas.

Além disso, é possível comparar duas questões similares em relação ao percentual de acertos. Nesse sentido tivemos a evolução apresentada no quadro abaixo.

Tabela 4 – Evolução entre o pré-teste e o pós-teste (avaliação individual) (Pêndulo Simples)

Questões	% de alunos com resposta correta*		
	Pré-teste	Pós-teste	Evolução mensurada
Situação problema - Determinação da gravidade	5,88%	58,82%	900,00%
O que é gravidade?	35,29%	58,82%	66,67%
Média final da avaliação	41,18%	55,15%	33,93%

*Quantidade de respondentes: 17

Fonte: Autoria própria (2023)

Com a avaliação dos dados coletados, existe uma aparente aprendizagem significativa dos estudantes ao comparar-se o resultado dos testes. Ao observar os acertos, a conceituação de gravidade tem uma melhora de 66,67% na correição. Além disso, tivemos uma melhora de 33,93% na média atingida nos testes pelos estudantes após a aplicação da sequência didática.

No momento do fechamento da sequência didática, foram reforçados os conceitos de gravidade e a relação entre a massa do pêndulo e a determinação da gravidade, visto que essa foi a questão com a menor assertividade na avaliação individual dos estudantes (pós-teste).

7.2 Lei de Stevin

Nos dias 08 e 09 de novembro de 2023, na cidade de Medianeira-PR, foi aplicado o segundo produto Educacional na turma do 1º (primeiro) ano matutino do ensino médio, totalizando aproximadamente 3 horas aulas de 45 minutos.

O produto educacional envolveu uma sequência didática para abordar conceitos relacionados a variação da pressão em um fluido com a alteração da profundidade (ou altura) e a apresentação de um experimento com o uso do aplicativo *Phyphox* com o objetivo de facilitar a compreensão do processo.

7.2.1 Aplicação da sequência didática

A sequência didática apresentou etapas que tinham objetivo de verificar a presença e/ou formar os subsunçores que permitiram o entendimento do aumento de pressão sobre um corpo na sua imersão em um fluido.

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

7.2.1.1 Mapeamento de subsunçores

A primeira etapa da sequência didática envolveu apenas o professor e a sua avaliação introspectiva por identificar os subsunçores importantes para a incorporação do conhecimento a ser apresentado. Nessa etapa foram identificados os subsunçores importantes para o conteúdo como: volume, massa, peso, densidade, pressão.

Para entender se os acadêmicos passaram por esses conceitos de forma teórica ou prática previamente à realização deste plano de aula passou para a segunda etapa da sequência didática.

7.2.1.2 Realização de Pré-teste com apresentação de situação problema

Esse passo envolveu o final de uma aula que antecede a experimentação. Num período de 15 minutos foi realizado um pré-teste que pretendeu identificar conhecimentos prévios e a presença de subsunçores necessários para a aprendizagem significativa.

No “Apêndice B – Produto Educacional – Apêndice C – Pré-teste – Lei de Stevin” é apresentado o pré-teste e a situação problema escolhida para este conteúdo: “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.”

Esta etapa foi feita em aula anterior a experimentação para permitir ao professor a leitura de todas as respostas e mapeamento dos conceitos que precisavam ser revistos antes de seguir a sequência didática.

Nessa mesma etapa foi apresentado o aplicativo *PhyPhox* e solicitado aos alunos que buscassem a ferramenta na loja de aplicativos de forma a evitar desvios de atenção no dia da realização do experimento.

Na aula seguinte, antes de prosseguir com a sequência didática, foram reforçados os conceitos de: força, peso, densidade e pressão.

As próximas etapas consumiram aproximadamente duas aulas de 45 minutos.

7.2.1.3 Apresentação da experiência

Num primeiro momento foi apenas apresentado o material a ser utilizado na experimentação sem trazer o guia de execução experimental, 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*²⁷).

Ao longo da apresentação do material o smartphone foi depositado dentro do recipiente de vidro e algumas questões foram direcionadas, 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 movimento diferente?

7.2.1.4 Realização da experiência de forma livre

De forma livre, sem necessidade de registrar resultados, foi realizada a experiência que consistiu em depositar o celular no vidro de conserva, fechar a tampa e mergulhar a ponta da mangueira na coluna d'água. Foi feita a associação do processo com a experiência de mergulho e sensação ao afundar em uma piscina.

Questões que foram levantadas nessa etapa foram:

- 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?

7.2.1.5 Identificação dos subsunçores

Durante as interações foram analisadas as ideias apresentadas para estabelecer um mapeamento dos subsunçores que permitiriam a fixação dos novos

²⁷ 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.

conceitos. Alguns conceitos foram novamente reforçados, como: densidade e pressão.

7.2.1.6 Apresentação dos conceitos necessários para a experimentação

Nesta etapa, foi distribuído o guia disponível no “Apêndice B – Produto Educacional – Apêndice D – Guia para experimentação – Lei de Stevin” e apresentados os conceitos envolvidos no experimento e descritos no material: o que é fluido, a densidade de um material, o conceito de pressão e a Lei de Stevin.

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.

7.2.1.7 Realização da experiência de forma guiada

Com a utilização do guia disponibilizado, o experimento antes realizado de forma rápida e sem compromisso no registro de dados, foi repedido com a sequência apropriada e indagando os acadêmicos quanto aos fatores que precisam ser observados e analisados. Neste caso, o questionamento foi direcionado sobre o que ocorre com o fluido constante na mangueira e no pote de vidro ao longo da sua submersão.

Também foi realizado o movimento horizontal da mangueira mantendo uma determinada profundidade.

7.2.1.8 Consolidação dos resultados

Com a experimentação foi solicitado o registro dos dados capturados para permitir o avanço do conteúdo. Foram registrados os dados da pressão atmosférica local e da pressão medida pelo Phyphox ao mergulhar a mangueira na água.

De forma coletiva os estudantes elaboraram as conclusões que se referem às questões e aos problemas propostos no roteiro experimental.

7.2.1.9 Conclusão da experimentação com o conceito e cálculo de g (gravidade) (ou densidade)

Apresentação conceitual dos fundamentos do experimento. Neste caso, a imersão da mangueira no líquido que implicou em um aumento de pressão sobre o

fluido (ar) no interior da mangueira, resultando em um consequente aumento de pressão medido pelo *Phyphox* no celular disposto no interior do vidro de conserva.

Não foram feitos cálculos da gravidade ou da densidade do fluido que inicialmente se propunha no experimento.

Com esta etapa encerrou-se a fase experimental e foi entregue pelos acadêmicos o relatório das atividades desenvolvidas.

7.2.1.10 Avaliação individual

Como última etapa no dia de atividades, foi realizada a avaliação individual disponível no “Apêndice B – Produto Educacional – Apêndice D – Guia para experimentação – Lei de Stevin” para identificar a absorção do conhecimento propagado. Nesse momento foi reforçado com os discentes a importância da avaliação individual.

7.2.1.11 Avaliação da qualidade e qualificação do aprendizado

A avaliação da qualidade e quantidade do aprendizado foi realizado pelo professor posteriormente, 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 das aprendizagens realizadas.

7.2.1.12 Conclusão do procedimento

Na aula seguinte, um tempo de 15 minutos foi utilizado para fornecer um encerramento para a turma reforçando os conceitos tratados, principalmente aqueles que se mostraram degradados na avaliação individual.

Novamente foram reforçados os conceitos de pressão e a lei de Stevin.

7.2.2 Análise da participação

Conforme a sequência didática elaborada, no dia 08 de novembro de 2023, nos 15 minutos finais da aula, foi realizado um pré-teste com apresentação de situação problema. Os estudantes responderam individualmente as questões para possibilitar um mapeamento dos conhecimentos fixados anteriormente à experimentação.

Durante a realização do teste reforçou-se a importância de respostas individuais com base nos conhecimentos prévios.

O resultado do pré-teste é apresentado na tabela abaixo.

Tabela 5 – Respostas no pré-teste (Lei de Stevin)

Questões	Correta	Incorreta
Situação problema - Cientistas marinhos**	30,00%	70,00%
O que é pressão?	13,33%	86,67%
Sensação ao mergulhar em uma piscina**	60,00%	40,00%
Fatores que podem afetar a pressão, efeito da troca do líquido	26,67%	73,33%
Lei de stevin, movimentos horizontais	13,33%	86,67%
Média final da avaliação	28,67%	71,33%

Fonte: Autoria própria (2023)

Após a resolução do pré-teste foi novamente apresentado o aplicativo Phyphox, o que nesse momento não gerou inquietação visto que a turma já conhecia a referida ferramenta. No entanto, destaca-se a importância desse passo para evitar que a novidade desperte alvoroço na turma e atrapalhe a aplicação da fase experimental da sequência didática desenvolvida.

No dia 23 de novembro de 2023, durante o período de duas aulas de 45 minutos, foram realizadas as etapas da sequência didática que envolviam desde a apresentação da experiência até a avaliação individual (pós-teste).

Na apresentação da experiência os estudantes já demonstraram o interesse pela tubulação preenchida com água e pelo vidro de conserva vazio.

Fotografia 7 – Água no interior da tubulação



Fonte: A autoria própria (2023)

Por conta disso a turma foi extremamente receptiva para a realização da atividade, visto que se apresentava como uma atividade diferente da convencional aula expositiva. Assim, o desenvolvimento da atividade não apresentou dificuldade para a reter a atenção dos discentes.

Durante a realização da experiência de forma livre, com os questionamentos levantados, vários estudantes começaram a associar a penetração da água na tubulação que se direcionava para o vidro de conserva, destacando preocupação para com o celular que havia sido depositado no interior da estrutura. Sem o guia prático, a interpretação do experimento como um estudo de pressão não foi tão óbvia e as intervenções do professor foram importantes para o direcionamento correto para o objetivo da experiência. Durante os estímulos buscou-se identificar a presença dos subsunçores e reforçar aqueles que pareceram estar enfraquecidos.

Fotografia 8 – Smartphone no interior do vidro de conserva



Fonte: Autoria própria (2023)

Na experimentação guiada muitas dúvidas puderam ser sanadas sobre a motivação do uso da imersão da tubulação para avaliar a variação da pressão no interior do vidro de conserva, especialmente com a exposição teórica realizada.

Durante a realização do experimento com o smartphone posicionado no interior do “vidro de conserva” foram observadas as variações de pressão com a captura de dados pelo PhyPhox.

O procedimento envolveu submergir a ponta aberta da tubulação apresentada na Fotografia 8, o ar contido no interior da tubulação recebeu um aumento de pressão pela coluna de água sobre sua posição e propagava esse aumento de pressão até o vidro de conserva fechado, sendo essa variação detectada pelo sensor de pressão do smartphone.

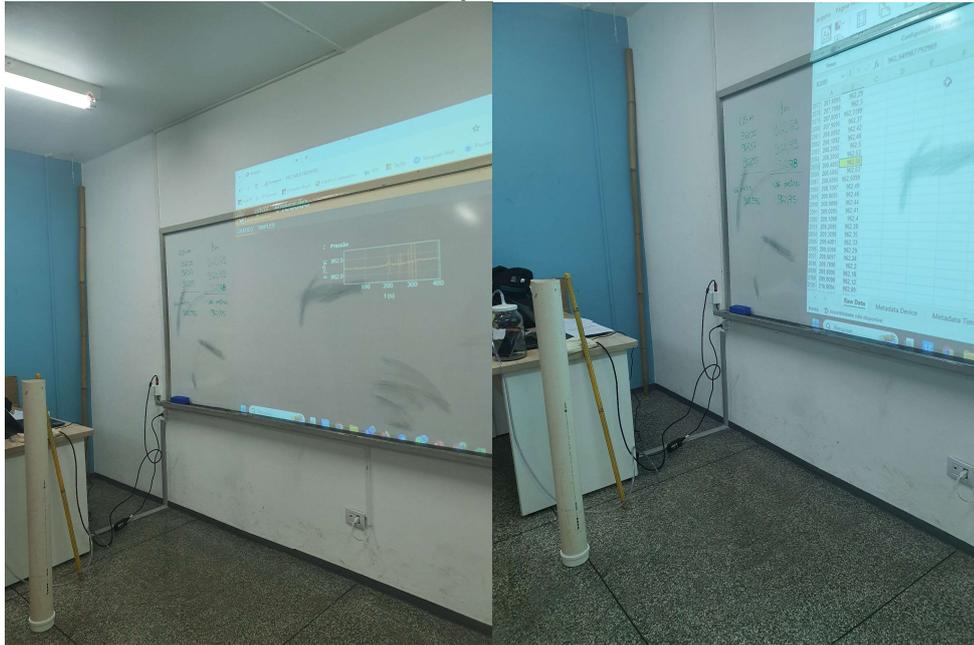
Fotografia 9 – Tubulação é presa em uma haste de madeira e imersa na coluna de água



Fonte: Autoria própria (2023)

O principal objetivo do experimento foi demonstrar a variação da pressão com a profundidades, sendo que na estrutura montada não foi possível partir para um cálculo de densidade do fluido por conta da tubulação flexível e de falhas de vedação na estrutura montada. Apesar disso, foi desenvolvido o raciocínio sobre a mudança de densidade do fluido e sua relação com a variação de pressão sentida no interior do vidro de conserva. Os estudantes apresentaram boa desenvoltura nesse raciocínio o que inclusive refletiu na avaliação final realizada.

Fotografia 10 – Projeção da captura de dados durante o experimento e identificação dos picos de pressão



Fonte: Autoria própria (2023)

Uma variação para o experimento com o objetivo de permitir uma captura de dados com melhor vedação e sem a necessidade do vidro de conserva é envolver o smartphone com um saco plástico com uma pequena parcela de ar em seu interior, conectar a um notebook para observação dos dados e imergir com o auxílio de uma haste com marcação de profundidade. A vantagem dessa configuração é a obtenção de dados de maior confiabilidade, porém com a desvantagem de elevar o risco de acidentes com o smartphone. Nessa configuração pode ser viável o cálculo da densidade do fluido. Abaixo segue imagem demonstrativa.

Fotografia 11 – Variação com imersão direta do smartphone com sensor de pressão



Fonte: Autoria própria (2023)

Convém destacar que, em aula posterior a aplicação do produto educacional, existiu ainda uma atividade de conclusão de cerca de 15 minutos onde foi apresentado o fechamento do experimento com reforço dos conceitos onde ainda se identificou lacuna com a avaliação final individual dos discentes, conforme tratado no próximo tópico.

7.2.3 Análise da aprendizagem

Um método interessante para a identificação da aprendizagem com a realização das atividades é a comparação dos resultados obtidos no pré-teste e no pós-teste.

Na avaliação individual (pós-teste) o resultado abaixo foi atingido pelos estudantes.

Tabela 6 – Respostas na avaliação individual (pós-teste) (Lei de Stevin)

Questões	Correta	Incorreta
Situação problema - Cientistas marinhos**	43,33%	56,67%
O que é pressão?	46,67%	53,33%
Sensação ao mergulhar em uma piscina**	46,67%	53,33%
Fatores que podem afetar a pressão, efeito da troca do líquido	60,00%	40,00%
Lei de Stevin, movimentos horizontais	46,67%	53,33%
Média final da avaliação	48,67%	51,33%

Fonte: Autoria própria (2023)

Ao comparar os resultados da avaliação individual (acima) com os resultados obtidos no pré-teste, é possível apresentar a tabela de evolução abaixo.

Tabela 7 – Evolução entre o pré-teste e o pós-teste (avaliação individual) (Lei de Stevin)

Questões	% de alunos com resposta correta*		
	Pré-teste	Pós-teste	Evolução mensurada
Situação problema - Cientistas marinhos**	30,00%	43,33%	44,44%
O que é pressão?	13,33%	46,67%	250,00%
Sensação ao mergulhar em uma piscina**	60,00%	46,67%	-22,22%
Fatores que podem afetar a pressão, efeito da troca do líquido	26,67%	60,00%	125,00%
Lei de Stevin, movimentos horizontais	13,33%	46,67%	250,00%
Média final da avaliação	28,67%	48,67%	69,77%

*Quantidade de respondentes: 15

** Questões afetadas pela discussão sobre oxigenação sanguínea para os mergulhadores

Fonte: Autoria própria (2023)

Após a realização do pós-teste e com a identificação de um vício cognitivo relacionado à presença de oxigênio nas profundidades, quando da resposta da situação problema. Na atividade de conclusão do experimento, retornou-se com a turma para entender o que causou o erro de interpretação, visto que o professor não soube identificar a origem num primeiro momento. Posteriormente à conversa, foi identificado que a discussão sobre a situação de mergulhadores de profundidade precisarem fazer pausas de 10 em 10m para “equalizar” a diluição do oxigênio no sangue foi responsável para tirar algum foco da situação problema proposta. No entanto, essa identificação também possibilitou a correção da interpretação viciada apresentada por alguns alunos no pós-teste.

Com a avaliação dos dados coletados, existe uma aparente aprendizagem significativa dos estudantes ao comparar-se o resultado os testes, sendo que tivemos uma melhora de 69,77% na média atingida pelos estudantes após a aplicação da sequência didática.

7.3 Fenômeno de Interferência Sonora do Batimento

Nos dias 09 e 11 de outubro de 2023, na cidade de Medianeira-PR, em um determinado colégio particular, foi aplicado o produto Educacional na turma do 9º (nono) ano matutino do ensino fundamental, totalizando aproximadamente 2 horas aulas de 45 minutos.

O produto educacional envolveu uma sequência didática para abordar conceitos relacionados ao processo de interferência sonora conhecido como batimento e apresentar um experimento com o uso do aplicativo *Phyphox* com o objetivo de facilitar a compreensão do processo.

7.3.1 Aplicação da sequência didática

A sequência didática apresentou etapas que tinham objetivo de demonstrar e permitir a compreensão do fenômeno de batimento ocasionado por duas emissões sonoras de frequência próxima.

Buscou-se a compreensão do processo de interferência sonora. Neste sentido, é fundamental a compreensão do conceito de ondas e frequência sonora.

7.3.1.1 Mapeamento de subsunçores.

A primeira etapa da sequência didática envolveu apenas o professor e a sua avaliação introspectiva por identificar os subsunçores importantes para a incorporação do conhecimento a ser apresentado. Nessa etapa foram identificados os subsunçores importantes para o conteúdo como: ondas sonoras, propagação de ondas sonoras, período e frequência.

Para entender se os acadêmicos passaram por esses conceitos de forma teórica ou prática previamente à realização deste plano de aula passou para a segunda etapa da sequência didática.

7.3.1.2 Realização de Pré-teste com apresentação de situação problema

O passo seguinte envolveu o final de uma aula que antecede a experimentação. Num período de 15 minutos foi realizado um pré-teste que pretendeu identificar conhecimentos prévios e a presença de subsunçores necessários para a aprendizagem significativa.

No “Apêndice B – Produto Educacional – Apêndice E – Pré-teste – Observação do fenômeno de interferência sonora do batimento” é apresentado o pré-teste e a situação problema escolhida para este conteúdo: “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’.”

Esta etapa foi feita em aula anterior a experimentação para permitir ao professor a leitura de todas as respostas e mapeamento dos conceitos que precisavam ser revistos antes de seguir a sequência didática.

Nessa mesma etapa foi apresentado o aplicativo PhyPhox e solicitado aos alunos que buscassem a ferramenta na loja de aplicativos de forma a evitar desvios de atenção no dia da realização do experimento.

Na aula seguinte, antes de prosseguir com a sequência didática, foram reforçados os conceitos de: ondas sonoras, período, frequência e interferência.

As próximas etapas consumiram uma aula de 45 minutos.

7.3.1.3 Apresentação da experiência

Num primeiro momento foi apresentado o material a ser utilizado na experimentação sem trazer o guia de execução experimental, 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*²⁸).

²⁸ 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.

Ao longo da apresentação do material os smartphones foram posicionados um ao lado do outro com uma emissão sonora cada um deles e algumas questões foram direcionadas, 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?

7.3.1.4 Realização da experiência de forma livre

De forma livre, sem necessidade de registrar resultados, foi realizada a experiência que consistiu em deixar dois celulares com um mesmo tom acionado. Foi feita uma associação com aparelhos de som que possuem duas caixas acústicas e inquirido sobre o tipo de interferência que ocorre entre os sons emitidos.

Além disso, outras questões que foram levantadas nessa etapa foram:

- 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?

7.3.1.5 Identificação dos subsunçores

Durante as interações foram analisadas as ideias apresentadas para estabelecer um mapeamento dos subsunçores que permitiriam a fixação dos novos conceitos. Alguns conceitos foram novamente reforçados, como: período e frequência.

7.3.1.6 Apresentação dos conceitos necessários

Nesta etapa, foi distribuído o guia disponível no “Apêndice B – Produto Educacional – Apêndice F – Guia para experimentação – Observação do fenômeno de interferência sonora do batimento” 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.

7.3.1.7 Realização da experiência de forma guiada

Com a utilização do guia disponibilizado, o experimento foi repetido com a sequência apropriada e os acadêmicos foram indagados quanto aos fatores que precisam ser observados e analisados. Neste caso, o questionamento foi direcionado 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.

7.3.1.8 Consolidação dos resultados

Com a experimentação foi solicitado o registro dos dados capturados para permitir o avanço do conteúdo. Foram registrados os dados referentes a percepção sonora ao acionar a emissão sonora em dois smartphones com frequências próximas. O Phyxox foi utilizado para a emissão sonora e para a captura, em um terceiro aparelho, do espectro sonoro de interferência apresentado.

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

7.3.1.9 Conclusão da experimentação com o conceito de batimento

Com a apresentação dos resultados obtidos o professor estabeleceu 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.

Com esta etapa encerrou-se a fase experimental e foi entregue pelos acadêmicos o relatório das atividades desenvolvidas.

7.3.1.10 Avaliação individual

Como última etapa no dia de atividades, foi realizada a avaliação individual disponível no “Apêndice B – Produto Educacional – Apêndice F – Guia para experimentação – Observação do fenômeno de interferência sonora do batimento” para identificar a absorção do conhecimento propagado. Nesse momento foi reforçado com os discentes a importância da avaliação individual.

7.3.1.11 Avaliação da qualidade e qualificação do aprendizado

A avaliação da qualidade e quantidade do aprendizado foi realizado pelo professor posteriormente, 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 das aprendizagens realizadas.

7.3.1.12 Conclusão do procedimento

Na aula seguinte, um tempo de 15 minutos foi utilizado para fornecer um encerramento para a turma reforçando os conceitos tratados, principalmente aqueles que se mostraram degradados na avaliação individual.

Novamente foram reforçados os conceitos de ondas sonoras e interferência.

7.3.2 Análise da participação

Conforme a sequência didática elaborada, no dia 09 de outubro de 2023, nos 15 minutos finais da aula, foi realizado um pré-teste com apresentação de situação problema. Os estudantes responderam individualmente as questões para possibilitar um mapeamento dos conhecimentos fixados anteriormente à experimentação.

Durante a realização do teste reforçou-se a importância de respostas individuais com base nos conhecimentos prévios.

O resultado do pré-teste é apresentado na tabela abaixo.

Tabela 8 – Respostas no pré-teste (Batimento)

Questões	Correta	Incorreta
Situação problema - Concerto com música "pulsante"	25,00%	75,00%
O que são ondas sonoras?	10,42%	89,58%
O que é período?	29,17%	70,83%
O que é frequência?	16,67%	83,33%
Dois violões na mesma sala emitindo as mesmas notas?	70,83%	29,17%
O que é interferência sonora?	14,58%	85,42%
Média final da avaliação	27,78%	72,22%

Fonte: Autoria própria (2023)

Após a resolução do pré-teste foi apresentado o aplicativo Phyphox, o que naturalmente já resultou em alvoroço na sala de aula. Por esse motivo, o aplicativo

deve ser apresentado em aula anterior à sua utilização em experimentação prática, visto a possibilidade de o estudante investigar o aplicativo e suas funcionalidades com antecedência.

No dia 11 de outubro de 2023, durante o período de uma aula de 45 minutos, foram realizadas as etapas da sequência didática que envolviam desde a apresentação da experiência até a avaliação individual (pós-teste). Nesta turma, com o tempo reduzido para apenas uma aula de 45 minutos, foi permitido entregar a avaliação individual em aula posterior. Convém observar, no entanto, que esse prazo maior para entrega deve ser evitado devido à dificuldade em receber os relatórios tempestivamente.

Na apresentação da experiência os estudantes já demonstraram o interesse em operar o Phyphox nos smartphones, sendo necessário controlar a produção de ruído na turma.

Portanto, a turma foi extremamente receptiva para a realização da atividade, porém o controle de ruídos se tornou um desafio pelo tipo de experimento pretendido. Além do ruído interno à sala, externamente também existiam sons que atrapalharam a etapa experimental.

Durante a realização da experiência de forma livre, com os questionamentos levantados, vários estudantes começaram a associar a emissão de sons por dois celulares com um fenômeno de interferência, mas sem associar ao batimento. Inicialmente as associações foram direcionadas apenas para a intensidade sonora. Portanto, sem o guia prático, a interpretação do experimento como um estudo de batimento não foi tão óbvia e as intervenções do professor foram importantes para o direcionamento correto. Durante os estímulos buscou-se identificar a presença dos subsunçores e reforçar aqueles que pareceram estar enfraquecidos.

Na experimentação guiada muitas dúvidas puderam ser sanadas sobre o fenômeno do batimento, especialmente com a realização do fenômeno do batimento com a emissão de ondas de frequências próximas em dois celulares com o uso do aplicativo Phyphox. Um terceiro celular recebeu os sinais e apresentou a representação gráfica dos dados coletados.

Convém destacar a dificuldade na realização desse experimento apenas com os celulares de forma centralizada, visto a capacidade de emissão de som dos aparelhos frente aos ruídos presentes em sala, além daqueles provenientes da área

externa. Mesmo quando a sala ficou em silêncio o fenômeno ficou de difícil audição, sendo necessário juntar a turma em grupos para uma melhor percepção do batimento.

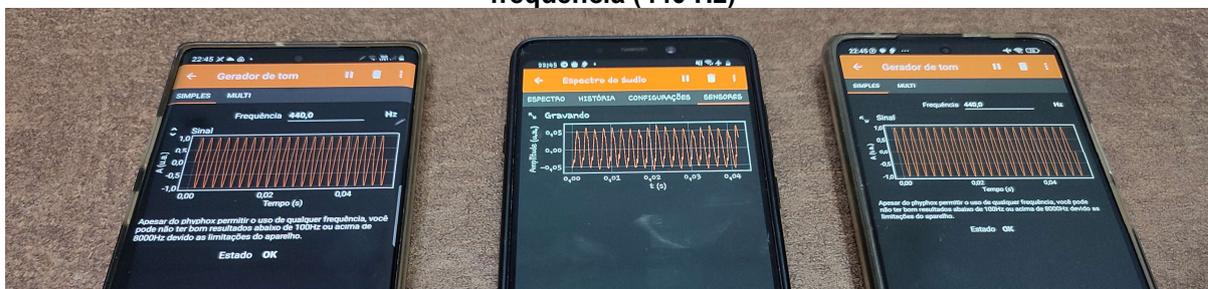
A produção de ruído impossibilitou a realização do experimento em grupos paralelos dentro da sala, só sendo possível o trabalho em pequenos grupos em áreas abertas, conforme a disponibilidade de aparelhos.

Como é um experimento rápido de fazer, pôde ser repetido várias vezes para que toda a turma tivesse acesso à percepção do batimento.

Para finalizar, o experimento também foi projetado com o uso de um notebook conectado ao smartphone que realizava a captura dos dados com o uso do aplicativo PhyPhox, com o apoio de um Datashow.

O principal objetivo do experimento foi demonstrar o fenômeno do batimento causado por interferência entre ondas de forma construtiva e destrutiva. Apesar da dificuldade em realizar a experimentação e a necessidade de sua repetição em pequenos grupos, foi desenvolvido o raciocínio sobre a interferência sonora. Os estudantes apresentaram boa desenvoltura no raciocínio relativo à interferência construtiva o que inclusive refletiu na avaliação final realizada posteriormente.

Fotografia 12 – Montagem experimental com 3 smartphones com emissões de mesma frequência (440 Hz)



Fonte: Autoria própria (2023)

Fotografia 13 – Montagem experimental com 3 smartphones com emissões de frequências diferentes (440 Hz e 442Hz)



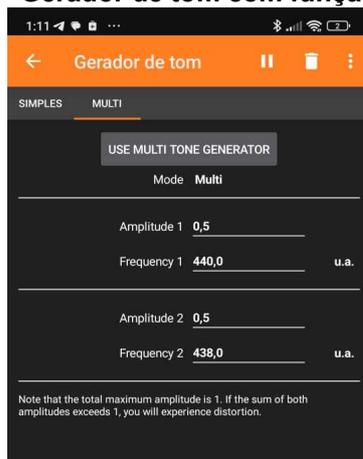
Fonte: Autoria própria (2023)

Convém destacar que, em aula posterior a aplicação do produto educacional, existiu ainda uma atividade de conclusão de cerca de 15 minutos onde foi apresentado o fechamento do experimento com reforço dos conceitos onde ainda se identificou

lacuna com a avaliação final individual dos discentes, conforme tratado no próximo tópico.

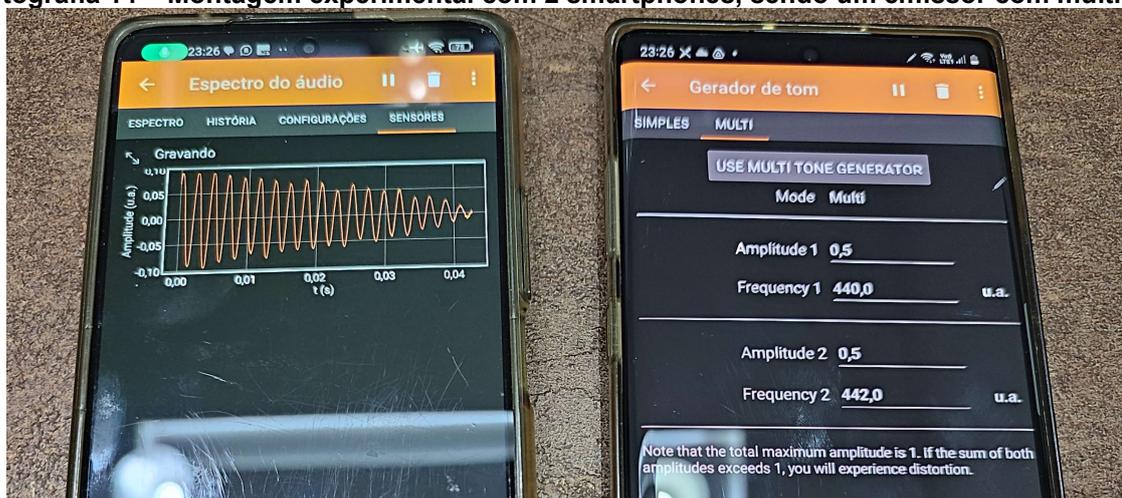
É importante observar que o PhyPhox permite a realização desse experimento com apenas dois smartphones, pois é capaz de simular duas emissões sonoras com um aparelho, sendo necessário o segundo para a captura e mapeamento das ondas sonoras. Veja figura abaixo.

Figura 22 – Gerador de tom com função multi tom



Fonte: aplicativo PhyPhox, execução em 12/2023

Fotografia 14 – Montagem experimental com 2 smartphones, sendo um emissor com multitom



Fonte: Autoria própria (2023)

7.3.3 Análise da aprendizagem

Um método interessante para a identificação da aprendizagem com a realização das atividades é a comparação dos resultados obtidos no pré-teste e no pós-teste.

Na avaliação individual (pós-teste) o resultado abaixo foi atingido pelos estudantes.

Tabela 9 – Respostas na avaliação individual (pós-teste) (Batimento)

Questões	Correta	Incorreta
Situação problema - Concerto com música "pulsante"	43,75%	56,25%
O que são ondas sonoras?	35,42%	64,58%
O que é período?	58,33%	41,67%
O que é frequência?	45,83%	54,17%
Dois violões na mesma sala emitindo as mesmas notas?	50,00%	50,00%
O que é interferência sonora?	20,83%	79,17%
Média final da avaliação	42,36%	57,64%

Fonte: Autoria própria (2023)

Ao comparar os resultados da avaliação individual (acima) com os resultados obtidos no pré-teste, é possível apresentar a tabela de evolução abaixo.

Tabela 10 – Evolução entre o pré-teste e o pós-teste (avaliação individual) (Batimento)

Questões	% de alunos com resposta correta*		
	Pré-teste	Pós-teste	Evolução mensurada
Situação problema - Concerto com música "pulsante"	25,00%	43,75%	75,00%
O que são ondas sonoras?	10,42%	35,42%	240,00%
O que é período?	29,17%	58,33%	100,00%
O que é frequência?	16,67%	45,83%	175,00%
Dois violões na mesma sala emitindo as mesmas notas?	70,83%	50,00%	-29,41%
O que é interferência sonora?	14,58%	20,83%	42,86%
Média final da avaliação	27,78%	42,36%	52,50%

*Quantidade de respondentes: 24

Fonte: Autoria própria (2023)

Após a realização do pós-teste, foi perceptível uma confusão entre uma interferência construtiva ocorrida entre os sons emitidos pelos dois violões na mesma sala de aula e o fenômeno do batimento ocorrido entre frequências próximas, de forma que essa questão teve uma redução na assertividade.

Convém destacar que o pós-teste apresentou uma média bastante interessante mesmo com sete alunos deixando de entregar a avaliação final e

prejudicando a média da turma. Foi nítida a melhora na diferenciação e conceituação de período, frequência e interferência sonora entre os respondentes.

Na atividade de conclusão do experimento, retornou-se com a turma para esclarecer a diferença entre dois instrumentos afinados tocando a mesma nota musical (caso dos violões na sala de aula) e a situação problema apresentada onde tínhamos um instrumento desafinado causando o fenômeno do batimento (frequência sonora levemente diferente).

Com a avaliação dos dados coletados, existe uma aparente aprendizagem significativa dos estudantes ao comparar-se o resultado os testes, sendo que tivemos uma melhora de 52,50% na média atingida pelos estudantes após a aplicação da sequência didática, mesmo com o prejuízo causado à média pelos não respondentes, cuja avaliação individual ficou com atribuição de nota zero.

8 CONCLUSÃO

Para a eficiência e para o aprendizado significativo é importante que uma sequência didática perpassasse por uma identificação da presença dos subsunçores que serão fundamentais para a fixação dos conceitos novos apresentados aos acadêmicos.

Posteriormente, com o fortalecimento dos subsunçores deficitários, apresentou-se os novos conteúdos e, por fim, inquiriu-se os participantes sobre os conceitos que se buscava fixação. E nesta última etapa que foi possível identificar o nível de compreensão apresentada pelos estudantes.

Somente após esse processo foi realizada a atividade experimental de forma a permitir efetivamente a aprendizagem significativa.

Por fim, foi fundamental mapear o aprendizado alcançado e para isso utilizou-se uma avaliação individual com a finalidade de comparar o conhecimento pré e pós implementação do produto educacional e as evoluções descritas nos próximos parágrafos foram observadas.

Para a atividade **pêndulo simples**, que tratou do 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: após a aplicação do produto foi perceptível o avanço na compreensão da atuação da gravidade sobre um corpo suspenso. Ao observar a evolução dos acertos, a conceituação de gravidade tem uma melhora de 66,67% na correção. Além disso, tivemos uma melhora de 33,93% na média atingida nos testes pelos estudantes após a aplicação da sequência didática.

Para a atividade **Lei de Stevin**, que tratou da variação da pressão em um fluido com a alteração da profundidade ou altura. Após a aplicação do produto foi perceptível o avanço na compreensão da variação de pressão sobre um corpo na sua imersão em um fluido com a variação da altura ou profundidade. Ao observar a evolução dos acertos, encontramos um acréscimo na assertividade de 250% no conceito de pressão, 240% na conceituação da lei de Stevin e de 125% em fatores que podem aumentar a pressão num fluido. Além disso, tivemos uma melhora de 69,77% na média atingida pelos estudantes após a aplicação da sequência didática.

Para a atividade **Fenômeno da interferência sonora**, que tratou do processo de interferência sonora conhecido como batimento. Ao observar a evolução dos

acertos, encontramos um acréscimo na assertividade de 240% no conceito de ondas sonoras, 175% na conceituação de frequência, 100% na conceituação de período e de 52,50% na média geral da avaliação. Além disso, após a aplicação do produto foi perceptível o avanço na compreensão do fenômeno de batimento ocasionado por duas emissões sonoras de frequência próxima.

A sequência didática desenvolvida apresentou uma variedade de atividades que objetivavam satisfazer os condicionantes para que a aprendizagem fosse o mais significativa possível. E, com isso, foi possível atingir o objetivo geral do trabalho, ou seja, desenvolver, aplicar e avaliar um produto educacional que se baseia na utilização de smartphones, através do *software Phyphox*, como ferramenta auxiliar na realização de atividades experimentais para o ensino de física.

Além disso, os objetivos específicos foram alcançados, visto o desenvolvimento de sequências didáticas fundamentadas em Antoni Zabala e Ausubel, para realização de atividades experimentais com auxílio do *software Phyphox* e a observação da aprendizagem significativa com as avaliações realizadas, conforme dados apresentados de evolução na assertividade entre as atividades de pré e pós-teste.

Ou seja, após a aplicação dos três experimentos com a sequência didática estruturada, foi possível identificar uma evolução no conhecimento dos estudantes através das avaliações aplicadas, o que reforça a argumentação de que o trabalho resultou em aprendizagem significativa para os participantes.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6023:** informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ALONSO, M.; FINN, E. J. **Física:** um curso universitário - mecânica. [s.l.] Editora Blucher, 2018. v. 1
- AUSUBEL, D. P. The psychology of meaningful verbal learning. 1963.
- BARROSO, R. R.; OLIVEIRA, A. L. DE; JESUS, V. L. DE. Simulação da detecção de exoplanetas pelo método do trânsito utilizando o pêndulo cônico e o smartphone. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, p. e20200161-1–6, 2020.
- DA SILVA, A. A. B. O uso de um fotogate de baixo custo em práticas experimentais no ensino médio: o movimento retilíneo uniformemente variado de uma esfera sobre um plano inclinado. **MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA-MNPEF**, p. 12, 2022.
- DA SILVA, J. M. J. et al. Experimento de baixo custo para o estudo de queda livre utilizando o software PhyPhox em smartphone. **Jornada de Iniciação Científica e Extensão**, v. 18, n. 1, 2023.
- DA SILVA, K. W.; SANTOS, B. M.; DA ROCHA SILVA, L. Utilização de apps para o ensino do efeito Doppler. **Revista do Professor de Física**, v. 3, n. Especial, p. 89–90, 2019.
- DA SILVA SANTOS, M. F.; LAIA, A. S. Abordagem quantitativa da polarização da luz: explorando a lei de Malus com o aplicativo PhyPhox. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 45, p. e20220320, 2023.
- FREITAS, R. G. B. **Manual de experimentos utilizando o smartphone como instrumento de medida**. Dissertação de Mestrado — Sorocaba: Universidade Federal de São Carlos, mar. 2021.
- GOMES, C. L. Ensino de física experimental com o uso do telefone celular. 2022.
- GOMES, P. H. et al. **Experimentos didáticos sobre lei de Faraday e lei de Lenz utilizando smartphone como instrumento de medida**. MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA — Alfenas: UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS, 2023.
- HERNANDEZ, A. et al. Experimentos caseiros: uma adaptação mão-na-massa da disciplina de física experimental II da UFRJ para o ensino remoto. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. 1–13, 2021.
- KRETSCHMANN, E. **A física da música:** relato da aplicação de uma unidade didática sobre ondulatória e acústica sob uma perspectiva ausubeliana no colégio de aplicação - UFRGS. Trabalho de Conclusão de Curso — Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.

- KUHLEN, S. **Phyphox wiki**. Disponível em: https://phyphox.org/wiki/index.php/Main_Page. Acesso em: 27 out. 2023.
- LANDEIRA, J. E. P. C. et al. Pêndulo simples: tracker x phyphox simple pendulum: tracker x phyphox. **Revista do Professor de Física**, v. 4, n. 2, p. 91–108, 2020.
- LEITE, D. L. F. **Desenvolvimento de uma proposta pedagógica para o ensino da cinemática através da robótica educacional**. Dissertação de Mestrado — São Luis: Universidade Federal do Maranhão, 2021.
- LINO, A.; FUSINATO, P. A. A influência do conhecimento prévio no ensino de física moderna e contemporânea: um relato de mudança conceitual como processo de aprendizagem significativa. **R. B. E. C. T.**, v. 4, n. 3, p. 73–100, 2011.
- MALACRIDA, J. P. **Aplicativos em smartphones: o despertar científico no estudo de energia**. Dissertação de Mestrado—Maringá: Universidade Estadual de Maringá, abr. 2021.
- MASINI, E. F. S.; MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: condições para ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos**. São Paulo: Vetor, 2008.
- MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. 1–8, 2021.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica: fluidos, oscilações e ondas, calor**. 4. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 2002. v. 2
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica: Mecânica**. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2013. v. 1
- PEDROSO, L. S. et al. Experimentos de baixo custo utilizando o aplicativo de física Phyphox. **Lat. Am. J. Phys. Educ**, v. 14, n. 4, dez. 2020.
- PEREIRA, E. Experiência de baixo custo para determinar a forma da superfície de um líquido em rotação usando o smartphone. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. 1–6, 2021.
- PINTO, A. R.; SARAIVA, C. Determinação do valor da aceleração gravítica com a aplicação Phyphox. **Sala de Professores**, v. 44, n. 1, p. 18–20, 2021.
- PRAZERES, H. J. DOS. **Sala de aula invertida na cinemática do movimento circular uniforme com aplicação de experimento**. Dissertação de Mestrado — Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 2021.
- REIS, P. M. R. DOS. **Atividades com smartphones para o ensino de física: uma proposta para o ensino de movimento uniforme e queda livre**. Dissertação de Mestrado — Belém: Universidade Federal do Pará (UFPA), 2020.

RIBEIRO, K. A. et al. Utilizando o Phyphox para se obter dados para o cálculo do trabalho e potência de um motor caseiro. **Jornada de Iniciação Científica e Extensão**, v. 18, n. 1, 2023.

RODRIGUES, E. M. O uso do aplicativo Phyphox como instrumento para o ensino de física no ensino fundamental. 2023.

SANTOS, R. T. DOS. **A utilização de aplicativos para smartphones como laboratório móvel no ensino de física na visão de professores da rede pública estadual de São Paulo**. Monografia de Especialização—Medianeira: Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, 2020.

SANTOS, G. et al. Sequência de ensino investigativa para o ensino da lei de Hooke e movimento harmônico simples: uso do aplicativo Phyphox, o simulador Phet e GIF's. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 31, n. 2, p. 91–108, 2019.

SEARS, F.; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D. **Física 2: mecânica dos fluidos, calor e movimento ondulatório**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1984. v. 2

SEARS, F.; ZEMANSKY, M. W.; YOUNG, H. D. **Física 1: mecânica da partícula e dos corpos rígidos**. 2a. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora SA, 1985. v. 1

SERWAY, R.; JÚNIOR, J.; DE FÍSICA VOLUME, J. P. 2: oscilações, ondas e termodinâmica. São Paulo: Cengage Learning, , 2014.

SILVA, A. P. DA. **Experimentos com o arduino® nas aulas de física**. Dissertação de Mestrado — Mossoró: Universidade Federal Rural do Semi-Árido, dez. 2018.

TIPLER, P. A. **Física: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica**. 4. ed. [s.l: s.n.]. v. 1

VIEIRA, A. T. et al. É possível medir com o smartphone a altura que a bolinha foi solta? **Jornada de Iniciação Científica e Extensão**, v. 18, n. 1, 2023.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

APÊNDICE A - Aplicativo Phyphox

JUAN CARLO SABBI

APLICATIVO PHYPHOX

Apêndice A da 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).

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

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

MEDIANEIRA

2024

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Menu Sensores no aplicativo <i>PhyPhox</i>	137
Figura 2 – Posicionamento dos eixos de coordenadas no <i>Phyphox</i> em relação à tela do celular	138
Figura 3 – Aceleração (sem g) no aplicativo <i>PhyPhox</i>	139
Figura 4 – Aceleração com g no aplicativo <i>PhyPhox</i>	140
Figura 5 – Giroscópio no aplicativo <i>PhyPhox</i>	142
Figura 6 – Localização (GPS) no aplicativo <i>PhyPhox</i>	143
Figura 7 – Luz no aplicativo <i>PhyPhox</i>	144
Figura 8 – Magnetômetro no aplicativo <i>PhyPhox</i>	146
Figura 9 – Pressão no aplicativo <i>PhyPhox</i>	147
Figura 10 – Menu Acústica no aplicativo <i>PhyPhox</i>	148
Figura 11 – Amplitude do Áudio no aplicativo <i>PhyPhox</i>	149
Figura 12 – Autocorrelação do Som no aplicativo <i>PhyPhox</i>	150
Figura 13 – Efeito Doppler no aplicativo <i>PhyPhox</i>	151
Figura 14 – Espectro do áudio no aplicativo <i>PhyPhox</i>	153
Figura 15 – Gerador de tom no aplicativo <i>PhyPhox</i>	154
Figura 16 – Histórico de frequência no aplicativo <i>PhyPhox</i>	156
Figura 17 – Osciloscópio de Som no aplicativo <i>PhyPhox</i>	157
Figura 18 – Sonar no aplicativo <i>PhyPhox</i>	159
Figura 19 – Menu Dia a Dia no aplicativo <i>PhyPhox</i>	160
Figura 20 – Medidor de Aplausos no aplicativo <i>PhyPhox</i>	160
Figura 21 – Elevador no aplicativo <i>PhyPhox</i>	162
Figura 22 – Menu Ferramentas no aplicativo <i>PhyPhox</i>	163
Figura 23 – Espectro Magnético no aplicativo <i>PhyPhox</i>	164
Figura 24 – Espectro da Aceleração no aplicativo <i>PhyPhox</i>	166
Figura 25 – Inclinação no aplicativo <i>PhyPhox</i>	167
Figura 26 – Régua Magnética no aplicativo <i>PhyPhox</i>	168
Figura 27 – Menu Mecânica no aplicativo <i>PhyPhox</i>	169
Figura 28 – Aceleração Centrípeta no aplicativo <i>PhyPhox</i>	170
Figura 29 – Cilindro no aplicativo <i>PhyPhox</i>	171
Figura 30 – Colisão (IN)elástica no aplicativo <i>PhyPhox</i>	173
Figura 31 – Mola no aplicativo <i>PhyPhox</i>	174
Figura 32 – Pêndulo no aplicativo <i>PhyPhox</i>	176
Figura 33 – Menu Temporizadores no aplicativo <i>PhyPhox</i>	177
Figura 34 – Cronômetro Acústico no aplicativo <i>PhyPhox</i>	178
Figura 35 – Cronômetro de Movimento no aplicativo <i>PhyPhox</i>	179
Figura 36 – Cronômetro de proximidade no aplicativo <i>PhyPhox</i>	180
Figura 37 – Cronômetro Óptico no aplicativo <i>PhyPhox</i>	181
Figura 38 – Menu Tools no aplicativo <i>PhyPhox</i>	182
Figura 39 – <i>Depth Sensor</i> no aplicativo <i>PhyPhox</i>	183

SUMÁRIO

1	O APLICATIVO PHYPHOX	134
1.1	Histórico e Desenvolvimento	134
1.2	Aplicações	135
1.3	Experimentos	135
1.3.1	Sensores	137
<u>1.3.1.1</u>	<u>Aceleração sem g.....</u>	<u>137</u>
<u>1.3.1.2</u>	<u>Aceleração com g.....</u>	<u>139</u>
<u>1.3.1.3</u>	<u>Giroscópio</u>	<u>141</u>
<u>1.3.1.4</u>	<u>Localização (GPS).....</u>	<u>142</u>
<u>1.3.1.5</u>	<u>Luz.....</u>	<u>143</u>
<u>1.3.1.6</u>	<u>Magnetômetro</u>	<u>145</u>
<u>1.3.1.7</u>	<u>Pressão</u>	<u>146</u>
1.3.2	Acústica	148
<u>1.3.2.1</u>	<u>Amplitude de áudio.....</u>	<u>148</u>
<u>1.3.2.2</u>	<u>Autocorrelação de som.....</u>	<u>149</u>
<u>1.3.2.3</u>	<u>Efeito Doppler.....</u>	<u>151</u>
<u>1.3.2.4</u>	<u>Espectro de áudio.....</u>	<u>152</u>
<u>1.3.2.5</u>	<u>Gerador de tom</u>	<u>153</u>
<u>1.3.2.6</u>	<u>Histórico de frequência.....</u>	<u>155</u>
<u>1.3.2.7</u>	<u>Osciloscópio de som</u>	<u>156</u>
<u>1.3.2.8</u>	<u>Sonar.....</u>	<u>157</u>
1.3.3	Dia a Dia.....	159
<u>1.3.3.1</u>	<u>Medidor de aplausos</u>	<u>160</u>
<u>1.3.3.2</u>	<u>Elevador</u>	<u>161</u>
1.3.4	Ferramentas	162
<u>1.3.4.1</u>	<u>Espectro magnético.....</u>	<u>163</u>
<u>1.3.4.2</u>	<u>Espectro de aceleração.....</u>	<u>165</u>
<u>1.3.4.3</u>	<u>Inclinação</u>	<u>166</u>
<u>1.3.4.4</u>	<u>Réguas magnéticas</u>	<u>168</u>
1.3.5	Mecânica	169
<u>1.3.5.1</u>	<u>Aceleração Centrípeta.....</u>	<u>169</u>
<u>1.3.5.2</u>	<u>Cilindro</u>	<u>170</u>

<u>1.3.5.3</u>	<u>Colisão (IN)elástica</u>	<u>172</u>
<u>1.3.5.4</u>	<u>Mola.....</u>	<u>173</u>
<u>1.3.5.5</u>	<u>Pêndulo</u>	<u>174</u>
<u>1.3.6</u>	<u>Temporizadores.....</u>	<u>176</u>
<u>1.3.6.1</u>	<u>Cronômetro acústico</u>	<u>177</u>
<u>1.3.6.2</u>	<u>Cronômetro de movimento</u>	<u>178</u>
<u>1.3.6.3</u>	<u>Cronômetro de proximidade</u>	<u>179</u>
<u>1.3.6.4</u>	<u>Cronômetro óptico</u>	<u>180</u>
<u>1.3.7</u>	<u>Tools.....</u>	<u>182</u>
<u>1.3.7.1</u>	<u>Depth Sensor</u>	<u>182</u>
1.4	Considerações.....	184

1 O APLICATIVO PHYPHOX

Phyphox é um aplicativo gratuito e de código aberto para *Android* e *IOS* que permite aos usuários realizar experimentos científicos usando um smartphone como dispositivo de captura de informações. Ele permite coletar dados de sensores do telefone, como o acelerômetro, o giroscópio, o magnetômetro, entre outros, e realize análises em tempo real. O *Phyphox* também permite criar experimentos personalizados através de blocos de construção e oferece uma ampla variedade de ferramentas de análise de dados, incluindo gráficos, histogramas e análise estatística.

Além do aplicativo para *Android* e *IOS*, o projeto *Phyphox* também inclui o *PhyphoxLab*, um ambiente de laboratório virtual baseado na web que permite aos usuários realizarem experimentos usando dados coletados por dispositivos móveis e outros sensores. O *PhyphoxLab* é acessível gratuitamente pela internet e oferece uma variedade de experimentos práticos que abrangem diferentes áreas da física, como eletricidade, mecânica e óptica. Além disso, a equipe do *Phyphox* oferece *workshops* e treinamentos para educadores interessados em integrar o aplicativo em suas aulas e atividades de laboratório. Muito conteúdo pode ser encontrado *online* no site dos desenvolvedores¹, no *youtube*² e no *Phyphox Wiki*³ (KUHLEN, 2015).

1.1 Histórico e Desenvolvimento

O *Phyphox* foi desenvolvido por um grupo de cientistas da RWTH Aachen University na Alemanha, liderado pelo Prof. Dr. Christoph Stampfer. O projeto iniciou em 2016 com o objetivo de criar uma ferramenta fácil de ser utilizada para que estudantes e professores pudessem realizar experimentos científicos usando equipamentos disponíveis na palma da mão, os smartphones.⁴

O aplicativo é de código aberto, o que significa que qualquer pessoa pode acessar e contribuir para o seu desenvolvimento.

Desde o início do projeto a equipe do *Phyphox* continuou a atualizar o aplicativo com base no *feedback* de usuários, sempre com o objetivo de tornar a

¹ <https://phyphox.org/>

² <https://www.youtube.com/@phyphox>

³ https://phyphox.org/wiki/index.php/Main_Page

⁴ <https://phyphox.org/>

ciência mais acessível e divertida para todos. O foco é tornar a ferramenta cada vez mais poderosa e útil para a realização de experimentos científicos através de smartphones.

1.2 Aplicações

O *Phyphox* se apresenta como uma ferramenta poderosíssima para auxiliar a atividade educacional e experimental ao transformar um smartphone em um laboratório portátil.

Como foi possível observar no levantamento bibliográfico, uma série de trabalhos de cunho educacional já vem aproveitando a ferramenta para auxiliar o ensino da física.

Assim, é possível elencar algumas aplicações possíveis para o *Phyphox* como: a) ensino da física – excelente para aprender e ensinar conceitos de física; b) laboratório portátil – permite a realização de alguns experimentos em qualquer lugar para explorar a física e suas bases; c) análise de movimentos – analisar o movimento de objetos; d) estudar ondas – estudar propriedades das ondas como frequência, amplitude e velocidade; e) medir força e aceleração – estudar forças utilizando o acelerômetro dos smartphones; f) projetos científicos – pode ser usado para coletar dados experimentais de forma conveniente e precisa.

1.3 Experimentos

O *Phyphox* pode usar uma ampla variedade de sensores disponíveis em smartphones modernos para coletar dados experimentais. Isso inclui sensores como o acelerômetro, giroscópio, magnetômetro, sensor de luz, sensor de temperatura, sensor de umidade, microfone, câmera, sensor de pressão, *Bluetooth* e muitos outros, conforme o modelo do smartphone. O aplicativo também suporta sensores externos que podem ser conectados ao smartphone via *Bluetooth*, como sensores de pH e sensores de temperatura⁵. Isso torna o *Phyphox* uma ferramenta versátil para a realização de experimentos científicos em várias áreas da física, química e biologia.

⁵ Conforme informação dos desenvolvedores, a disponibilidade de sensores de temperatura em smartphones é bastante limitado e a maior parte dos aparelhos que possuem o sensor acaba por

Existem muitas experiências que podem ser realizadas através do *Phyphox*, dependendo dos sensores disponíveis no smartphone e do objetivo da experiência.

Algumas das experiências que podem ser realizadas incluem:

- Medir a intensidade da luz em diferentes ambientes usando o sensor de luz do smartphone.
- Medir a aceleração de um objeto em queda livre usando o acelerômetro do smartphone.
- Estudar o comportamento de um circuito elétrico usando o microfone e o alto-falante do smartphone.
- Medir a pressão arterial usando a câmera do smartphone e a técnica de fotopleletismografia.
- Estudar o movimento harmônico simples de um pêndulo usando o giroscópio e o magnetômetro do smartphone.
- Estudar a variação da pressão ambiente com o sensor de pressão.
- Capturar sons para estudar o fenômeno da interferência com o microfone do smartphone.
- Medir a temperatura e a umidade relativa do ambiente usando os sensores de temperatura e umidade do smartphone.

Nos próximos tópicos serão detalhados alguns experimentos pré-formatados e que estão disponíveis no aplicativo *Phyphox* em uma classificação estabelecida em:

- Sensores
- Acústica
- Dia a Dia
- Ferramentas
- Mecânica
- Temporizadores
- *Tools*

1.3.1 Sensores

A figura 1 apresenta o menu inicial que é observado ao acessar o *Phyphox*. Nesta figura, é possível visualizar o menu de acesso aos sensores disponíveis no smartphone. Caso o aparelho não possua um sensor disponível, a opção estará desabilitada.

Figura 1 – Menu Sensores no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

1.3.1.1 Aceleração sem g

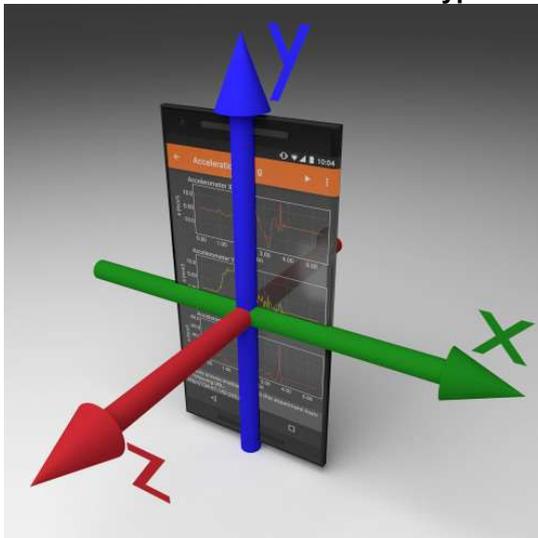
O experimento de aceleração (sem g) no *Phyphox* permite medir a aceleração de um objeto em queda livre, sem levar em conta a aceleração da gravidade. Esse experimento é útil para estudar a aceleração de objetos em diferentes situações, como em queda livre.

Para realizar o experimento, o usuário deve posicionar o smartphone no objeto que será lançado em queda livre. Em seguida, deve-se selecionar a opção "Aceleração (sem g)" no *Phyphox* e iniciar a medição. Quando o objeto é solto, o aplicativo começa a medir a aceleração do objeto em relação ao smartphone.

O *Phyphox* usa o acelerômetro do smartphone para medir a aceleração do objeto. O acelerômetro é um sensor que mede a aceleração do smartphone em três

direções diferentes (x, y e z) (Figura 2). Como o smartphone está fixo ao objeto em queda livre, a aceleração medida pelo acelerômetro é a aceleração do objeto.

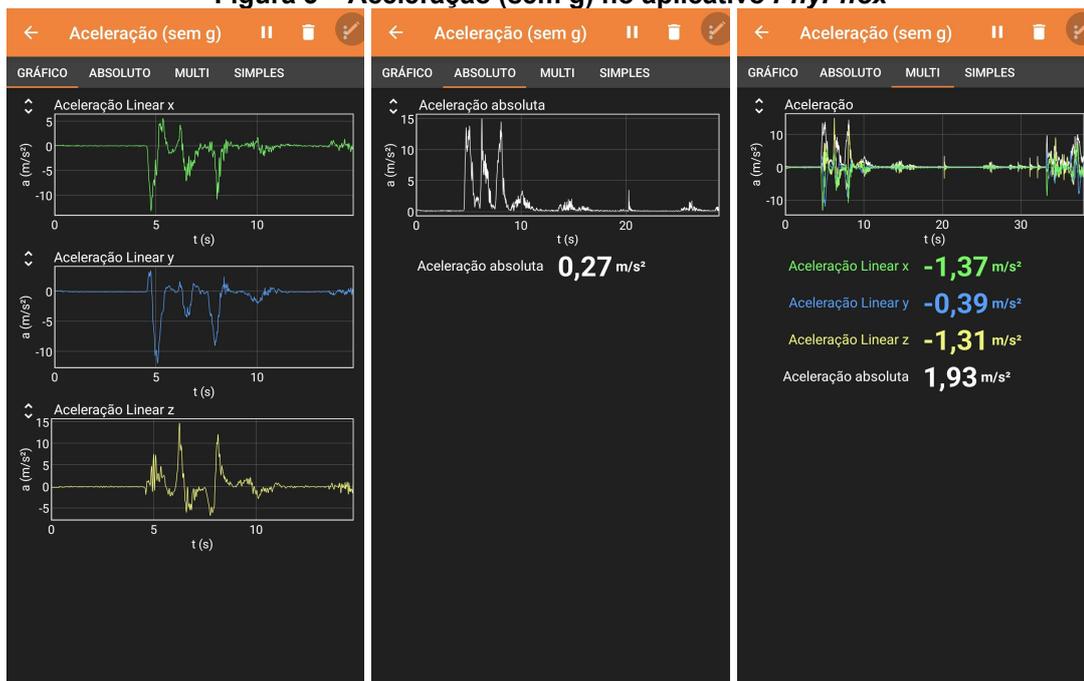
Figura 2 – Posicionamento dos eixos de coordenadas no Phyphox em relação à tela do celular



Fonte: <https://phyphox.org/sensors/>, acesso em 01/09/2023

Ao final da medição, o *Phyphox* apresenta um gráfico da aceleração em função do tempo (Figura 3). Com esse gráfico o usuário pode analisar a aceleração do objeto em diferentes momentos durante a queda livre. Além disso, o aplicativo também fornece a média e o desvio padrão da aceleração medida.

Figura 3 – Aceleração (sem g) no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

Esse experimento pode ser utilizado para estudar a relação entre a força resultante e a aceleração de um objeto em queda livre, bem como para determinar a velocidade final do objeto na chegada ao solo.

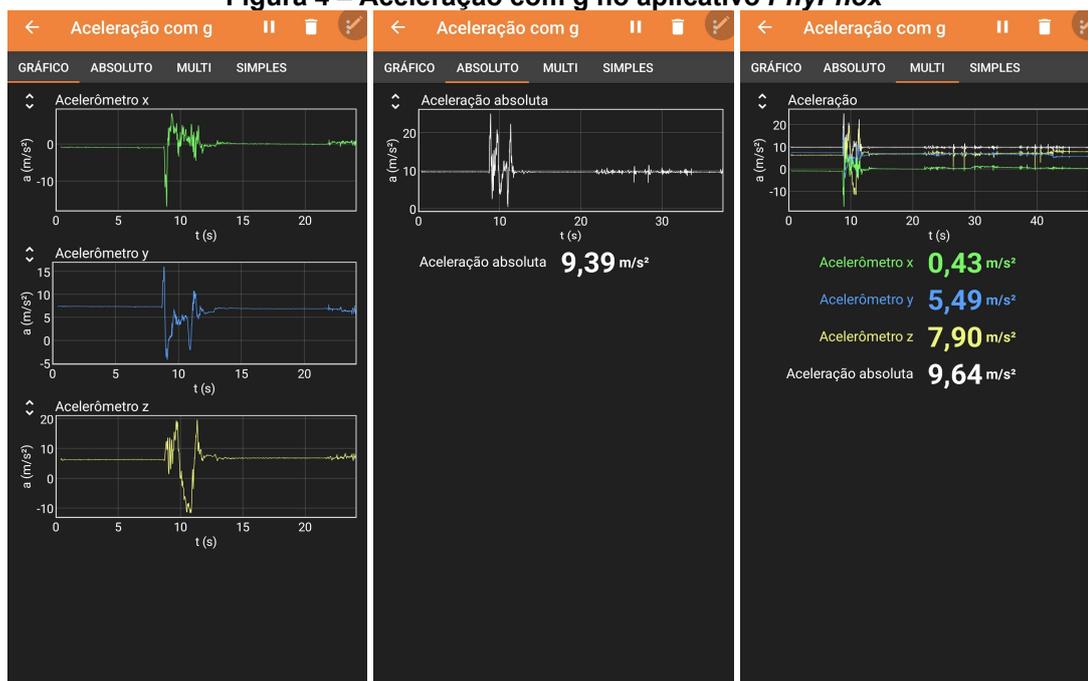
Reis (2020), Hernandez et al. (2021), Pedroso et al (2020), Leite (2021) e Santos et al. (2019) apresentaram propostas de aplicação com este experimento no Phyphox.

1.3.1.2 Aceleração com g

O experimento de aceleração com g no *Phyphox* permite medir a aceleração de um objeto em queda livre levando em consideração a aceleração da gravidade (g) (Figura 4). Esse experimento é útil para estudar a queda livre de objetos em diferentes condições e locais.

Como a gravidade (g) não é desconsiderada, a aceleração da gravidade local é apresentada mesmo com o smartphone em repouso em relação ao solo.

Figura 4 – Aceleração com g no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

Para realizar o experimento, o usuário deve colocar o smartphone em um objeto que será lançado em queda livre. Em seguida, deve-se selecionar a opção "Aceleração com g" no *Phyphox* e iniciar a medição. Quando o objeto é solto, o aplicativo começa a medir a aceleração do objeto levando em conta a aceleração da gravidade.

O *Phyphox* usa o acelerômetro do smartphone para medir a aceleração. Além disso, o aplicativo usa o sensor de altitude do smartphone para medir a altitude do objeto em relação ao nível do mar. Com essas informações, o *Phyphox* é capaz de calcular a aceleração do objeto levando em conta a aceleração da gravidade naquele local específico.

Ao final da medição, o *Phyphox* exibe um gráfico da aceleração em função do tempo. A partir desse gráfico, o usuário pode analisar a aceleração do objeto em diferentes momentos durante a queda livre, bem como a velocidade final do objeto na chegada ao solo. Além disso, o aplicativo também fornece a média e o desvio padrão da aceleração medida.

Esse experimento pode ser usado para estudar a relação entre a força resultante e a aceleração de um objeto em queda livre, bem como para determinar a altura e o tempo de queda de um objeto em diferentes locais.

Malacrida (2021) apresentou proposta de aplicação com este experimento no *Phyphox*.

1.3.1.3 Giroscópio

O experimento de giroscópio no *Phyphox* permite medir a velocidade angular de um objeto em rotação. Esse experimento é útil para estudar a cinemática de objetos em rotação, bem como para determinar a orientação e o ângulo de rotação de um objeto.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Giroscópio" no *Phyphox* e iniciar a medição. Em seguida, deve-se girar o smartphone em torno de um eixo específico para que o giroscópio do smartphone possa medir a velocidade angular do objeto em rotação.

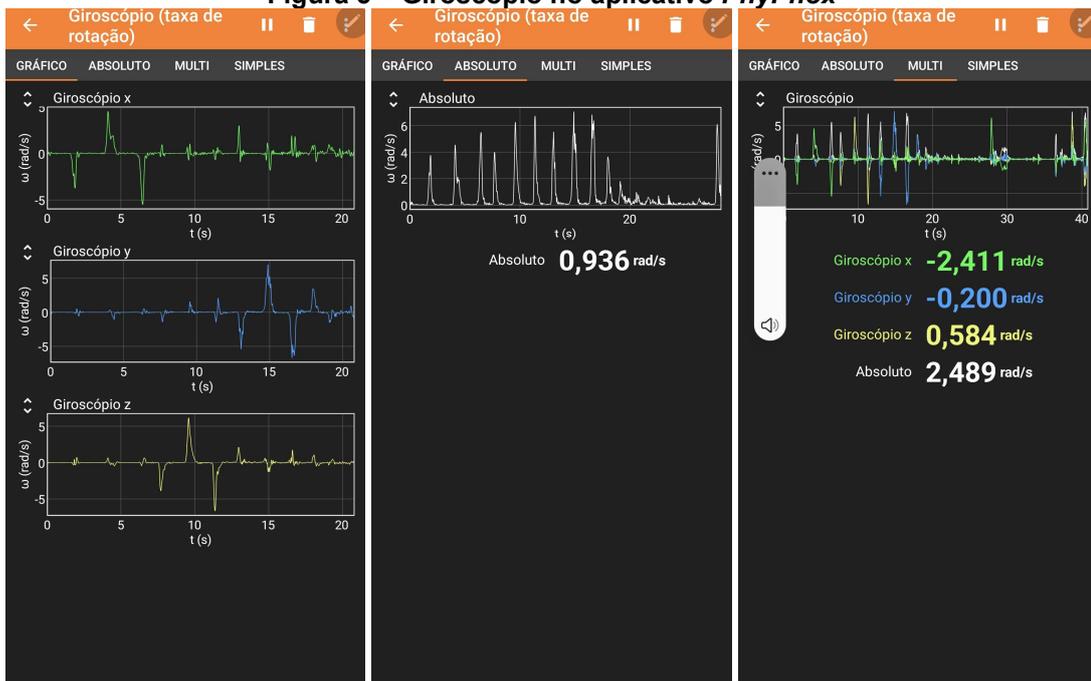
O *Phyphox* usa o giroscópio do smartphone para medir a velocidade angular do objeto em rotação. Trata-se de um sensor que mede a velocidade angular em torno de três eixos diferentes (x, y e z) (Figura 2). Quando o smartphone gira em torno de um eixo específico, o giroscópio mede a velocidade angular em torno desse eixo.

Ao final da medição, o *Phyphox* exibe um gráfico da velocidade angular em função do tempo. Com desse gráfico o usuário pode analisar a velocidade angular do objeto em diferentes momentos durante a rotação, bem como a direção e o sentido da rotação. Também, o aplicativo fornece a média e o desvio padrão da velocidade angular medida (Figura 5).

Esse experimento pode ser usado para estudar a conservação do momento angular em sistemas em rotação, bem como para determinar a orientação e a velocidade angular de objetos em rotação em diferentes situações.

Pereira (2021) apresentou uma proposta de aplicação com este experimento no *Phyphox*.

Figura 5 – Giroscópio no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

1.3.1.4 Localização (GPS)

O experimento de localização (GPS) no *Phyphox* permite medir a posição geográfica do smartphone usando o sistema de posicionamento global (GPS). Esse experimento é útil para estudar a localização e movimento do smartphone em diferentes situações e ambientes.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Localização (GPS)" no *Phyphox* e depois "iniciar a medição". O aplicativo utiliza o sistema de satélites GPS para calcular a posição do smartphone em tempo real.

O *Phyphox* usa o GPS para obter informações sobre a posição do smartphone em relação aos satélites GPS. Com essas informações, o aplicativo é capaz de calcular a posição geográfica do smartphone com uma precisão de alguns metros (Figura 6).

Figura 6 – Localização (GPS) no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

Ao final da medição, o *Phyphox* exibe a posição geográfica do smartphone em um mapa, juntamente com informações adicionais, como a altitude, a velocidade e a direção do movimento. De forma complementar o aplicativo também fornece a precisão da medição e a quantidade de satélites usados para calcular a posição.

Esse experimento pode ser usado para estudar a trajetória e o movimento do smartphone em diferentes locais e ambientes, bem como para analisar a precisão e confiabilidade do sistema GPS.

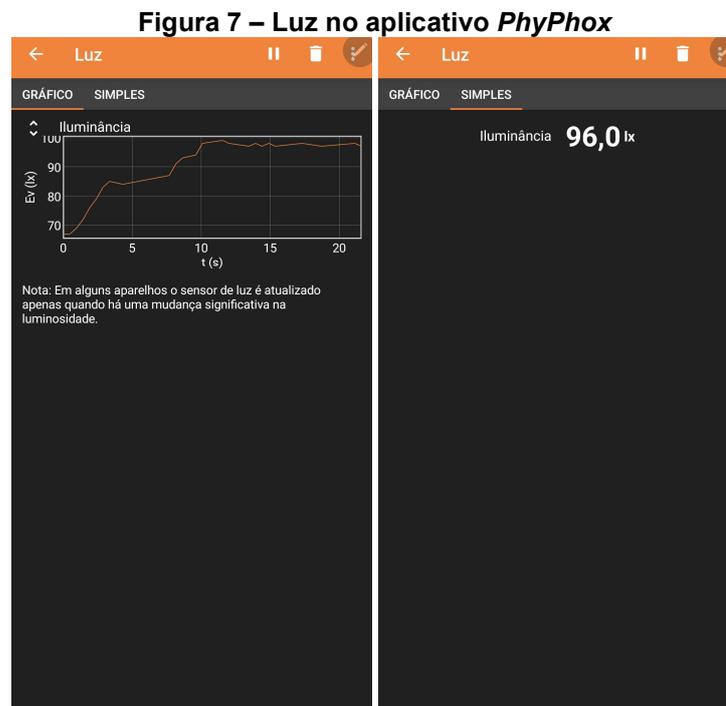
O experimento de localização pode ser combinado com outros experimentos do *Phyphox* para estudar a relação entre a posição geográfica e outros parâmetros físicos, como a aceleração e a velocidade.

1.3.1.5 Luz

O experimento de luz no *Phyphox* permite medir a intensidade e a cor da luz usando a câmera do smartphone. Esse experimento é útil para estudar a propagação da luz em diferentes materiais e ambientes, bem como para medir a intensidade e cor da luz em diversas situações.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Luz" no *Phyphox* e depois "iniciar a medição". Como passo seguinte o usuário deve apontar a câmera do smartphone para a fonte de luz que deseja medir (Figura 7).

O *Phyphox* usa a câmera do smartphone para capturar uma imagem da fonte de luz e calcular a intensidade e cor da luz a partir dessa imagem. O aplicativo pode medir a intensidade da luz em unidades de lux, bem como a cor da luz em termos de comprimento de onda e espectro de cores.



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

Ao final da medição o *Phyphox* exibe a intensidade e a cor da luz em unidades específicas, juntamente com um gráfico do espectro de cores da luz medida. O aplicativo também fornece informações adicionais sobre a qualidade da imagem capturada e a calibração da câmera.

Esse experimento pode ser usado para estudar a propagação da luz em diferentes materiais e ambientes, bem como para medir a intensidade e cor da luz em diferentes situações. Além disso, o experimento de luz também pode ser combinado com outros experimentos do *Phyphox* para estudar a relação entre a luz e outros parâmetros físicos, como a temperatura e a pressão.

Barroso; Oliveira; Jesus (2020) e Laila da Silva Santos 2023) apresentam uma experimentação com o uso do *Phyphox* e o experimento Luz.

1.3.1.6 Magnetômetro

O experimento de magnetômetro no *Phyphox* permite medir o campo magnético local usando o sensor de magnetômetro do smartphone. É experimento útil para estudar o comportamento de campos magnéticos em diferentes situações e ambientes.

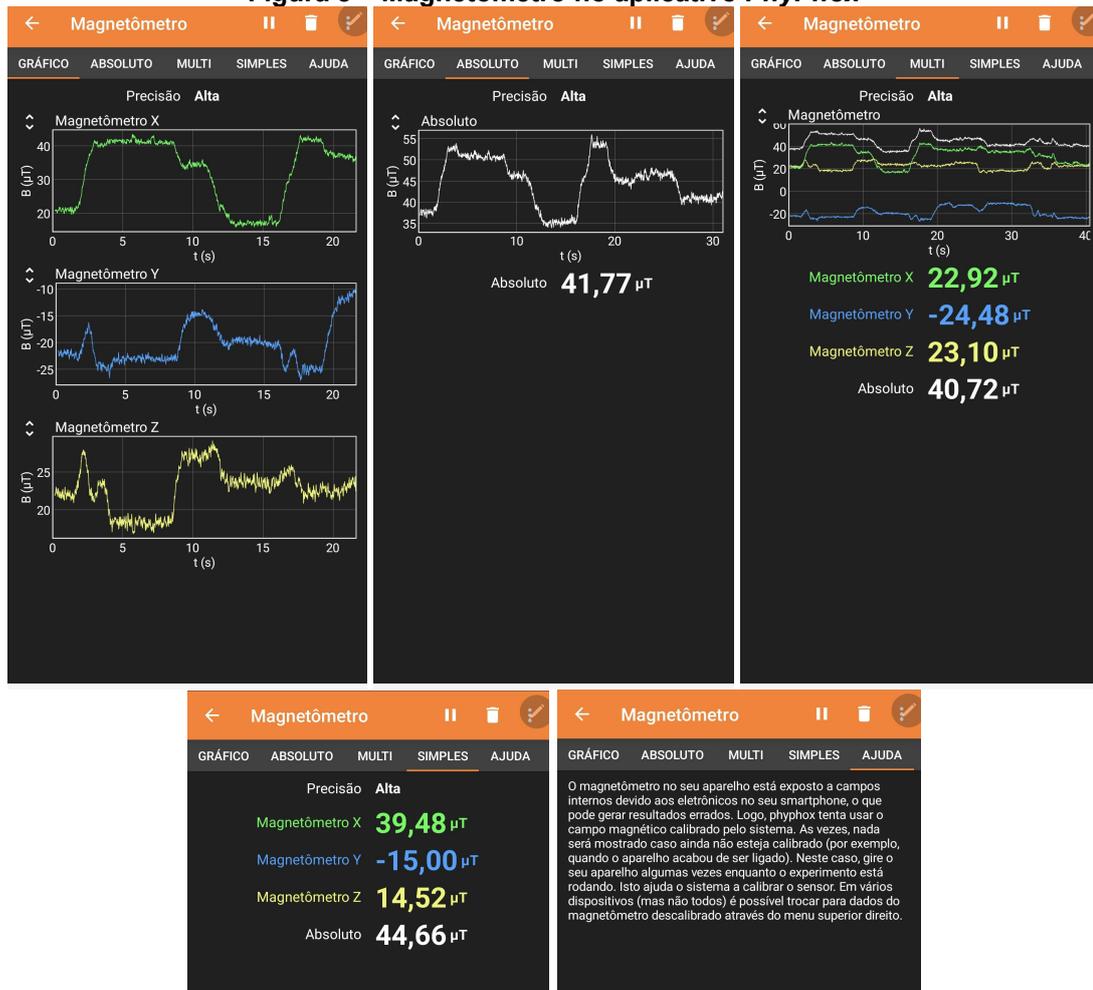
Para realizar o experimento o usuário deve selecionar a opção "Magnetômetro" no *Phyphox* e depois "iniciar a medição". Na sequência o usuário deve mover o smartphone em diferentes direções para medir o campo magnético em diferentes pontos ao redor do dispositivo (Figura 8).

O *Phyphox* usa o sensor de magnetômetro do smartphone para medir a intensidade e direção do campo magnético local. O aplicativo pode medir a intensidade do campo magnético em unidades de Tesla e a direção em termos de coordenadas x, y e z (Figura 2).

Ao final da medição, o *Phyphox* exibe a intensidade e direção do campo magnético em unidades específicas, conjuntamente com um gráfico que mostra a variação do campo magnético em diferentes pontos ao redor do dispositivo.

Esse experimento pode ser usado para estudar o comportamento de campos magnéticos em diferentes situações e ambientes. Pode também medir a intensidade e direção do campo magnético em diferentes pontos ao redor do dispositivo.

Figura 8 – Magnetômetro no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

O experimento de magnetômetro pode ser combinado com outros experimentos do *Phyphox* para estudar a relação entre o campo magnético e outros parâmetros físicos, como a corrente elétrica e a velocidade.

Ribeiro et al., (2023) e Gomes et al., (2023) apresentou proposta de aplicação com este experimento no *Phyphox*.

1.3.1.7 Pressão

O experimento de pressão no *Phyphox* permite medir a pressão atmosférica através do sensor de pressão do smartphone. Esse experimento é útil para estudar o comportamento da pressão em diferentes situações e ambientes.

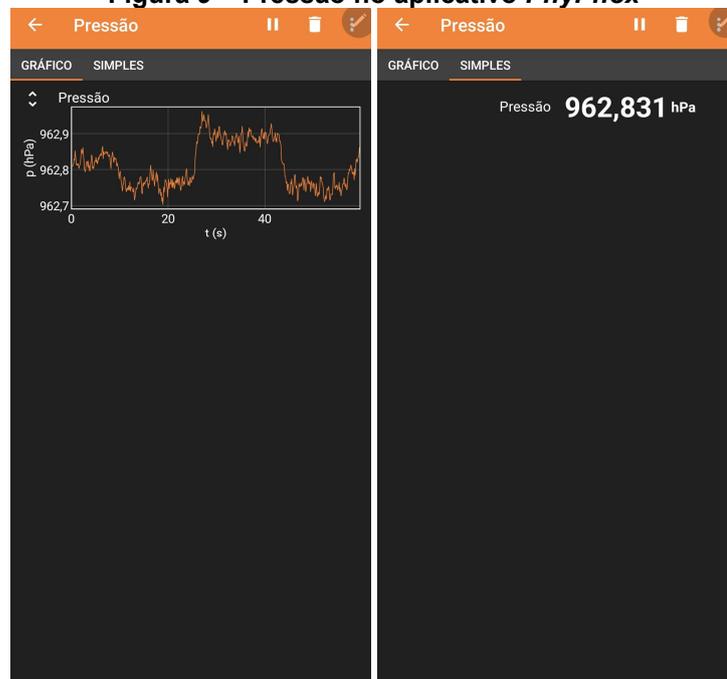
Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Pressão" no *Phyphox* e depois "iniciar a medição". O smartphone idealmente deve ser mantido

imóvel para evitar interferências na medição, exceto se o objetivo for detectar variações de pressão por alterações de altura e profundidade (Figura 9).

O *Phyphox* usa o sensor de pressão do smartphone para medir a pressão atmosférica em unidades de hPa (hectopascals). A medição da pressão é afetada pela altitude, portanto, o usuário deve levar em consideração a altitude do local onde a medição está sendo feita (por exemplo, determinar um valor de pressão inicial).

Ao final da medição, o *Phyphox* exibe a pressão atmosférica em unidades de hPa, bem como a temperatura (caso o sensor esteja disponível) e a altitude do local onde a medição foi feita.

Figura 9 – Pressão no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

Esse experimento pode ser usado para estudar o comportamento da pressão em diferentes situações e ambientes. Também pode ser combinado com outros experimentos do *Phyphox* para estudar a relação entre a pressão e outros parâmetros físicos, como a temperatura e a umidade.

Esta dissertação apresenta uma experimentação de Pressão com o *Phyphox*.

1.3.2 Acústica

A figura 10 apresenta o menu inicial que é observado ao acessar o *Phyphox*. Nesta figura, é possível visualizar o menu de acesso aos experimentos de acústica no aplicativo. Caso o aparelho não possua um sensor disponível, a experiência que depende do mesmo estará desabilitada.

Figura 10 – Menu Acústica no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

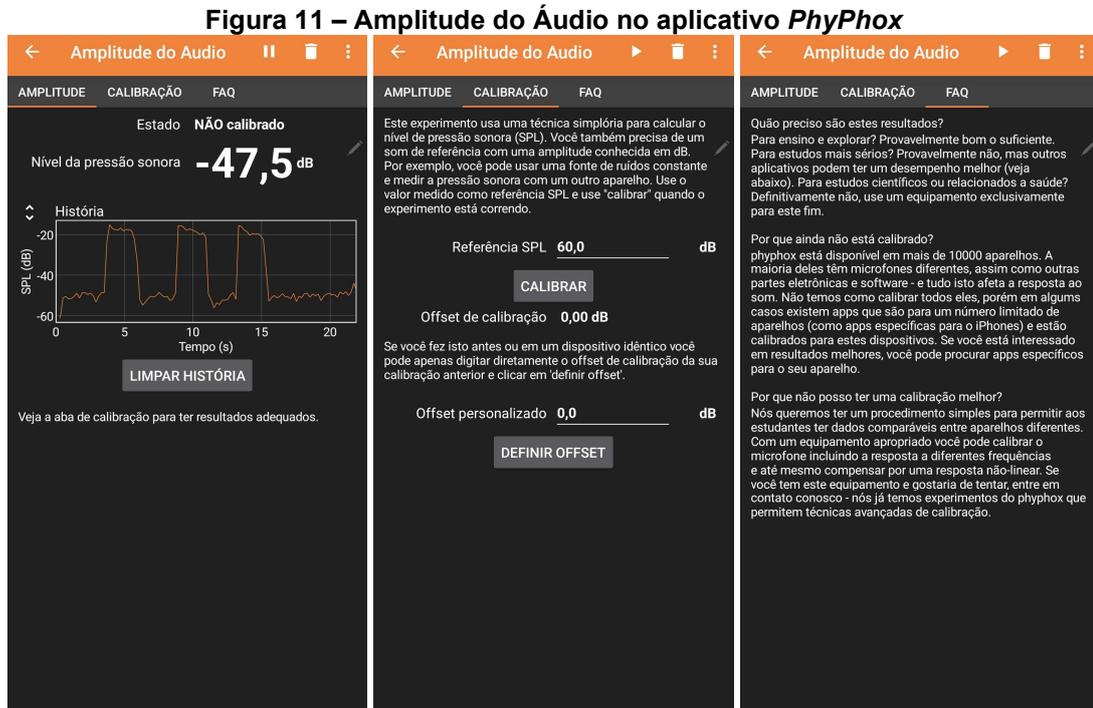
1.3.2.1 Amplitude de áudio

O experimento de amplitude de áudio no *Phyphox* permite medir a amplitude de sinais de áudio usando o microfone do smartphone. Esse experimento é útil para estudar o comportamento de sinais de áudio em diferentes situações e ambientes.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Amplitude de áudio" no *Phyphox* e depois "iniciar a medição". Na sequência, o usuário deve expor o smartphone a um som, por exemplo, uma música ou uma fala. Ainda, pode coletar mais de uma fonte e identificar fenômenos de interferência, como o batimento (Figura 11).

O *Phyphox* usa o microfone do smartphone para captar o som e medir a sua amplitude em unidades de decibéis (dB). A medição de amplitude pode ser feita em

diferentes faixas de frequência, o que permite ao usuário ajustar o experimento de acordo com a natureza do som que é medido.



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

Ao final da medição, o *Phyphox* exibe a amplitude do som em unidades de decibéis (dB) e um gráfico que mostra a variação da amplitude ao longo do tempo.

Esse experimento pode ser usado para estudar o comportamento de sinais de áudio em diferentes situações e ambientes, bem como para medir a amplitude de sinais de áudio em diferentes frequências, além, de fenômenos de interferência. O experimento de amplitude de áudio também pode ser combinado com outros experimentos do *Phyphox* para estudar a relação entre o som e outros parâmetros físicos, como a vibração e a luz.

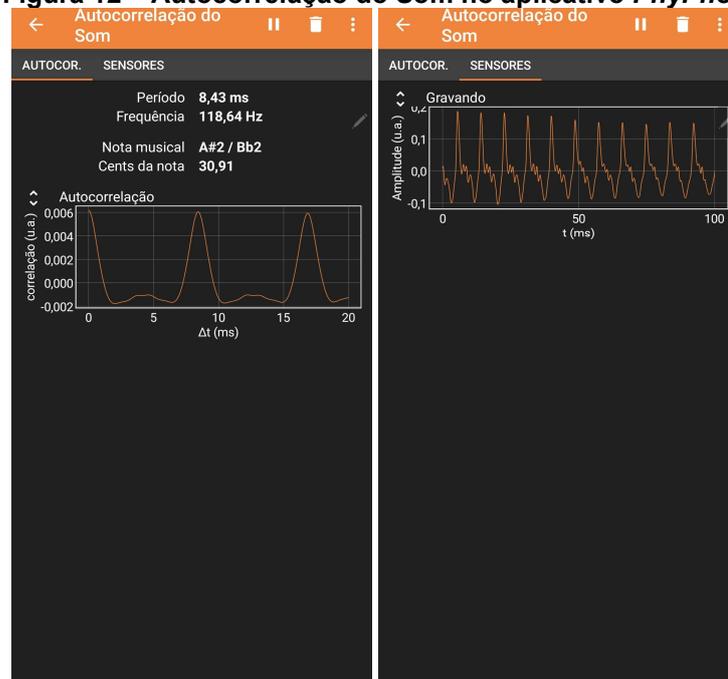
1.3.2.2 Autocorrelação de som

O experimento de autocorrelação de som no *Phyphox* permite analisar a periodicidade de um sinal de áudio utilizando o microfone do smartphone. Esse experimento é útil para estudar a presença de padrões sonoros em um sinal de áudio, como por exemplo, a presença de frequências fundamentais e harmônicas.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Autocorrelação de som" no *PhyPhox* e depois "iniciar a medição". Na sequência, o usuário deve expor o smartphone a um sinal de áudio, como por exemplo, um tom ou uma música (Figura 12).

O *PhyPhox* usa o microfone do smartphone para captar o sinal de áudio e aplicar a técnica de autocorrelação, que consiste em medir a correlação do sinal consigo mesmo em diferentes atrasos. A autocorrelação permite identificar a periodicidade do sinal, ou seja, a presença de padrões sonoros que se repetem em intervalos regulares.

Figura 12 – Autocorrelação do Som no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

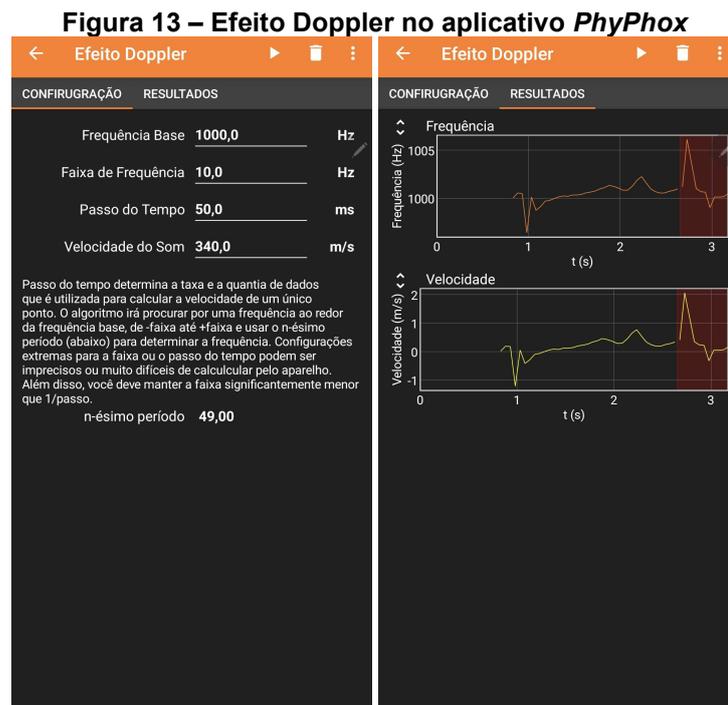
Ao final da medição, o *PhyPhox* exibe um gráfico que mostra a autocorrelação do sinal de áudio em função do atraso. O usuário pode visualizar os picos no gráfico, que indicam a presença de frequências fundamentais e harmônicas no sinal.

Esse experimento pode ser usado para estudar a presença de padrões sonoros em um sinal de áudio, bem como para identificar a frequência fundamental e as harmônicas de um som. Além disso, o experimento de autocorrelação de som pode ser combinado com outros experimentos do *PhyPhox* para estudar a relação entre o som e outros parâmetros físicos, como a vibração e a luz.

1.3.2.3 Efeito Doppler

O experimento de efeito *Doppler* no *Phyphox* permite estudar as mudanças de frequência de uma onda sonora ou luminosa causadas pelo movimento relativo entre a fonte da onda e o observador. O efeito *Doppler* é observado em diversas situações da vida cotidiana, como o som de uma ambulância em trânsito ou a mudança de cor de uma fonte de luz em movimento.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Efeito Doppler" no *Phyphox* e configurar os parâmetros do experimento, como a velocidade da fonte e a velocidade do observador. O usuário também deve selecionar o tipo de onda que será estudada, como a onda sonora ou a onda luminosa, pois isso afeta o sensor responsável pela coleta dos dados (Figura 13).



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

Ao iniciar o experimento, o *Phyphox* utiliza o microfone ou a câmera do smartphone para captar a onda sonora ou luminosa em movimento, respectivamente. Em seguida, o *Phyphox* aplica as equações do efeito Doppler para calcular a mudança de frequência da onda causada pelo movimento relativo entre a fonte e o observador.

Ao final da medição, o *Phyphox* exibe a mudança de frequência da onda em unidades de hertz (Hz) e um gráfico que mostra a variação da frequência ao longo do

tempo. O operador pode observar a mudança de frequência da onda em diferentes situações de movimento relativo entre a fonte e o observador.

Esse experimento pode ser usado para estudar as mudanças de frequência de uma onda sonora ou luminosa causadas pelo movimento relativo entre a fonte e o observador, bem como para compreender as aplicações do efeito *Doppler* em diferentes áreas da física, como a acústica e a astronomia, e na medicina.

1.3.2.4 Espectro de áudio

O experimento de Espectro de Áudio no *Phyphox* permite visualizar a composição de frequências de um sinal de áudio, com a apresentação de quais frequências estão presentes e em que intensidade. Isso é possível porque cada som é composto por diversas frequências diferentes que se somam para produzir o som que ouvimos.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Espectro de Áudio" no *Phyphox* e configurar os parâmetros do experimento, como o tempo de amostragem do sinal e o tipo de filtro que será aplicado. Na sequência, o usuário deve iniciar a gravação do áudio que deseja analisar (Figura 14).

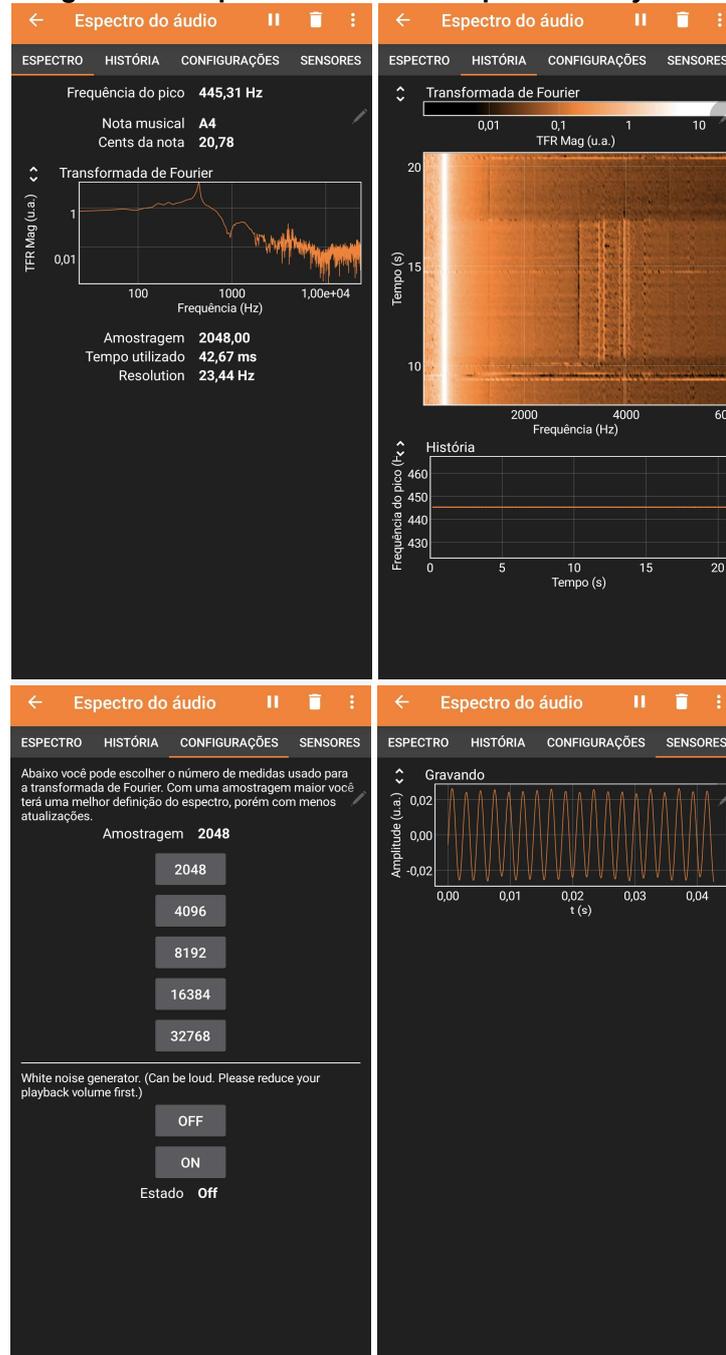
Durante a gravação, o *Phyphox* utiliza o microfone do smartphone para captar o sinal de áudio e processa a separação das diferentes frequências que compõem esse sinal. Em seguida, o *Phyphox* exibe um gráfico que mostra a composição de frequências do sinal com o seu valor em um eixo e a intensidade em outro eixo.

O usuário pode usar o espectro de áudio para analisar diversos tipos de sons, desde sons de instrumentos musicais até sons ambientais, e observar a composição de frequências de cada som. Isso pode ser útil para estudar os diferentes aspectos do som, como a sua tonalidade, a sua intensidade e a sua qualidade.

O experimento de Espectro de Áudio no *Phyphox* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a música, o som e a acústica, e pode ser usado para análise de sons em diversas situações, desde a gravação de um concerto até a medição de ruídos ambientais em um ambiente de trabalho. Pode inclusive ser utilizado para determinar a afinação de instrumentos musicais.

Da Silva; Santos; Da Rocha Silva (2019) apresentam proposta de aplicação com este experimento no *Phyphox*.

Figura 14 – Espectro do áudio no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

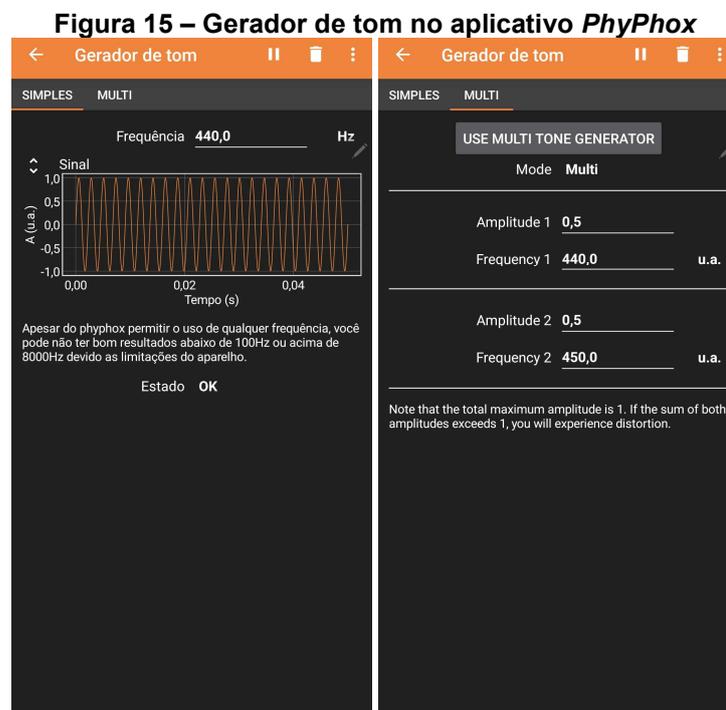
1.3.2.5 Gerador de tom

O experimento Gerador de Tom no *PhyPhox* permite gerar um sinal de áudio com uma frequência específica e ajustável, que pode ser utilizada para diversas

finalidades, como testes de equipamentos, ajustes de instrumentos musicais, entre outras aplicações.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Gerador de Tom" no *Phyphox* e configurar a frequência do tom que deseja gerar. Em seguida, o usuário deve conectar o smartphone a um sistema de som ou a um instrumento musical que deseja testar ou ajustar (Figura 15).

Ao iniciar a geração do tom, o *Phyphox* produz um sinal de áudio com a frequência configurada, que é enviado para o sistema de som ou para o instrumento musical conectado. O usuário pode então ouvir o som gerado e utilizar essa informação para realizar testes ou ajustes no equipamento ou no instrumento.



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

O experimento Gerador de Tom no *Phyphox* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a música, o som e a acústica, e pode ser usado para diversas aplicações, desde testes de equipamentos até ajustes de instrumentos musicais. Além disso, a possibilidade de ajustar a frequência do tom gerado torna o experimento uma ferramenta versátil e flexível, capaz de se adaptar a diversas situações e necessidades.

O experimento Gerador de Tom também pode ser combinado com outros dispositivos e experimentos do *Phyphox* para estudar fenômenos de interferência, como o batimento.

Esta dissertação apresenta uma experimentação com o uso do *Phyphox* e o experimento Gerador de tom.

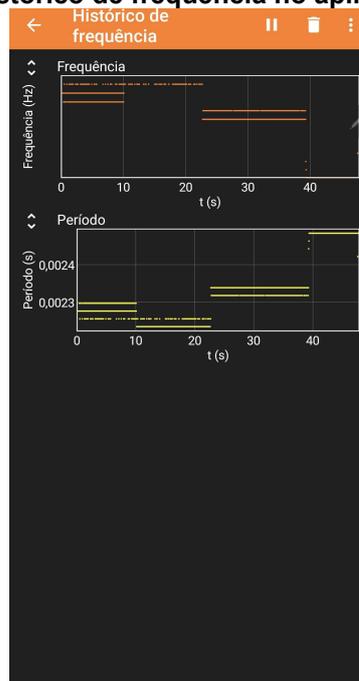
1.3.2.6 Histórico de frequência

O experimento Histórico de Frequência no *Phyphox* permite visualizar o espectro de frequência do som em tempo real e também armazenar um histórico dessas frequências ao longo do tempo.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Histórico de Frequência" no *Phyphox* e depois "iniciar a captura de áudio". Como resultado é exibido um gráfico que representa a amplitude de cada frequência presente no som capturado, ou seja, o espectro de frequência (Figura 16).

O *Phyphox* permite também que o usuário visualize o histórico das frequências ao longo do tempo, que é armazenado em um gráfico de linha. Essa funcionalidade pode ser útil para a análise de variações na frequência do som ao longo do tempo e para a identificação de padrões ou tendências.

Figura 16 – Histórico de frequência no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

O experimento Histórico de Frequência no *Phyphox* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a música, o som e a acústica, e pode ser usado para diversas aplicações, desde a análise de ruídos ambientais até a identificação de frequências específicas em um sinal de áudio. A possibilidade de visualizar o espectro de frequência em tempo real e armazenar um histórico dessas frequências torna o experimento uma ferramenta poderosa e flexível para a análise de sinais de áudio.

1.3.2.7 Osciloscópio de som

O experimento Osciloscópio de Som no *Phyphox* permite gerar um sinal de áudio com uma frequência variável e ajustável, que pode ser utilizada para diversas finalidades, como testes de equipamentos, ajustes de instrumentos musicais, entre outras aplicações.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Oscilador de Som" no *Phyphox* e configurar a frequência do sinal de áudio que deseja gerar. Na sequência, o usuário pode escolher se deseja reproduzir o som continuamente ou por um tempo específico (Figura 17).

Figura 17 – Osciloscópio de Som no aplicativo *PhyPhox*

Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

Ao iniciar a geração do som, o *Phyphox* produz um sinal de áudio com a frequência configurada, através dos alto-falantes do dispositivo. O operador pode então ouvir o som gerado e utilizar essa informação para realizar testes ou ajustes no equipamento ou no instrumento.

O experimento Osciloscópio de Som no *Phyphox* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a música, o som e a acústica, e pode ser usado para diversas aplicações, desde testes de equipamentos até ajustes de instrumentos musicais. Também, a possibilidade de ajustar a frequência do som gerado torna o experimento uma ferramenta versátil e flexível, capaz de se adaptar a diversas situações e necessidades.

Esta dissertação apresenta uma experimentação de Osciloscópio de som com o *Phyphox*.

1.3.2.8 Sonar

O experimento Sonar no *Phyphox* é uma ferramenta que utiliza o sensor de ultrassom presente em alguns dispositivos para medir a distância entre o dispositivo e um objeto próximo.

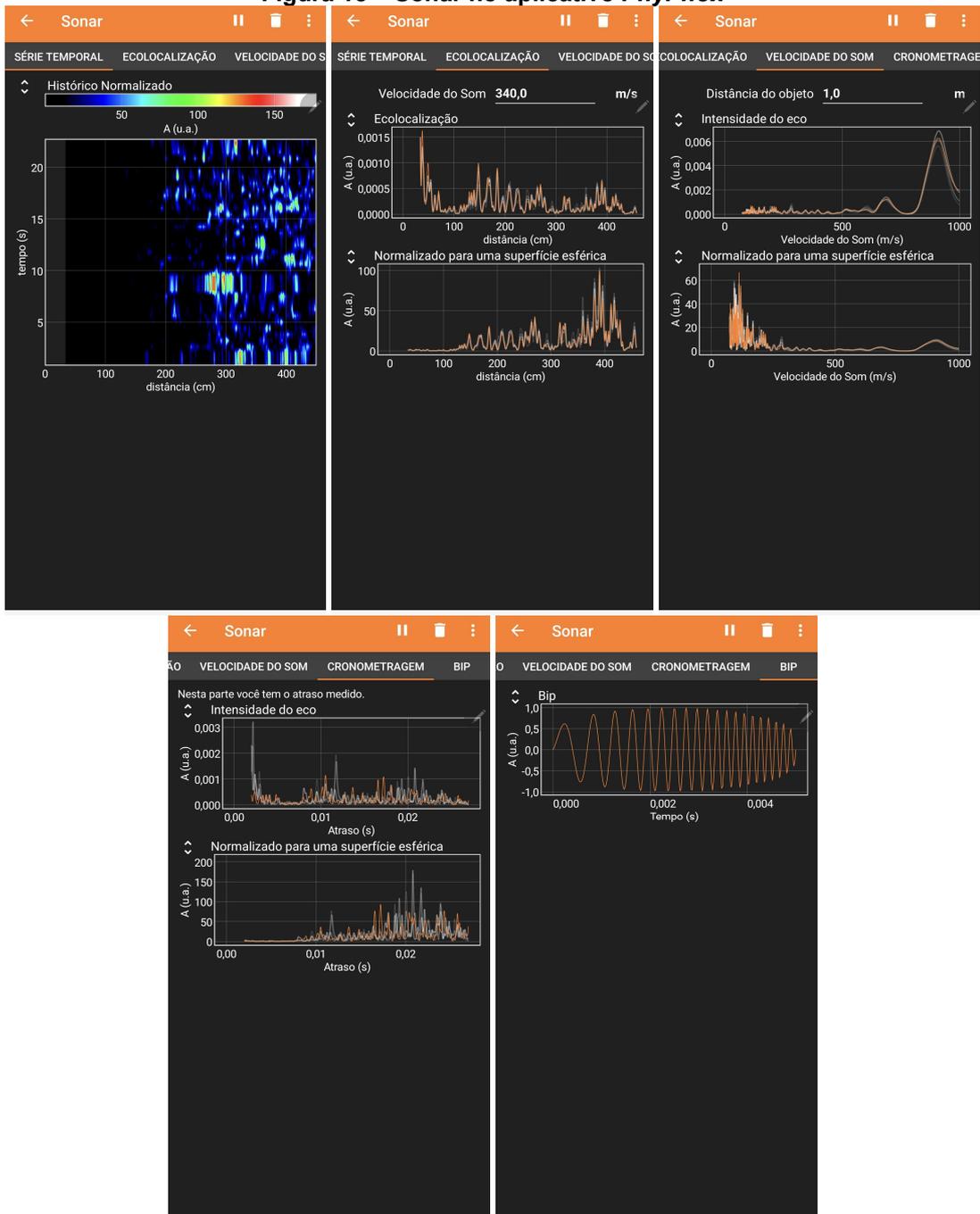
Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Sonar" no *Phyphox* e apontar o dispositivo na direção do objeto que deseja medir a distância. Na sequência, o *Phyphox* então emite um sinal de ultrassom que é refletido pelo objeto e capturado pelo sensor de ultrassom do dispositivo (Figura 18).

A partir da medida do tempo que o sinal de ultrassom levou para ser emitido, refletido pelo objeto e capturado pelo sensor, o *Phyphox* calcula a distância entre o dispositivo e o objeto. Essa distância é exibida na tela do dispositivo em tempo real.

O experimento Sonar no *Phyphox* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a física, a engenharia e a robótica, e pode ser usado para diversas aplicações, desde medições de distância em laboratórios até a construção de robôs com capacidade de detecção de obstáculos.

A possibilidade de medir distâncias de forma precisa e em tempo real torna o experimento uma ferramenta poderosa e flexível para diversas aplicações práticas.

Figura 18 – Sonar no aplicativo *PhyPhox*

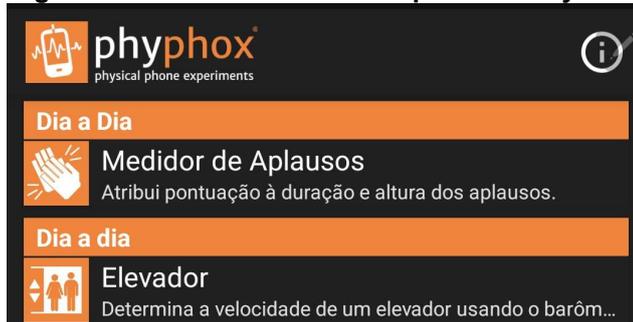


Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

1.3.3 Dia a Dia

A figura 19 apresenta o menu inicial que é observado ao acessar o *Phyphox*. Nesta figura, é possível visualizar o menu de acesso aos experimentos do dia a dia no aplicativo. Caso o aparelho não possua um sensor disponível, a experiência que depende do mesmo estará desabilitada.

Figura 19 – Menu Dia a Dia no aplicativo *PhyPhox*

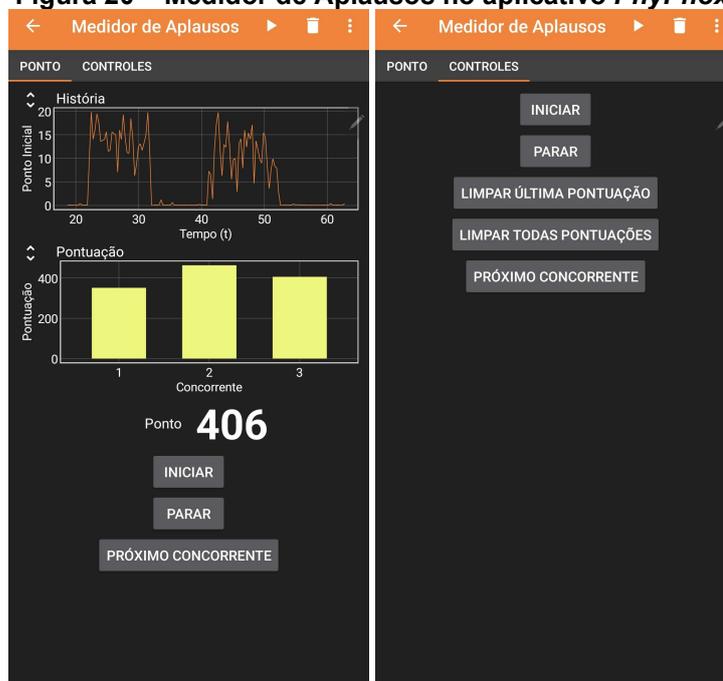


Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

1.3.3.1 Medidor de aplausos

O experimento Medidor de Aplausos no *Phyphox* permite medir o volume de um som, como o som produzido por uma salva de palmas ou aplausos em uma plateia (que inclusive dá nome ao experimento) (Figura 20).

Figura 20 – Medidor de Aplausos no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

Para realizar o experimento, o operador deve selecionar a opção "Medidor de Aplausos" no *Phyphox* e ativar a opção de "Autodetecção de Picos". Na sequência, o usuário deve posicionar o dispositivo próximo à fonte de som que deseja medir.

Ao detectar um som alto o suficiente, o *Phyphox* registra o pico de volume e exibe a sua intensidade na tela do dispositivo. Esse processo pode ser repetido várias vezes, permitindo ao usuário obter uma medida mais precisa do volume do som em questão.

O experimento Medidor de Aplausos no *Phyphox* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a música, o som e a acústica, e pode ser usado para diversas aplicações, desde a medição do volume de um evento até o ajuste de equipamentos de som.

A possibilidade de autodetecção de picos torna o experimento uma ferramenta flexível e fácil de usar, mesmo por usuários sem conhecimentos avançados em acústica ou engenharia de som.

1.3.3.2 Elevador

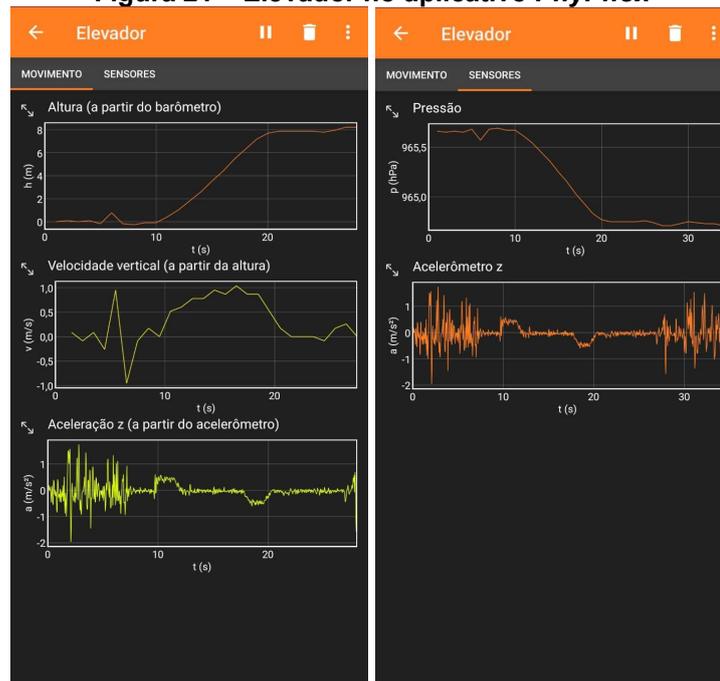
O experimento "Elevador" no *Phyphox* permite simular as sensações físicas sentidas pelos ocupantes de um elevador em movimento.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Elevador" no *Phyphox* e definir a altura do prédio, a velocidade do elevador e a direção do movimento (para cima ou para baixo).

Na Figura 21 são apresentados os dados da subida do elevador do Shopping Medianeira (Medianeira/PR) do térreo ao segundo piso.

Ao iniciar o experimento, o *Phyphox* começa a simular as mudanças na velocidade e na aceleração do elevador, de modo que o usuário possa sentir a sensação de estar em movimento. A tela do dispositivo exibe informações sobre a posição, velocidade e aceleração do elevador, além de gráficos que representam essas grandezas em tempo real.

Figura 21 – Elevador no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

O experimento "Elevador" no *Phyphox* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a física e a engenharia, pois permite a exploração de conceitos como aceleração, velocidade, força e gravidade em um ambiente controlado e seguro. Ele também pode ser usado para fins de entretenimento, como simular a experiência de estar em um elevador em movimento.

1.3.4 Ferramentas

A figura 22 apresenta o menu inicial que é observado ao acessar o *Phyphox*. Nesta figura, é possível visualizar o menu de acesso às ferramentas no aplicativo. Caso o aparelho não possua um sensor disponível, a experiência que depende do mesmo estará desabilitada.

Figura 22 – Menu Ferramentas no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

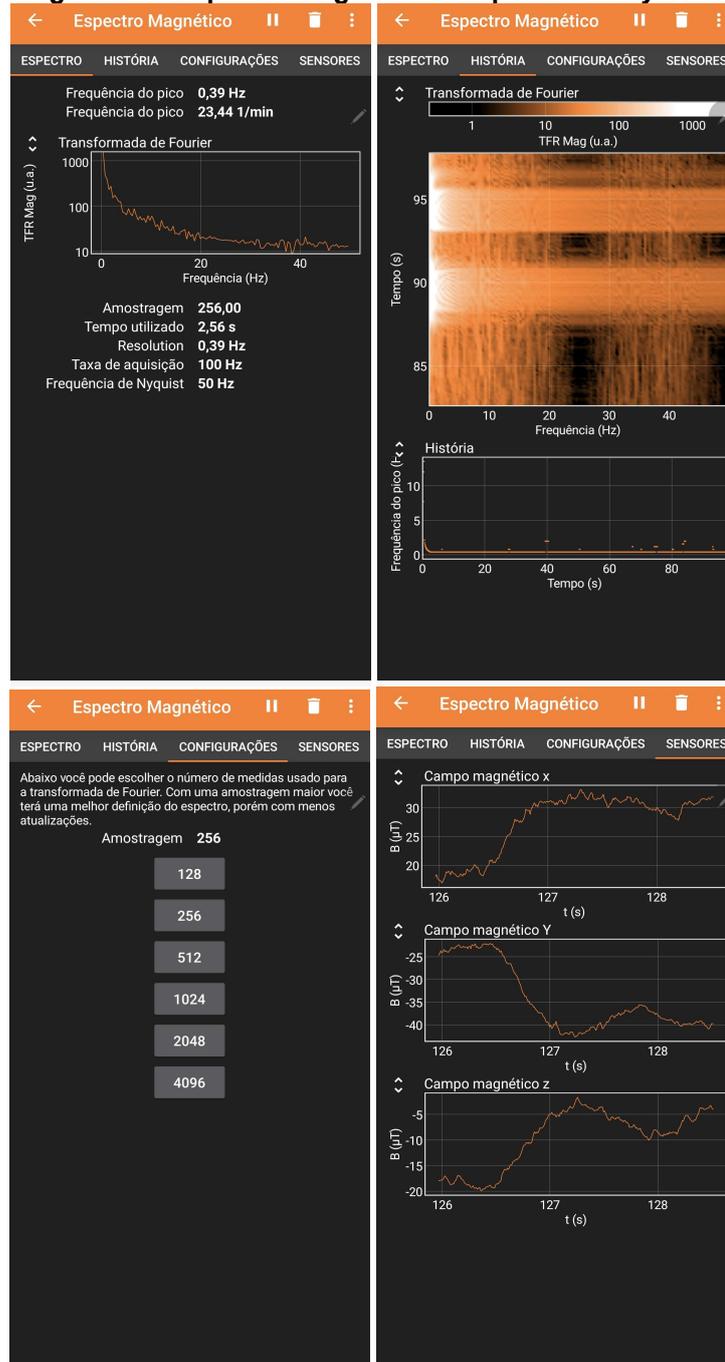
1.3.4.1 Espectro magnético

O experimento "Espectro Magnético" no *Phyphox* permite a medição do campo magnético em diferentes frequências e a análise do espectro magnético resultante.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Espectro Magnético" no *Phyphox* e posicionar o dispositivo próximo a uma fonte de campo magnético. Ao iniciar o experimento, o *Phyphox* mede o campo magnético em diferentes frequências e exibe um gráfico que mostra a intensidade do campo em função da frequência (Figura 23).

O espectro magnético pode ser usado para identificar diferentes fontes de campo magnético, como motores elétricos, transformadores, ímãs, entre outros. O experimento também pode ser usado para fins educacionais ao permitir a exploração de conceitos como magnetismo, frequência e ondas eletromagnéticas.

Figura 23 – Espectro Magnético no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

O experimento "Espectro Magnético" no *Phyphox* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a física, a engenharia e a eletrônica, por permitir a realização de medições precisas e a análise de dados em tempo real.

1.3.4.2 Espectro de aceleração

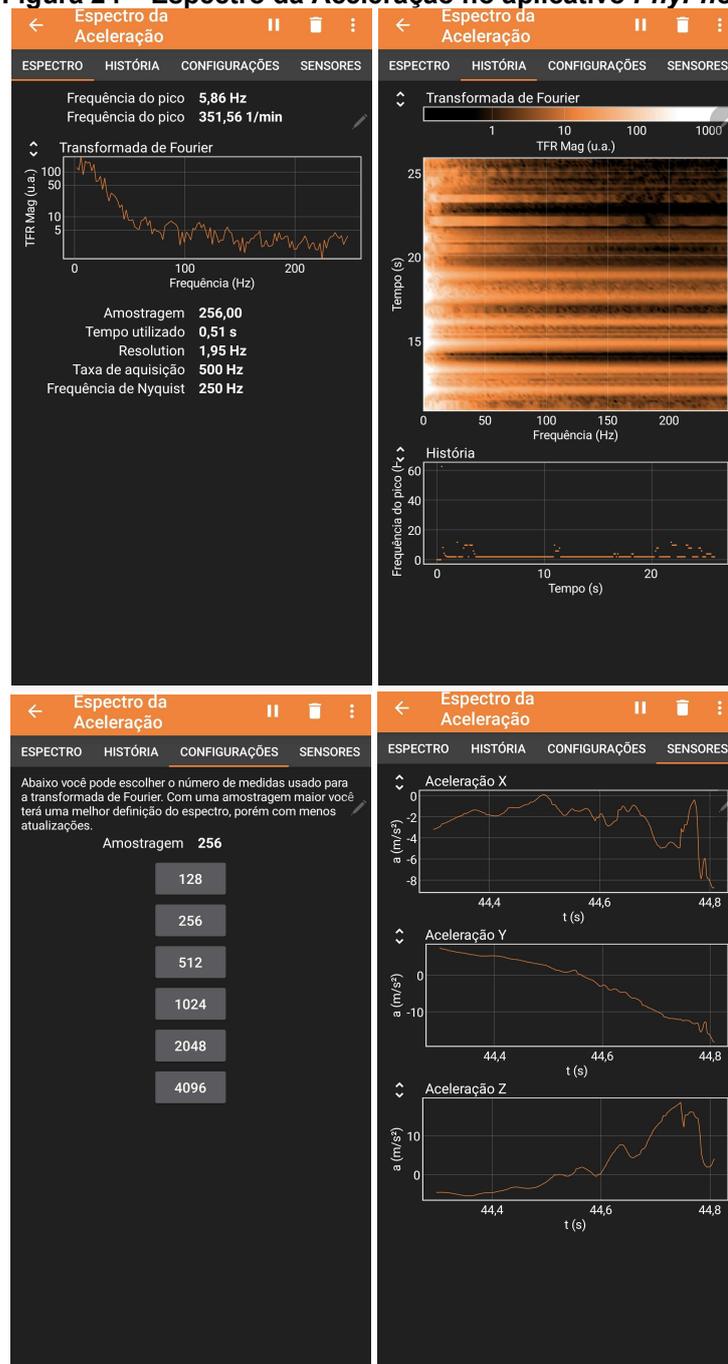
O experimento "Espectro de Aceleração" no *Phyphox* permite a medição da aceleração em diferentes frequências e a análise do espectro de aceleração resultante.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Espectro de Aceleração" no *Phyphox* e posicionar o dispositivo próximo a uma fonte de vibração. Ao iniciar o experimento, o *Phyphox* mede a aceleração em diferentes frequências e exibe um gráfico que mostra a intensidade da aceleração em função da frequência (Figura 24).

O espectro de aceleração pode ser usado para identificar diferentes fontes de vibração, como motores, equipamentos mecânicos, máquinas, entre outros. Além disso, o experimento pode ser usado para fins educacionais, permitindo a exploração de conceitos como frequência, ondas e ressonância.

O experimento "Espectro de Aceleração" no *Phyphox* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a engenharia mecânica, a engenharia civil e a física, pois permite a realização de medições precisas e a análise de dados em tempo real.

Figura 24 – Espectro da Aceleração no aplicativo *PhyPhox*

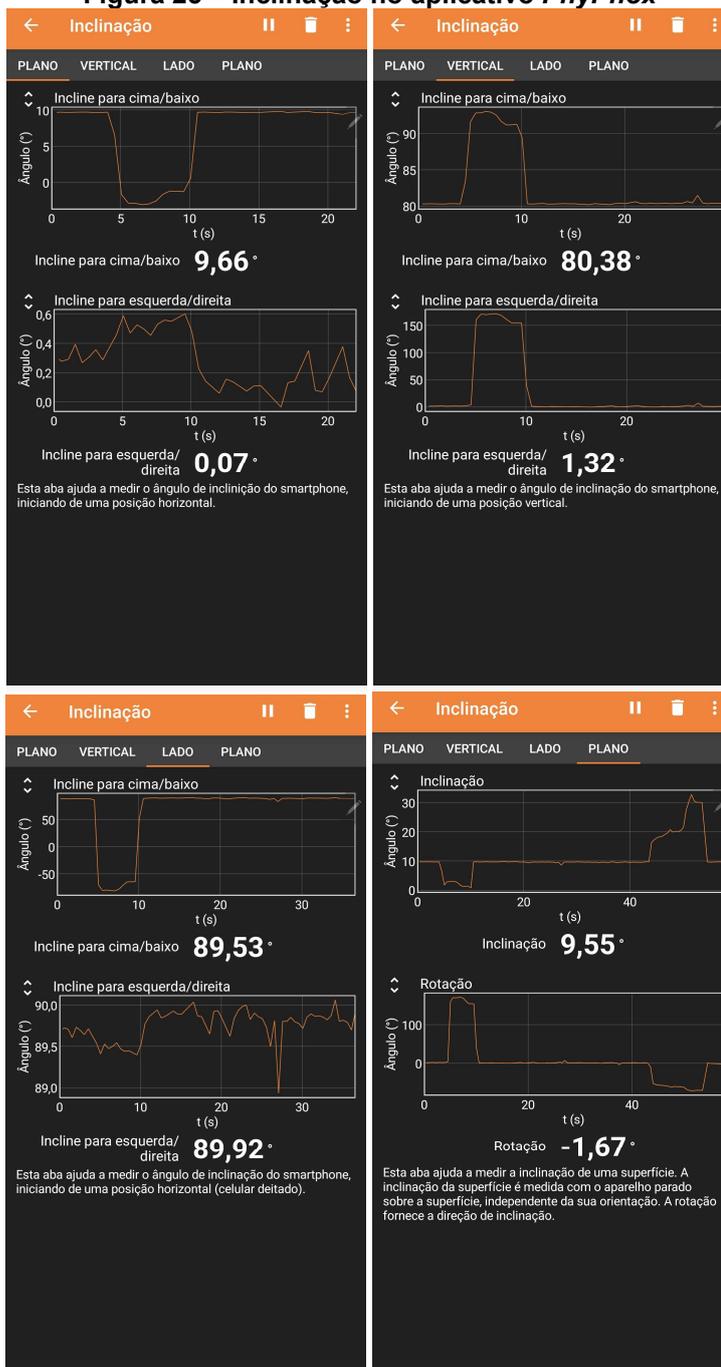


Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

1.3.4.3 Inclinação

O experimento "Inclinação" no *Phyphox* permite medir a inclinação de um objeto ou superfície em relação à gravidade utilizando o acelerômetro presente em dispositivos móveis (Figura 25).

Figura 25 – Inclinação no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Inclinação" no *Phyphox* e posicionar o dispositivo próximo ao objeto ou superfície cuja inclinação deseja medir. Ao iniciar o experimento, o *Phyphox* mede a inclinação em relação à gravidade e exibe um valor numérico correspondente.

O experimento pode ser usado em diversas aplicações, como a medição da inclinação de rampas, escadas, pisos, entre outros. Além disso, o experimento pode

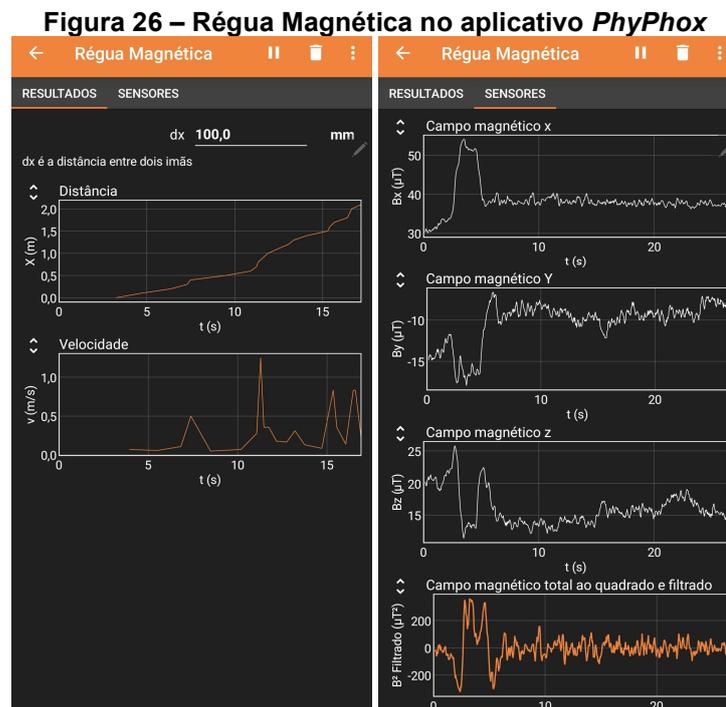
ser usado para fins educacionais por permitir a exploração de conceitos como vetores, aceleração e movimento.

O experimento "Inclinação" no *Phyphox* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a engenharia civil, a arquitetura e a física, pois permite a realização de medições precisas e a análise de dados em tempo real.

Da Silva (2022) apresentou uma proposta de aplicação com este experimento no *Phyphox*.

1.3.4.4 Réguas magnéticas

O experimento "Réguas Magnéticas" no *Phyphox* permite medir a força magnética exercida por um ímã em uma régua magnética. Para realizar o experimento, o usuário deve colocar o dispositivo móvel sobre a régua magnética e selecionar a opção "Réguas Magnéticas" no *Phyphox* (Figura 26).



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

Ao iniciar o experimento, o *Phyphox* mede a força magnética exercida pelo ímã na régua e exibe um valor numérico correspondente. Como resultado o aplicativo apresenta um gráfico com a variação da força magnética em relação à distância entre o ímã e a régua.

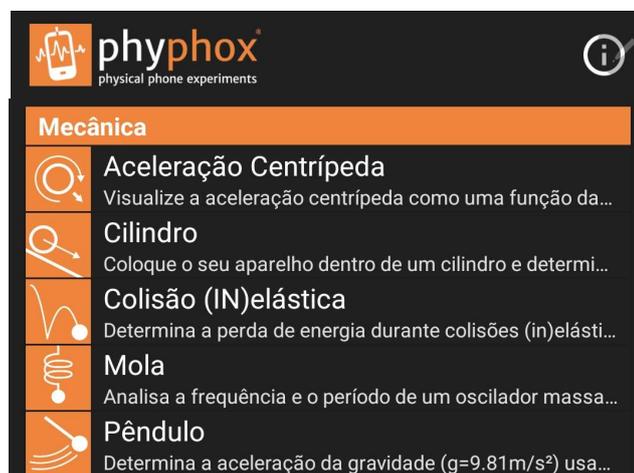
O experimento pode ser usado em diversas aplicações, como a medição da intensidade de campos magnéticos, a determinação das propriedades magnéticas de materiais, entre outros. Além disso, o experimento pode ser usado para fins educacionais ao permitir a exploração de conceitos como magnetismo, força magnética e campos magnéticos.

O experimento "Régua Magnética" no *Phyphox* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a física, a engenharia elétrica, a geologia e a química, pois permite a realização de medições precisas e a análise de dados em tempo real.

1.3.5 Mecânica

A figura 27 apresenta o menu inicial que é observado ao acessar o *Phyphox*. Nesta figura, é possível visualizar o menu de acesso aos experimentos de mecânica no aplicativo. Caso o aparelho não possua um sensor disponível, a experiência que depende do mesmo estará desabilitada.

Figura 27 – Menu Mecânica no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

1.3.5.1 Aceleração Centrípeta

O experimento de aceleração centrípeta com sensor no *Phyphox* permite medir a aceleração centrípeta gerada em um objeto em movimento circular.

Para realizar o experimento, o smartphone deve ser preso a um objeto que gira em torno de um eixo central, como um brinquedo giratório ou um carrossel.

Para configurar o experimento, deve ser selecionada a opção "Aceleração Centrípeta (Sensor)" no menu de experimentos do *PhyPhox*. O sensor de aceleração deve estar ativo e a unidade de medida pode ser definida como " m/s^2 ". Na sequência, o smartphone deve ser prendido ao objeto que gira e o experimento iniciado.

Durante o movimento circular, o sensor de aceleração medirá a aceleração centrípeta gerada sobre o objeto. Essa medida será exibida em tempo real no aplicativo *PhyPhox* (Figura 28).

Figura 28 – Aceleração Centrípeta no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

Os dados coletados podem ser utilizados para calcular a velocidade angular, o raio do movimento circular e outras propriedades físicas relacionadas à aceleração centrípeta.

1.3.5.2 Cilindro

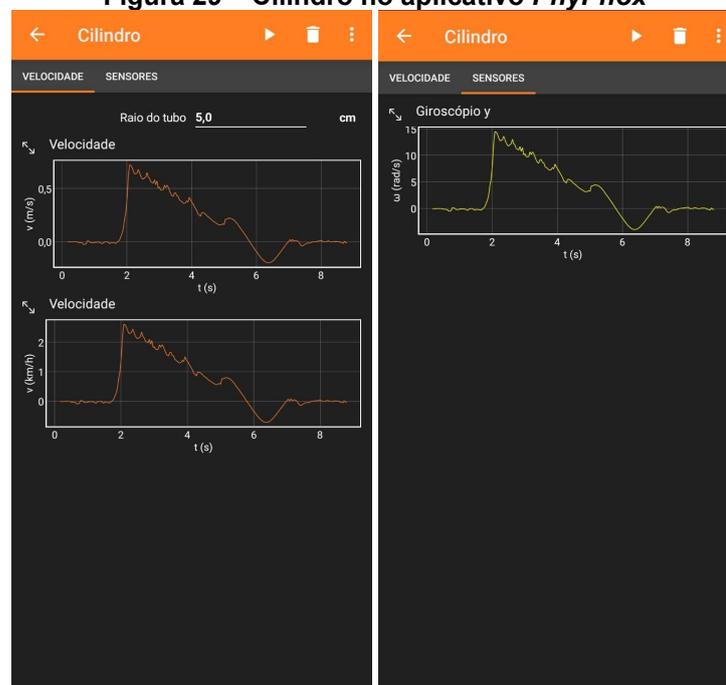
O experimento "Cilindro" no *PhyPhox* permite medir a velocidade de um cilindro em rotação utilizando o acelerômetro do smartphone. Para realizar o

experimento, o usuário deve fixar o dispositivo móvel em um dos lados do cilindro e selecionar a opção "Cilindro" no *Phyphox*.

Ao iniciar o experimento o *Phyphox* mede a aceleração do cilindro e calcula sua velocidade angular em função do tempo. Como resultado, o experimento exibe um gráfico com a variação da velocidade angular em relação ao tempo (Figura 29).

O experimento pode ser usado em diversas aplicações, como a medição da velocidade de rotação de turbinas, engrenagens, motores, entre outros. Além disso, o experimento pode ser usado para fins educacionais ao permitir a exploração de conceitos como velocidade angular, aceleração centrípeta e cinemática rotacional.

Figura 29 – Cilindro no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

O experimento "Cilindro" no *Phyphox* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a física, a engenharia mecânica, a engenharia elétrica, entre outras, ao permitir a realização de medições precisas e a análise de dados em tempo real.

1.3.5.3 Colisão (IN)elástica

O experimento "Colisão (IN)elástica" no *Phyphox* permite simular e analisar colisões entre objetos, tanto elásticas quanto inelásticas, através da utilização do acelerômetro do dispositivo móvel.

Para realizar o experimento o usuário deve selecionar a opção "Colisão (IN)elástica" no *Phyphox* e fixar o dispositivo móvel em um dos objetos que participará da colisão. Na sequência o usuário deve iniciar o experimento e mover um objeto em direção ao outro.

Com a colisão, o *Phyphox* mede a aceleração do objeto fixado ao dispositivo móvel e calcula a velocidade antes e depois do impacto. Como resultado o experimento exibe um gráfico com a variação da aceleração em função do tempo.

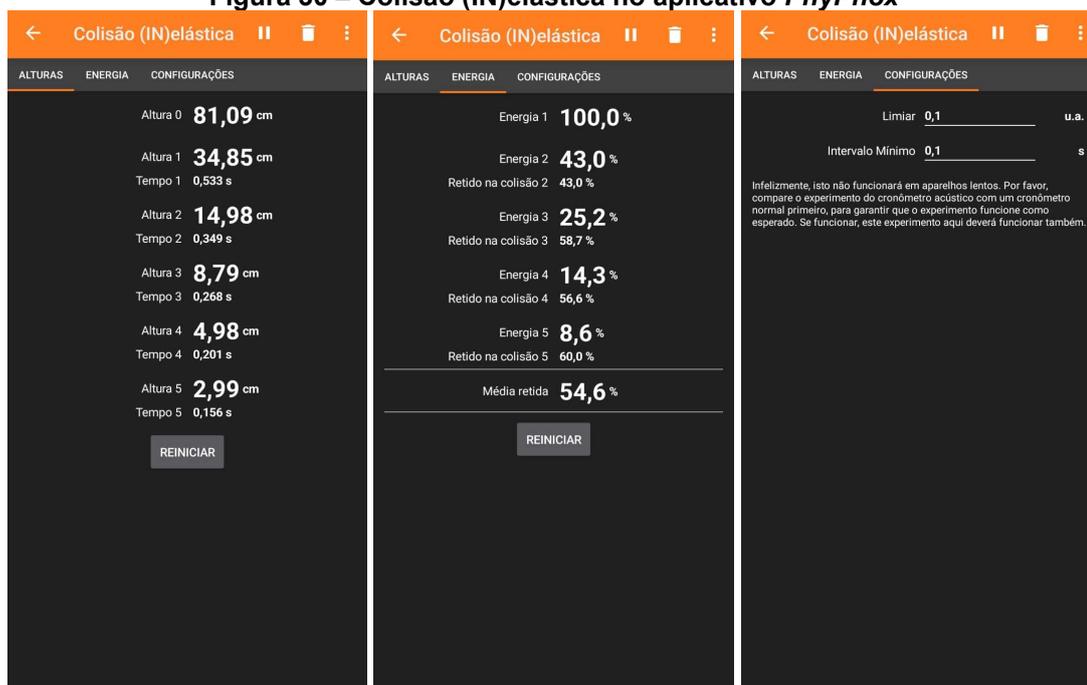
Na Figura 30 é capturada a queda de uma bolinha de isopor, com os dados é determinada a dissipação de energia em cada impacto com o solo.

O experimento pode ser usado em diversas aplicações, como a análise de colisões entre objetos em acidentes de trânsito, a determinação de coeficientes de restituição de materiais, entre outros. Além disso, o experimento pode ser usado para fins educacionais ao permitir a exploração de conceitos como conservação de energia, conservação de momento linear, entre outros.

O experimento "Colisão (IN)elástica" no *Phyphox* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a física, a engenharia mecânica, a engenharia elétrica, entre outras, por permitir a realização de medições precisas e a análise de dados em tempo real.

Malacrida (2021) apresentou proposta de aplicação com este experimento no *Phyphox*.

Figura 30 – Colisão (IN)elástica no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

1.3.5.4 Mola

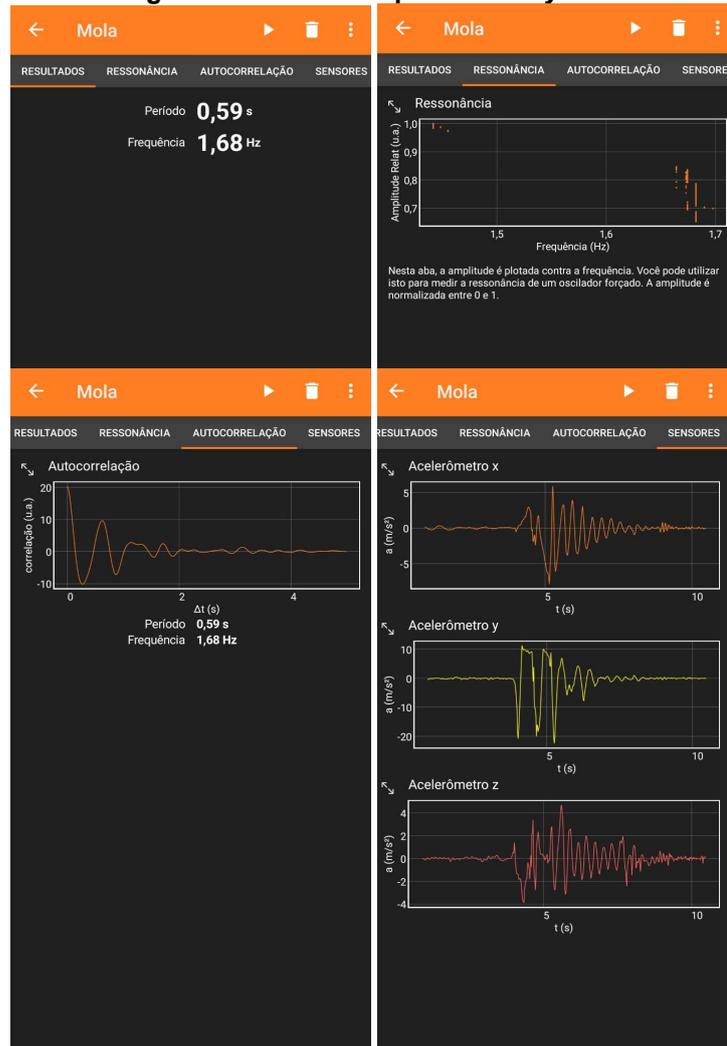
O experimento "Mola" no *Phyphox* permite medir a constante elástica de uma mola utilizando o acelerômetro do dispositivo móvel.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Mola" no *Phyphox* e fixar o dispositivo móvel na mola, de modo que a aceleração seja medida na direção da mola. Na sequência o usuário deve aplicar uma força na mola, esticando-a ou comprimindo-a, para então soltá-la de forma que a mola volte à sua posição original (Figura 31).

Ao soltar a mola, o *Phyphox* mede a aceleração do dispositivo móvel e calcula a constante elástica da mola a partir da análise da variação da aceleração em função do tempo.

O experimento pode ser usado em diversas aplicações, como a medição da constante elástica de molas utilizadas em equipamentos e dispositivos, como relógios, balanças, suspensões, entre outros. Além disso, o experimento pode ser usado para fins educacionais por permitir a exploração de conceitos como a Lei de Hooke, a elasticidade de materiais, entre outros.

Figura 31 – Mola no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

O experimento "Mola" no *Phyphox* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a física, a engenharia mecânica, a engenharia elétrica, entre outras, ao permitir a realização de medições precisas e a análise de dados em tempo real.

1.3.5.5 Pêndulo

O experimento "Pêndulo" no *Phyphox* permite medir o período de oscilação de um pêndulo utilizando o acelerômetro do dispositivo móvel.

Para realizar o experimento, o usuário deve selecionar a opção "Pêndulo" no *Phyphox* e fixar o dispositivo móvel em um suporte, de modo que o acelerômetro

esteja na posição vertical. Na sequência, o usuário deve iniciar a oscilação do pêndulo e manter o dispositivo móvel próximo ao pêndulo, ou como pêndulo.

Ao capturar a oscilação do pêndulo com o acelerômetro, o *Phyphox* mede o período de oscilação a partir da análise da variação da aceleração em função do tempo (Figura 32).

O experimento pode ser usado em diversas aplicações, como a medição do período de oscilação de pêndulos utilizados em balanças, relógios, metrônomos, entre outros. Além disso, o experimento pode ser usado para fins educacionais ao permitir a exploração de conceitos como a gravidade, a energia potencial, a energia cinética, a conservação da energia, entre outros.

O experimento "Pêndulo" no *Phyphox* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais de áreas como a física, a engenharia mecânica, a engenharia elétrica, entre outras, ao permitir a realização de medições precisas e a análise de dados em tempo real.

Esta dissertação, Pedroso et al (2020) e Landeira et al (2020) apresentam uma experimentação com o uso do *Phyphox* e o experimento Pêndulo.

Figura 32 – Pêndulo no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

1.3.6 Temporizadores

A figura 33 apresenta o menu inicial que é observado ao acessar o *Phyphox*. Nesta figura, é possível visualizar o menu de acesso aos experimentos de temporização no aplicativo. Caso o aparelho não possua um sensor disponível, a experiência que depende do mesmo estará desabilitada.

Figura 33 – Menu Temporizadores no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

1.3.6.1 Cronômetro acústico

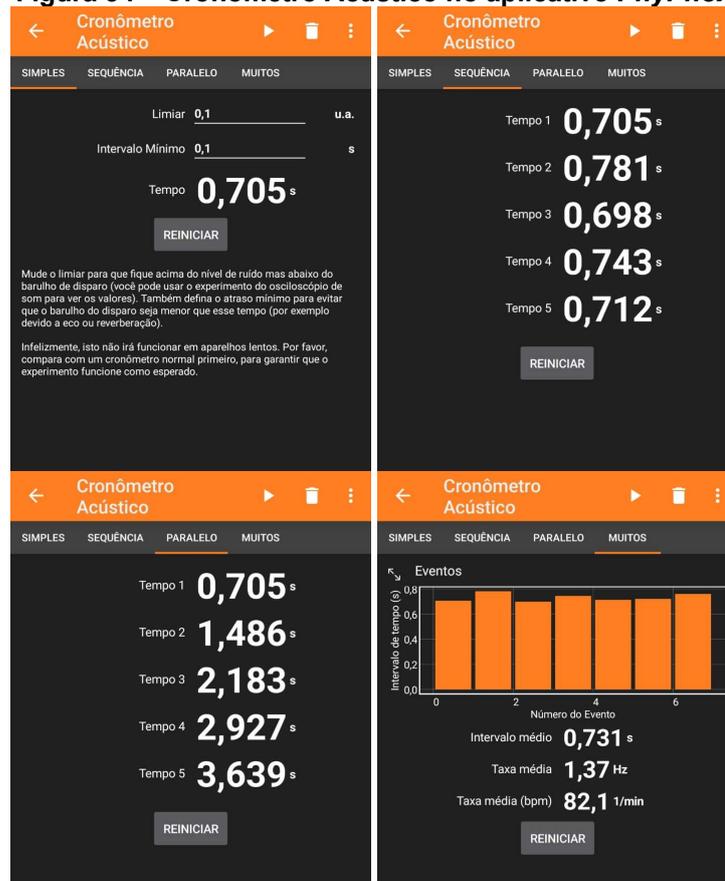
O experimento "Cronômetro acústico" no *Phyphox* utiliza o microfone do dispositivo para medir o tempo entre dois eventos acústicos.

Para a realização do experimento o usuário mede o tempo entre dois sinais sonoros altos. O usuário deve bater palmas ou fazer um som alto o suficiente para ser detectado pelo microfone. É possível ajustar o limiar, selecionando o nível sonoro em que o cronômetro é disparado (entre 0 e 1). Depois de começar o experimento, o cronômetro dispara no primeiro barulho que exceder o limite e irá parar no sendo ruído. (Figura 34).

Esse experimento pode ser útil para determinar o tempo em experimentos em diferentes meios automatizando o processo através de emissões sonoras.

Pode utilizar o experimento para medir a velocidade do som, por exemplo. Para a realização do experimento são utilizados dois smartphones, sendo conhecida a distância que o som percorrerá e o *Phyphox* emitirá um sinal sonoro. O usuário deve bater palmas ou fazer um som alto o suficiente para ser detectado pelo microfone quando o sinal sonoro é ouvido. O *Phyphox* mede o tempo que leva para o som percorrer a distância e com isso é calculado o valor da velocidade do som com base na distância e no tempo medido. Esse experimento pode ser útil para demonstrar a velocidade do som em diferentes meios e para medir a distância entre dois objetos com base no tempo que o som leva para percorrê-los.

Figura 34 – Cronômetro Acústico no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

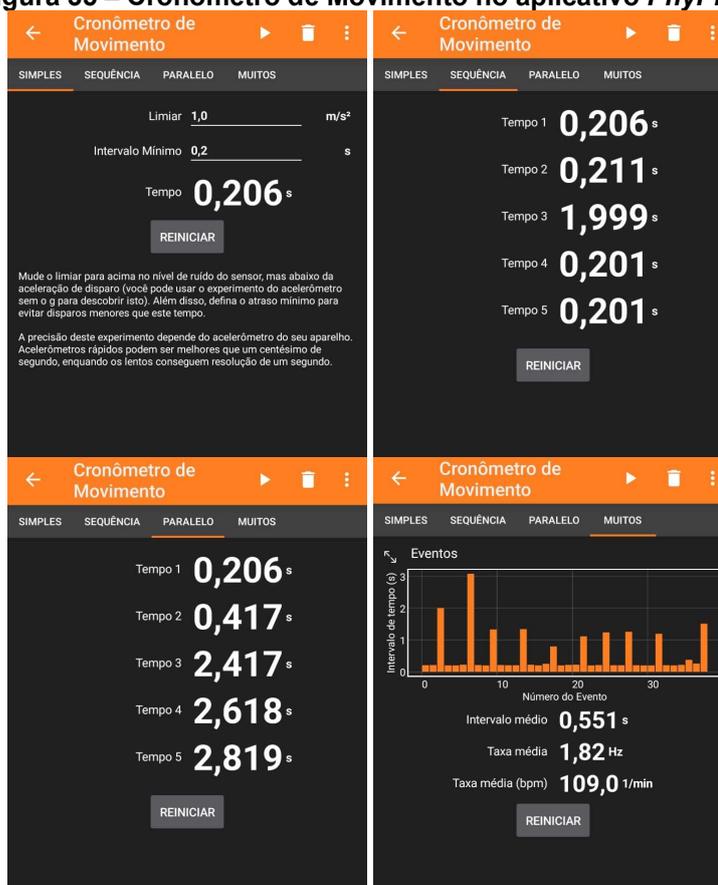
Rodrigues (2023), Vieira et al. (2023), Gomes, (2022) e Da Silva et al. (2023) apresentam uma experimentação de Cronômetro Acústico com o *PhyPhox*.

1.3.6.2 Cronômetro de movimento

O experimento "Cronômetro de movimento" no *PhyPhox* utiliza os sensores de aceleração ou giroscópio do dispositivo para medir o tempo decorrido durante um movimento específico.

Para a realização do experimento o usuário configura o início e o fim do movimento e o *PhyPhox* começa a contar o tempo quando o movimento começa e para quando o movimento termina (Figura 35).

Figura 35 – Cronômetro de Movimento no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

Esse experimento pode ser útil para medir a velocidade de movimentos específicos e para ajudar na análise de técnicas esportivas e movimentos de dança, por exemplo. Também pode ser utilizado para medir o tempo de um percurso ou uma corrida.

Prazeres (2021) apresentou proposta de aplicação com este experimento no *Phyphox*.

1.3.6.3 Cronômetro de proximidade

O experimento "Cronômetro de proximidade" no *Phyphox* utiliza o sensor de proximidade do dispositivo para medir o tempo entre o momento em que um objeto é detectado pelo sensor e o momento em que ele deixa de ser detectado (Figura 36).

O experimento pode ser utilizado para medir a velocidade de objetos em movimento, desde que eles passem perto do sensor de proximidade. É possível, por exemplo, medir a velocidade de um carrinho em uma pista de corrida ao colocar o

sensor de proximidade próximo à pista. O experimento também pode ser usado para medir o tempo de voo de objetos lançados, como uma bola ou um frisbee, permitindo o cálculo de sua velocidade.

Figura 36 – Cronômetro de proximidade no aplicativo *PhyPhox*



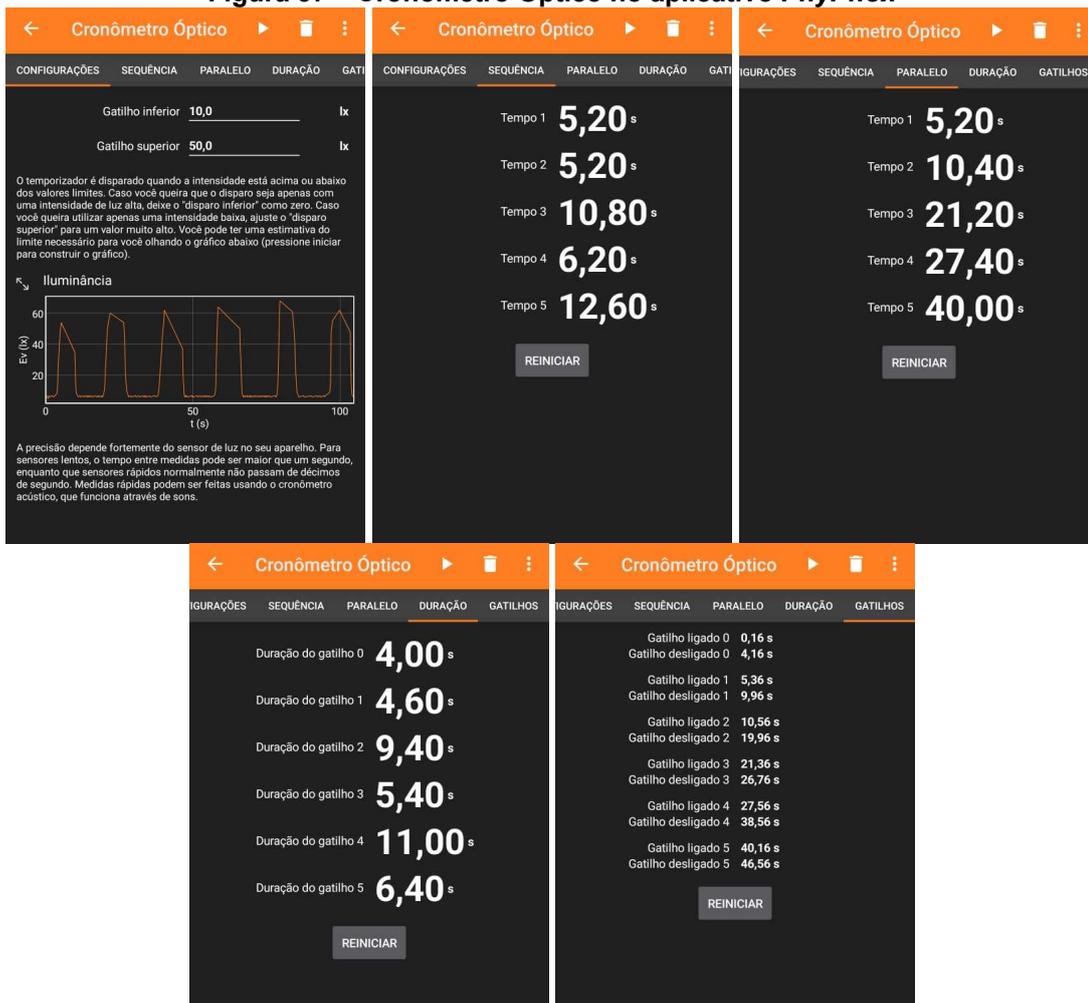
Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

1.3.6.4 Cronômetro óptico

O experimento "Cronômetro óptico" no *PhyPhox* utiliza a câmera do dispositivo para medir o tempo entre o momento em que um objeto passa por uma posição fixa e o momento em que ele passa por uma segunda posição fixa (Figura 37).

Para realizar o experimento, basta posicionar o dispositivo de forma que a câmera possa capturar as imagens das duas posições. Na sequência, o objeto a ser medido deve ser lançado através do campo de visão da câmera, entre as duas posições. O Phyphox então mede o tempo decorrido entre as passagens do objeto pelas duas posições, o que permite que a velocidade do objeto seja calculada.

Figura 37 – Cronômetro Óptico no aplicativo *PhyPhox*



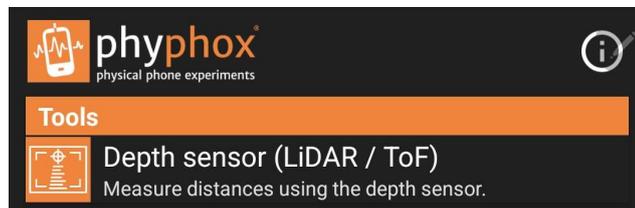
Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

Esse experimento é útil para medir a velocidade de objetos em movimento em linha reta, como uma bola ou um carrinho em uma pista, desde que eles passem pelas posições pré-determinadas. Também pode ser usado para medir a velocidade de uma pessoa que corre ou caminha, desde que ela passe por duas posições fixas pré-determinadas.

1.3.7 Tools

A figura 38 apresenta o menu inicial que é observado ao acessar o *PhyPhox*. Nesta figura, é possível visualizar o menu de acesso ao sensor de profundidade no aplicativo. Caso o aparelho não possua um sensor disponível, a experiência que depende do mesmo estará desabilitada.

Figura 38 – Menu Tools no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

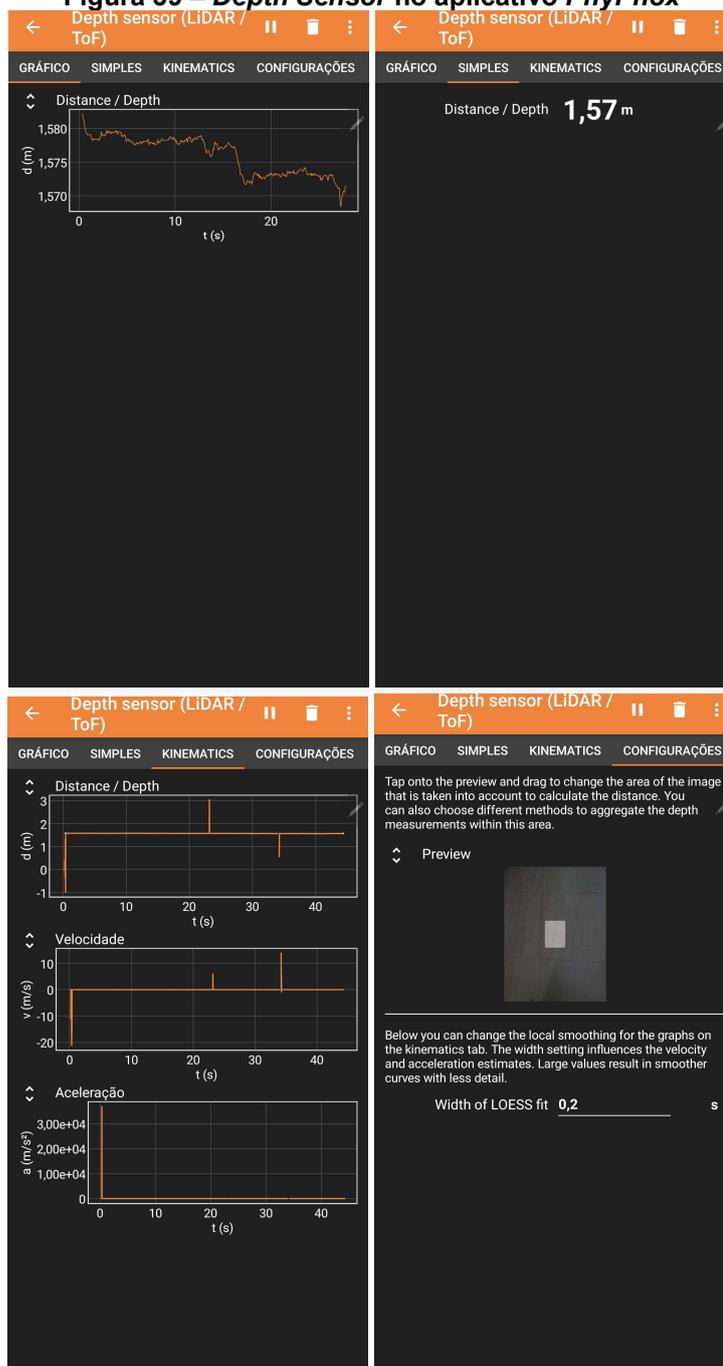
1.3.7.1 Depth Sensor

O experimento *Depth Sensor* (sensor de profundidade) no *PhyPhox* (Figura 36) utiliza o sensor de profundidade presente em alguns smartphones e tablets para medir a distância de um objeto em relação ao sensor. Ele funciona emitindo uma luz infravermelha e medindo o tempo que a luz leva para refletir no objeto e retornar ao sensor, o que permite calcular a distância.

No experimento, é possível ver em tempo real a medida da distância do objeto em relação ao sensor, bem como o gráfico da distância ao longo do tempo. Além disso, é possível alterar a unidade de medida e a frequência de atualização dos dados.

Esse experimento pode ser utilizado para diversas aplicações, como medir a profundidade de um poço, verificar a altura de uma pessoa ou objeto e até mesmo para fins científicos em pesquisas subaquáticas.

Figura 39 – Depth Sensor no aplicativo *PhyPhox*



Fonte: Aplicativo *PhyPhox* executado em 12/2023

O experimento *Depth Sensor* também pode ser combinado com outros dispositivos e experimentos do *PhyPhox* para estudar fenômenos físicos, como o sensor de pressão e temperatura.

1.4 Considerações

Existe um manual do *Phyphox* disponível no site oficial do projeto que contém informações detalhadas sobre o aplicativo, incluindo instruções de uso, explicações dos experimentos, informações sobre os sensores e muitas outras informações úteis. O manual está disponível em vários idiomas no formato *wiki* e pode ser acessado gratuitamente em https://phyphox.org/wiki/index.php/Main_Page. Além disso, existem vários tutoriais em vídeo disponíveis no *YouTube*⁶ que podem ser úteis para aprender a utilizar o aplicativo e realizar experimentos interessantes.

⁶ <https://www.youtube.com/@phyphox>

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6023:** informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- BARROSO, R. R.; OLIVEIRA, A. L. DE; JESUS, V. L. DE. Simulação da detecção de exoplanetas pelo método do trânsito utilizando o pêndulo cônico e o smartphone. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, p. e20200161-1–6, 2020.
- DA SILVA, A. A. B. O uso de um fotogate de baixo custo em práticas experimentais no ensino médio: o movimento retilíneo uniformemente variado de uma esfera sobre um plano inclinado. **MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA-MNPEF**, p. 12, 2022.
- DA SILVA, J. M. J. et al. Experimento de baixo custo para o estudo de queda livre utilizando o software Phyphox em smartphone. **Jornada de Iniciação Científica e Extensão**, v. 18, n. 1, 2023.
- DA SILVA, K. W.; SANTOS, B. M.; DA ROCHA SILVA, L. Utilização de apps para o ensino do efeito Doppler. **Revista do Professor de Física**, v. 3, n. Especial, p. 89–90, 2019.
- DA SILVA SANTOS, M. F.; LAIA, A. S. Abordagem quantitativa da polarização da luz: explorando a lei de Malus com o aplicativo PhyPhox. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 45, p. e20220320, 2023.
- GOMES, C. L. Ensino de Física experimental com o uso do telefone celular. 2022.
- GOMES, P. H. et al. **Experimentos didáticos sobre lei de Faraday e lei de Lenz utilizando smartphone como instrumento de medida**. MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA—Alfenas: UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS, 2023.
- HERNANDEZ, A. et al. Experimentos caseiros: uma adaptação mão-na-massa da disciplina de física experimental II da UFRJ para o ensino remoto. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. 1–13, 2021.
- KUHLEN, S. **Phyphox Wiki**. Disponível em: https://phyphox.org/wiki/index.php/Main_Page. Acesso em: 27 out. 2023.
- LANDEIRA, J. E. P. C. et al. Pêndulo simples: Tracker x Phyphox simple pendulum: Tracker x Phyphox. **Revista do Professor de Física**, v. 4, n. 2, p. 91–108, 2020.
- LEITE, D. L. F. **Desenvolvimento de uma proposta pedagógica para o ensino da cinemática através da robótica educacional**. Dissertação de Mestrado—São Luis: Universidade Federal do Maranhão, 2021.
- MALACRIDA, J. P. **Aplicativos em smartphones: o despertar científico no estudo de energia**. Dissertação de Mestrado—Maringá: Universidade Estadual de Maringá, abr. 2021.

PEDROSO, L. S. et al. Experimentos de baixo custo utilizando o aplicativo de física Phyphox. **Lat. Am. J. Phys. Educ**, v. 14, n. 4, dez. 2020.

PEREIRA, E. Experiência de baixo custo para determinar a forma da superfície de um líquido em rotação usando o smartphone. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. 1–6, 2021.

PRAZERES, H. J. DOS. **Sala de aula invertida na cinemática do movimento circular uniforme com aplicação de experimento**. Dissertação de Mestrado—Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 2021.

REIS, P. M. R. DOS. **Atividades com smartphones para o ensino de física**: uma proposta para o ensino de movimento uniforme e queda livre. Dissertação de Mestrado—Belém: Universidade Federal do Pará (UFPA), 2020.

RIBEIRO, K. A. et al. Utilizando o Phyphox para se obter dados para o cálculo do trabalho e potência de um motor caseiro. **Jornada de Iniciação Científica e Extensão**, v. 18, n. 1, 2023.

RODRIGUES, E. M. O uso do aplicativo Phyphox como instrumento para o ensino de física no ensino fundamental. 2023.

SANTOS, G. et al. Sequência de ensino investigativa para o ensino da lei de Hooke e movimento harmônico simples: uso do aplicativo Phyphox, o simulador Phet e GIF's. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 31, n. 2, p. 91–108, 2019.

VIEIRA, A. T. et al. É possível medir com o Smartphone a altura que a bolinha foi solta? **Jornada de Iniciação Científica e Extensão**, v. 18, n. 1, 2023.

APÊNDICE B - Produto Educacional

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

1	PENDULO SIMPLES	193
1.1	Introdução	193
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
1.2	Procedimento Metodológico	196
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
2	LEI DE STEVIN	203
2.1	Introdução	203
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
2.2	Procedimento Metodológico	207
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
3	FENÔMENO DE INTERFERÊNCIA SONORA DO BATIMENTO.....	214
3.1	Introdução	214
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
3.2	Procedimento Metodológico	216
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
	REFERÊNCIAS.....	223
	APÊNDICE A - Pré-teste – Pêndulo Simples	224
	APÊNDICE B - Guia para experimentação – Pêndulo Simples.....	227
	APÊNDICE C - Pré-teste – Lei de Stevin.....	234

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

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:

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 Significativa¹ de

¹ 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).

Ausubel², busca-se a identificação de subsunçores³ 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

² 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.

³ 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*⁴).

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?

⁴ 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:

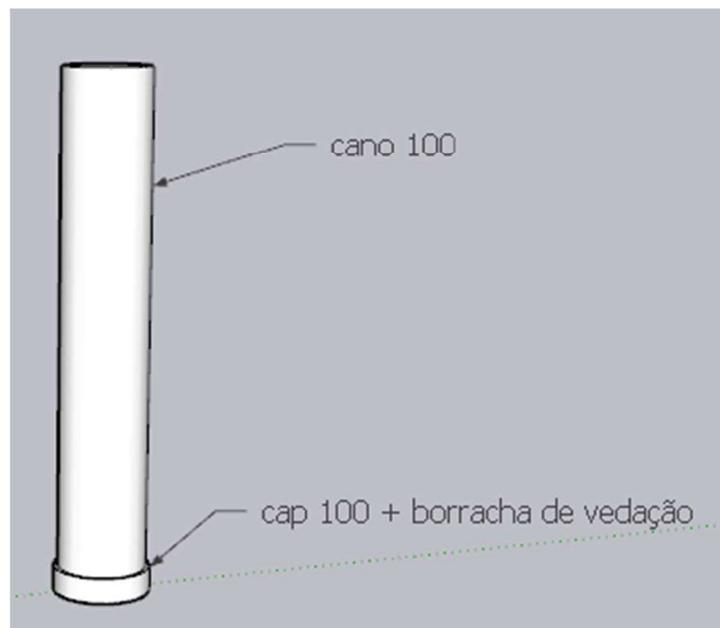
- Smartphone com sensor de pressão
- Aplicativo PhyPhox

- 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.

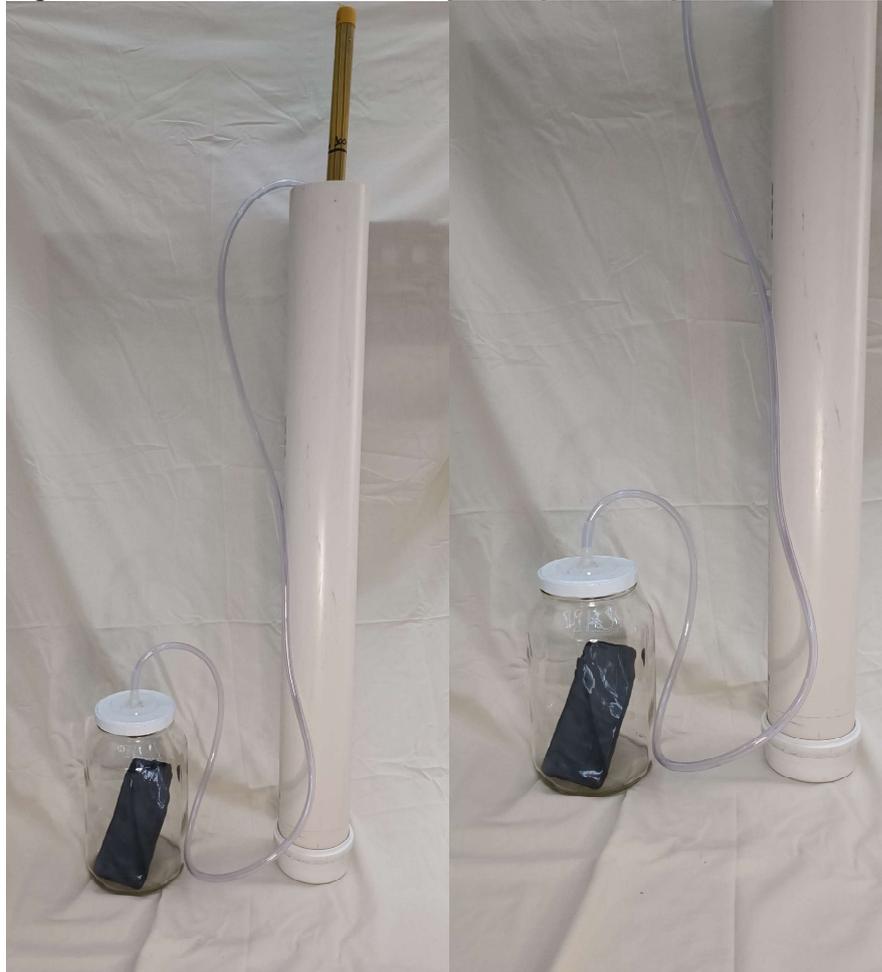
Para essa segunda estrutura apresenta-se o seguinte projeto:

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 Significativa⁵ de

⁵ 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).

Ausubel⁶, busca-se a identificação de subsunçores⁷ 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

⁶ 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.

⁷ 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*⁸).

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?

⁸ 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:

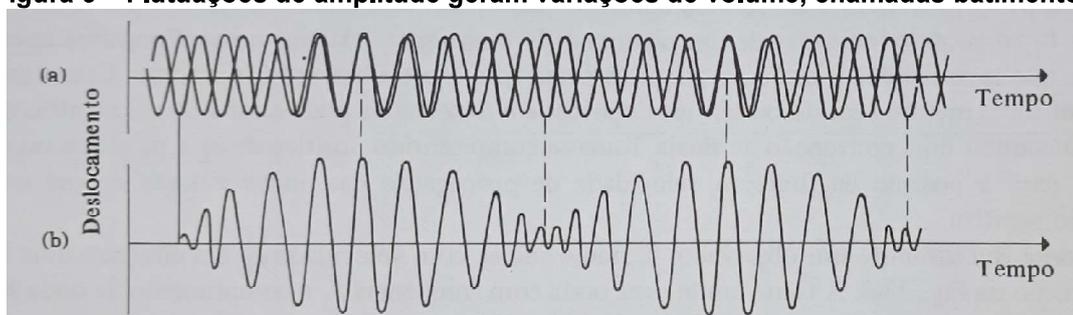
- Entender o que é uma onda sonora.
- Compreender o que é um processo de interferência.
- Realizar experimento que possibilite a observação do fenômeno da interferência.

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 Significativa⁹ de

⁹ 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).

Ausubel¹⁰, busca-se a identificação de subsunçores¹¹ 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

¹⁰ 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.

¹¹ 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*¹²).

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 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?

¹² 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

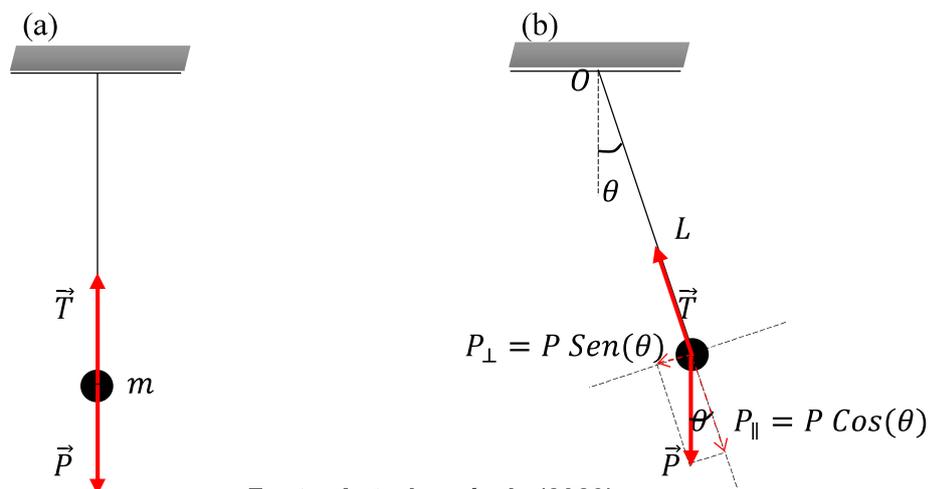
Nome: _____

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 θ 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 θ é dado em radianos. Para pequenas oscilações de θ 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 ω_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.

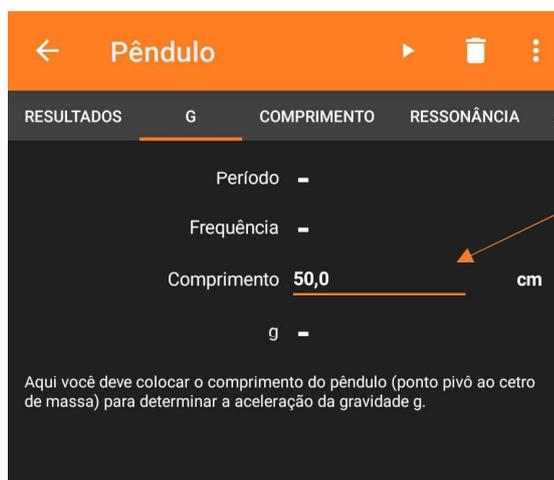
Iniciar o PhyPhox no celular.



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° 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.

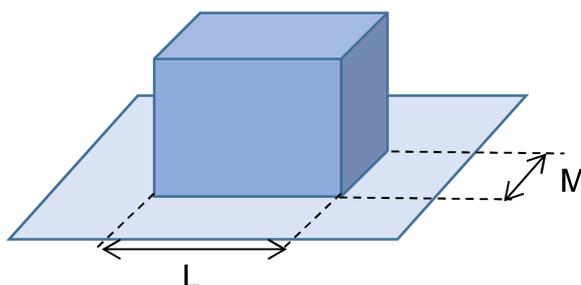
Nussenzveig (2002, p. 1) destaca que *“a diferença fundamental entre sólidos e fluidos está na forma de responder às tensões tangenciais. Um sólido submetido a uma força externa tangencial a sua superfície deforma-se até que sejam produzidas tensões tangenciais internas que equilibrem a força externa: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

Densidade (ρ) é definida como uma relação entre massa e o volume ocupado por um material. Vale observar que densidade depende 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:

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

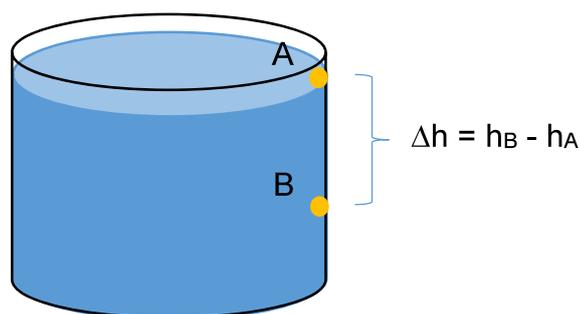
Quando um corpo está imerso num fluido, recebe uma força perpendicular à superfície em todo ponto de contato (força do fluido por unidade de área da superfície do corpo imerso). Pode ser estudada pontualmente, como a relação entre a força normal F , exercida sobre uma área A :

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

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):

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

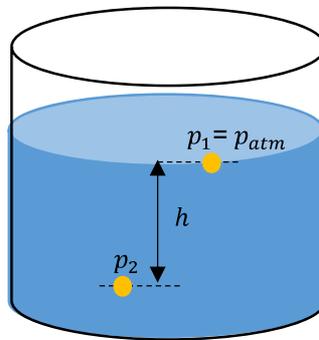
Como ρ e g são quantidades positivas, o aumento de profundidade (h positivo) implica em aumento de pressão (p positivo).

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:

Δh – variação da profundidade

p_1 – pressão atmosférica

p_2 – pressão final

g – gravidade

ρ – 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.

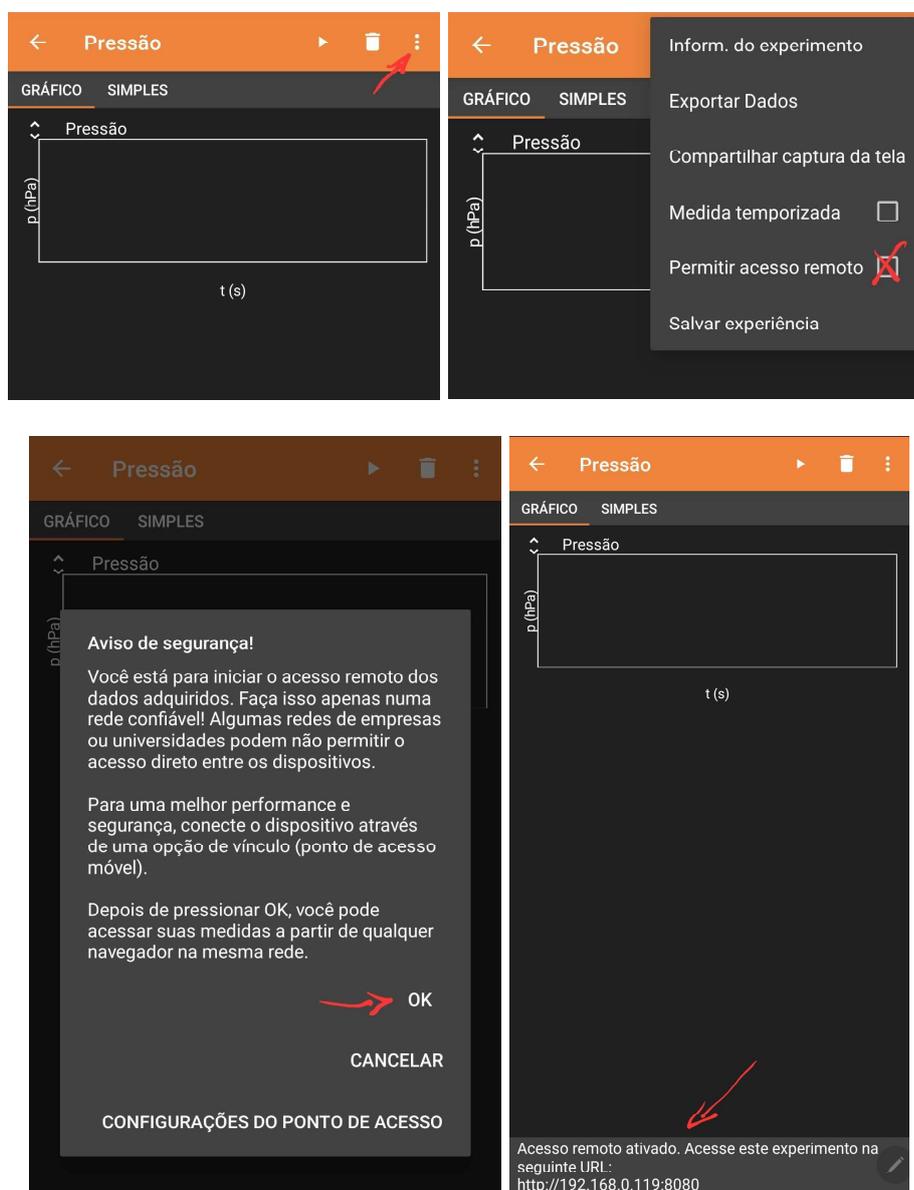
Iniciar o PhyPhox no celular que possua sensor de pressão.



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 (ρ) utilizando a equação (II).

Medida	Profundidade	Var. media Pressão	gravidade	ρ
1	50 cm			
2	100 cm			
Média				

Questão 6. Existe um aparente padrão de ρ 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).

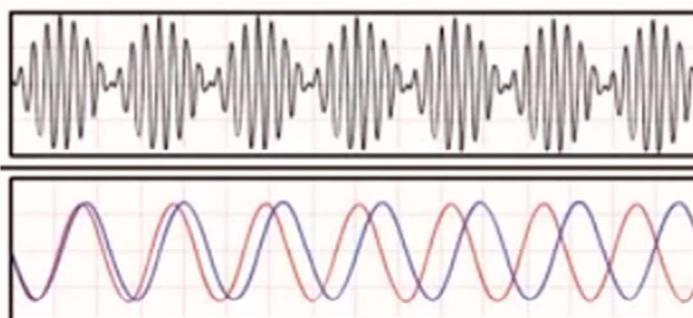


Figura 1. O quadro superior apresenta a soma das duas ondas apresentadas no quadro inferior. Existe uma interferência construtiva quando os picos coincidem e destrutiva quando do encontro de pico de uma onda e vale da outra.

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:

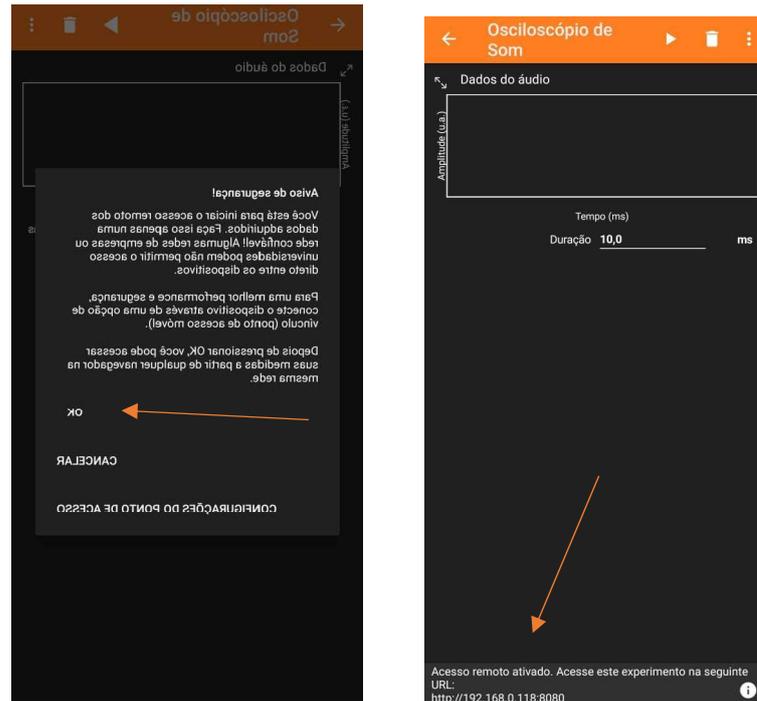


Em outros dois celulares, abrir o experimento Gerador de tom



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?
