

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física
Polo **ufscar** Sorocaba



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE

DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**MANUAL DE EXPERIMENTOS UTILIZANDO O
SMARTPHONE COMO INSTRUMENTO DE MEDIDA**

RENAN GUSTAVO BELONI FREITAS

ORIENTADORA: PROFA. DRA. ANA LÚCIA BRANDL

Sorocaba - SP
Março de 2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE

DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**MANUAL DE EXPERIMENTOS UTILIZANDO O
SMARTPHONE COMO INSTRUMENTO DE MEDIDA**

RENAN GUSTAVO BELONI FREITAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Processos de Ensino e Aprendizagem e Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física.

Orientador(a): Profa. Dra. Ana Lúcia Brandl

Sorocaba - SP
Março de 2021

Freitas, Renan Gustavo Beloni

Manual de experimentos de física utilizando um
smartphone / Renan Gustavo Beloni Freitas -- 2021.
108f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São
Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Ana Lúcia Brandl

Banca Examinadora: Antônio Augusto Soares, Zolacir
Trindade de Oliveira Júnior

Bibliografia

1. Ensino de física. 2. Experimentação no ensino de
física. 3. Tecnologia da informação e comunicação . I.
Freitas, Renan Gustavo Beloni. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho ao meu filho,
Anthony Lopes Beloni,
Meu maior motivador*

AGRADECIMENTO

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) durante todo o período de formação.

Agradeço também à minha família pelo contínuo apoio, à minha orientadora por todos os conselhos fornecidos, aos professores por todos os ensinamentos, e aos colegas de turma que foram parte fundamental no desenvolvimento do projeto.

RESUMO

FREITAS, Renan Gustavo Beloni. Manual de experimentos utilizando o smartphone como instrumento de medida. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, Sorocaba, 2020.

Este trabalho tem como objetivo propor um manual de experimentos de Física para ser utilizado no Ensino Médio e Fundamental, contendo quatro roteiros de baixo custo que tem como base a aquisição de dados através de diferentes sensores disponíveis em smartphones através de um aplicativo gratuito chamado Physics Toolbox. Partindo dos pressupostos da teoria de aprendizagem de David Ausubel e como esta pode ser aplicada num contexto de ensino baseado em atividades experimentais realizadas em grupo, espera-se que a aplicação dos roteiros propostos traga maior significado para os conceitos abordados em comparação com aulas puramente teóricas, bem como incentive os professores que se utilizarem das ferramentas apresentadas a elaborarem suas próprias propostas. Cada roteiro foi pensado para ser concluído em duas aulas, dentro de uma sala de aula comum, com propostas que se enquadram principalmente nos campos investigativo e verificativo. Seu conteúdo apresenta, além da metodologia da proposta e turma a qual se destina, uma breve introdução englobando o conteúdo de física relacionado e o sensor específico que será utilizado, podendo cada um dos roteiros do manual ser trabalhado de maneira independente dos demais. Os temas escolhidos estão relacionados aos conteúdos de Mecânica, Acústica e Eletromagnetismo. Devido à impossibilidade do desenvolvimento do trabalho no ambiente escolar por conta do distanciamento social imposto pela pandemia de COVID-19, são apresentados e discutidos os resultados dos experimentos realizados pelo autor e colegas professores participantes do MNPEF, juntamente com as impressões destes relacionadas ao desenvolvimento das propostas. A análise desses resultados demonstra uma grande precisão dos dados obtidos com o smartphone e mínima dificuldade de execução, que se somadas às demais funcionalidades do aplicativo empregado sugerem excelentes possibilidades de aplicação dos experimentos propostos dentro da escola.

Palavras-chave: Ensino de Física. Tecnologias da Informação e Comunicação. Aprendizagem Significativa. Experimentação.

ABSTRACT

This work aims to propose a physics experiment manual to be used in high school and elementary school, containing four low-cost scripts based on the acquisition of data through different sensors available on smartphones through a free application called Physics Toolbox . Based on the assumptions of David Ausubel's learning theory and how it can be applied in a teaching context based on experimental activities carried out in groups, it is expected that the application of the proposed scripts will bring greater meaning to the concepts covered in comparison with purely theoretical classes. , as well as encourage teachers who use the tools presented to develop their own proposals. Each script was designed to be completed in two classes, within a common classroom, with proposals that fall mainly in the investigative and verification fields. Its content presents, in addition to the methodology of the proposal and class for which it is intended, a brief introduction encompassing the related physics content and the specific sensor that will be used, with each of the manual's scripts being able to be worked independently of the others. The chosen themes are related to the content of Mechanics, Acoustics and Electromagnetism. Due to the impossibility of developing the work in the school environment due to the social distance imposed by the pandemic of COVID-19, the results of the experiments carried out by the author and fellow professors participating in the MNPEF are presented and discussed, together with their impressions related to the development of proposals. The analysis of these results demonstrates a great precision of the data obtained with the smartphone and minimum difficulty of execution, that added to the other functionalities of the employed applications suggests excellent possibilities of execution of the proposed experiments inside the school.

Keywords: Physics Teaching. Information and Communication Technologies. Meaningful Learning. Experimentation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Superfície gaussiana envolvendo a placa positiva de um capacitor carregado. A trajetória de integração é da placa negativa para a positiva.....	19
Figura 3.2: Estrutura do fotorresistor	21
Figura 4.1: Tela inicial do aplicativo Physics Toolbox com 8 botões de interesse listados. ...	28
Figura 4.2: Menu flutuante de sensores e geradores.	29
Figura 4.3: Detalhes sobre o sensor escolhido.	30
Figura 4.4: Pasta contendo os arquivos gerados pelo aplicativo.....	31
Figura 4.5: Configurações de visualização dos dados do aplicativo.....	32
Figura 4.6: Montagem experimental para determinação do coeficiente de atrito estático entre o vidro e a madeira. O celular está preso ao vidro.....	46
Figura 4.7: Representação da interface entre vidro e madeira utilizada no experimento, o smartphone deve estar colado ao vidro e se mover junto a ele.	47
Figura 4.8: Eletroímã com uma pilha e 10 voltas em torno do prego (medida B1 – 10 voltas).52	
Figura 4.9: Eletroímã com uma pilha e 20 voltas em torno do prego (medida B1 – 20 voltas).52	
Figura 4.10: Eletroímã com duas pilhas em série e 10 voltas em torno do prego (medida B2s – 20 voltas).....	53
Figura 4.11: Eletroímã com duas pilhas em série e 10 voltas em torno do prego (medida B2s – 10 voltas).....	53
Figura 4.12: Eletroímã com duas pilhas.....	53
Figura 4.13: Eletroímã com duas pilhas.....	53
Figura 4.14: Eletroímã com 20 voltas – autor.....	58
Figura 4.15: Eletroímã com 10 voltas – autor.....	58
Figura 4.16: Montagem das duas pilhas em paralelo – autor.....	58
Figura 4.17: Montagem das duas pilhas em série – autor.	58
Figura 4.18: Pêndulo utilizado pelo autor para realização das medidas.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Níveis de intensidade sonora.....	24
Tabela 4.1: Intensidades sonoras, em decibéis, medidas em cinco locais diferentes – Professor A.	39
Tabela 4.2: Intensidades sonoras, em decibéis medidas em cinco locais diferentes – Professor B.	42
Tabela 4.3: Intensidades sonoras, em decibéis, medidas em cinco locais diferentes - autor. .	44
Tabela 4.4: Medida do coeficiente de atrito entre madeira e diversos materiais seguindo o roteiro do apêndice C.....	50
Tabela 4.5: Campos magnéticos produzidos por um eletroímã - Professor C.	52
Tabela 4.6: Campos magnéticos produzidos por um eletroímã - Professor D.	56
Tabela 4.7: Campos magnéticos produzidos por um eletroímã - autor.....	57
Tabela 4.8: Instantes onde a luminosidade diminuiu pela passagem do pêndulo – Professor E.	59
Tabela 4.9: Período em segundos de um pêndulo de 30 cm para grandes ângulos – Professor E.	61
Tabela 4.10: Período em segundos de um pêndulo de 30 cm para pequenos ângulos – Professor E.	61
Tabela 4.11: Instantes onde a luminosidade diminuiu pela passagem do pêndulo – Professor F.	63
Tabela 4.12: Período de um pêndulo de 67 cm para ângulo grande e pequeno – Professor F.	65
Tabela 4.13: Instantes onde a luminosidade diminuiu pela passagem do pêndulo e período médio T das passagens – autor.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MNPEF – *Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física*

PROFIS-So – *Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba.*

BNCC – *Base Nacional Comum Curricular*

TIC – *Tecnologia da Informação e Comunicação*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO DO TRABALHO	1
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	4
CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO: A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL	5
2.1 A APRENDIZAGEM SEGUNDO AUSUBEL	5
2.1.1 O papel dos estudantes na aprendizagem significativa	8
2.1.2 O papel do professor na aprendizagem significativa	8
2.1.3 O papel dos materiais na aprendizagem significativa	9
2.2 A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA	10
CAPÍTULO 3 - SMARTPHONES NO ENSINO DE FÍSICA	16
3.1 EXPLORAÇÃO DE POSSIBILIDADES.....	16
3.2 SENSORES UTILIZADOS	18
3.2.1 Acelerômetro	18
3.2.2 Luxímetro	20
3.2.3 Magnetômetro	21
3.2.4 Decibelímetro	22
CAPÍTULO 4 - DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA E APLICAÇÃO DO PRODUTO	25
4.1 SOBRE O PRODUTO	25
4.1.1 sobre o aplicativo	27
4.1.2 sobre o Manual	33
4.1.3 sobre a aplicação do produto	35
4.1.3.1 Primeira aula	36
4.1.3.2 Segunda aula	36
4.2 – NÍVEIS SONOROS (APÊNDICE B) – PROFESSORES A E B.....	39
4.2.1 Resultados do Professor A	39
4.2.2 Resultados do Professor B	42
4.2.3 Resultados do autor	43

4.3 – DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO ESTÁTICO (APÊNDICE C) –45	
4.4 – CAMPO MAGNÉTICO DE UM ELETROÍMÃ (APÊNDICE D) – PROFESSORES C E D	
.....	52
4.4.1 Resultados do Professor C	52
4.4.2 Resultados do Professor D	56
4.4.3 Resultados do autor	57
4.5 – ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE NA SUPERFÍCIE DA TERRA (APÊNDICE E) –	
PROFESSORES E E F.....	59
4.5.1 Resultados do Professor E	59
4.5.2 Resultados do Professor F	63
4.5.3 Resultados do autor	66
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
5.1 CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS	71
APÊNDICE A - COMO USAR O MANUAL	76
APÊNDICE B - ROTEIRO USANDO O DECIBELÍMETRO	87
APÊNDICE C - ROTEIRO USANDO O ACELERÔMETRO	92
APÊNDICE D - ROTEIRO USANDO O MAGNETÔMETRO	98
APÊNDICE E - ROTEIRO USANDO O LUXÍMETRO	103
APÊNDICE F -QUESTÕES PARA OS PROFESSORES	108

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

Durante o período de graduação e mestrado tive a oportunidade de analisar variados trabalhos sobre o ensino de Física na educação básica publicados ao longo de décadas, muitos dos quais se debruçavam sobre o fracasso escolar na aprendizagem dessa disciplina. Dentre alguns dos motivos apresentados, Chiquetto (2011) aponta para o entendimento recorrente dos estudantes de que a Física nada mais é do que um conjunto de fórmulas a serem decoradas e reproduzidas em seus contextos de validade específicos, sem relações claras entre si ou com os fenômenos naturais por elas explicados. Gomes e Castilho (2010) seguem pensamento similar, enfatizando a desconexão entre os conteúdos abordados nos livros didáticos e o cotidiano do aluno, paulatinamente causando desinteresse em seu estudo. Nascimento (2010) também enxerga esse desinteresse como consequência da passividade do ensino tradicional usualmente aplicado nas escolas, relegando aos estudantes papel secundário em sua própria aprendizagem ao serem submetidos a processos de ensino baseados em intensa memorização e repetição de informações aparentemente arbitrárias.

O resultado disso pode ser observado no alto índice de abandono e reprovação (BARROSO et al., 2003; PASSOS et al., 2007; LIMA JUNIOR, 2013) uma vez que os estudantes veem como pouco atraentes as atividades escolares, baseadas em memorização, trabalhos individuais e avaliações pautadas inteiramente em resolução de exercícios em papel e lápis exaustivamente treinados (BARROS et al., 2004). Isso significa que tanto não se aprende nas aulas, como praticamente não há incentivos para a aprendizagem.

Tendo atuado como professor de Física desde meu primeiro ano da graduação em 2012, pude observar em múltiplas ocasiões e escolas o cenário descrito por estes trabalhos ao encontrar com estudantes que nunca tiveram a oportunidade de realizar um experimento e que encontravam dificuldades em explicar conceitos estruturadores de fenômenos teoricamente já estudados. Somaram-se também relatos de que a Física que tinham aprendido baseava-se quase que completamente em algumas fórmulas decoradas por frases ou músicas de auxílio sem, entretanto, relacionarem-se devidamente com conteúdo relativo a elas, impossibilitando sua utilização plena em cenários variados.

Identificando haver nesses casos predomínio de aulas baseadas em cópia do livro-texto e preenchimento de material. Ao conversar com os colegas professores sobre o assunto, a falta de laboratórios de ciências, materiais e apoio da coordenação, bem como o tempo necessário para a elaboração e condução de atividades práticas, lúdicas ou investigativas, foram apontados como os fatores determinantes para a falta de iniciativas de ensino diferenciadas.

De fato, Monteiro (2016) comenta sobre o papel da escola em prover um ambiente favorável para que as práticas didáticas propostas pelos educadores sejam plenamente executadas, promovendo seus objetivos de aprendizagem. São notórias, entretanto, as dificuldades pelas quais passam as escolas públicas, seus profissionais e seus alunos, que precisam recorrentemente conviver com violência, falta de recursos básicos e pouco envolvimento da comunidade, enquanto na rede particular há pressão para finalização das apostilas e cobrança de resultados em simulados classificatórios e vestibulares.

O fator determinante que particularmente me levou ao MNPEF era a crença de que os produtos educacionais desenvolvidos no programa tinham a capacidade de atingir todos os professores de física, independente da sua localidade ou rede de ensino, contribuindo positivamente na aprendizagem de seus alunos ao apresentarem estratégias contextualizadas, atuais e de simples implementação. Ao mesmo tempo, constituem-se em poderosas ferramentas capazes de promover a construção do conhecimento ao envolver ativamente os estudantes, desmistificando e ressignificando a Física como um campo acessível e conectado com o cotidiano.

Nesse sentido, é preciso não apenas criar e aplicar os materiais cujo intuito seja ensinar, mas também compreender o que significa aprender (Moreira, 2000). Em seu trabalho, o autor destaca a interdependência dos processos de ensino com a aprendizagem resultante deles de maneira global, ao analisar os processos cognitivos envolvidos segundo a teoria de aprendizagem de David Ausubel. Seus preceitos e ideias principais foram escolhidas como referencial teórico deste trabalho pois promovem a aplicação de diversos dispositivos de ensino

com foco na percepção e criação das ideias iniciais dos estudantes acerca de certo conteúdo e construção de conhecimentos mais complexos a partir destas, ao mesmo tempo em que os envolvem diretamente na sua condução (Ausubel, 2003). Assim, este trabalho é uma tentativa de oferecer aos professores do ensino básico uma ferramenta de ensino experimental, aplicável em variados contextos escolares, evitando-se as dificuldades mencionadas anteriormente, ao mesmo tempo em que promove a aprendizagem dos conceitos físicos envolvidos de maneira significativa e contextualizada ao estimular a execução das atividades propostas exclusivamente pelos alunos com auxílio de tecnologia disseminada democraticamente em todo o país, com mínima orientação docente.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) estipula na área de ciências da natureza e suas tecnologias a necessidade de formação para os desafios contemporâneos com viés cidadão, fortalecendo o pensamento crítico e responsável em diversos cenários. Promove também a apropriação de conceitos, procedimentos e teorias próprios da ciência através da interpretação de fenômenos naturais e processos tecnológicos, cuja produção e papel na sociedade devem ser discutidos e compreendidos, além de propor a ampliação das habilidades investigativas de caráter científico.

Neste último tópico, fica claro a importância de a experimentação ser parte integral do ensino de Física, pois os processos e práticas investigativas inerentes à execução de atividades experimentais envolvem, por exemplo, a identificação de variáveis, teste de hipóteses, análise de resultados e elaboração de conclusões a partir destes. Entretanto, a ocorrência esmagadora de aulas teóricas em detrimento das práticas é facilmente identificada nas escolas brasileiras. Sasseron (2015) aponta como causa, por exemplo, a inexistência de laboratórios de ciências e/ou itens essenciais para seu funcionamento, ocasionando o desvio de função do espaço para outros fins. Pode somar-se a isso também o pouco tempo usualmente dispensado às aulas de Física, imperícia no manuseio de sensores específicos (quando existentes) e a alta carga de preparação necessária a algumas práticas.

Entretanto, reconhecendo os potenciais benefícios da experimentação na aprendizagem dos estudantes (Besson, et. al., 2007; Jesus, Sakaki, 2016), uma alternativa viável para sua execução é o uso dos sensores presentes nos smartphones. Estes aparelhos possuem uma série de medidores de grandezas físicas, necessárias para seu funcionamento, cujos dados podem ser obtidos através de aplicativos e utilizados com propósitos pedagógicos. Além disso, segundo relatório do Comitê Gestor da Internet no Brasil (2018, p. 125), 97% dos estudantes brasileiros que acessam a internet o fazem por meio de smartphones, sendo uma das tecnologias de informação e comunicação (TIC) mais importantes e disseminadas no país, além de seu uso

didático estar previsto na BNCC e suas possibilidades no ensino de Física serem reconhecidas, como apontado por levantamento feito por Martins e colaboradores (2011).

Levando todos os pontos acima em consideração, foi elaborado o produto educacional proposto nesta monografia: quatro roteiros experimentais de fácil aplicação e baixo custo, que utilizam os sensores disponíveis em qualquer smartphone como única fonte de coleta de dados, obtidos através de um aplicativo gratuito e disponível nas lojas digitais mais comuns do mercado. Espera-se que o professor utilize esses roteiros como uma ferramenta para introdução de práticas laboratoriais em suas aulas, contornando a necessidade de componentes específicos e de alto valor ao fazer uso dos próprios aparelhos dos estudantes, tornando-os parte interessada e ativa no processo de ensino-aprendizagem. Simultaneamente, se contextualiza e aprofunda o significado dos conceitos explorados durante o desenvolvimento das atividades propostas. Os alunos por sua vez também terão a chance de explorar possibilidades usualmente não perceptíveis da alta tecnologia embutida nos aparelhos em suas mãos, podendo relacionar, interpretar, medir e manipular as grandezas e leis, antes apenas escritas em letras e números. Finalmente, é meu desejo pessoal que este trabalho seja apenas o ponto de partida para o professor que pretende implementar as propostas aqui descritas, a partir dos quais novos roteiros englobando diferentes sensores e áreas do conhecimento possam ser desenvolvidos pelo docente.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é construir quatro roteiros experimentais que utilizam o acelerômetro, o luxímetro, o microfone e o magnetômetro presentes nos smartphones como instrumentos de medida para atividades práticas nas áreas de Mecânica, Ondulatória e Eletromagnetismo, através de um aplicativo gratuito disponível nas lojas virtuais de seus respectivos fabricantes, podendo ser desenvolvidos em variados contextos escolares sem a necessidade de laboratórios específicos e com mínimos recursos auxiliares.

Espera-se que os roteiros possibilitem diversos mecanismos estruturadores da construção do conhecimento numa perspectiva construtivista, bem como promovam maior compreensão e significado aos conceitos abordados em cada um.

Capítulo 2

REFERENCIAL TEÓRICO: A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE DAVID AUSUBEL

“If i had to reduce all of psychology to just one principle, I would say this: The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly”. (AUSUBEL, 1968)

2.1 A APRENDIZAGEM SEGUNDO AUSUBEL

Desde o início de minha carreira docente até o momento da escrita dessa dissertação, pude constatar a relevância da consideração do conhecimento prévio dos estudantes acerca do conteúdo a ser abordado em sala de aula em discussões prévias às atividades de ensino. Respostas de senso comum envolvendo conceitos centrais como calor, movimento e eletricidade, por exemplo, sempre estiveram presentes independentemente do ano, rede escolar ou idade dos alunos. Era inevitável nessas situações não apenas apresentar as ideias corretamente, mas confrontar qualquer interpretação equivocada de seus significados uma vez que, posteriormente ao ensino, a aprendizagem subsequente era conflituosa caso as limitações das respostas iniciais não fossem bem exploradas.

Observações sobre a relevância dos conhecimentos iniciais dos alunos sobre o conteúdo a ser aprendido não são novidade no campo do ensino, sendo um dos principais expoentes deste tema o psicólogo estadunidense David Paul Ausubel (1918-2008). Dentre suas muitas contribuições para a psicologia e educação, destaca-se aqui sua teoria cognitiva de

aprendizagem conhecida como Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta inicialmente em 1963, contrapondo-se à chamada – e mais comum, segundo o próprio – aprendizagem mecânica por memorização. Ausubel (2003) concentra seus principais argumentos em dois pontos: o indivíduo deve estar disposto a aprender ativamente, evitando memorizações literais e arbitrárias dos tópicos de ensino; o conteúdo ensinado deve ser potencialmente significativo, ou seja, estruturado de forma que promova a construção lógica e integral do conhecimento a partir de conceitos ancoradores pré-existentes na estrutura cognitiva do indivíduo (subsunçores). Se atingido esse objetivo, a aprendizagem resultante incorporará as novas e antigas ideias num único conjunto estável, racional e completo com muito mais significado, resistente a informações contrárias e a passagem do tempo, uma vez que se integra à cognição do indivíduo e a fortalece, podendo posteriormente servir de base para a construção de novos conhecimentos.

Moreira (1999) destaca que a aprendizagem significativa, segundo Ausubel, ocorre quando uma nova informação interage com uma parte relevante da estrutura de conhecimento do aprendiz chamada por ele de subsunçor, ancorando-se neste ao mesmo tempo em que o modifica formando uma estrutura cognitiva hierárquica de conceitos gerais na base e específicos no topo. Há também um aspecto motivacional na aprendizagem, uma vez que esta ocorre organicamente e promove reflexões satisfatórias durante seu processo acerca das relações e possibilidades dos conteúdos (Ausubel, 2003).

Ausubel propõe sua teoria ao criticar a chamada aprendizagem mecânica ou automática. Esta ocorre quando as novas informações são apresentadas a um indivíduo sem que interajam com os conceitos já presentes em sua estrutura cognitiva sendo, portanto, armazenadas de maneira arbitrária ao não se ligar de maneira coerente à subsunçores específicos (Moreira, 1999). A aprendizagem significativa fica então no espectro oposto da aprendizagem mecânica, ao passo que esta acontece quando as informações se incorporam na estrutura cognitiva do sujeito de forma não-literais e não-arbitrária.

É possível exemplificar esse mecanismo pegando o conceito de energia. É comum nos currículos de Física que o assunto apareça inicialmente na forma de energia mecânica, sendo posteriormente apresentado o conceito de energia térmica. Se o subsunçor do assunto energia está incorporado na estrutura cognitiva do indivíduo quando isso ocorrer, a nova definição de energia deve não apenas se somar à anterior, mas modificá-la de forma a agrupar seu significado específico, e o estudante deve perceber que existe uma equivalência entre as duas formas, havendo possibilidades de transformações entre elas. Mais à frente, ao se deparar com o assunto energia elétrica, novamente esta ideia se ancorará na anterior, a incorporando e aumentando sua

complexidade para abrigar suas particularidades. O aluno deve entender nesse ponto que o assunto energia faz menção a diferentes formas de uma mesma grandeza, que se mantém constante através de variadas transformações, e apresenta funções específicas em cada uma delas, criando-se um conceito generalizado de energia.

Não há impedimentos também caso se deseje apresentar uma ideia geral de energia, e depois especificar-se cada uma de suas formas, desde que as relações devidas sejam formadas na estrutura cognitiva do estudante. Neste último caso, a aprendizagem é dita subordinada e há diferenciação progressiva dos conceitos à medida que novas informações vão sendo integradas. Isto significa que conforme as novas ideias e seus respectivos significados vão sendo agregados aos subsunçores, estas vão sendo separadas pelas suas particularidades depois de agrupadas em um conceito generalizador maior. Já no anterior a aprendizagem é chamada superordenada, havendo reconciliação integrativa a partir de similaridades e relações comuns entre as informações, ou seja, apesar de apresentadas como entidades diferentes, a mente do aprendiz as organiza em um grupo maior através de características em comum. Há ainda a aprendizagem combinatória caso não haja relação hierárquica definida entre os conceitos (Moreira, 1999).

Em todas as situações apresentadas, entretanto, existe a absoluta necessidade do levantamento das ideias prévias dos estudantes como primeira etapa no ensino de qualquer assunto. Isto fornecerá aos professores o ponto de partida para o planejamento de suas aulas e evidenciará, eventualmente, quais organizadores prévios ao assunto principal da aula devem ser apresentados aos estudantes para que ocorra a ancoragem adequada, garantindo a assimilação não-arbitrária do conteúdo (Ausubel, 2003). Em seguida, cabe ao professor a escolha ou preparação de um material que seja potencialmente significativo e promova a construção não-litera do conhecimento ao se evitar a memorização simples, parte que também cabe ao estudante, sendo assim um processo com três atores principais.

Destaca-se que, segundo Moreira (1999), a teoria de Ausubel apresenta tanto aspectos indutivos (i.e., caso os novos conceitos guardem relação derivativa direta com os subsunçores adequados já presentes na estrutura cognitiva, servindo para corroborá-los ou ilustrá-los) e dedutivos (i.e., caso os novos conceitos exibam correlação com os seus próprios subsunçores, servindo para ampliá-los ou modificá-los em conhecimentos mais amplos). Levando todo o exposto acima em consideração, pode-se destacar três atores fundamentais e de igual importância na busca pela aprendizagem: o aluno, o professor e o material.

2.1.1 O papel dos estudantes na aprendizagem significativa

No caminho para a aprendizagem significativa, um fator determinante a ser considerado é a disposição do aprendiz em assumir protagonismo e responsabilidade por sua aprendizagem. Isto acontece quando a tarefa de aprender é aceita de bom grado ao lhe ser apresentado um material instrucional, havendo genuína intenção de compreendê-lo e incorporá-lo aos conhecimentos por ele já possuídos. Além disso, o aluno não deve se limitar a conhecimentos considerados fáceis ao evitar despender considerável esforço nos difíceis, sempre buscando novas fontes de informações e questionando seu professor com perguntas essenciais sobre assuntos ainda não dominados (Ausubel, 2003).

Esta posição do autor é interessante pois delega ao aluno pelo menos metade da responsabilidade por seu aprendizado. Não importam quais recursos, produtos, técnicas, metodologias ou teorias sejam aplicadas no ensino, a aprendizagem não ocorrerá se não houver suficiente participação do aprendiz. Por outro lado, também não há aprendizado, independentemente da vontade do sujeito, se o material proposto não é potencialmente significativo.

2.1.2 O papel do professor na aprendizagem significativa

Apesar de promover o protagonismo dos estudantes, o ensino por descoberta – em oposição ao ensino por recepção – não garante a aprendizagem significativa dos conteúdos. De fato, Ausubel (2003) nega essa ideia ao argumentar que o ensino por recepção é ativo da perspectiva dos alunos, desde que esteja devidamente estruturado pelo professor, além de sua teoria ser fortemente baseada na linguagem verbal, pois esta é considerada um facilitador ao passo que é através das palavras que o significado de certas ideias toma forma e são transferíveis. Ao educador então cabe a revisão e organização de suas práticas de modo a garantir a devida atenção aos conceitos centrais dos conteúdos e sua apresentação aos estudantes em ordem hierárquica de generalidade, após levantamento dos subsunçores presentes na sua turma acerca do assunto da aula. Além disso, a escolha e aplicação dos materiais potencialmente significativos, bem como de uma avaliação que evite sua resolução por memorização, são essenciais na busca pela aprendizagem significativa (Moreira, 1999).

A tarefa do professor pode assim ser estruturada em etapas bem definidas, embora o conteúdo de cada uma delas dependa de diversos fatores. Mais uma vez, destaca-se a importância dada na identificação dos conhecimentos prévios dos alunos. Estes servirão não

apenas como ponto de partida no sentido do que os alunos “já sabem” ou “não sabem”, mas serão ativamente utilizados como pontos de apoio aos novos saberes que serão ensinados e devem ser aprendidos. Constatando-se a falta dos chamados organizadores prévios, o professor pode lançar mão de uma variada gama de atividades cujo objetivo seja fornecê-los aos estudantes. Finalmente, o docente escolhe os materiais adequados e desenvolve a aula de maneira potencialmente significativa, com o objetivo de fazer com que seu conteúdo se integre à estrutura cognitiva do aluno, modificando também o conceito subsunçor ligado a ele.

2.1.3 O papel dos materiais na aprendizagem significativa

Na literatura é possível encontrar diversos mecanismos, técnicas e práticas com a prerrogativa de serem potencialmente significativos. Borcelli (2008) apresenta uma animação interativa para ensino do Efeito Joule; já Cardoso e Dickman (2012) propõe a utilização de uma simulação computacional para o ensino do Efeito Fotoelétrico; enquanto Ribeiro (2014) utiliza o software GeoGebra no ensino de vetores e Amaral (2016) organiza sequências didáticas para o ensino de reações químicas com enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade).

Ausubel (1968) define alguns aspectos essenciais a esses materiais. Estes devem ser corretos e coerentes, evitando-se termos ambíguos ou fora do escopo da complexidade desejada, além de possibilitar a compreensão dos temas tratados de forma ativa, crítica e reflexiva pelo aprendiz, que deve poder explicá-los com suas próprias palavras. Isso pode ser obtido ao apresentar as informações sistematicamente, em ordem crescente de dificuldade e especialização, de preferência incentivando a interação construtiva entre todos os envolvidos. Há assim um grande apelo a propostas que lancem mão de atividades em grupo direcionadas à colaboração e constante troca de informações entre os estudantes, abrindo espaço para discussões, reflexões e oportunidades de manipulação e análise das variáveis e fenômenos envolvidos durante sua execução. Considerando também o fator tempo, geralmente um bem escasso dentro da disciplina de Física, o tema experimentação foi escolhido para a construção do produto educacional desta monografia, pois roteiros experimentais devidamente elaborados devem cumprir todos os requisitos listados acima. Sendo assim, na próxima seção será feita uma análise de trabalhos na área de ensino de Física com essa temática.

2.2 A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA

A Física, enquanto campo de conhecimento responsável pela compreensão e elaboração de leis regentes dos fenômenos naturais e propriedades específicas da matéria em diferentes escalas de complexidade, tem como princípio básico a submissão de suas hipóteses ao método científico, onde estas são extensamente testadas com variados experimentos. Uma nova teoria só é validada após múltiplas confirmações experimentais que a suportem, havendo também casos em que os resultados experimentais precedem a sua explicação teórica. Física é uma ciência experimental, sendo possível supor, portanto, que seu ensino englobe como parte fundamental esse aspecto.

Na realidade, entretanto, constata-se uma predominância de aulas teóricas em detrimento de atividades práticas relacionadas ao conteúdo. Ocorre, segundo Galiazzi et. al. (2001), preferência pelo ensino teórico tradicional devido a uma dificuldade dos professores em ensinar de outras maneiras além daquelas por eles vividas nos cursos de formação de professores. Os docentes responsáveis valem-se de sua formação e experiência em áreas específicas nas suas práticas pedagógicas, submetendo seus estudantes ao conteúdo em sua forma mais abstrata e complexa na forma de aulas teóricas expositivas. Há assim uma tendência de se repetir o mesmo no ensino básico, onde a preocupação com a finalização do currículo supera o aprendizado de seus itens.

A consequência direta disso é refletida negativamente no desempenho e interesse dos alunos pela disciplina, vistas as abundantes queixas acerca da distância entre os conceitos estudados e sua aplicação no mundo real, na excessiva necessidade de memorização e repetição de fórmulas prontas aplicadas em questões fechadas e na alta abstração necessária na compreensão de certos fenômenos (Borges, 2002). Nesse mesmo trabalho, o autor tece algumas críticas não apenas a falta de atividades laboratoriais nas disciplinas de ciências, como também às atividades tradicionalmente produzidas até então, por fazerem uso de montagens altamente complexas e sem relação clara com seus conceitos teóricos ou com objetivos pedagógicos mal definidos, além das simples demonstrações ocasionalmente conduzidas pelos professores, que não tem real envolvimento dos estudantes e pouco acrescentam em sua aprendizagem:

Curiosamente, várias das escolas dispõem de alguns equipamentos e laboratórios que, no entanto, por várias razões, nunca são utilizados, dentre às quais cabe mencionar o fato de não existirem atividades já preparadas para o uso do professor; falta de recursos para compra de componentes e materiais de reposição; falta de tempo do professor para

planejar a realização de atividades como parte do seu programa de ensino; laboratório fechado e sem manutenção. São basicamente as mesmas razões pelas quais os professores raramente utilizam os computadores colocados nas escolas. Muitos professores até se dispõem a enfrentar isso, improvisando aulas práticas e demonstrações com materiais caseiros, mas acabam se cansando dessa tarefa inglória, especialmente em vista dos poucos resultados que alcançam. (BORGES, 2002, p. 294).

Sendo assim, o objetivo didático do laboratório tem que estar claro para aqueles envolvidos. Este pode estar relacionado com a comprovação de leis e teorias científicas, o próprio método científico, facilitar a aprendizagem de conceitos e melhorar habilidades práticas. Cada um desses objetivos destacados deve ter seu próprio método de trabalho e atividades paralelas específicas, cabendo ao professor conduzir a prática e determinar os resultados esperados para cada uma previamente (OLIVEIRA, 2010).

Com relação a condução das atividades, o laboratório de ciências tradicional costuma ser uma prática guiada pelo professor através de um roteiro como uma “receita de bolo”, onde os dados a serem obtidos e a forma de tratá-los é pré-definida. Esse modelo encontra defensores naqueles que possuem tempo e recursos limitados, mas é questionado por quem advoga acerca de ensino por descoberta e solução de problemas, sob o argumento do pouco protagonismo e falta de incentivo a criatividade dos alunos. Nesse sentido, Borges (2002) apresenta uma proposta alternativa ao modelo tradicional utilizando softwares computacionais e priorizando a tomada de decisões e pensamento livre dos alunos ao enfrentar o problema proposto. Segundo o próprio, essa abordagem garante melhor aprendizagem pois permite constantes revisões das conclusões encontradas inicialmente, permitindo também a troca de ideias e incentivando o trabalho em grupo. Além disso, o emprego de recursos computacionais diminui o tempo empregado em atividades não relacionadas ao experimento, como tratamento de dados e construção de gráficos, dando a oportunidade aos alunos de focar nos pontos chave da prática.

Finalmente, o autor aponta a importância de levantar as ideias prévias dos estudantes acerca do conteúdo que será trabalhado e do que são as atividades práticas, para modelar adequadamente os objetivos e métodos da prática a ser desenvolvida, para também demonstrar o que significa aplicar o método científico e a sua importância na sociedade. Ao professor recai a tarefa de realizar todo esse trabalho de acordo com seus objetivos didáticos e as possibilidades experimentais. Sobre essas, Higa e Oliveira (2012) levantam as diferentes formas de experimentação em ensino de ciências que mais se destacaram ao longo das últimas sete décadas, encontrando uma tendência com o passar do tempo de aumento nas pesquisas

relacionadas a atividades práticas baseadas em modelos construtivistas, em detrimento dos modelos tradicionais de transmissão-recepção, embora este último ainda seja largamente presente. Julgando a experimentação como parte integrante do processo de ensino científico e tendo como positivos os impactos nos estudantes, a proposta desse trabalho constitui-se num modelo mais tradicional visando alcançar professores que tiveram pouco contato com a experimentação ao longo de sua formação. A seguir, serão analisados os pressupostos epistemológicos e pedagógicos que norteiam as pesquisas sobre ensino nessa área.

Os artigos consultados em seu trabalho podem ser divididos basicamente em duas abordagens de acordo com os objetivos educacionais de cada um: aprendizagem e interação. No primeiro, as atividades práticas complementam os conteúdos teóricos trabalhados em sala, permitindo principalmente àqueles com dificuldades de aprendizagem buscar uma forma diferente de compreender certo saber. Além disso, servem também para discutir o papel e acurácia dos resultados experimentais, bem como as condições necessárias para atingi-las. Isso permite uma simulação de um trabalho científico real, respeitando-se, claro, suas particularidades (HIGA, OLIVEIRA, 2012).

Já no caso dos trabalhos cujo objetivo é a interação, a obtenção dos resultados “corretos” fica em segundo plano, enquanto o foco é a relação que os alunos terão com o objeto de estudo, e como esse pode potencializar o desenvolvimento cognitivo dos estudantes. Não obstante, promove também interações sociais importantes, uma vez que a grande maioria das propostas promove trabalhos em grupos, além de permitir a abordagem multidisciplinar na resolução das tarefas propostas (MOREIRA, 2011).

Verifica-se a vasta predominância de trabalhos que indicam o desenvolvimento da experimentação como promotor da compreensão do método científico, levando a uma tentativa de aprendizagem da construção do conhecimento específico da ciência na escola (OLIVEIRA, 2010). Isso se deve ao fato de, em muitos casos, haver certa romantização das tarefas e descobertas dos cientistas como sendo algo muito mais empírico e exclusivo a poucos indivíduos do que na realidade (HIGA, OLIVEIRA, 2012). Vale notar, entretanto, que a pesquisa se concentra em propostas de ensino, na sua maioria investigativas, que não necessariamente foram implementadas em escolas e não possuem resultados publicados com relação a melhora na compreensão e construção de conhecimento por parte dos alunos. Há necessidade, portanto, de se levantar as pesquisas de fato conduzidas pelos professores em sala e quais seus resultados.

Nesse sentido, Hart (2000) faz um relato sobre uma proposta de atividade experimental na disciplina de Química com foco na percepção dos estudantes: se encaram como mais um

critério de avaliação e parte da disciplina, ou algo mais profundo, envolvido com o próprio significado de ciência. Além disso, deseja examinar exatamente quais aspectos educacionais são potencializados pelas práticas, e como a percepção dos estudantes altera seu aprendizado. Em seu relato os alunos, apesar de supervisão adequada, ficaram pessoalmente ofendidos com as correções feitas em seus relatórios pela professora após uma das experiências, apesar desta ser uma prática comum no mundo científico. Isso mostra que falta maturidade aos estudantes do ensino básico de um modo geral, além de exibir a falta de conhecimento acerca do que significa ter um trabalho adequadamente corrigido. Em seguida, os alunos foram encorajados a pegarem os relatórios dos demais e tentaram replicar os experimentos, objetivando os mesmos resultados, emulando um trabalho científico real. Após isso, entrevistas foram feitas para determinar o grau de satisfação com a metodologia aplicada, juntamente com observações formais e informais dos autores. Embora alguns grupos conseguissem interpretar as suas aulas enquanto parte do método científico e do trabalho de um cientista, outros entenderam os experimentos como uma maneira de visualização de reações estudadas em aula de forma teórica, de forma que as práticas propostas serviram mais como complementação.

Conclui-se então a necessidade da explanação plena dos propósitos específicos pedagógicos das práticas anteriormente à sua condução. Hofstein e Luneta (2001) discutem também o papel da experimentação no ensino negando possibilidade de o estudante aprender ciência através simplesmente da atividade prática, pois esta parece ser uma noção ingênua dada a quantidade mínima de interação usualmente dispensada na execução e na posterior análise dos resultados, sem muitos espaços para alterações, discussões e verificações posteriores. Apesar de destacarem diversos trabalhos argumentando sobre o engajamento positivo dos estudantes nas atividades e nas potencialidades que isso traz para o ensino teórico, essa é uma noção de difícil mensuração objetiva, principalmente quando se leva em conta o aprendizado significativamente impactado pelas atividades práticas em relação a uma turma que não as teve.

Entretanto, numa perspectiva de ensino construtivista, as atividades práticas têm caráter central no processo de aprendizagem dos estudantes, pois possibilitam diversos de seus mecanismos estruturadores. Espera-se, por exemplo, que o planejamento da disciplina leve em conta a gradativa compreensão dos alunos sobre determinado assunto, que pode ser testado em última análise através de um experimento. Além disso, há um forte componente social nessa atividade, uma vez que é usualmente conduzida em grupo e permite discussões entre os seus integrantes (BAPTISTA, 2010). Isso permite colaboração mútua e facilita o aprendizado igual entre todos, independente de seus níveis cognitivos individuais (HOFSTEIN, LUNETTA, 2001).

A Associação Americana de Professores de Física (1998) lista objetivos semelhantes para laboratórios introdutórios, enaltecendo os aspectos motivacionais, de análise e manipulação dos roteiros, componentes e variáveis, de compreensão dos fenômenos físicos envolvidos e do trabalho em grupo necessária à execução das tarefas propostas. Com relação aos formatos possivelmente aplicados às práticas experimentais, Oliveira (2010) demonstra basicamente três formas de condução: demonstração, verificação e investigação. Na primeira, o professor conduz a prática e explica os resultados, focando nos aspectos e conceitos importantes da matéria naquele momento, deixando aos alunos o papel de espectador. Na segunda, os alunos realizam a atividade com a finalidade de testar algo já estabelecido, buscando atingir certo resultado esperado. Ao professor, cabe monitorar e eventualmente auxiliar durante a prática. Na terceira, os alunos são desafiados a solucionar um problema sem roteiros pré-montados, propiciando-os abordar o assunto de diferentes formas e em variados contextos. Isso permite uma maior imersão e protagonismo dos estudantes, ao passo que o professor é mero organizador, intervindo apenas se necessário.

Tamir (1991) faz separação similar, mas baseado em níveis de investigação durante o processo de ensino-aprendizagem (nível 0 equivale a uma demonstração ou experimento de roteiro completamente fechado, com o nível 3 havendo abertura total de problemas, soluções e conclusões) por parte dos alunos, equivalendo também como o nível de controle na condução das atividades pelo professor. Hodson (1994) elenca os principais motivos que levam os professores a executarem atividades laboratoriais em aula, argumentando que essas práticas podem conduzir a uma maior aprendizagem conceitual dos temas trabalhados e das relações entre as entidades e grandezas envolvidas, além de uma melhora nas habilidades investigativas. Azevedo (2004) faz grande defesa de atividades investigativas e laboratórios abertos, priorizando muito mais a evolução das atividades e participação ativa dos estudantes em sua condução do que os resultados obtidos. De toda forma, as práticas experimentais podem não apenas auxiliar na aprendizagem conceitual da matéria, como revelar possíveis erros que de outra forma passariam despercebidos. Para o professor, é interessante não apenas conhecer os erros dos alunos, mas descobrir qual a sua origem para que sejam devidamente superados. Não obstante, também aprimoram habilidades manipulativas e fornecem espaço para discussão sobre o papel da ciência no mundo contemporâneo.

Toda a discussão acima apresenta boa justificativa para a utilização de práticas experimentais no ensino. Considerando as dificuldades colocadas na seção anterior e as possibilidades existentes no mundo atual, a criação de experimentos com objetivos claros, execução fácil e rápida, cuja aquisição e manipulação dos dados sejam feitas prioritariamente

pelos estudantes em grupos e possibilitem comparações entre seus respectivos resultados são muito apelativas. Dentre as opções, uma possibilidade de cumprir com os requisitos listados acima e que pode ser desenvolvida nas escolas é lançar mão do uso do smartphone, cujas capacidades pedagógicas e instrumentais para o ensino de física serão analisadas no capítulo a seguir.

Capítulo 3

SMARTPHONES NO ENSINO DE FÍSICA

- *“Professores não serão substituídos pela tecnologia, mas o professor que não usar a tecnologia fracassará como educador na Era do Conhecimento” (Montanari, 2010).*

3.1 EXPLORAÇÃO DE POSSIBILIDADES

Apesar da pesquisa envolvendo experimentação no ensino de física ser antiga e extensa, o advento do smartphone, juntamente com sua popularização, permitiu uma nova gama de possibilidades numa área antes reservada a apenas a locais com laboratórios bem equipados. Na literatura é possível encontrar diversos trabalhos cuja proposta baseia-se na aquisição de dados através de aplicativos para smartphones gratuitos e de livre acesso, com variados graus de utilização de equipamentos ou recursos de análise auxiliares aplicados.

Souza e colaboradores (2019) propõe a utilização de um software de análise de vídeo para a verificação da Lei de Faraday ao analisar o movimento de diferentes placas sob a ação de um campo magnético variável filmados com um smartphone. Neste caso os autores necessitaram transferir o arquivo de vídeo para um computador a fim de empregar o software analítico, bem como outro programa de planilhas e criação de gráficos. Fernandes (2016) propõe uma montagem para estudo do Efeito Doppler que utiliza dois smartphones movendo-se relativos um ao outro sobre skates (um emitindo som de certa frequência e o outro captando), também necessitando a exportação dos dados para um computador com um software de planilhas. Seus resultados demonstraram alteração das frequências captadas dependendo do movimento relativo entre os aparelhos de acordo com a teoria.

Similarmente, Vieira e colaboradores (2014) conseguiram determinar o decréscimo de intensidade na luminosidade de uma fonte pontual com o quadrado da distância até ela ao captar os dados do luxímetro do aparelho. Castro et. al. (2014) utilizou uma montagem para estudo de movimentos circulares uniformes e uniformemente variados ao adquirir os dados do acelerômetro de um smartphone quando posto em movimento, validando seus resultados com uma análise de vídeo do aparato em funcionamento. Santos (2019) também lançou mão dos dados obtidos através do acelerômetro de um smartphone colocado em movimento harmônico simples para estudo da Lei de Hooke em nível básico, tratando-os no computador para verificação. Freitas e colaboradores (2017) conseguiram determinar o coeficiente de atrito cinético entre duas superfícies ao gravar os dados do acelerômetro de um smartphone que deslizava até parar apoiado sobre um bloco de material conhecido que deslizava sobre uma superfície.

Estes trabalhos evidenciam algumas das possibilidades acessíveis pelos recursos dos dispositivos móveis, bem como ilustram a eventual necessidade de emprego de alguns programas computacionais auxiliares de análise em certos casos. Fica claro que os celulares têm foco específico na aquisição dos dados para posterior exportação, não em seu tratamento, dada a maior facilidade de um computador conseguir agregá-los e manipulá-los em diferentes maneiras. Considerando-se as potencialidades pedagógicas do desenvolvimento desse tipo de experimentação em sala de aula e quais impactos isso traz na aprendizagem dos estudantes acerca dos conceitos envolvidos em cada proposta, há um consenso do aumento da motivação dos estudantes e melhor compreensão dos conceitos físicos envolvidos quando comparados com aulas tradicionais. É interessante para o professor, quando pensar planejar sua aula nesses moldes, que conheça o funcionamento dos sensores envolvidos para aproveitar ao máximo seus recursos e abordar com os alunos interessados os princípios físicos envolvidos. Na próxima seção serão então explorados quais os mecanismos e conceitos utilizados na construção dos sensores utilizados nesse trabalho.

3.2 SENSORES UTILIZADOS

3.2.1 Acelerômetro

O acelerômetro é um sensor que mede a aceleração a que qual o aparelho é submetido em três eixos perpendiculares (x, y, z) individualmente. O princípio de funcionamento desse sensor baseia-se no chamado Efeito Hall. Sensores desse tipo possuem placas condutoras planas em cada eixo a ser medido, por onde flui corrente elétrica. Ao sentir os efeitos da aceleração em uma direção específica, uma dessas placas movimenta-se em relação à outra que permanece fixa, alterando a distância de separação entre elas (essa placa contém o que é chamado de *massa sísmica*). O resultado é uma diferença de potencial entre os lados da placa medida pelo sensor, cujo valor e direção dependem da diferença da distância entre as placas em relação a seu ponto de equilíbrio.

Supondo que as placas do capacitor estejam carregadas com uma carga elétrica q , podemos calcular o campo elétrico \vec{E} associado entre as placas pela lei de Gauss, de onde também pode-se determinar o valor da diferença de potencial V entre elas. Seja a lei de Gauss para esse capacitor:

$$\varepsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = q, \quad (3.1)$$

onde ε_0 é a permissividade elétrica do meio em que o capacitor está inserido (tido aqui como vácuo). A carga q está envolvida pela superfície gaussiana e $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A}$ é o fluxo elétrico que atravessa tal superfície de modo que os vetores \vec{E} e \vec{A} são paralelos. Sendo este o caso, podemos calcular a carga dentro da superfície como sendo:

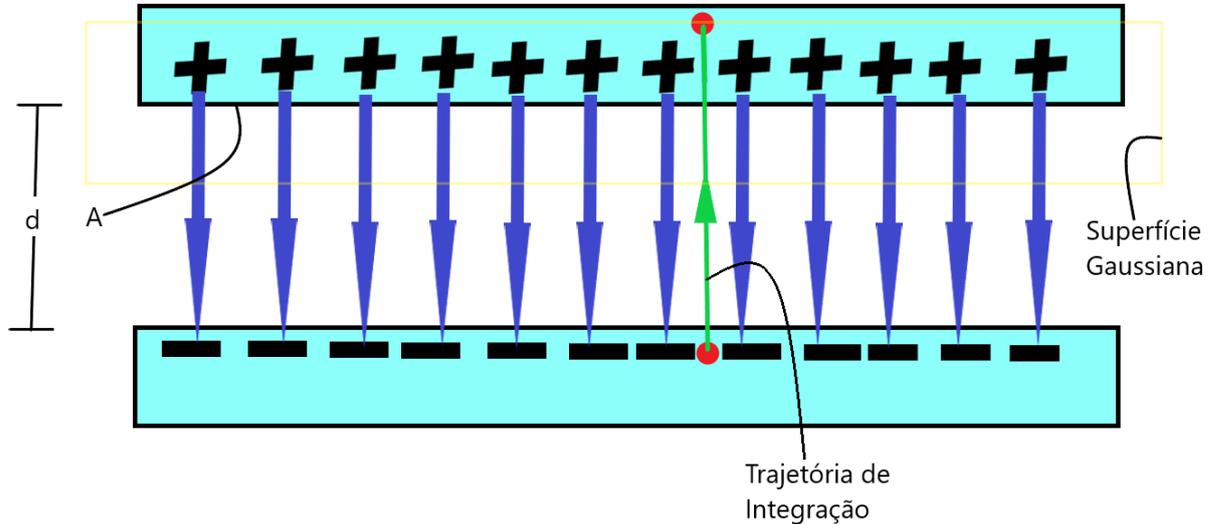
$$q = \varepsilon_0 EA, \quad (3.2)$$

em que A é a área da superfície gaussiana através da qual atravessa o fluxo. A diferença de potencial se relaciona com o campo elétrico através da equação:

$$V_f - V_i = - \int_i^f \vec{E} \cdot d\vec{s}, \quad (3.3)$$

a integral acima deve ser tomada em uma trajetória que inicia em uma das placas e termina na outra. Se uma linha de campo elétrico for usada como referência, e adotarmos o sentido da placa negativa para a positiva, \vec{E} e \vec{s} tem sentidos opostos e, portanto, seu produto é $-E ds$, tornando o lado direito da equação (3.3) positivo. A Figura 3.1 ilustra essa situação:

Figura 3.1: Superfície gaussiana envolvendo a placa positiva de um capacitor carregado. A trajetória de integração é da placa negativa para a positiva.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sendo a diferença de potencial do lado esquerdo V temos:

$$V = \int_{-}^{+} E ds, \quad (3.4)$$

os sinais da integração indicam que a trajetória vai da placa negativa para a positiva. No caso específico de capacitores de placas paralelas tão extensas que possamos desprezar os efeitos de borda o valor de \vec{E} pode ser tratado como constante na região entre as placas. Com a distância entre as placas sendo d (3.4) se torna:

$$V = \int_{-}^{+} E ds = E \int_0^d ds = Ed, \quad (3.5)$$

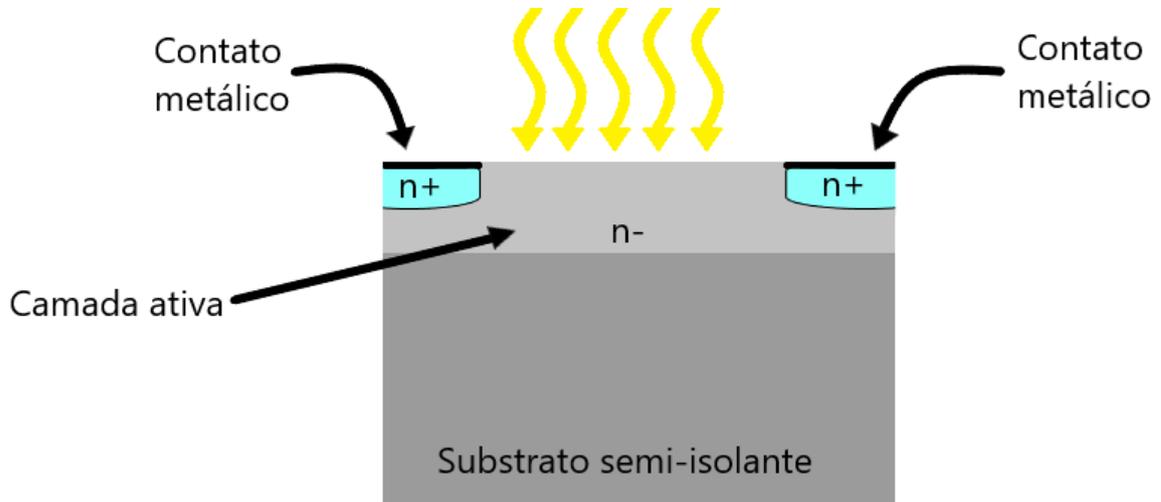
o valor de V da equação (3.5) pode ser chamado de *diferença de potencial de Hall*. Ligando-se um voltímetro nas placas verificaríamos que o potencial elétrico é maior na placa carregada positivamente, como era de se esperar.

Na equação (3.5) verifica-se a dependência da distância entre as placas para a diferença de potencial medida. Ao sentir os efeitos da aceleração em certa direção, a massa sísmica altera sua distância entre a placa fixa do capacitor, mudando o potencial entre elas. Essa mudança é convertida então num valor de aceleração proporcional.

3.2.2 Luxímetro

O luxímetro comumente utilizado em aparelhos celulares é um fotorresistor, composto por um semicondutor que permite passagem de corrente apenas quando os fótons de luz que o atingem tem uma precisa faixa de frequências, limitada ao espectro visível por filtros que impedem a passagem de luz infravermelha e ultravioleta. À medida que os fótons aumentam ou diminuem, assim o faz a corrente do semicondutor, sendo então interpretada como um aumento na iluminância.

A corrente elétrica em certo material deriva do movimento ordenado de seus elétrons. Condutores e isolantes se diferenciam basicamente pela quantidade de elétrons livres capazes de se movimentar quando estabelecido uma diferença de potencial, grandeza conhecida como resistência elétrica. Um fotorresistor é composto por um semicondutor de alta resistência, ou seja, com poucos elétrons livres, estando a maioria presos na rede cristalina do semicondutor. Conforme fótons de luz atingem o material, seus elétrons absorvem esses fótons e ganham sua energia, podendo ser capazes de se livrarem da rede e torná-lo condutor, diminuindo sua resistência elétrica. Esse processo é cumulativo, fazendo com que quanto mais luz incida sobre o semicondutor, menor fique sua resistência elétrica e maior a corrente conduzida por ele. A Figura 3.2 ilustra um fotorresistor, com os contatos metálicos positivamente carregados. À medida que a luz incide sobre a camada semicondutora ativa, elétrons ganham energia e podem se mover para os contatos, estabelecendo uma corrente elétrica. Como o número de elétrons liberados depende da intensidade da luz, o aumento da corrente elétrica pode ser traduzido como um aumento da iluminação.

Figura 3.2: Estrutura do fotorresistor.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.3 Magnetômetro

O efeito Hall descrito anteriormente deriva do desvio dos portadores de carga em movimento pela ação de um campo magnético. No caso de uma folha metálica condutora, por exemplo, quando aplicada nela uma corrente elétrica de modo a imbuir os portadores de carga com uma velocidade de deriva ϑ enquanto submetidos a uma indução magnética B , surge uma força eletromotriz que pressiona os portadores para um dos lados da folha. Essa grandeza, chamada campo elétrico de Hall (E_H), é proporcional à velocidade de deriva e à indução magnética, de forma que:

$$E_H \sim [\vartheta \times B], \quad (3.6)$$

sendo a velocidade de deriva descrita por:

$$\vartheta = \mu E_e, \quad (3.7)$$

onde μ é a mobilidade dos elétrons no condutor. Substituindo a equação (3.7) em (3.6) o campo elétrico de Hall é proporcional a:

$$E_H \sim \mu [E_e \times B], \quad (3.8)$$

e no capacitor de placas paralelas discutido em 3.2.1 for aplicado um campo magnético externo B , a equação (3.5) pode ser utilizada para calcular a voltagem de Hall criada no capacitor pela ação do campo magnético:

$$V_H = \int_0^d E_H ds. \quad (3.9)$$

Substituindo (3.8) em (3.9) verificamos que o potencial elétrico de Hall é proporcional à intensidade do campo magnético induzido no capacitor:

$$V_H \sim \int_0^d \mu [E_e \times B] ds. \quad (3.10)$$

Dessa forma, podemos concluir que quanto maior a diferença de potencial entre as placas do capacitor, maior o campo magnético aplicado perpendicularmente ao campo elétrico, sendo assim medido o campo magnético externo aplicado no sensor.

3.2.4 Decibelímetro

O microfone capacitivo dos celulares é composto por uma membrana condutora que se flexiona quando uma onda sonora a atinge, e uma placa condutora posicionada atrás da membrana. Quando a membrana flexiona ao som que nela chega, a diferença de potencial entre a membrana e a placa se altera, e essa diferença é então interpretada como uma detecção sonora.

Supondo que as placas do capacitor estejam carregadas com uma carga elétrica q , podemos calcular o campo elétrico \vec{E} associado entre as placas pela lei de Gauss, de onde também pode-se determinar o valor da diferença de potencial V entre elas.

Para um capacitor, a carga q e a diferença de potencial V são proporcionais e se relacionam por:

$$q = CV. \quad (3.11)$$

Na equação (3.11), C é uma constante de proporcionalidade que só depende da geometria das placas, chamada capacitância. Assim, substituindo o valor de q dado por (3.2) e o valor de V dado por (3.5) na equação (3.11) obtemos:

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}. \quad (3.12)$$

Dessa forma, podemos verificar que a capacitância do capacitor varia inversamente com a distância entre as placas. No caso do microfone capacitivo, essa variação é causada pela pressão das ondas sonoras atingindo a membrana e fazendo-a vibrar em ressonância. A amplitude de vibração da membrana em ressonância, com conseqüente alteração na sua distância para o capacitor, é diretamente proporcional a intensidade do som que a atinge. Essa intensidade, por sua vez, está relacionada com a energia carregada pela onda sonora: sons fortes carregam mais energia e são mais intensos do que sons fracos, que carregam menos energia e são menos intensos.

Matematicamente, a intensidade I de uma onda sonora é descrita como:

$$I = \frac{\Delta E}{A\Delta t}. \quad (3.13)$$

Na equação (3.13), ΔE é a variação de energia que atinge uma superfície A durante um intervalo de tempo Δt . Fica claro que a intensidade da onda é sua potência média por unidade de área, sendo calculada em W/m^2 . Para uma medida da intensidade sonora em decibéis, é necessária a utilização da equação:

$$I_{DB} = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}. \quad (3.14)$$

Em (3.14) I é a intensidade sonora medida e I_0 é um valor de referência, categorizado como o limite da audição, valendo $1 \times 10^{-12} W/m^2$. Os decibelímetros medem então variações na pressão sonora, exibindo os valores em decibéis (dB). A Tabela 3.1 mostra algumas fontes sonoras e os possíveis impactos que a exposição de um indivíduo a elas pode causar na audição (KILHIAN, 2011).

Tabela 3.1: Níveis de intensidade sonora.

Níveis de ruído em decibéis					
Conforto acústico	Muito baixo	0 dB		Limiar do som	
		5 dB	Passarinho cantando		
		10 dB	Cochicho		
		15 dB	Torneira pingando		
		20 dB	Conversa normal		
	Baixo	25 dB			
		30 dB	Biblioteca	Limite para o sono	
		35 dB	Enfermaria		
	Moderado	40 dB			
		45 dB			
		50 dB	Aspirador de pó ligado		
	Moderado	55 dB	Bebê chorando	Irritação	
	Moderado alto	60 dB		Irritação aumenta consideravelmente	
Riscos de danos à saúde	Moderado alto	65 dB	Cachorro latindo		
		70 dB			
		75 dB	Sala de aula		
		80 dB	Piano		
	Alto	85 dB	Telefone tocando	Tolerâncias de exposição	8h
		90 dB	Secador de cabelos		4h
		95 dB	Motocicleta		2h
		100 dB	Cortador de grama		1h
	Muito alto	105 dB	Caminhão		30 min
		110 dB	Pátio no intervalo das aulas		15 min
		115 dB	Banda tocando		7 min
		120 dB	Disparo de revólver		
		125 dB	Auto-falante		
		130 dB	Britadeira ligada		
135 dB		Avião decolando			
140 dB					

Fonte: Adaptado de: <https://www.obaricentrodamente.com/2011/11/logaritmos-os-sons-e-audicao-humana.html>. Acesso em julho/2020.

Capítulo 4

DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA E APLICAÇÃO DO PRODUTO

4.1 SOBRE O PRODUTO

O *Manual de Experimentos de Física Utilizando o Smartphone* é composto de quatro roteiros experimentais para realização em grupos, de baixo custo e pouco investimento de tempo, que podem ser seguidos mesmo em escolas sem laboratório de ciências, utilizando como principal instrumento de coleta de dados o smartphone de um ou mais integrantes de cada grupo a partir de um aplicativo intuitivo e gratuito.

Enquanto professores, sabemos de todas as dificuldades que se apresentam durante os processos de ensino e seu impacto na aprendizagem dos estudantes. O material aqui proposto é também um esforço para que atividades diferenciadas possam ser implementadas e apresentem resultados significativos na construção de conhecimento acerca dos assuntos abordados, independentemente da realidade escolar específica de quem o aplica. Por isso, os roteiros são simples de serem seguidos e devem ser encarados como uma sugestão de procedimento, podendo se adaptar a diferentes casos dependendo das condições de trabalho, tempo, recursos etc.

As propostas deste Manual estão relacionadas especificamente com os assuntos Mecânica, Acústica e Eletromagnetismo. Embora não exista aqui a pretensão de ensinar as teorias em que os baseiam, deseja-se que a condução dos experimentos pelos alunos e a

utilização de uma tecnologia familiar a eles fortaleça os conceitos principais envolvidos em cada um dos assuntos, trazendo também maior significado e atrativos à sua aprendizagem. Os roteiros experimentais contidos nesse manual têm como uma de suas bases a aquisição de dados através de um aplicativo de celular. Note que os dados dos sensores aqui listados, além de outros que não estão detalhados nas propostas, podem ser obtidos através dos mais variados aplicativos disponíveis para baixar, gratuitamente ou não, nas lojas virtuais dos respectivos fabricantes. É importante, portanto, que o professor que irá propor a realização dos roteiros seja familiar com o aplicativo e seus recursos, além do conteúdo da matéria em questão.

O aplicativo indicado é o *Physics Toolbox Sensor Suite*, produzido pela Vieyra Software e disponível gratuitamente nas principais lojas virtuais dos fabricantes de celulares (há também uma versão paga, indicada para o professor que quiser explorar outras possibilidades por conter alguns recursos extras mais específicos). Em sua página na Play Store, estão listados os seguintes sensores (há variação entre os sistemas operacionais Android e iOS, havendo necessidade eventual no caso do último de se baixar separadamente alguns dos sensores listados abaixo:

- (1) Medidor de Força-G - proporção de F_n / F_g (X, Y, Z e / ou total)
- (2) Acelerômetro linear - aceleração (x, y e / ou z)
- (3) Giroscópio - velocidade radial (x, y e / ou z)
- (4) Barômetro - pressão atmosférica
- (5) Montanha Russa – medidor de Força-G, acelerômetro linear, giroscópio, e Barômetro
- (6) Higrômetro - umidade relativa
- (7) Termômetro - temperatura
- (8) Proxímetro - movimento periódico e temporizador (modos de temporização e pêndulo)
- (9) Régua - distância entre dois pontos
- (10) Magnetômetro - intensidade do campo magnético (X, Y, Z e / ou total)
- (11) Compasso - direção e campo magnético nível de bolha
- (12) GPS - latitude, longitude, altitude, velocidade, direção, número de satélites
- (13) Inclinômetro - azimute, rolo, pitch
- (14) Medidor de Luz - a intensidade da luz
- (15) Detector de cor - detecta cores HEX dentro de uma pequena área de retângulo na tela através da câmera.
- (16) Medidor de som - intensidade do som
- (17) Detector de tom- frequência e tom musical
- (18) Osciloscópio - forma de onda e amplitude relativa

(19) Analisador de espectro - FFT gráfica

(20) Espectrograma - cachoeira FFT

Perceba que nem todos os aparelhos têm os medidores necessários para o funcionamento dos sensores no aplicativo, isso é, se o aparelho não tiver um barômetro embutido em seu hardware, por exemplo, o aplicativo não apresentará nenhum dado referente a esse sensor e retornará na tela uma mensagem de erro.

Além disso, é possível também usar os recursos presentes para criar alguns tipos de sinais. Na página do aplicativo, estão listados os seguintes geradores:

(1) Gerador de Tom - produtor de frequência sonora

(2) Gerador de Cor - G B M, tela R / / / Y / C / branco e cor personalizada

(3) Estroboscópio (beta) - flash da câmera

(4) Play - desafios

(5) Gráfico de dados manual

(6) AR - visualização em realidade aumentada de vetores de campos magnéticos

(7) Temperatura do sistema - temperatura da bateria

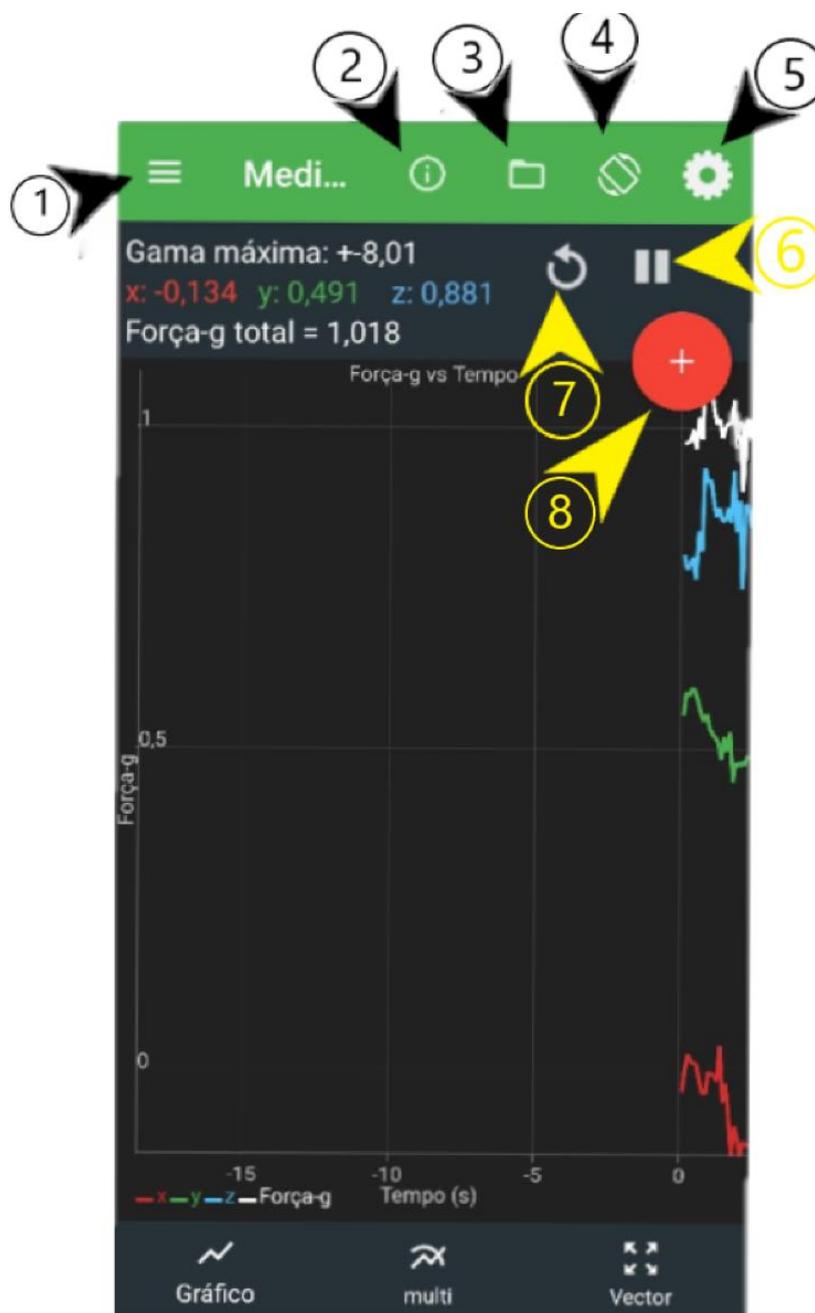
(8) Wi-Fi - Intensidade do sinal Wi-Fi

Novamente, a quantidade de geradores disponíveis dependerá da presença ou não do hardware específico necessário para seu funcionamento no smartphone. A gama de atividades possibilitada por esses recursos é altíssima, havendo diversos modos de se trabalhar um determinado conceito dependendo dos objetivos pedagógicos que se deseja alcançar. Dessa forma, recomenda-se ao professor que faça inicialmente o download do aplicativo em seu próprio smartphone e reproduza os roteiros propostos antes de apresentá-los para os estudantes, garantindo que os resultados obtidos nesses testes preliminares estão de acordo com o esperado e possibilitando eventual auxílio aos seus estudantes frente a dificuldades de preparação, medição etc. que eventualmente possam ocorrer. A seção a seguir descreve como se aproveitar de algumas funcionalidades do aplicativo em sua versão 1.9.4.6 rodando em um smartphone com sistema operacional Android versão 9.0.

4.1.1 sobre o aplicativo

Ao terminar de baixar e iniciar o aplicativo, você deverá se deparar com esta tela:

Figura 4.1: Tela inicial do aplicativo Physics Toolbox com 8 botões de interesse listados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O aplicativo inicia por padrão no “Medidor de Força-G”. Note que é possível observar linhas de diferentes cores de acordo com o eixo espacial de medição, bem como as escalas do gráfico e a gama máxima, ou seja, o máximo valor detectável com o sensor embutido. Os botões listados na Figura 4.1 se referem a algumas funcionalidades que irão ser utilizadas na condução

das propostas do Manual e não alteram sua posição ou objetivo independentemente da medição conduzida, sendo eles:

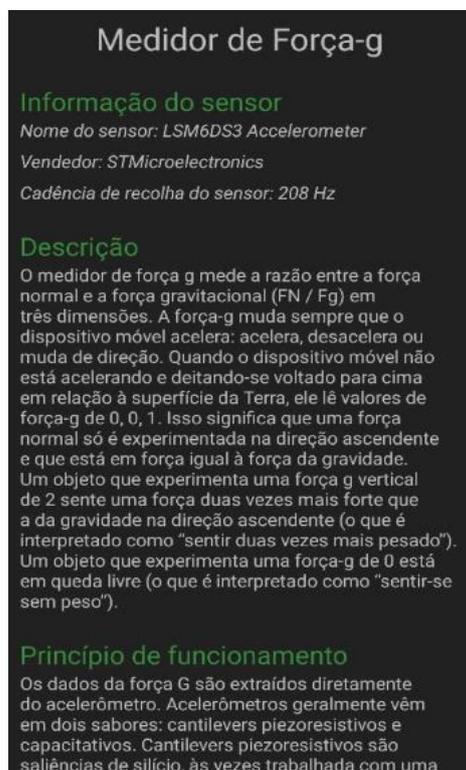
1. Menu de sensores e geradores: Neste botão mostrado na Figura 4.2 é possível escolher entre os diferentes sensores e geradores listados.

Figura 4.2: Menu flutuante de sensores e geradores.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2. Informações acerca do sensor utilizado, como o fabricante e a taxa de coleta de dados (Figura 4.3). Também contém uma breve descrição e os princípios básicos de funcionamento específico do sensor, além de alguns links externos para mais informações.

Figura 4.3: Detalhes sobre o sensor escolhido.

Medidor de Força-g

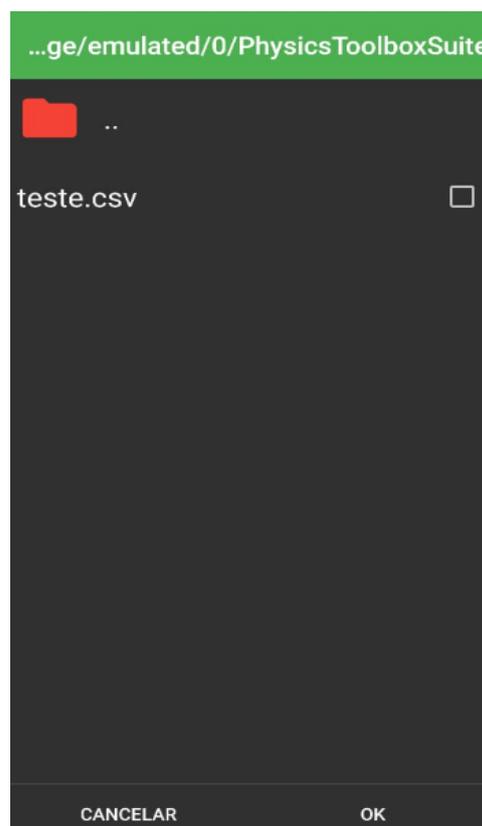
Informação do sensor
Nome do sensor: LSM6DS3 Accelerometer
Vendedor: STMicroelectronics
Cadência de recolha do sensor: 208 Hz

Descrição
O medidor de força g mede a razão entre a força normal e a força gravitacional (F_N / F_g) em três dimensões. A força-g muda sempre que o dispositivo móvel acelera: acelera, desacelera ou muda de direção. Quando o dispositivo móvel não está acelerando e deitando-se voltado para cima em relação à superfície da Terra, ele lê valores de força-g de 0, 0, 1. Isso significa que uma força normal só é experimentada na direção ascendente e que está em força igual à força da gravidade. Um objeto que experimenta uma força g vertical de 2 sente uma força duas vezes mais forte que a da gravidade na direção ascendente (o que é interpretado como "sentir duas vezes mais pesado"). Um objeto que experimenta uma força-g de 0 está em queda livre (o que é interpretado como "sentir-se sem peso").

Princípio de funcionamento
Os dados da força G são extraídos diretamente do acelerômetro. Acelerômetros geralmente vêm em dois sabores: cantilevers piezoresistivos e capacitativos. Cantilevers piezoresistivos são saliências de silício, às vezes trabalhada com uma

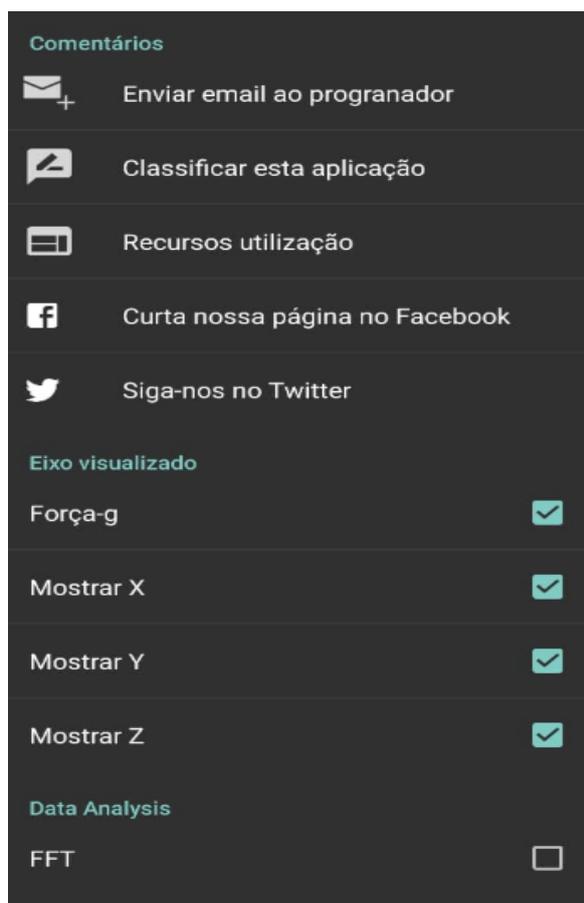
Fonte: Elaborado pelo autor.

3. Pasta contendo os arquivos salvos em medições anteriores (Figura 4.4).

Figura 4.4: Pasta contendo os arquivos gerados pelo aplicativo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4. Rotação da tela.
5. Configurações de medição e das informações na tela, onde você pode alterar a taxa de medição, forma de apresentação dos dados etc. (Figura 4.5).

Figura 4.5: Configurações de visualização dos dados do aplicativo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

6. Pausa a medição dos dados / reinicia a partir do instante pausado.
7. Reinicia a medição dos dados no tempo zero.
8. Inicia a gravação dos dados medidos em um arquivo de texto no formato *comma separated values* (csv, ou valores separados por vírgula). Quando estiver satisfeito, deve-se apertar o botão novamente para o salvamento do arquivo gerado no smartphone ou exportação em outros locais.

Apesar das medições em cada proposta do Manual utilizarem sensores diferentes, os oito botões listados acima, juntamente com suas descrições, são comuns a todos. Ressalta-se novamente a importância da familiaridade do docente com esses recursos para eventuais resoluções de dúvidas pontuais dos alunos. Apesar de intimamente relacionados com a tecnologia dos smartphones, sua provável falta de experiência com atividades práticas e

conhecimentos específicos de termos e conceitos necessários não deve ser subestimada no momento da execução da proposta. Além disso, abre-se a oportunidade de discutir questões que não necessariamente estão contempladas nos roteiros, mas estão intrinsecamente ligadas a experimentação, como a influência da taxa de cadência de recolha de dados, erros de medida, a precisão e valores máximos e mínimos possíveis em cada medida, a importância de se orientar o celular em uma direção específica etc.

4.1.2 Sobre o Manual

O *Manual de experimentos utilizando o smartphone como instrumento de medida* contém quatro roteiros experimentais com diferentes propostas metodológicas e sensores, englobando três assuntos da Física básica:

- Roteiro (1) - Decibelímetro: Acústica, contido no Apêndice B
- Roteiro (2) - Acelerômetro: Mecânica, contido no Apêndice C
- Roteiro (3) - Luxímetro: Mecânica, contido no Apêndice E
- Roteiro (4) Magnetômetro: Eletromagnetismo, contido no Apêndice D

Todos os roteiros têm tempo estimado de 2 aulas de 50 minutos cada e sugestão que sejam feitos por grupos em torno de 5 alunos. A interação entre os integrantes do grupo é de extrema importância e deve ser sempre estimulada, assim como a comparação entre os resultados dos grupos. A criação de um relatório com suas respectivas seções ou avaliações/pontuação acerca do desenvolvimento das propostas não estão contempladas, mas sem dúvida podem ser sugeridas pelo professor. A estruturação geral de cada roteiro é a seguinte:

- **Objetivos:** Apresenta o que se pretende obter com o experimento em questão. Deve-se sempre deixar claro aos alunos o que determinado experimento deseja alcançar, tanto em termos de resultados como objetivos educacionais.
- **Introdução:** Contém detalhes de como cada sensor funciona, bem como alguma revisão teórica sobre o assunto do experimento. Pode ser complementado pelo professor se necessário.
- **Procedimento experimental:** Descreve os materiais necessários e passos a serem seguidos pelos alunos na montagem e condução do experimento. Pode

ser alterada de acordo com os materiais disponíveis para a realização da proposta.

- **Questões propostas para discussão:** Perguntas sobre as variáveis envolvidas e resultados obtidos que podem nortear discussões e elaboração eventual de relatórios. Também podem ser alteradas a gosto do professor.

O roteiro (1) é uma proposta investigativa pensada para ser aplicada em nível Fundamental cujo objetivo é promover e embasar uma discussão sobre poluição sonora na escola. Nesse sentido, ele pode ser utilizado como um ponto de partida para os alunos sobre o assunto acústica, estabelecendo as ideias iniciais acerca de intensidade sonora e aos danos à saúde causados pela exposição excessiva a sons fortes, para os estudantes que não conhecem sobre esse tipo de medida. Portanto, pode-se aplicá-lo como primeira tarefa do conteúdo e utilizar os resultados obtidos para contribuir com uma aula de acústica posterior enquanto mantém-se os estudantes atentos no problema da poluição sonora.

Agora, se o conteúdo já foi suficientemente coberto em aulas anteriores e se pretende complementá-lo experimentalmente, ou então se pretende aplicar este roteiro no ensino médio, a mesma proposta pode ser usada sem nenhuma alteração metodológica, porém pode ser interessante instigar os alunos a buscarem outras fontes sonoras para comparação e análise, além da requisição de um relatório da prática. Sendo o conhecimento das ideias prévias dos alunos sobre o assunto de suma importância, é aconselhável que se faça um levantamento geral com a sala acerca do tema previamente à condução do experimento, alterando-se qualquer ponto necessário de acordo com as respostas que forem obtidas, como acrescentar algum detalhe conceitual não abordado no roteiro mas essencial para a matéria.

Os roteiros (2) e (3) são propostas de verificação de leis da mecânica cujo público inicial é o Ensino Médio dado a complexidade matemática necessária envolvida. Para esses dois roteiros, recomenda-se que sejam aplicados após as aulas teóricas dos assuntos **Força de Atrito e Movimento Periódico de Pêndulos**, respectivamente. Feito dessa forma, há garantias de que os alunos já conheçam os fenômenos, podendo então testar as previsões teóricas feitas em exercícios ou durante as explicações. Enquanto o roteiro (2) propõe que os alunos calculem o coeficiente de atrito entre duas superfícies, o roteiro (3) descreve uma metodologia para obtenção da aceleração da gravidade.

Note que nesses casos existem valores tabelados considerados corretos que podem ser consultados para comparação com os obtidos experimentalmente. Desvios eventuais desses

valores podem também ser discutidos em termos da montagem utilizada, calibração dos sensores, celulares etc. É importante que as fontes de erros sejam trabalhadas para que possíveis melhorias sejam sugeridas e aplicadas.

O roteiro (4) objetiva verificar a Lei de Ampère apresentada usualmente em materiais didáticos para eletroímãs em forma de solenoide, novamente pensado para o Ensino Médio devido ao seu tema, apresentando também uma possível montagem experimental para os ditos eletroímãs usando pilhas, parafuso e fios de cobre. Caso a construção do eletroímã pelos próprios alunos não possa ser feita, recomenda-se que seja preparado um eletroímã com número de espiras conhecidas para que os alunos possam realizar suas medidas e compará-las com o restante da sala.

Finalmente, ressalta-se que tanto os roteiros quanto o aplicativo escolhido e as indicações de procedimentos estão sujeitos a alterações de quem for utilizar o Manual, não havendo necessidade de segui-lo a risca. Inclusive, espera-se que quanto maior a familiaridade com a experimentação, menos essencial é a necessidade de roteiros guiados e mais pessoal é o desenvolvimento das propostas, adaptando-se de acordo com as próprias especificidades do professor.

4.1.3 sobre a aplicação do produto

Devido a pandemia de COVID-19 e consequente alteração do sistema de aulas presenciais para aulas virtuais, a aplicação do produto, inicialmente programada para ser realizada em sala de aula com estudantes de forma presencial, teve de ser repensada. A fim de explorar possibilidades de aplicação remota durante o período de aulas virtuais, realizei alguns testes preliminares cujo objetivo era unicamente verificar quais dificuldades e eventuais problemas surgiriam ao tentar-se propor um experimento virtualmente, pois a execução das atividades propostas nos roteiros dessa dissertação foi pensada para ser realizada em grupos durante a aula e com supervisão do professor não apenas por questões didáticas, mas também para mitigar quaisquer casualidades ocorridas envolvendo incompatibilidade do software com o smartphone, dificuldades de execução e montagem durante o tempo estipulado, problemas com relação à falta de internet e/ou envio dos dados coletados via e-mail ou outra forma ao professor etc. Já que é necessário apenas um único smartphone coletando os dados, é improvável que um grupo seja formado de tal maneira que nenhum integrante possua celular

compatível, e os grupos sempre podem ser rearranjados para que essa condição seja atendida. Em último caso, o professor pode até disponibilizar seu próprio celular se achar adequado.

Graças a impossibilidade da formação de grupos durante as aulas virtuais, para realizar uma tentativa de aplicar os roteiros propostos, inicialmente fez-se necessário verificar se todos os alunos, individualmente, conseguiam rodar o aplicativo, gravar dados e enviá-los corretamente. Em seguida, uma revisão dos roteiros precisou ser feita para verificar se eles estavam compatíveis com os recursos disponíveis nas casas dos estudantes, já que não foi permitido aos professores propor atividades que requisitassem a compra de itens fora da lista de material escolar enviada no início do ano letivo. A seguir, segue uma descrição de uma adaptação feita com o roteiro do Anexo B com uma turma de nono ano com 28 alunos.

4.1.3.1 Primeira aula

Foi requisitado aos estudantes que baixassem em seus celulares o aplicativo *Physics Toolbox Sensor Suite* durante qualquer momento entre o fim da aula e o início da aula seguinte, que ocorreria após dois dias. Através da câmera utilizada para a gravação das aulas, mostrei como fazer o *download* pela loja virtual do sistema operacional *Android*, indicando que procedimento similar poderia ser feito em outros sistemas. Pedi-lhes também que testassem o aplicativo e verificassem se não ocorria qualquer falha durante sua execução. Além disso, enviei para a página de documentos da turma o roteiro contido no Anexo B, com algumas modificações referentes ao local e condições em que as medições deveriam ser realizadas, uma vez que não poderiam ser feitas na escola como lá descrito. Juntamente com o roteiro, indiquei que sua leitura fosse feita para que pudéssemos colocá-lo em prática na aula seguinte.

4.1.3.2 Segunda aula

Antes de começar os procedimentos de medição, perguntei aos alunos se todos haviam baixado o aplicativo e lido o roteiro como requisitado na aula anterior. Três estudantes disseram que haviam esquecido de baixar o aplicativo, e que o fariam naquele momento, enquanto outros dois disseram não ter lido o roteiro previamente. Disse-lhes então que fizessem as respectivas etapas naquele momento enquanto iniciava as instruções para o restante.

Apareceu então o primeiro dos problemas: dois dos estudantes mencionados acima estavam assistindo a aula pelo smartphone, e este era o que usariam para executar o experimento, sendo necessário que então saíssem da aula enquanto realizavam as preparações

e medições. Visto que o tempo de leitura não estaria disponível, solicitei apenas que baixassem o aplicativo e voltassem para a aula, onde eu passaria as instruções.

Após confirmação de que todos estavam com o aplicativo em seus equipamentos, mostrei-lhes através da câmera com meu celular como acessar um sensor específico, realizar as medições e enviar os dados por e-mail. Quando todos confirmaram terem entendido, expliquei o que deveria ser feito conforme roteiro enviado previamente: Cada estudante deveria medir a intensidade sonora em três locais diferentes durante 10 segundos em cada lugar dentro de sua residência, preferencialmente onde sons diferentes estavam sendo emitidos. Dei-lhes como exemplo: O local onde estavam assistindo a aula naquele instante, com os sons ambientes normais; a sala ou quarto que estão eventualmente com a TV ligada; a lavanderia caso a máquina de lavar estivesse funcionando; ou outro local qualquer que estivesse acessível e com uma intensidade sonora aparentemente diferente do ambiente do local onde assistiam aula naquele momento. Após 10 segundos em cada local, a medição deveria ser pausada e retomada no novo local. Ao fim de 30 segundos de medida, a medição deveria ser interrompida e o arquivo gerado enviado por e-mail, contendo no assunto ou corpo do texto a descrição dos locais onde as medições foram feitas.

Novamente, houve a necessidade de sete dos estudantes da turma saírem da aula para realizar as medições por estarem utilizando o celular para assistir a aula. Além disso, quatro dos alunos disseram que o aplicativo apresentava erro e fechava sozinho quando o sensor era selecionado. Dois desses conseguiram fazê-lo funcionar após reinstalar o software, enquanto outros dois não. Outro problema encontrado foi com relação aos celulares com sistema *iOS*, que pareciam rodar o aplicativo com layout e recursos diferentes do sistema *Android*. Nesses últimos dois casos, por não ter um desses em mãos para verificar as possibilidades, sugeri que então baixassem outro aplicativo a escolha que mostrasse a intensidade sonora na tela, e enviassem o valor médio captado em cada local no corpo do e-mail.

Houve ainda um outro caso cujo problema foi o envio do arquivo gerado pelas medições como anexo no e-mail, que aparentemente não era enviado junto ao mesmo como deveria. A solução encontrada foi pedir ao aluno que anotasse e enviasse o valor médio das medições no corpo do texto. Ao fim do tempo de aula, todos haviam enviado os dados de suas medições.

Analisando os dados enviados, foi possível encontrar muitas divergências com relação ao que foi requisitado. Alguns não fizeram as medições durante o tempo estipulado, outros não indicaram claramente onde foram feitas. Houve casos de dados incompatíveis com a medição de um decibelímetro, e alguns em que não havia distinção clara de diferenças na intensidade sonora ao longo do tempo entre os ambientes medidos.

Com isso, foi possível atingir o objetivo estipulado com este teste preliminar, uma vez que foram detectados diversos problemas e variadas dificuldades dos estudantes ao tentarem executar um experimento de maneira remota, os quais demandam soluções que por si só podem gerar outros problemas. Como alguns utilizam o celular para assistir as aulas, seria necessário que a coleta de dados fosse feita fora do horário de aula, havendo necessidade nesse caso de terem completo domínio sobre os procedimentos. Além disso, desconhecendo o contexto familiar de cada estudante, é inviável pedir que executem certas atividades alheias ao andamento normal de uma aula. Relativo ao problema de incompatibilidade do aplicativo com o aparelho, seria necessária uma análise *in loco* do professor sobre possíveis substitutos e seus recursos, para que os dados pudessem ser coletados e enviados de acordo, assim como em eventuais erros metodológicos de coleta dos dados.

Reforça-se então a ideia de que o trabalho em grupo e a supervisão direta do professor são absolutamente essenciais para a execução das propostas, como imaginada e detalhada neste trabalho. Isso não significa, porém, que trabalhos similares não possam ser elaborados com o objetivo de propor experimentos à distância. É difícil imaginar, entretanto, como adaptar o produto educacional desenvolvido nesta dissertação de forma a contemplar uma aplicação remota sem profundas alterações estruturais, tornando-o mais específico para educação a distância do que presencial.

Considerando os pontos acima, optou-se por disponibilizar o produto em sua versão inicial para que professores matriculados no MNPEF pudessem conduzir os experimentos propostos em suas respectivas casas, posteriormente enviando os resultados obtidos e suas impressões pessoais visando sua melhoria. Essa ideia surgiu como uma alternativa viável à aplicação normal do produto uma vez que ele se destina aos docentes, podendo assim ser avaliado por eles. Este produto foi disponibilizado no segundo semestre de 2020 junto a dez professores matriculados no MNPEF do Polo de Sorocaba das turmas de 2019 e 2020, dos quais seis aceitaram desenvolver as atividades. Estes professores englobam diferentes faixas etárias, tempo de atuação profissional, redes de ensino e formação inicial. Cada um deles recebeu uma versão inicial do produto educacional intitulado *Manual de Experimentos de Física Utilizando o Smartphone*, cuja descrição completa de uso está disponível no Apêndice A. Os quatro roteiros contidos nos apêndices B, C, D e E dessa dissertação, juntamente com um documento – contido no apêndice F - pedindo que descrevessem suas percepções do roteiro trabalhado, também foram enviados como parte do produto. Os professores participantes enviaram de volta os dados requisitados após um período de 15 dias. Vale notar que essas informações foram utilizadas para aperfeiçoar os roteiros inicialmente disponibilizados, por isso, os roteiros

contidos nos apêndices estão com as percepções pertinentes já incorporadas. Nas seções a seguir serão apresentados e discutidos, roteiro a roteiro, os resultados experimentais obtidos por mim (com um smartphone Xiaomi A2 e sistema operacional Android 9.0) e pelos professores participantes. Sempre que possível, os dados, resultados, comentários e apontamentos feitos pelos professores estarão apresentados na íntegra.

4.2 – NÍVEIS SONOROS (APÊNDICE B) – PROFESSORES A E B

O roteiro contido no Apêndice B tem o objetivo de promover discussões a respeito da poluição sonora no ambiente escolar, podendo servir como ponto de partida para o ensino de acústica e das características fisiológicas para o som. Para isso foi proposto que fossem realizadas medidas da intensidade sonora em cinco ambientes diferentes com o decibelímetro do celular. As medidas dos professores A e B, assim como do autor, estão descritas nas seções abaixo.

4.2.1 Resultados do Professor A

Os resultados das medições da intensidade sonora, em decibéis, feitas pelo Professor A com um smartphone da marca Samsung estão listados na Tabela 4.1. O tempo de medição em cada local variou entre 30 e 120 segundos:

Tabela 4.1: Intensidades sonoras, em decibéis, medidas em cinco locais diferentes – Professor A.

	<i>Local 1</i>	<i>Local 2</i>	<i>Local 3</i>	<i>Local 4</i>	<i>Local 5</i>
Maior Valor	73,87	50,68	70,73	57,98	85,31
Menor Valor	65,89	19,11	52,76	44,30	53,72

Fonte: Elaborado pelo autor.

- *Local 1 – Aspirador de Pó funcionando (comentário do autor A: talvez a leitura tenha sido feita com decibelímetro muito perto do aparelho)*
- *Local 2 – Casa vazia em silêncio*
- *Local 3 – Supermercado – horário de pico (12 h)*
- *Local 4 – Ventilador ligado no quarto*
- *Local 5 – Avenida central da cidade às 11 h da manhã*

Comparando-se esses valores com os níveis de referência da Tabela 3.1, é possível relacionarmos a média dos sons medidos nos Locais 1, 2, 3, 4 e 5 com os sons de uma sala de aula, enfermaria, de um bebê chorando, de um aspirador de pó e de um cachorro latindo, respectivamente. O maior valor medido dentre os locais se deu no Local 5, apresentando um pico de 85 dB, valor que oferece risco à saúde se houver exposição a ele por um período de pelo menos 8 horas. Vale notar que essa medida se deu numa avenida central, ponto de possível congestionamento, fazendo com que a exposição prolongada a sons desse nível acabe sendo inevitável. Juntamente com os resultados foram enviadas as respostas para as perguntas contidas no fim do roteiro. Sobre o que poderia ser feito para minimizar os efeitos da exposição prolongada a sons intensos, o professor A respondeu:

- “Obviamente depende do local, se for numa avenida não se tem muito o que fazer, visto que o número de veículos que trafegam pela mesma é imenso, o que causa uma intensidade sonora que é insalubre aos nossos ouvidos. Portanto, devemos evitar o máximo que pudermos.

Para ambientes internos temos hoje materiais que possibilitam a engenharia acústica encontrar as soluções adequadas para cada tipo de ambiente, quanto a sala de aula, entendo que deveríamos ter um número de alunos que permitisse aos profissionais da educação trabalharem em situações mais salubre, a posição das salas de aulas devem estar localizadas em lugares que os sons externos possam ser atenuados até um nível suportável para os professores e os alunos; acredito também que a utilização de materiais acústicos nas salas de aulas poderia absorver um pouco da energia sonora, entendo que essas seriam algumas das soluções possíveis” (sic).

É possível notar a preocupação do Professor A com o contexto escolar, objetivo primário do roteiro em questão. Sobre a poluição sonora na escola, ele respondeu:

-“Sim é um problema muito sério, é só atentar para as doenças profissionais que afetam os professores e as pessoas envolvidas com a educação, no caso a coordenação pedagógica, inspetores de alunos e o pessoal da cantina, são pessoas que tem o contato direto com o alunato, provocando a perda de audição precoce associado ao estresse provocado pela poluição sonora, é obvio que existem outros fatores, que neste momento, não nos interessa discutir. Dentro da sala de aula existem problemas sérios de poluição sonora, principalmente se a sala tiver mais de 35 alunos, nos momentos de debate e, principalmente próximo a batida do sinal para o fim da aula, a intensidade sonora é muito alta, complementado pelo barulho estridente do sinal, indicando o final da aula.

Os ruídos internos são mais frequentes, devido a dinâmica das salas de aula. Outro aspecto importante é a construção da sala de aula e sua localização, as vezes o som externo é tão prejudicial quanto ao interno, por exemplo, diferença no horário de intervalo, a turma do fundamental sai primeiro que a turma do médio, passa em frente as salas de em algazarra, falando alto, quando estão no pátio o alarido que

fazem chega até os andares superiores, há salas com as janelas voltadas para a rua, nos horários de pico o barulho do trânsito atrapalha a aula. Podemos concluir que o barulho provocado fora da sala de é menos frequente, mas tão intenso quanto ao barulho interno. Podemos citar outros fatores que também influem na poluição sonora, por exemplo, o barulho dos ventiladores e aparelhos de ar condicionados, principalmente os mais antigos e o barulho do estridente do sinal, as vezes insuportável!!” (sic).

É indicado nessa resposta que a poluição sonora é, na concepção do Professor A, um sério problema enfrentado nas escolas que afeta todos os envolvidos em seu funcionamento. Seu texto destaca não apenas os possíveis problemas de saúde decorrentes da exposição contínua a altos barulhos, como também indica as causas mais frequentes (elevado número de alunos em sala, passagem de pessoas pelos corredores, sinal indicando intervalor etc.). Com relação ao impacto da poluição sonora na sala de aula foi respondido:

- “Sim, como os problemas citados acima, acredito que um dos principais fatores que afetam a eficácia da aprendizagem é o barulho, seja ele interno ou externo, pois ambos fazem com que a atenção dos alunos e do próprio professor se desviem do foco do aprender e do ensinar. Como professores que somos, sabemos que trazer a “classe para si” é um problema sério, o retomar de um assunto, que exija atenção e reflexão, de forma intermitente é evidente que atrapalha a aprendizagem, principalmente se o barulho provoca discussão e risos nos alunos. Este é um problema que foge da alçada do professor, não temos controle sobre isso, na maioria das vezes trabalhamos em situações adversas, tendo de superá-las em razão do nosso profissionalismo” (sic).

Especificamente com relação à sua influência no ensino e na aprendizagem em sala de aula, o barulho foi apontado por ele como um dos principais fatores que os afetam negativamente, pois muitas vezes sons que tiram a atenção dos estudantes acabam por atrapalhar sua aprendizagem, além de exigir uma intervenção por parte do professor que não faz parte do conteúdo que está sendo ensinado.

De forma geral, é possível perceber a grande preocupação do Professor A com a questão da poluição sonora na escola, seja por conta de ruídos internos ou externos ao ambiente da sala de aula, algo que parece ser compartilhado pela grande maioria dos docentes que atuam no ensino básico. Sem dúvidas um ambiente agradável cujos níveis sonoros estão dentro dos valores aceitáveis minimiza o desgaste corporal e mental de professores, acarretando um processo de ensino-aprendizagem menos estressante e mais satisfatório de modo geral.

4.2.2 Resultados do Professor B

Os resultados da medição da intensidade sonora, em decibéis, feitas pelo Professor B com um smartphone da marca Motorola estão listados na Tabela 4.2, o tempo de medição variou entre 30 e 60 segundos:

Tabela 4.2: Intensidades sonoras, em decibéis medidas em cinco locais diferentes – Professor B.

	MOTO	ASPIRADOR	SECADOR DE CABELO	CORTADOR DE GRAMA	VENTILADOR
MAIOR VALOR	91	72	88	105	72
MENOR VALOR	84	67	79	95	65

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Professor B aponta que os valores medidos por ele estão dentro das indicações de referência da Tabela 3.1, sendo o maior valor para o cortador de grama (105 dB), uma intensidade sonora que causa prejuízos à saúde se a exposição for além de 1 hora. Sendo o menor valor medido por ele 65 dB, com o ventilador ligado, nenhum dos ambientes está dentro do que poderia ser considerado conforto acústico, fazendo com que a permanência por longos períodos em qualquer um deles possa causar, no mínimo, irritação. Juntamente com as medições, o Professor B enviou também as respostas das perguntas do roteiro. Sobre o que poderia ser feito para minimizar os efeitos da exposição prolongada a sons intensos ele respondeu:

- *“Diminuir o tempo de exposição ou utilizar protetores auriculares”.*

Já sobre onde existem focos de poluição sonora na escola, sua resposta foi:

- *“Sim, no refeitório e pátio da escola”.*

Ao contrário do Professor A, o Professor B não apresenta tanta preocupação com relação aos sons dentro das salas de aula, apontando que os ruídos de maior intensidade sonora têm origem em ambientes de maior aglomeração de estudantes, provavelmente nos intervalos ou períodos de entrada e saída de alunos. Talvez um menor número de alunos por sala ou regras

de convivência praticadas em sala diminuíam esse problema durante as aulas. Mesmo assim, com relação ao impacto da poluição sonora na sala de aula o Professor B respondeu:

- *“Sim, (ruídos) internos devido as conversas paralelas que ocorrem e externos oriundos das outras salas de aulas ou da quadra”*.

Desta vez, assim como o Professor A, o Professor B aponta a existência de ruídos causados por conversas paralelas e externos - de múltiplas origens - como fatores negativos na dinâmica da sala de aula que acabam atrapalhando a aprendizagem dos estudantes. Um planejamento adequado de intervalos que leve em conta o trânsito de alunos e uso moderado de sinais de alerta sonoros poderia mitigar o problema.

Considerando todas as informações apresentadas, é imprescindível que trabalhos envolvendo a análise quantitativa da poluição sonora na escola e seus efeitos sejam feitos e discutidos pela comunidade escolar. Roteiros experimentais como o apresentado no *Manual* podem ser um excelente ponto de partida para isso, pois permitem a medida dos sons ambientes em tempo real pelos próprios sujeitos expostos a eles.

Sobre quais dificuldades os Professores A e B encontraram na execução da proposta, não houve queixas com relação ao aplicativo, instruções, apresentação da metodologia ou obtenção e análise dos dados. Ambos consideraram o tema relevante e a linguagem adequada para o público destinado, havendo potencial de despertar seu interesse. Com relação a possível utilização do roteiro em sala de aula, novamente houve concordância no sentido de considerarem uma proposta totalmente viável de ser conduzida em ambiente escolar, com possíveis benefícios tanto na aprendizagem do conteúdo quanto no interesse pelo tema.

4.2.3 Resultados do autor

Na tentativa de reproduzir os resultados encontrados, o experimento foi conduzido com o microfone capacitivo do celular em locais e condições equivalentes aos do Professor A, pois foram utilizados por ele as situações mais acessíveis no momento. Os dados obtidos estão na Tabela 4.3:

Tabela 4.3: Intensidades sonoras, em decibéis, medidas em cinco locais diferentes - autor.

	<i>Local A</i>	<i>Local B</i>	<i>Local C</i>	<i>Local D</i>	<i>Local E</i>
Maior Valor	80,02	45,68	68,53	65,69	87,85
Menor Valor	40,26	24,52	54,48	43,08	70,72

Fonte: Elaborado pelo autor.

- *Local A – Quarto com aspirador de pó funcionando*
- *Local B – Casa vazia em silêncio*
- *Local C – Supermercado – horário de pico (12 h)*
- *Local D – Quarto com ventilador ligado*
- *Local E – Avenida central da cidade às 11 h da manhã*

Apesar de não haver significativas diferenças nas relações possíveis de se fazer entre os valores medidos entre a Tabela 4.3 com a Tabela 3.1 em relação as medições do Professor A, algumas situações são importantes de serem mencionadas. O aspirador utilizado no Local A contém um potenciômetro para controle de intensidade. A variação entre as medidas se deu por conta da mudança da intensidade de aspiração durante o período de coleta de dados. O maior valor foi medido com o aparelho funcionando em potência máxima, enquanto o menor valor foi medido com ele em potência mínima, em distâncias iguais. A diferença na intensidade do barulho de um aspirador quando se aumenta sua potência, facilmente detectada pela audição humana, é também detectada pelo decibelímetro do celular.

A variação no Local B ocorreu principalmente por barulhos externos ao local de medição, pois foi escolhido um período em que não havia fontes sonoras que pudessem aumentar o valor medido, no qual o valor flutuou geralmente em torno dos 25 dB. O pico de 45,68 dB correspondeu ao acionamento de uma buzina de veículo na rua adjacente de onde foi feita a medida. Considerando o valor limite para o sono de 30 dB apontado na Tabela 3.1, faz sentido, por exemplo, que medidas restritivas contra ruídos constantes acima de certa intensidade passem a valer a partir de certo horário.

Já no supermercado - Local C – vale destacar que existia uma regra de uso obrigatório de máscara em vigência, portanto havia mínimo ruído oriundo de conversas ou falas de pessoas. A intensidade sonora ali registrada advinha principalmente de sons inerentes ao local (carrinhos, anúncios, trânsito de pessoas etc.).

Outra variação interessante foi a do Local D, pois o ventilador utilizado apresentava função semi-giratória e teve propositalmente suas pás viradas em certos momentos para o local

onde estava o celular fazendo a medição. Os maiores valores ocorreram quando o ventilador apontava diretamente para o celular, e os menores ocorreram quando ele saía de sua direção. Esse é um comportamento esperado uma vez que a pressão exercida pelo ar sendo impulsionado diretamente no sensor produz uma medição maior, mesmo que a percepção do barulho pelo ouvido humano não apresenta grandes diferenças.

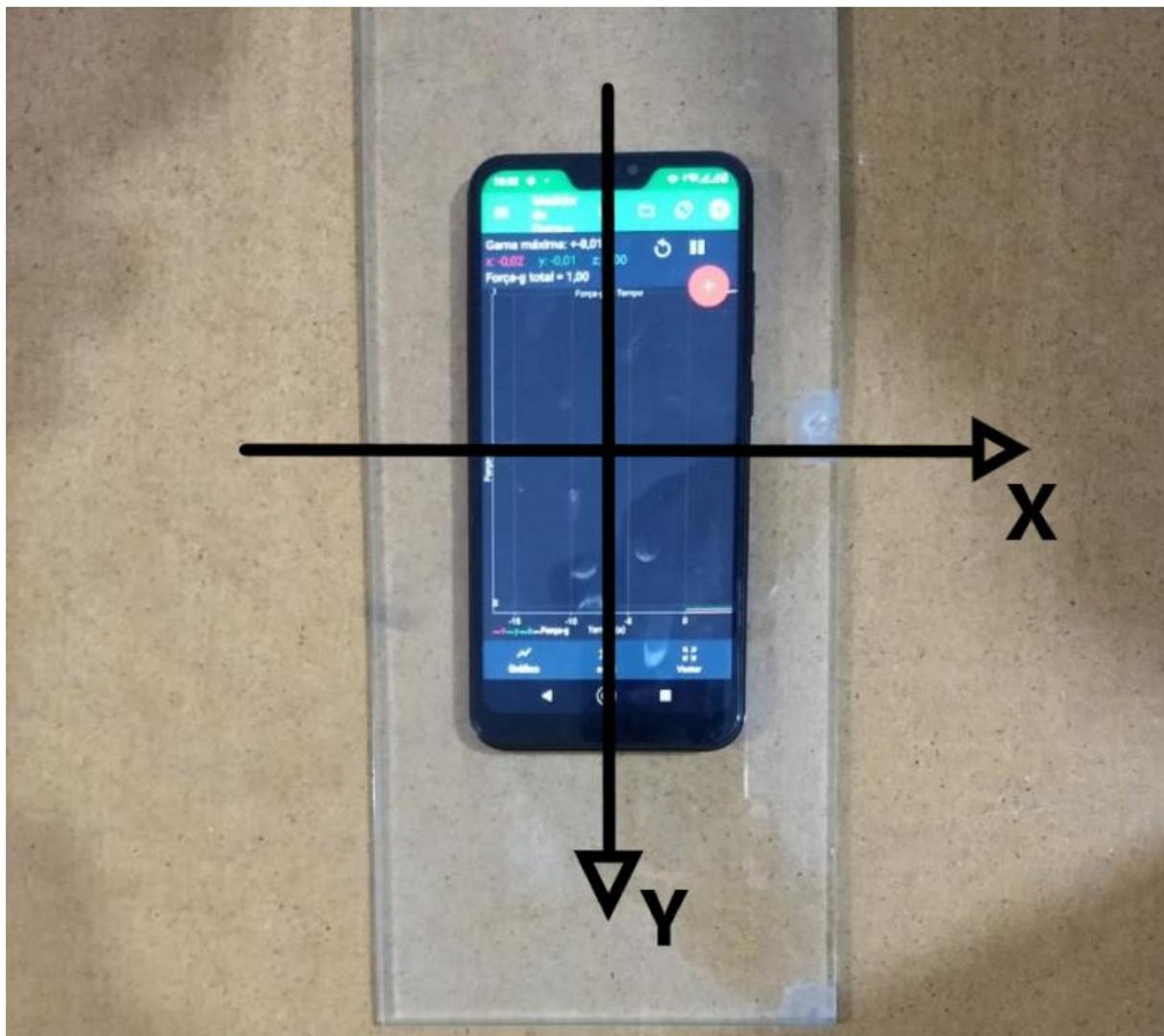
Por fim, assim como na medição do Professor A, a maior média, bem como a maior medida individual, foi obtida em uma avenida movimentada. O fluxo constante de veículos e pessoas aumenta consideravelmente o ruído ambiente em relação aos demais locais, e o pico de 87,85 dB foi atingido quando um caminhão passou pelo local onde ocorria a medida.

Os dados dos dois experimentos são compatíveis com os valores de referência encontrados na Tabela 3.1, trazendo validade para os sensores e a metodologia empregados. As diferenças encontradas podem ocorrer, por exemplo, por diferentes modelos de ventiladores e aspiradores empregados, bem como por diferentes comportamentos e condições nos ambientes. Torna-se possível assim pensar em aplicar o roteiro no seu espaço inicialmente objetivado: a escola. Espera-se que os alunos consigam perceber que os ruídos de certos ambientes podem atingir níveis que os causam malefícios de saúde e aprendizagem. Eventualmente, se eles se reconhecerem como parte da causa desses ruídos, abre-se a possibilidade de uma reflexão crítica acerca da poluição sonora que os cerca cotidianamente.

4.3 – DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO ESTÁTICO (APÊNDICE C) –

Dado que não houve envio dos dados pelos professores que participaram da aplicação do projeto com relação a este experimento, seguirão os resultados obtidos pela execução do autor. A montagem completa do experimento pode ser verificada no Apêndice C, cujo objetivo é a determinação do coeficiente de atrito estático entre duas superfícies. Uma imagem reproduzindo uma possível montagem, para a interação entre vidro e madeira, está apresentada na Figura 4.6:

Figura 4.6: Montagem experimental para determinação do coeficiente de atrito estático entre o vidro e a madeira. O celular está preso ao vidro.

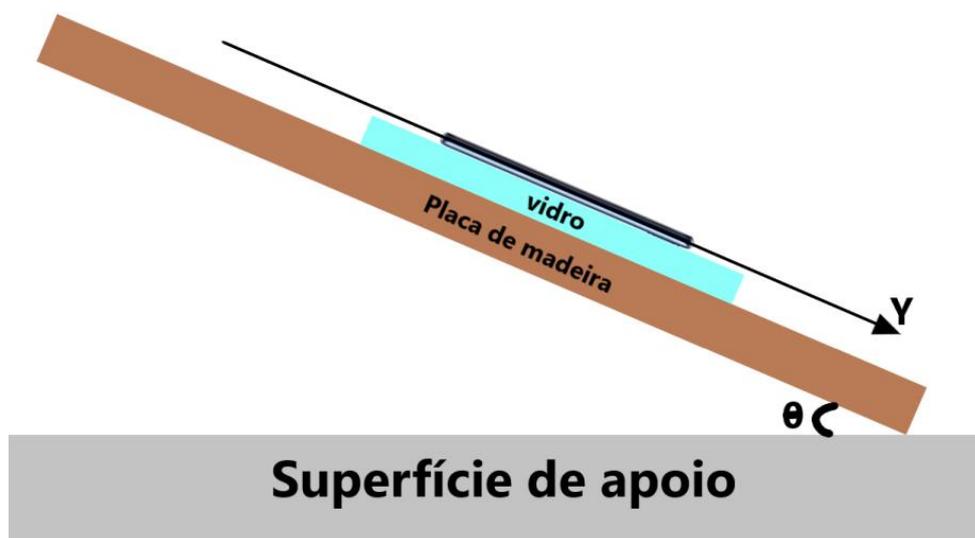


Fonte: Elaborado pelo autor.

As indicações X e Y estão relacionadas com os eixos de medição do acelerômetro modelo *LSM6DS3*, cuja cadência de coleta de dados é 215 Hz, sendo determinadas facilmente ao se mover o smartphone (o eixo Z é perpendicular à superfície do celular).

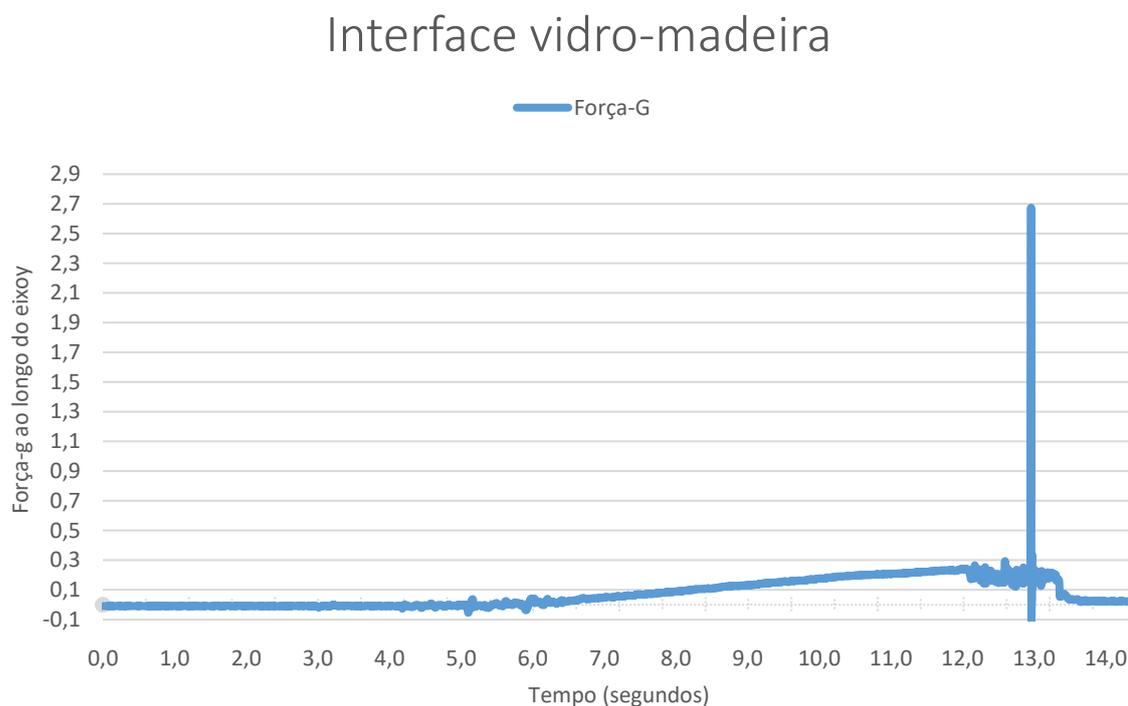
Estamos interessados nesse experimento na mudança da Força-G medida ao longo do eixo Y, que neste caso varia de intensidade quando a parte de cima do celular, isto é, onde se localiza a câmera frontal, sobe ou desce. Com o smartphone “deitado” em repouso sobre a mesa, seu valor é 0, enquanto “em pé” seu valor é 1. A tábua de madeira deve ser erguida gradualmente até ocorrer o movimento ao longo do eixo Y. A Figura 4.7 ilustra como o sistema composto pelo celular, vidro e madeira fica na iminência do movimento:

Figura 4.7: Representação da montagem experimental para medir o coeficiente de atrito entre as interfaces dos materiais, o smartphone deve estar colado ao vidro e se mover junto a ele.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Gráfico 4.1 da Força-G no eixo Y ao longo do tempo para uma das execuções do experimento com essa interface composta por vidro e madeira está ilustrado abaixo:

Gráfico 4.1: Força-G ao longo do eixo Y em função do tempo para a interface vidro-madeira.

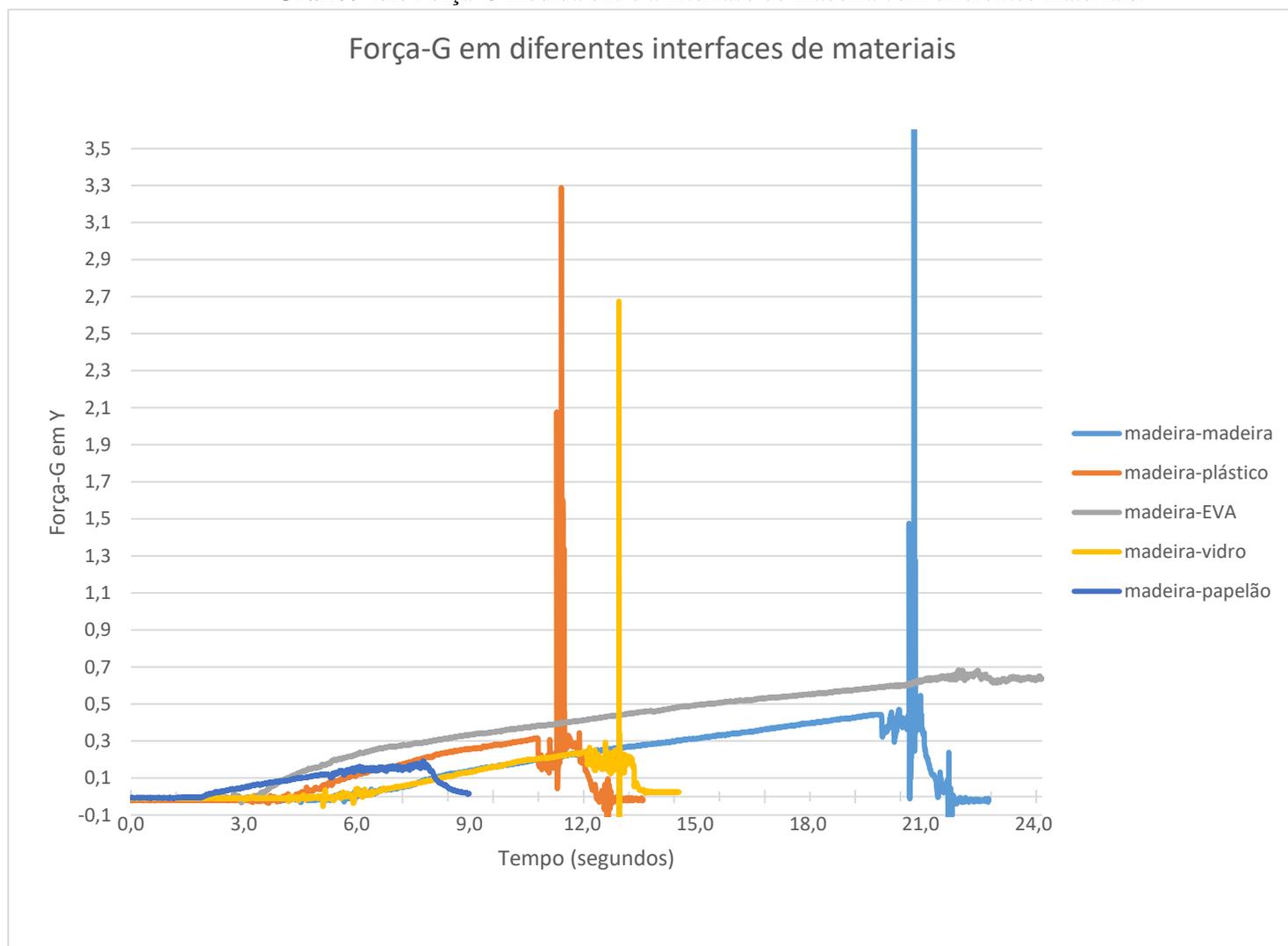
Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante ao analisar um gráfico como esse reconhecer alguns pontos importantes com relação à teoria da força de atrito. Após o início da gravação dos dados no tempo $t = 0s$, não houve movimento da placa de madeira e a medida da Força-G ao longo do eixo Y é zero. Apenas a partir de cerca de $t = 6,5$ segundos ela começou a ser levantada, fato que é indicado no gráfico pelo aumento constante no valor medido da Força-G. Esse valor cresce conforme a tábua é erguida, e só diminui no instante em que o celular, preso ao vidro, desce pela tábua. Esse momento é indicado no gráfico no instante $t = 12,08$ segundos, e fornece um valor máximo para a Força-G de $0,2257 G's$ (1G equivale a aceleração da gravidade da Terra, tida aqui como $9,80665 m/s^2$). Este valor está relacionado com o coeficiente de atrito estático através das equações desenvolvidas no Apêndice C.

O celular então desliza pela tábua de $t = 12,08$ até $t = 12,96$ marcando, em média, um valor de Força-G menor do que o pico registrado até então, indicando o período no qual o sistema vidro-celular desliza sobre a superfície de madeira e se move sobre a influência da força de atrito dinâmica, ao fim do qual esse sistema atinge a superfície horizontal de apoio, causando um pico no valor medido da Força-G de $2,6749 G's$. As medições posteriores a esse momento se referem apenas ao retorno dos objetos em seus respectivos lugares, não havendo outras marcações de interesse.

Esse procedimento foi repetido trocando-se a placa de vidro por outras de madeira, EVA, plástico e papelão, onde cada interface entre materiais foi testada 10 vezes. O Gráfico 4.2 ilustra uma comparação entre uma coleta de dados de cada uma das interfaces:

Gráfico 4.2: Força-G medida entre a interface de madeira com diferentes materiais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Podemos verificar comportamento similar em relação ao Gráfico 4.1 em relação a todas as interfaces da madeira com diferentes materiais, com a única diferença significativa estando na interface madeira-EVA. Neste caso, há provavelmente influência de fatores como a compressão do material quando apoiado o celular, fazendo com que o movimento do conjunto sobre a superfície de madeira fique prejudicado em relação aos outros materiais que não se deformam.

Nas demais interfaces, é possível identificar perfeitamente os momentos em onde a medida da Força-G deixa de aumentar e cai bruscamente, ilustrando o momento em que o

conjunto celular-material sai do seu estado de repouso e passa a deslizar na madeira. Para o cálculo do coeficiente de atrito estático precisamos pegar a medida de G quando ocorre o deslizamento e aplicar a sequência contida no procedimento experimental do Apêndice C. É possível identificar no software de planilha eletrônica seu valor exato para um certo ponto do gráfico uma vez que ele é construído, bastando selecionar no próprio gráfico o ponto em questão. A Tabela 4.4 apresenta o coeficiente de atrito médio entre as 10 medidas para a interface da madeira com cada material:

Tabela 4.4: Medida do coeficiente de atrito entre madeira e diversos materiais seguindo o roteiro do apêndice C.

<i>Material</i>	<i>Coefficiente de atrito estático</i>
Madeira	0,418
Plástico	0,366
EVA	0,863
Vidro	0,324
Papelão	0,289

Fonte: Elaborado pelo autor.

É difícil encontrar na literatura valores de coeficientes de atrito estático que contenham exatamente os materiais utilizados no teste. Para o par de materiais de madeira, entretanto, podemos encontrar alguns valores de comparação, por exemplo, nas tabelas de referência de constantes físicas da Universidade do Estado de Nova York, que disponibiliza o valor 0,42 para esse par específico.¹

Tendo este resultado específico como base, a proposta tem um erro percentual negligenciável em contexto escolar do ensino médio. Do ponto de vista didático, consegue trazer maior significado para o assunto de força de atrito no sentido de que é possível verificar diferenças visíveis entre os ângulos onde ocorreram os deslizamentos de acordo com o par de materiais, permitindo aos estudantes verificar instantaneamente quais materiais tem maior

¹ A tabela de valores de referência completa está disponível em: <http://www.p12.nysed.gov/assessment/reftable/physics-rt/physics06tbl.pdf>. Acessado: jan/2021

coeficiente de atrito apenas observando a inclinação do celular ou o gráfico formado em sua tela.

Apesar da comparação dos resultados das medições necessitar que sejam utilizados materiais com coeficientes de atrito conhecidos na literatura, o roteiro apresentado é versátil o suficiente para ser feito em diversos contextos escolares, podendo-se fazer uso de cadernos, estojos, caixinhas de giz, mesas, régua e diversos outros objetos disponíveis em sala de aula, que tem o potencial, além do próprio celular, de motivar a participação do aluno e incentivá-lo a testar diferentes opções.

A grande variedade de capas protetoras de celular disponíveis no mercado hoje abre também a possibilidade para que sejam utilizadas no lugar de algum material específico. Apesar de ser difícil determinar exatamente de que material são feitas, é perfeitamente viável comparar seus resultados entre si, principalmente se houverem partes emborrachadas ou de materiais diferentes em alguma que possam produzir resultados variados, até mesmo em comparação com o próprio celular sem essa capa.

Uma segunda parte desse experimento que poderia também ser desenvolvida é a determinação do coeficiente de atrito cinético. Para isso a mesma montagem e análise similar pode ser utilizada, bastando que o deslizamento ocorra por uma distância suficiente para que um patamar constante de Força-G seja visível logo após a queda produzida pelo cessamento do repouso. Um trabalho similar conseguiu valores de coeficiente de atrito estático para o par feltro-mdf comparáveis a uma montagem utilizando um sistema PASCO (Freitas, Marques, Soares, 2017).

4.4 – CAMPO MAGNÉTICO DE UM ELETROÍMÃ (APÊNDICE D) – PROFESSORES C E D

O roteiro contido no Apêndice D tem o objetivo de verificar qualitativamente a Lei de Ampère para campos magnéticos produzidos por eletroímãs. Espera-se, segundo essa Lei, que o campo magnético seja diretamente proporcional à corrente que passa no fio e ao número de voltas deste em torno do prego/parafuso utilizado na construção do eletroímã. Os resultados das medidas dos Professores C e D, assim como do autor, estão descritos nas seções abaixo.

4.4.1 Resultados do Professor C

Os resultados da medição do campo magnético de um eletroímã feitas pelo Professor C ao seguir o roteiro contido no Apêndice D, com um smartphone da marca Samsung, estão listados na Tabela 4.5:

Tabela 4.5: Campos magnéticos produzidos por um eletroímã - Professor C.

	B_{ref} (μT)	B_1 (μT)	B_{2s} (μT)	B_{2p} (μT)
10 voltas	130	320	310	430
20 voltas	131	580	436	720

Fonte: Elaborado pelo autor.

A montagem dos eletroímãs utilizados pelo Professor C para realização das medidas da Tabela 4.5 está ilustrada nas Figuras 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 e 4.13:

Figura 4.8: Eletroímã com uma pilha e 10 voltas em torno do prego (medida B_1 – 10 voltas).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.9: Eletroímã com uma pilha e 20 voltas em torno do prego (medida B_1 – 20 voltas).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.11: Eletroímã com duas pilhas em série e 10 voltas em torno do prego (medida B_{2s} – 10 voltas).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.10: Eletroímã com duas pilhas em série e 20 voltas em torno do prego (medida B_{2s} – 20 voltas).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.13: Eletroímã com duas pilhas em paralelo e 10 voltas em torno do prego (medida B_{2p} – 10 voltas).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.12: Eletroímã com duas pilhas em paralelo e 20 voltas em torno do prego (medida B_{2p} – 20 voltas).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando os dados obtidos pelo Professor C, podemos verificar que o maior valor encontrado (720 micro teslas) ocorreu na montagem das pilhas em paralelo, com o fio dando 20 voltas em torno do prego. Esse valor é consistente com a Lei de Ampère, pois nessa montagem temos o máximo valor de corrente possível para duas pilhas e o maior número de voltas entre os testes.

De maneira similar, mas no espectro oposto, os menores valores de campo magnético encontrados ocorreram para a montagem de pilha única e duas pilhas em série, ambas com o fio dando 10 voltas em torno do prego (320 e 310 micro teslas, respectivamente). Esse resultado era esperado uma vez que temos a menor corrente e o menor número de voltas entre as

montagens propostas, já que unir pilhas em série aumenta a ddp do circuito, mas não a corrente elétrica.

Generalizando, podemos verificar aumentos consistentes em cada uma das montagens individuais ao se aumentar o número de voltas (de 10 para 20), bem como quando aumenta-se a corrente na montagem das pilhas em paralelo, estando em acordo com a Lei de Ampère. Entretanto, vale ressaltar que uma análise qualitativa mais profunda deveria levar em conta a resistividade do fio, composição do parafuso/prego e corrente elétrica fornecida pelas pilhas, algo que não está contemplado no roteiro. Porém, com relação a possibilidade de ser utilizado o magnetômetro do celular para medição de campos magnéticos, os resultados obtidos pelo Professor C parecem ter consistência suficiente para que seu uso em contextos escolares seja defendido.

Juntamente com os dados do aplicativo, o Professor C respondeu às perguntas contidas no roteiro. Sobre se haviam alterações de valor entre as diferentes montagens ele respondeu:

- *“Sim. O maior campo magnético medido no experimento foi para o eletroímã montado com 20 voltas num circuito com duas pilhas ligadas em paralelo. O menor campo magnético coletado no experimento foi para o eletroímã montado com 10 voltas num circuito com duas pilhas ligadas em série”.*

Já sobre as expectativas anteriores à execução do experimento relativas aos valores que seriam encontrados, e qual deveria mostrar o maior valor, ele respondeu:

- *“O campo magnético médio foi maior para as pilhas ligadas em paralelo. Pela teoria, a intensidade da corrente elétrica é maior para a ligação em paralelo do que para a ligação em série. Como a intensidade do campo magnético é diretamente proporcional à intensidade da corrente elétrica, esperava-se no experimento que o campo magnético fosse maior para a associação das pilhas em paralelo”.*

A resposta do Professor C mostra conhecimento da teoria que baseia o experimento, indicando que, dadas as montagens propostas, aquela que deveria entregar o maior valor era a montagem em paralelo devido a maior corrente elétrica disponibilizada. Esse conhecimento é novamente mostrado na pergunta referente a localização do Polo Norte do eletroímã:

- “O polo Norte do eletroímã estava na cabeça do prego, pois, analisando-se o sentido do fluxo magnético no interior da espiral por meio da regra da mão direita, pode-se concluir que o fluxo magnético do eletroímã estava no sentido da cabeça do prego”.

O emprego da regra da mão direita para a determinação dos polos do eletroímã é a maneira usualmente empregada em livros didáticos, sendo assim de conhecimento dos estudantes que devem executar esse experimento, visto que a proposta inicial é que esta seja aplicada posteriormente ao conteúdo teórico. Com relação ao comportamento dos valores segundo a teoria, em concordância com o autor, o Professor C respondeu:

- “Os valores medidos se comportaram de certo modo de acordo com o teoricamente esperado. Para o eletroímã com 20 voltas, todos os valores medidos de intensidade do campo magnético foram superiores em relação aos valores medidos para o eletroímã com apenas 10 voltas. Além disso, a intensidade do campo magnético foi superior para a ligação do circuito com as duas pilhas em paralelo, de modo a corroborar com o que era teoricamente esperado”.

Além de enviar as respostas das perguntas do roteiro, o Professor C enviou também suas percepções acerca, de acordo com os pontos do Apêndice F. Sobre os valores encontrados e dificuldades com relação à execução do roteiro, foi apontando que os valores estavam incoerentes a princípio, mas ficaram melhores após ser removido o esmalte que recobria o fio de cobre. Esse detalhe foi acrescido na montagem experimental da versão final do roteiro.

Outro ponto foi a necessidade de imagens que mostrassem como deveriam ser as montagens das pilhas e do eletroímã, para melhor compreensão do aluno. Tais imagens também estão presentes na versão final do roteiro, juntamente com um *link* para uma página eletrônica ilustrando como as montagens podem ser feitas.

Com relação ao provável interesse dos estudantes pelo tema e pelo roteiro, sua resposta acena favoravelmente para ambos, sugerindo também que sejam utilizados outros objetos passíveis de serem atraídos pelo eletroímã para aumentar a curiosidade dos estudantes. Apesar de não estar contemplado no roteiro, imagina-se que o professor que o seguirá possa seguir essa linha sem problemas. Por fim, ele acredita ser totalmente possível executar a proposta em um ambiente de sala de aula sem dificuldades ou grandes adequações.

4.4.2 Resultados do Professor D

Os resultados da medição do campo magnético de um eletroímã feitas pelo Professor D ao seguir o roteiro contido no Apêndice D, com um smartphone da marca Samsung, estão listados na Tabela 4.6:

Tabela 4.6: Campos magnéticos produzidos por um eletroímã - Professor D.

	B_{ref} (μT)	B_1 (μT)	B_{2s} (μT)	B_{2p} (μT)
10 voltas	19,43	17,21	14,53	16,34
20 voltas	17,12	14,33	13,55	14,05

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esses dados não mostram as diferenças esperadas entre as diferentes montagens propostas no roteiro, imaginando-se assim que deva haver algum erro na montagem e/ou no funcionamento do sensor (imagens não foram enviadas). O professor D, em suas respostas relacionadas a percepção do roteiro, fez menções referentes a bitola do fio que deveria ser usado, bem como a composição do prego/parafuso e a criação de um suporte para posicionamento do eletroímã e pilhas. Embora essas sejam questões importantes caso o objetivo do roteiro fosse realizar medidas precisas do campo magnético em diferentes cenários, estas preocupações fogem do escopo deste experimento em específico.

Entretanto, é possível notar o entusiasmo do Professor D com a proposta e o tema. Sobre a possibilidade de os estudantes realizarem este experimento em questão ele respondeu:

- “*Sim. Este experimento é fantástico, ele aborda o princípio básico do eletromagnetismo, o professor pode aproveitar para falar da união da eletricidade com o magnetismo, além de ser um assunto que é comum para a maioria, eletroímã acredito que pelo menos já ouviram falar sobre*” (sic).

Além disso, sobre a possibilidade de desenvolver o roteiro em sala de aula:

- “*Sim. Penso que o que vai fazer toda a diferença, vai ser a abordagem e o relacionamento do professor com os estudantes. A prática vai mostrar o que você deve*

melhorar. Gostei muito do experimento e da estratégia. Acho que você deve construir tudo com os estudantes e usar mais de 2 aulas pra fazer o experimento. Talvez você possa fazer depois das medidas algumas contas, traçar gráficos, ou seja, valorizar mais o experimento, ele permite ser mais explorado” (sic).

É interessante perceber que o docente defende que esta proposta pode ser estendida para além das duas aulas propostas, talvez servindo como base para a discussão teórica sobre produção de campos magnéticos por correntes elétricas, bastando para isso alterar diferentes variáveis relacionadas ao experimento e verificando as respectivas mudanças nas medidas, como o enrolamento do fio, sua composição, as baterias ou fontes etc.

Entretanto, dado as discrepâncias entre as medidas realizadas pelos Professores C e D, é interessante analisar pelo menos mais uma medida a fim de se verificar se a proposta consegue produzir resultados minimamente coerentes. A seguir estão descritos os resultados experimentais do Apêndice D pelo autor.

4.4.3 Resultados do autor

As medidas do campo magnético produzido por um eletroímã feitas pelo autor com um magnetômetro *AK09918* estão na Tabela 4.7:

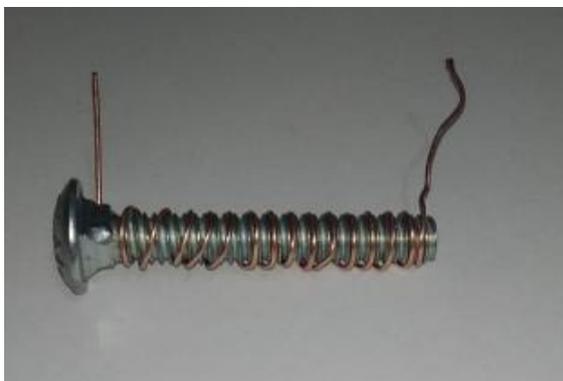
Tabela 4.7: Campos magnéticos produzidos por um eletroímã - autor.

	B_{ref} (μT)	B_1 (μT)	B_{2s} (μT)	B_{2p} (μT)
10 voltas	61,26	153,56	151,48	326,92
20 voltas	60,87	287,85	302,21	689,38

Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível num primeiro momento identificar similaridades importantes com as medidas realizadas pelo Professor C. Verifica-se, por exemplo, que a medida da montagem em paralelo é maior do que a em série, como era esperado. Similarmente, constata-se que as medidas do eletroímã com 20 voltas são maiores do que o eletroímã com 10 voltas para uma dada montagem específica. As montagens dos eletroímãs com 10 e 20 voltas, bem como das pilhas em série e em paralelo, estão apresentadas nas 4.14, 4.15, 4.16 e 4.17:

Figura 4.15: Eletroímã com 10 voltas
– autor.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.14: Eletroímã com 20 voltas –
autor.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4.16: Montagem das duas
pilhas em paralelo – autor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.17: Montagem das duas pilhas
em série – autor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando as medidas, podemos identificar que o maior valor medido (689,38 micro teslas) se deu exatamente onde a teoria prevê que aconteça, dadas as possibilidades do experimento: no eletroímã com mais voltas do fio e com maior corrente elétrica circulando por ele. Similarmente, a menor medida, excetuando-se as de referência (151,48 micro teslas) se deu também de forma a corroborar a teoria, uma vez que temos apenas 10 voltas do eletroímã e a menor corrente elétrica, já que pilhas em série não entregam mais corrente. De fato, pode-se imaginar que a diferença no valor obtido para uma única pilha aconteça por aumentar-se a resistência elétrica com a inserção da segunda pilha, diminuindo a corrente no fio de cobre.

Apesar de não ter como objetivo a medição exata do campo magnético produzido por um eletroímã (para isso seria necessário se conhecer muito mais a fundo as características exatas dos objetos utilizados), essa montagem fornece dados para uma análise qualitativa da Lei de Ampère, especialmente quais são as relações de proporção entre as grandezas envolvidas. Suas possibilidades didáticas, portanto, vão além da simples motivação e estimulação do interesse dos alunos atingido pela demonstração de um fenômeno com auxílio tecnológico, podendo ser utilizado para promoção de atitudes científicas, criação e desenvolvimento de técnicas laboratoriais como elaboração de hipóteses e subsequentemente seus testes, bem como potencialmente melhorar a aprendizagem dos conhecimentos teóricos ao permitir a manipulação das variáveis de interesse pelos alunos, havendo possibilidade de se verificar os resultados dessa manipulação praticamente em tempo real.

4.5 – ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE NA SUPERFÍCIE DA TERRA (APÊNDICE E) – PROFESSORES E E F

O roteiro contido no Apêndice E tem o objetivo de determinar a aceleração da gravidade através de um experimento envolvendo a medição da luminosidade ao longo do tempo enquanto um pêndulo balança em cima do sensor. Os resultados obtidos pelos Professores E e F, assim como do autor, estão descritos nas seções abaixo.

4.5.1 Resultados do Professor E

Os instantes de tempo, em segundos, onde ocorreram diminuição da luminosidade medida pela passagem de um pêndulo de 30 cm obtidas através de um smartphone Samsung pelo Professor E estão contidas na Tabela 4.8:

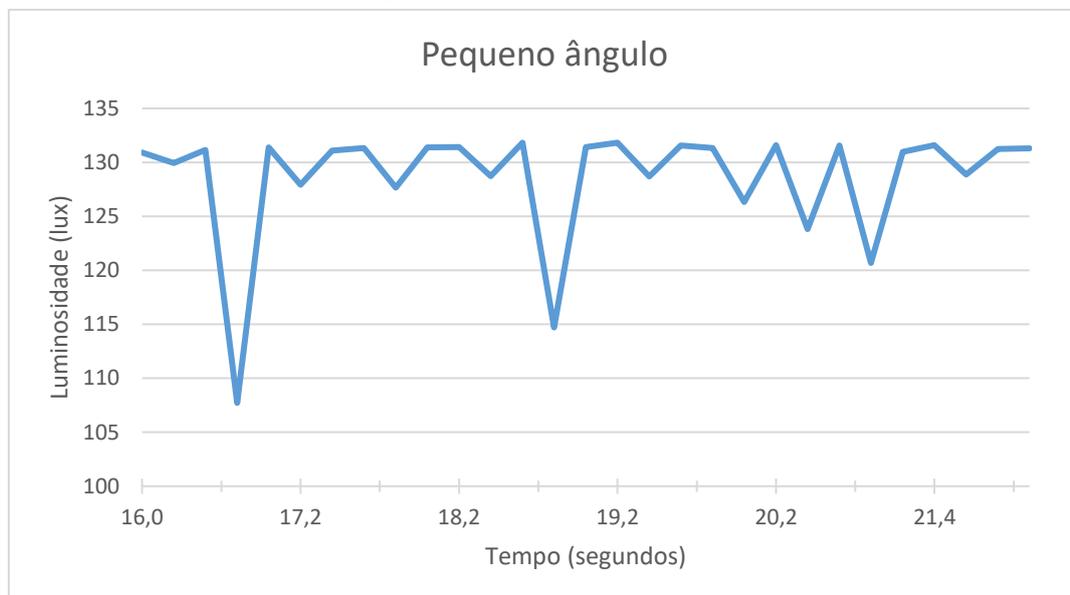
Tabela 4.8: Instantes onde a luminosidade diminuiu pela passagem do pêndulo – Professor E.

	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀
Grande ângulo	15,04	16,04	16,44	17,43	18,44	18,83	19,44	20,03	20,63	21,83
Pequeno Ângulo	16,63	17,24	17,82	18,42	18,82	19,42	20,03	20,63	21,02	21,62

Fonte: Elaborado pelo autor.

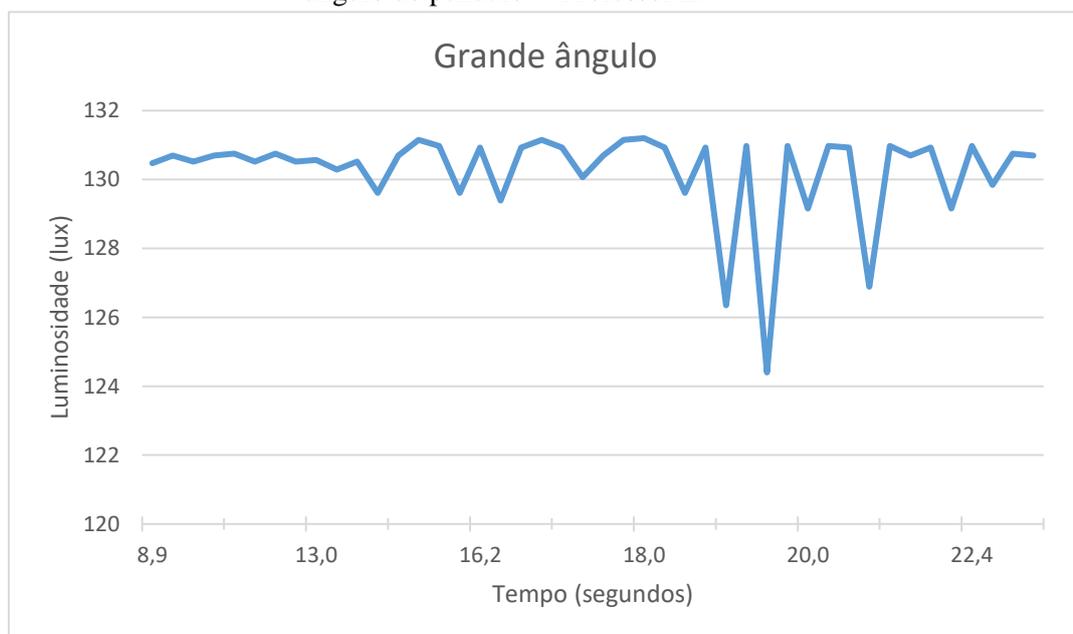
Os Gráficos 4.3 e 4.4 mostram como a medição da luminosidade variou ao longo do tempo em que foram efetuadas as medições:

Gráfico 4.3: Luminosidade medida pelo celular em função do tempo para balanços de pequeno ângulo do pêndulo – Professor E.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 4.4: Luminosidade medida pelo celular em função do tempo para balanços de grande ângulo do pêndulo – Professor E.



Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante entendermos o que estes dados estão mostrando antes de apresentar o resultado da aceleração da gravidade obtido com eles. Os Gráficos 4.3 e 4.4 mostram a intensidade da luz medida pelo sensor (luxímetro) do celular em função do tempo enquanto os pêndulos balançavam sobre ele. É possível identificar nesses gráficos que ocorrem diminuições periódicas nas medidas conforme o pêndulo passa em cima do luxímetro e bloqueia a luz que chega até ele. A Tabela 4.8 foi construída pegando-se os valores do tempo em que ocorriam as diminuições, com o valor T correspondendo a média das tabelas 4.9 e 4.10. Como cada diminuição está relacionada com uma passagem do pêndulo sobre o sensor, podemos determinar seu período tomando a diferença de tempo entre duas passagens ímpares ou pares seguidas ($t_3 - t_1$ ou $t_4 - t_2$, por exemplo). As Tabelas 4.9 e 4.10 mostram o período, em segundos, do pêndulo obtido pela Tabela 4.8 para as passagens de grande e pequeno ângulo, respectivamente:

Tabela 4.9: Período em segundos de um pêndulo de 30 cm para grandes ângulos – Professor E.

t1 a t3	t2 a t4	t3 a t5	t4 a t6	t5 a t7	t6 a t8	t7 a t9	t8 a t10	média
1,4	1,39	2	1,4	1	1,2	1,19	1,8	1,4

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4.10: Período em segundos de um pêndulo de 30 cm para pequenos ângulos – Professor E.

t1 a t3	t2 a t4	t3 a t5	t4 a t6	t5 a t7	t6 a t8	t7 a t9	t8 a t10	média
1,19	1,18	1	1	1,21	1,21	0,99	0,99	1,09

Fonte: Elaborado pelo autor.

É interessante observar que os dados do período do pêndulo de grande ângulo tiveram não apenas um valor médio maior em comparação ao de pequeno ângulo (1,4 s contra 1,09 s) como também tiveram maior desvio em relação a esse valor. Esse comportamento, entretanto, é totalmente esperado uma vez que a teoria acerca prevê que o pêndulo tenha essa característica para ser válida.

Utilizando o valor médio obtido das Tabelas 4.9 e 4.10 e a Equação (3) do Apêndice E, com $\pi = 3,1415$, o Professor E calculou a aceleração da gravidade obtida pelas montagens diferentes, chegando nos resultados $6,04 \text{ m/s}^2$ para o pêndulo de grande ângulo e $9,91 \text{ m/s}^2$ para o pêndulo de pequeno ângulo. Visto que buscava-se atingir o valor mais perto do padrão de

9,80665 m/s², claramente o resultado obtido pelo pêndulo de pequeno ângulo conseguiu ser mais preciso, apresentando um erro relativo percentual de 1% em relação ao valor buscado.

Apesar de apresentar grande erro relativo (cerca de 40%), a passagem do pêndulo com grande ângulo é indicada e incentivada no roteiro pois assim o aluno pode perceber a limitação da teoria, dando a possibilidade ao professor de discutir sobre as possíveis fontes de erros deste e demais experimentos que porventura venha a fazer. Há a possibilidade também de o professor promover que os estudantes comecem as medidas com o pêndulo balançando com grande ângulo, deixando-o diminuir gradativamente para então retomar as medições quando ele estiver com pequeno ângulo. De qualquer maneira, é importante que os alunos possam experimentar diferentes caminhos ainda que o resultado desejado não seja imediatamente atingido.

Com relação ao valor atingido pelo pêndulo balançando com pequeno ângulo, trata-se de um resultado excelente para nível escolar, estando perfeitamente dentro do erro aceitável, visto ainda que muitas vezes costuma-se aplicar o valor 10 m/s² na resolução de exercícios. O Professor E não enviou imagens da montagem, mas indicou que foi utilizado um pêndulo de fio de nylon com um pequeno cilindro metálico na ponta. Sobre as possíveis dificuldades encontradas no roteiro, o colaborador respondeu:

- *“Tive um pouco de dificuldade no início, apesar do texto explicando a teoria está bem organizado e bem explicado, o roteiro me deixou um pouco confuso no início pois não identifiquei inicialmente qual a aplicação do app deveria usar” (sic).*

Com o comentário do Professor E, foi realizada uma indicação direta no roteiro de qual aplicação deveria ser usada, de acordo com o que está descrito na seção 4.1. Sobre o interesse dos alunos sobre o tema, ele escreveu:

- *“No meu caso que fiz o experimento do pêndulo não é um assunto que os alunos se interessem tanto, mas talvez realizando o experimento como o proposto por ter o celular como equipamento para medir e obter dados, eles se interessem” (sic).*

Sua resposta indica que a proposta tem potencialidade de atingir um de seus objetivos, que é de motivar e incentivar os estudantes a realizarem experimentos que envolvam a utilização de um equipamento comum a eles, havendo possibilidade de isso impactar positivamente na aprendizagem do conceito gerador do experimento. Sobre a possibilidade de usar o roteiro em sala de aula, o Professor E escreveu:

“Da forma como foi pensando e construindo não vejo necessidade de mudanças, achei bem interessante e com certeza aplicaria sim em sala de aula por ser um experimento simples e ajuda a confirmar a aceleração da gravidade” (sic).

É possível notar, de modo geral, animação com a proposta por parte do Professor E em suas respostas, não apenas pela utilização do celular, mas também porque os resultados obtidos são suficientemente robustos para poderem ser apresentados e discutidos em aula. Um receio comum dos professores, discutido no Capítulo 2, é o desenvolvimento de experimentos que porventura não alcançam os valores esperados ou não demonstram um fenômeno desejado, causando dúvidas desnecessárias nos alunos e porventura colocando em xeque as capacidades do docente em questão, por isso há a preocupação de os roteiros contidos no Manual terem uma estrutura simples, mas plenamente eficiente.

4.5.2 Resultados do Professor F

Os instantes de tempo, em segundos, onde ocorreram diminuição da luminosidade medida pela passagem de um pêndulo com massa metálica e fio de nylon, tendo 67 cm de comprimento e obtidas através de um smartphone Samsung pelo Professor F, estão contidas na Tabela 4.11:

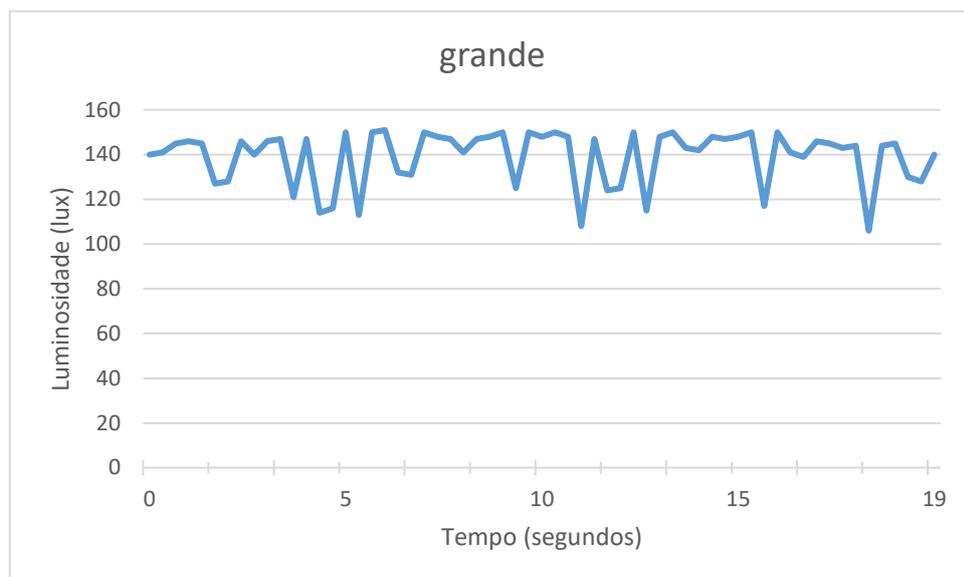
Tabela 4.11: Instantes onde a luminosidade diminuiu pela passagem do pêndulo – Professor F.

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10
grande	1,103	2,067	3,758	4,606	5,452	6,421	7,991	8,957	9,801	10,653
pequeno	6,56	7,402	8,131	9,096	9,822	10,789	11,359	12,205	13,172	13,896

Fonte: Elaborado pelo autor.

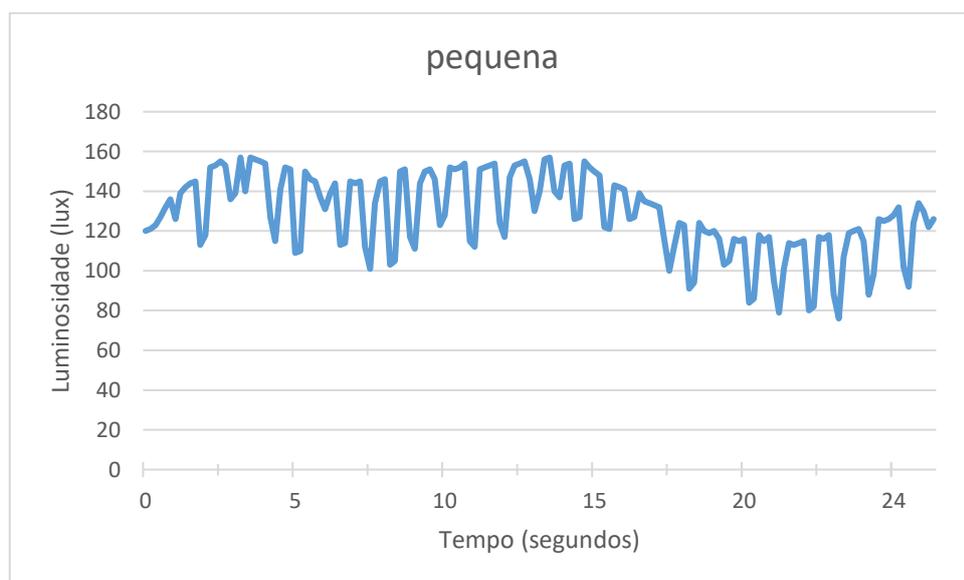
Os Gráficos 4.5 e 4.6 abaixo mostram como a luminosidade variou ao longo do tempo durante as medições:

Gráfico 4.5: Luminosidade medida, em lux, pelo celular em função do tempo para balanços de grande ângulo do pêndulo – Professor F.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 4.6: Luminosidade medida, em lux, pelo celular em função do tempo para balanços de pequeno ângulo do pêndulo – Professor F.



Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar que o Gráfico 4.6 apresenta vales muito mais discerníveis em comparação ao Gráfico 4.5, permitindo a determinação dos valores de tempo de forma muito mais precisa. O período do pêndulo, em segundos, para grandes e pequenos ângulos, está apresentado na Tabela 4.12:

Tabela 4.12: Período de um pêndulo de 67 cm para ângulo grande e pequeno – Professor F.

	t3-t1	t4-t2	t5-t3	t6-t4	t7-t5	t8-t6	t9-t7	t10-t8	média
Grande	2,655	2,539	1,694	1,815	2,539	2,536	1,81	1,696	2,16
Pequeno	1,571	1,694	1,691	1,693	1,537	1,416	1,813	1,691	1,64

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como nas medidas do Professor E, temos um maior desvio das medidas do grande ângulo em relação ao pequeno, assim como um maior valor médio para o período. Como a aceleração da gravidade é inversamente proporcional ao período, podemos esperar também um menor valor da aceleração gravitacional usando essa metodologia. De fato, usando $\pi = 3,1415$ na Equação (3), o Professor F obteve o valor $g = 5,67 \text{ m/s}^2$ para a montagem utilizando a grande ângulo, e $g = 9,85 \text{ m/s}^2$ para a montagem de pequeno ângulo.

Apresentando um erro relativo percentual menor que 1%, esta proposta atinge um resultado fantástico para nível escolar básico, principalmente considerando os poucos recursos necessários para sua execução. Tal precisão pode ser explicada considerando que a parte com maior probabilidade de erro de medida – a medição do período do pêndulo – é totalmente automatizada pelo sensor do celular, independentemente da perícia de uma pessoa em parar um cronômetro no momento exato, como normalmente aconteceria.

Novamente, o resultado da aceleração da gravidade com o pêndulo sendo balançado com grande ângulo pode ser desconsiderado neste caso, pois esta situação não está prevista na teoria. Juntamente com a sugestão na discussão dos resultados do Professor E, entretanto, acrescenta-se aqui a possibilidade de estudar o movimento harmônico amortecido através desse recurso, havendo necessidade nesse caso de deixar o pêndulo balançando por longos períodos mais longos. Sobre as possíveis dificuldades em seguir o roteiro, o Professor F respondeu:

- “Tive um pouco de dificuldade em conseguir fazer o pêndulo ficar em cima do sensor enquanto se movia pois ele ficava saindo de lado, principalmente quando puxava bastante a cabeça dele. Depois de apoiar melhor a linha melhorou”.

De fato, é necessário que o corpo de massa do pêndulo se mova sempre em cima do sensor de luz, a fim de diminuir seu valor quando ocorrer uma passagem. Passou-se a se recomendar no roteiro tomar cuidado no puxão lateral inicial para que sejam evitados movimentos laterais que dificultam as medidas, podendo inclusive interferir nos valores finais. Sobre a linguagem do texto e instruções, foi respondido:

- “Sim, dá para entender bem o que está se pedindo”.

E sobre a validade da proposta e o interesse perante os alunos:

- “Acho que a proposta é válida sim, não teria nenhuma sugestão para mudar, mas da forma como foi pensada e organizada acredito que isso possa ser um ótimo incentivo para os alunos participarem mais”.

Novamente nota-se animação por parte do colaborador com a proposta, indicando que em sua opinião o experimento pode ser conduzido em sala de aula sem problemas. A aprovação dos Professores E e F em relação ao roteiro desenvolvido, juntamente com os resultados consistentes obtidos por eles, traz maior confiança na possibilidade de desenvolvimento de experimentos desse tipo durante as aulas de Física. De fato, versões alternativas da proposta que se utilizam de molas ao invés de pêndulos, por exemplo, podem ser empregadas, ficando como sugestão ao leitor. Na seção a seguir serão apresentados os resultados do roteiro do Apêndice E obtidos pelo autor.

4.5.3 Resultados do autor

O pêndulo indicado no Apêndice E foi construído utilizando-se uma massa metálica com gancho presa a uma linha de pipa, com 147 cm de comprimento total. A Figura 4.18 ilustra a montagem do pêndulo:

Figura 4.18: Pêndulo utilizado pelo autor para realização das medidas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O pêndulo foi preso a um suporte onde estava livre para balançar lateralmente. A Tabela 4.13 mostra os instantes de tempo, em segundos, em que ocorreram as diminuições na intensidade da luz graças a passagem do pêndulo sobre o sensor, tanto para pequenos ângulos do pêndulo quanto para grandes:

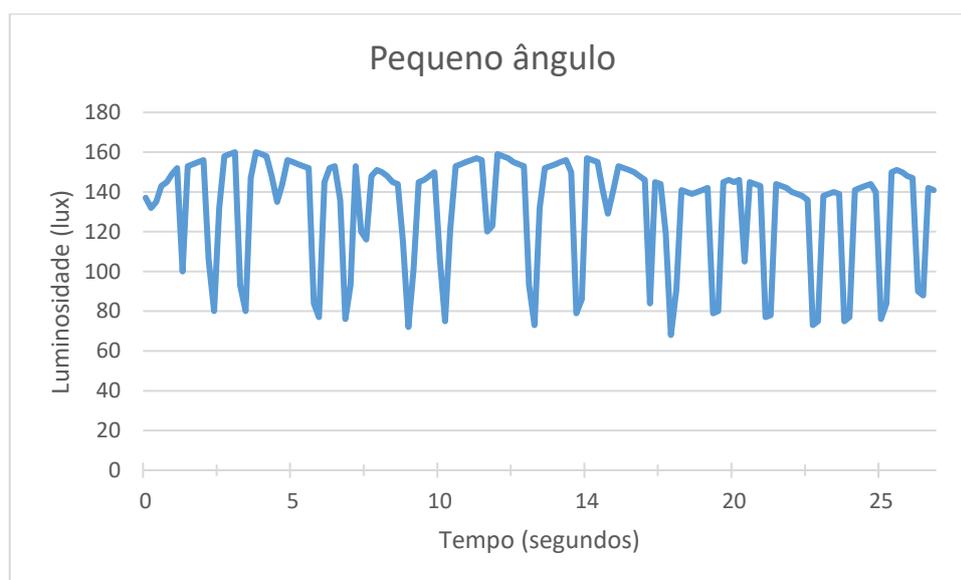
Tabela 4.13: Instantes onde a luminosidade diminuiu pela passagem do pêndulo e período médio T das passagens – autor.

	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	T
Pequeno Ângulo	0,789	2,127	3,335	4,543	5,632	6,961	8,171	9,379	10,587	11,796	2,433
Grande Ângulo	0,805	2,207	4,431	5,7631	6,969	8,178	9,264	10,432	11,681	13,01	2,709

Fonte: Elaborado pelo autor.

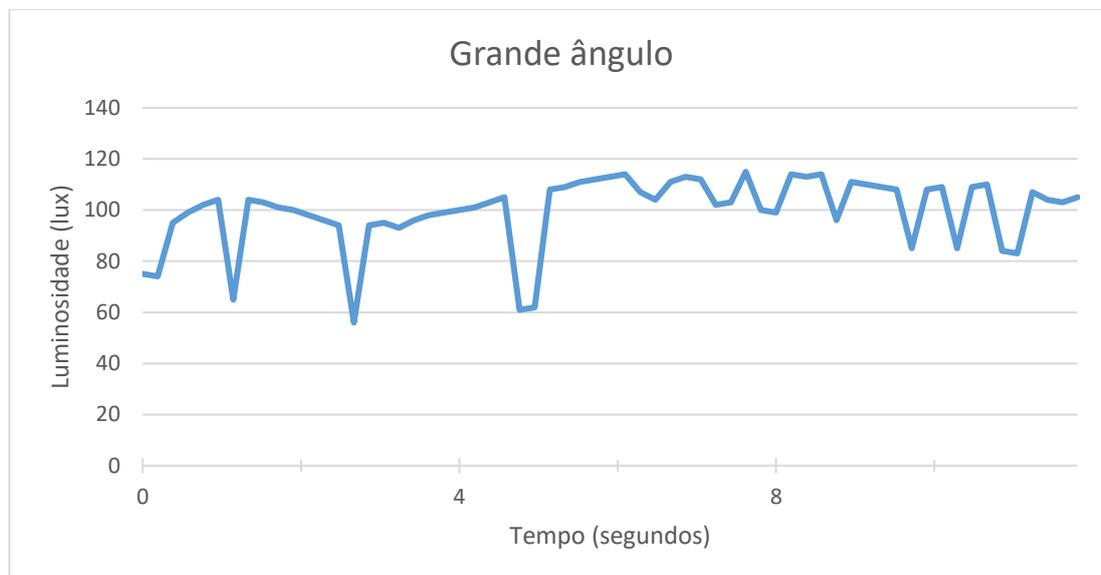
Novamente, o período médio T medido para grande ângulo do pêndulo foi maior do que para a pequena, o que deve resultar num menor valor de aceleração da gravidade. Nota-se, entretanto, que a diferença é sensivelmente menor em comparação aos professores E e F, provavelmente por causa do maior comprimento do pêndulo utilizado. Os Gráficos 4.7 e 4.8 mostram as variações na luminosidade enquanto o pêndulo se movimentava sobre o sensor:

Gráfico 4.7: Luminosidade medida do sensor para pequeno ângulo do pêndulo em função do tempo - autor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 4.8: Luminosidade medida do sensor para grande ângulo do pêndulo em função do tempo - autor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como é possível observar, as passagens do pêndulo no Gráfico 4.8 são muito menos discerníveis, assim como apontado pelo Professor F. Certo cuidado deve ser tomado nesse caso para que se escolham os pontos corretos para a determinação do período do pêndulo. A partir da média dos períodos determinados com os dados do gráfico, chega-se no valor $g = 7,90 \text{ m/s}^2$ para o pêndulo com grande ângulo, e $9,80 \text{ m/s}^2$ para o pêndulo com pequeno ângulo, reforçando ainda mais os resultados obtidos anteriormente.

Durante a execução do experimento foi possível identificar também a influência que a sombra causada pela passagem de uma mão ou de algum corpo entre a fonte de luz e o celular pode causar na captação dos dados. Indica-se, portanto, que se evitem movimentos próximos ao celular durante a coleta das informações. Pode-se também pensar em se colocar um ímã na massa do pêndulo e fazer uso do magnetômetro ao invés do luxímetro, de modo que não haveria dependência da luz ambiente para execução do experimento.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

Apesar de a aplicação do produto educacional com alunos não ter sido uma possibilidade, conforme se observa através dos resultados obtidos pelos professores participantes da aplicação do produto educacional *Manual de Experimentos de Física Utilizando o Smartphone*, é possível se pensar seriamente em lançar mão dos aparelhos celulares nas aulas de Física. Sendo versáteis, acessíveis e precisos, seu uso enriquece propostas experimentais clássicas como as do plano inclinado e do pêndulo, permitindo também que sejam empregados onde antes seriam necessários sensores específicos para um certo fim, como medição de campos magnéticos e intensidade sonora.

Fazendo parte do público-alvo dos produtos educacionais desse programa de pós-graduação, as dificuldades, comentários e sugestões desses professores com relação ao *Manual* foram tomados como essenciais na construção da versão final do produto. Mesmo levando em consideração todas as diferenças possíveis entre conduzir um experimento dentro e fora da sala de aula, não houve nenhum caso em que um roteiro foi indicado como improvável de ser plenamente praticável por qualquer motivo. De fato, houve interesse e entusiasmo de modo geral com relação ao desenvolvimento dos experimentos pelos estudantes, dando suporte à proposta desta dissertação.

Por propor um conjunto de roteiros experimentais de baixo custo, com implementação de recursos computacionais e aquisição de dados através de um smartphone, espera-se que esta obra se apresente para o professor como um material de ensino potencialmente significativo que permita inserir a experimentação no cotidiano da matéria de Física de forma decisiva, contínua e democrática, potencializando a motivação, aprendizagem, envolvimento e formação do aluno. Para aqueles com acesso a mais recursos laboratoriais ou maior familiaridade com o

tema, múltiplas formas de execução e alterações na base dos roteiros podem ser aplicadas para atender uma necessidade específica. De qualquer forma, é meu desejo que este produto sirva de inspiração na elaboração do planejamento de atividades e contribua positivamente na prática docente.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Luana Carla Zanelato do et al. Sequências didáticas potencialmente significativas com enfoque CTS: uma proposta para qualificar o ensino de reações químicas. Dissertação de mestrado. Universidade de Passo Fundo: Passo Fundo, 2016.

AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICS TEACHERS. Goals of the introductory physics laboratory. **American Journal of Physics**, v. 66, n. 6, p. 483-485, 1998.

AUSUBEL, David Paul. The psychology of meaningful verbal learning. **New York: Grune & Stratton** 1963. 255 p.

AUSUBEL, David Paul et al. Educational psychology: A cognitive view. **New York: Holt, Rinehart and Winston**, 1968. 685 p.

AUSUBEL, David Paul. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. **Lisboa: Plátano**, v. 1, 2003.

AZEVEDO, **Maria Cristina** Paternostro Stella de. et al. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Pioneira Thomson Learning**, v. 3, p. 19-33, 2004.

BAPTISTA, Mónica Luísa Mendes. Concepção e implementação de actividades de investigação: um estudo com professores de física e química do ensino básico. Tese de Doutoramento. Repositório da Universidade de Lisboa: Lisboa, 2010.

BESSON, U. et al. How to teach friction: Experiments and models. **Am. J. of Physics**, v. 75, n. 12, p. 1106-1113, 2007.

BORCELLI, Anelise Fernandes. Animação interativa: um material potencialmente significativo para aprendizagem de conceitos em física. **Revista da Graduação**, v. 1, n. 1, 2008.

BORGES, Antônio Tarciso. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.

BR, CGI. Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nas escolas brasileiras: TIC educação 2018. **São Paulo: Comitê Gestor da Internet no Brasil**, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. Base nacional comum curricular. Brasília, DF: MEC, 2015. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/conselho-nacional-de-educacao/base-nacional-comum-curricular-bncc>. Acesso em: 20 maio. 2020.

CARDOSO, Stenio Octávio de oliveira; DICKMAN, Adriana Gomes. Simulação computacional aliada à teoria da aprendizagem significativa: uma ferramenta para ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, p. 891-934, 2012.

CASTRO-PALACIO, Juan C. et al. Using a smartphone acceleration sensor to study uniform and uniformly accelerated circular motions. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 2, p. 1-5, 2014.

CHIQUETTO, Marcos José. O currículo de física do ensino médio no Brasil: discussão retrospectiva. **Revista e-curriculum**, v. 7, n. 1, 2011.

FERNANDES, A. C. P. et al. Efeito Doppler com tablet e smartphone. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 3, 2016.

FREITAS, R. G. B.; MARQUES, J.; SOARES, A. A. Determinando o Coeficiente de Atrito Com um Smartphone. **SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA**, v. 23, 2017.

GALIAZZI, Maria do Carmo et al. Objetivos das atividades experimentais no ensino médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de ciências. **Ciênc. educ.(Bauru)**, p. 249-263, 2001.

GOMES, Jocelma CAVALCANTE; CASTILHO, Weimar SILVA. Uma visão de como a física é ensinada na escola brasileira e a experimentação como estratégia para mudar essa realidade. **Anais eletrônicos. 1ª jornada de iniciação científica e extensão do IFTO**, 2009.

GASPAR, Alberto; MONTEIRO, Isabel Cristina de Castro. Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 2, p. 227-254, 2016.

HART, Christina et al. What is the purpose of this experiment? Or can students learn something from doing experiments?. **Journal of Research in Science Teaching: The Official**

Journal of the National Association for Research in Science Teaching, v. 37, n. 7, p. 655-675, 2000.

HIGA, Ivanilda; OLIVEIRA, Odisséa Boaventura de. A experimentação nas pesquisas sobre o ensino de Física: fundamentos epistemológicos e pedagógicos. **Educar em Revista**, n. 44, p. 75-92, 2012.

HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de Las Ciências**, v. 12, n.3, p. 299-313, 1994.

HOFSTEIN, Avi; LUNETTA, Vincent N. The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. **Science education**, v. 88, n. 1, p. 28-54, 2004.

JESUS, V. L. B.; SASAKI, D. G. G. Uma visão diferenciada sobre o ensino de forças impulsivas usando um smartphone. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 1, 2016.

KILHIAN, Kleber. **Logaritmos: os sons e a audição humana**. O Baricentro da Mente. [S.I.] 2011. Disponível em: < <https://www.obaricentrodamente.com/2011/11/logaritmos-os-sons-e-audicao-humana.html> >. Acesso em: 28 ago. 2020.

MARTINS, Alisson Antonio; GARCIA, Nilson Marcos Dias; BRITO, G. S. Ensino de física e novas tecnologias de informação e comunicação: uma análise da produção recente. **SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA**, v. 19, 2011.

MOREIRA, Marco Antonio. Ensino de Física no Brasil: retrospectiva e perspectivas. **Revista brasileira de ensino de física. São Paulo. Vol. 22, n. 1 (mar. 2000), p. 94-99**, 2000.

MOREIRA, Marco Antônio. A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. In: MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999. Cap. 10, p. 151-166.

MOREIRA, Marco Antônio. Metodologias de pesquisa em ensino. **São Paulo: Editora Livraria da Física**, v. 83, n. 3322.3222, 2011.

NASCIMENTO, Tiago Lessa. Repensando o ensino da Física no ensino médio. **UECE. Centro de Ciências e Tecnologia. Fortaleza**, 2010.

OLIVEIRA, Jane Raquel Silva de. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Acta Scientiae**, v. 12, n. 1, p. 139-153, 2010.

RIBEIRO, Bruno Nunes Myrrha et al. A Proposal of Potentially Meaningful Material for Teaching of Vector Mechanics. **Creative Education**, v. 5, n. 22, p. 1929, 2014.

SANTOS, Gedeel 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.

SASSERON, Lúcia Helena. ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA, ENSEÑANZA POR INVESTIGACIÓN Y ARGUMENTACIÓN: RELACIONES ENTRE LAS CIENCIAS DE LA NATURALEZA Y LA ESCUELA. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 17, n. spe, p. 49-67, 2015.

SOUZA, P. V. S.; DA SILVA, C. J. V.; BALTHAZAR, W. F. O arrasto magnético e as correntes de Foucault: um experimento de baixo custo com vídeo-análise. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 2, 2019.

TAMIR, Pinchas. Practical work in school science: an analysis of current practice. **Practical science**, p. 13-20, 1991.

VIEIRA, L. P.; LARA, V. O. M.; AMARAL, D. F. Demonstração da lei do inverso do quadrado com o auxílio de um tablet/smartphone. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, p. 1-3, 2014.

APÊNDICE A

COMO USAR O MANUAL

Apresentação

Caro leitor e leitora,

Este produto educacional foi desenvolvido como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física pelo Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, e tem como objetivo principal fornecer um material de apoio na implementação de atividades experimentais na disciplina de Física para o Ensino Fundamental e Médio.

O Manual é composto de quatro roteiros experimentais para realização em grupos, de baixo custo e pouco investimento de tempo, que podem ser seguidos mesmo em escolas sem laboratório de ciências, utilizando como principal instrumento de coleta de dados o smartphone de um ou mais integrantes de cada grupo a partir de um aplicativo intuitivo e gratuito.

Enquanto professores, sabemos de todas as dificuldades que se apresentam durante os processos de ensino e seu impacto na aprendizagem dos estudantes. O material aqui proposto é também um esforço para que atividades diferenciadas possam ser implementadas e apresentem resultados significativos na construção de conhecimento acerca dos assuntos abordados, independentemente da realidade escolar específica de quem o aplica. Por isso, os roteiros são simples de serem seguidos e devem ser encarados como uma sugestão de procedimento, podendo se adaptar à diferentes casos dependendo das suas condições de trabalho, tempo, recursos etc.

As propostas deste Manual estão relacionadas especificamente com os assuntos Mecânica, Acústica e Eletromagnetismo. Embora não exista aqui a pretensão de ensinar as teorias em que os baseiam, deseja-se que a condução dos experimentos pelos alunos e a utilização de uma tecnologia familiar a eles fortaleça os conceitos principais envolvidos em cada um dos assuntos, trazendo também maior significado e atrativos à sua aprendizagem.

Espero que o trabalho desenvolvido possa trazer frutos para a sua sala de aula e sirva como estimulante para novas propostas futuras.

ANTES DE COMEÇAR

Os roteiros experimentais contidos nesse manual têm como uma de suas bases a aquisição de dados através de um aplicativo de celular. Note que os dados dos sensores aqui listados, além de outros que não estão detalhados nas propostas, podem ser obtidos através dos mais variados aplicativos disponíveis para baixar, gratuitamente ou não, nas lojas virtuais dos respectivos fabricantes. É importante, portanto, que o professor que irá propor a realização dos roteiros seja familiar com o aplicativo e seus recursos, além do conteúdo da matéria em questão. Dessa forma, essa seção irá descrever passo-a-passo como utilizar as principais ferramentas necessárias para a condução dos experimentos propostos no Manual.

O aplicativo indicado é o *Physics Toolbox Sensor Suite*, produzido pela Vieyra Software e disponível gratuitamente nas principais lojas virtuais dos fabricantes de celulares (há também uma versão paga, indicada para o professor que quiser explorar outras possibilidades por conter alguns recursos extras mais específicos). Em sua página na Play Store, estão listados os seguintes sensores (há variação entre os sistemas operacionais Android e iOS, havendo necessidade eventual no caso do último de se baixar separadamente alguns dos sensores listados abaixo:

- (1) Medidor de Força-G - proporção de F_n / F_g (X, Y, Z e / ou total)
- (2) Acelerômetro linear - aceleração (x, y e / ou z)
- (3) Giroscópio - velocidade radial (x, y e / ou z)
- (4) Barômetro - pressão atmosférica
- (5) Montanha Russa – medidor de Força-G, acelerômetro linear, giroscópio, e Barômetro
- (6) Higrômetro - umidade relativa
- (7) Termômetro - temperatura
- (8) Proxímetro - movimento periódico e temporizador (modos de temporização e pêndulo)
- (9) Régua - distância entre dois pontos

- (10) Magnetômetro - intensidade do campo magnético (X, Y, Z e / ou total)
- (11) Compasso - direção e campo magnético nível de bolha
- (12) GPS - latitude, longitude, altitude, velocidade, direção, número de satélites
- (13) Inclinaçãometro - azimute, rolo, pitch
- (14) Medidor de Luz - a intensidade da luz
- (15) Detector de cor - detecta cores HEX dentro de uma pequena área de retângulo na tela através da câmera.
- (16) Medidor de som - intensidade do som
- (17) Detector de tom- frequência e tom musical
- (18) Osciloscópio - forma de onda e amplitude relativa
- (19) Analisador de espectro - FFT gráfica
- (20) Espectrograma - cachoeira FFT

Note que nem todos os aparelhos têm os medidores necessários para o funcionamento dos sensores no aplicativo, isso é, se o aparelho não tiver um barômetro embutido em seu hardware, por exemplo, o aplicativo não apresentará nenhum dado referente a esse sensor e retornará na tela uma mensagem de erro.

Além disso, é possível também usar os recursos presentes para criar alguns tipos de sinais. Na página do aplicativo, estão listados os seguintes geradores:

- (1) Gerador de Tom - produtor de frequência sonora
- (2) Gerador de Cor - G B M, tela R / / / Y / C / branco e cor personalizada
- (3) Estroboscópio (beta) - flash da câmera
- (4) Play - desafios
- (5) Gráfico de dados manual
- (6) AR - visualização em realidade aumentada de vetores de campos magnéticos
- (7) Temperatura do sistema - temperatura da bateria
- (8) Wi-Fi - Intensidade do sinal Wi-Fi

Novamente, a quantidade de geradores disponíveis para você dependerá da presença ou não do hardware específico necessário para seu funcionamento no smartphone. A gama de atividades possibilitada por esses recursos é altíssima, havendo diversos modos de se trabalhar um determinado conceito dependendo dos objetivos pedagógicos que se deseja alcançar. Dessa forma, recomenda-se ao professor que faça inicialmente o download do aplicativo em seu

próprio smartphone e reproduza os roteiros propostos antes de apresentá-los para a sala, garantindo que os resultados obtidos nesses testes preliminares estão de acordo com o esperado e possibilitando eventual auxílio aos seus estudantes frente a dificuldades de preparação, medição etc. que eventualmente possam ocorrer. A seção a seguir descreve como se aproveitar de algumas funcionalidades do aplicativo em sua versão 1.9.4.6 rodando em um smartphone com sistema operacional Android versão 9.0.

SOBRE O APLICATIVO

Ao terminar de baixar e iniciar o aplicativo, você deverá se deparar com esta tela:



Figura 01: Tela inicial do aplicativo Physics Toolbox. Fonte: Elaborado pelo autor.

O aplicativo inicia por padrão no “Medidor de Força-G”. Note que é possível observar linhas de diferentes cores de acordo com o eixo espacial de medição, bem como as escalas do gráfico e a gama máxima, ou seja, o máximo valor detectável com o sensor embutido. Os botões listados na Figura 01 se referem a algumas funcionalidades que irão ser utilizadas na condução das propostas do Manual e não alteram sua posição ou objetivo independentemente da medição conduzida, sendo eles:

1. Menu de sensores e geradores: Neste botão mostrado na Figura 02 é possível escolher entre os diferentes sensores e geradores listados na seção “Antes de começar”.

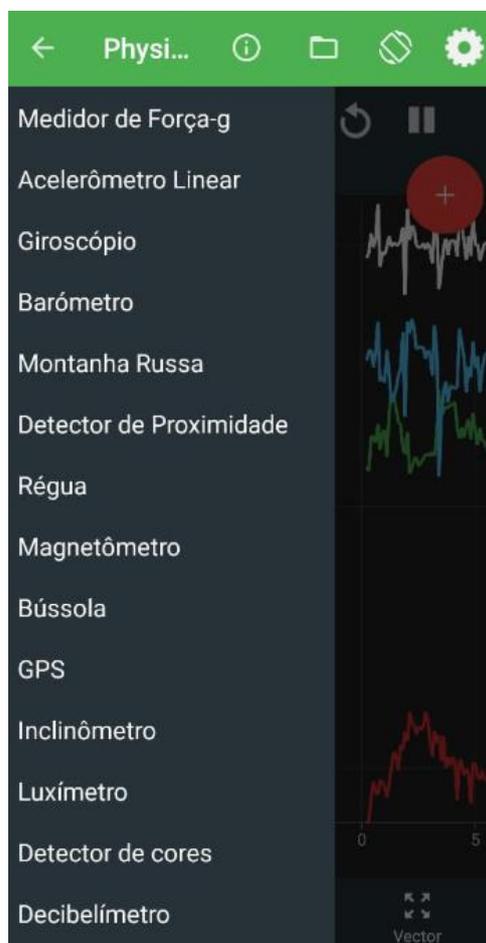
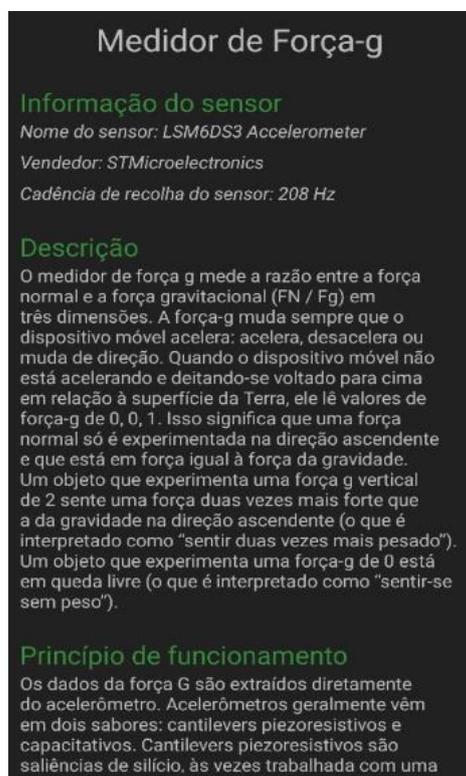


Figura 02: Menu flutuante de sensores e geradores. Fonte: Elaborado pelo autor.

2. Informações acerca do sensor utilizado, como o fabricante e a taxa de recolha de dados (Figura 03) . Também contém uma breve descrição e os princípios básicos de funcionamento específico do sensor, além de alguns links externos para mais informações.



Medidor de Força-g

Informação do sensor

Nome do sensor: LSM6DS3 Accelerometer
Vendedor: STMicroelectronics
Cadência de recolha do sensor: 208 Hz

Descrição

O medidor de força g mede a razão entre a força normal e a força gravitacional (F_N / F_g) em três dimensões. A força-g muda sempre que o dispositivo móvel acelera: acelera, desacelera ou muda de direção. Quando o dispositivo móvel não está acelerando e deitando-se voltado para cima em relação à superfície da Terra, ele lê valores de força-g de 0, 0, 1. Isso significa que uma força normal só é experimentada na direção ascendente e que está em força igual à força da gravidade. Um objeto que experimenta uma força g vertical de 2 sente uma força duas vezes mais forte que a da gravidade na direção ascendente (o que é interpretado como "sentir duas vezes mais pesado"). Um objeto que experimenta uma força-g de 0 está em queda livre (o que é interpretado como "sentir-se sem peso").

Princípio de funcionamento

Os dados da força G são extraídos diretamente do acelerômetro. Acelerômetros geralmente vêm em dois sabores: cantilevers piezoresistivos e capacitivos. Cantilevers piezoresistivos são saiências de silício, às vezes trabalhada com uma

Figura 03: Detalhes sobre o sensor escolhido. Fonte: Elaborado pelo autor.

3. Pasta contendo os arquivos salvos em medições anteriores (Figura 04).

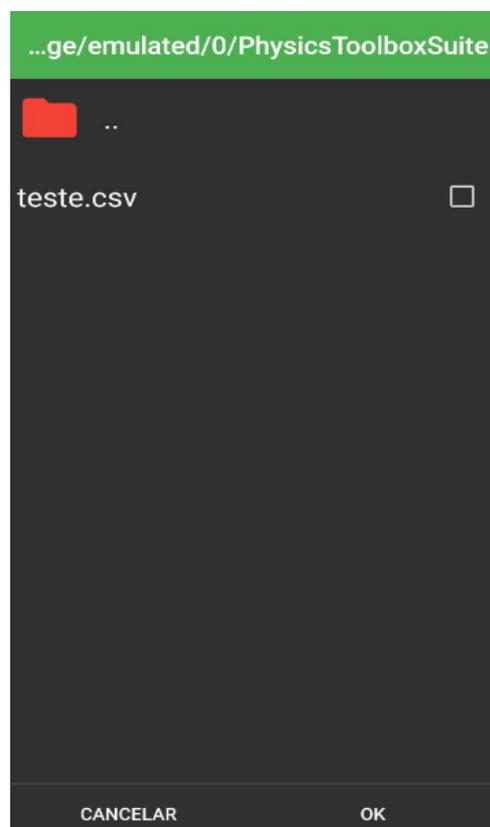


Figura 04: Pasta contendo os arquivos gerados pelo aplicativo. Fonte: Elaborado pelo autor.

4. Rotação da tela
5. Configurações de medição e das informações na tela, onde você pode alterar a taxa de medição, forma de apresentação dos dados etc. (Figura 05).



Figura 05: configurações de visualização dos dados do aplicativo. Fonte: Elaborado pelo autor.

6. Pausa a medição dos dados / reinicia a partir do instante pausado.
7. Reinicia a medição dos dados no tempo zero.
8. Inicia a gravação dos dados medidos em um arquivo de texto no formato *comma separated values* (csv, ou valores separados por vírgula). Quando estiver satisfeito, deve-se apertar o botão novamente para o salvamento do arquivo gerado no smartphone ou exportação em outros locais.

Apesar das medições em cada proposta do Manual utilizarem sensores diferentes, os oito botões listados acima, juntamente com suas descrições, são comuns a todos. Ressalta-se novamente a importância da familiaridade do docente com esses recursos para eventuais resoluções de dúvidas pontuais dos alunos. Embora intimamente relacionados com a tecnologia dos smartphones, sua provável falta de experiência com atividades práticas e conhecimentos específicos de termos e conceitos necessários não deve ser subestimada no momento da execução da proposta. Além disso, você terá a oportunidade de discutir questões que não necessariamente estão contempladas nos roteiros, mas estão intrinsecamente ligadas a experimentação, como a influência da taxa de cadência de recolha de dados, a precisão e valores

máximos e mínimos possíveis em cada medida, a importância de se orientar o celular em uma direção específica etc.

SOBRE O MANUAL

O **Manual de experimentos utilizando o smartphone como instrumento de medida** contém quatro roteiros experimentais com diferentes propostas metodológicas e sensores, englobando três assuntos da Física básica:

- Roteiro (1) - Decibelímetro: Acústica, contido no Apêndice B
- Roteiro (2) - Acelerômetro: Mecânica, contido no Apêndice C
- Roteiro (3) - Luxímetro: Mecânica, contido no Apêndice E
- Roteiro (4) Magnetômetro: Eletromagnetismo, contido no Apêndice D

Todos os roteiros têm tempo estimado de 2 aulas de 50 minutos cada e sugerem que sejam feitos por grupos em torno de 5 alunos. A interação entre os integrantes do grupo é de extrema importância e deve ser sempre estimulada, assim como a comparação entre os resultados dos grupos. A criação de um relatório com suas respectivas seções ou avaliações/pontuação acerca do desenvolvimento das propostas não estão contempladas, mas sem dúvida podem ser sugeridas pelo professor. A estruturação geral de cada roteiro estruturação é a seguinte:

- **Objetivos:** Apresenta o que se pretende obter com o experimento em questão. Deve-se sempre deixar claro aos alunos o que determinado experimento deseja alcançar, tanto em termos de resultados como objetivos educacionais.
- **Introdução:** Contém detalhes de como cada sensor funciona, bem como alguma revisão teórica sobre o assunto do experimento. Pode ser complementado pelo professor se necessário.
- **Procedimento experimental:** Descreve os materiais necessários e passos a serem seguidos pelos alunos na montagem e condução do experimento. Pode ser alterada de acordo com os materiais disponíveis para a realização da proposta.
- **Questões propostas para discussão:** Perguntas sobre as variáveis envolvidas e resultados obtidos que podem nortear discussões e elaboração eventual de relatórios. Também podem ser alteradas a gosto do professor.

O roteiro (1) é uma proposta investigativa pensada para ser aplicada em nível Fundamental cujo objetivo é promover e embasar uma discussão sobre poluição sonora na escola. Nesse sentido, ele pode ser utilizado como um ponto de partida para os alunos sobre o assunto acústica, estabelecendo as ideias iniciais acerca de intensidade sonora e aos danos à saúde causados pela exposição excessiva a sons fortes nos estudantes que não conheciam sobre esse tipo de medida. Portanto, você pode aplicá-lo como primeira tarefa do conteúdo e utilizar

os resultados obtidos para contribuir com sua aula de acústica posterior enquanto mantém os estudantes atentos no problema da poluição sonora.

Agora, se o conteúdo já foi suficientemente coberto em aulas anteriores e você deseja complementá-lo experimentalmente, ou se você deseja aplicar o roteiro (1) no ensino médio, a mesma proposta pode ser usada sem nenhuma alteração metodológica, porém pode ser interessante instigar os alunos a buscarem outras fontes sonoras para comparação e análise, além da requisição de um relatório da prática. Lembre-se de que o conhecimento das ideias prévias dos alunos sobre o assunto é de suma importância, então procure fazer um levantamento geral com a sala acerca do tema previamente à condução do experimento e altere qualquer ponto que achar necessário de acordo com as respostas que forem obtidas, como acrescentar algum detalhe conceitual não abordado no roteiro mas essencial para sua matéria.

Os roteiros (2) e (3) são propostas de verificação de leis da mecânica cujo público inicial é o Ensino Médio dado a complexidade matemática necessária envolvida. Para esses dois roteiros, recomenda-se que sejam aplicados posteriormente às aulas teóricas dos assuntos **Força de Atrito e Movimento Periódico de Pêndulos**, respectivamente. Feito dessa forma, há garantias de que os alunos conheçam os fenômenos e podem então testar as previsões teóricas feitas em exercícios ou durante as explicações. Enquanto o roteiro (2) propõe que os alunos calculem o coeficiente de atrito entre duas superfícies, o roteiro (3) descreve uma metodologia para obtenção da aceleração da gravidade.

Note que nesses casos existem valores tabelados considerados corretos que podem ser consultados para comparação com os obtidos experimentalmente. Desvios eventuais desses valores podem também ser discutidos em termos da montagem utilizada, calibração dos sensores, celulares etc. É importante que as fontes de erros sejam trabalhadas para que possíveis melhorias sejam sugeridas e aplicadas.

O roteiro (4) objetiva verificar a Lei de Ampère apresentada usualmente em materiais didáticos para eletroímãs em forma de solenoide, novamente pensado para o Ensino Médio devido ao seu tema, apresentando também uma possível montagem experimental para os ditos eletroímãs usando pilhas, parafuso e fios de cobre. Se desejar evitar que os alunos construam um eletroímã, recomenda-se que seja preparado um eletroímã com número de espiras conhecidas para que os alunos possam realizar suas medidas e comparar com o restante da sala.

Finalmente, ressalta-se que tanto os roteiros quanto o aplicativo escolhido e as indicações de procedimentos estão sujeitos a alterações de quem for utilizar o Manual, não havendo necessidade de segui-lo a risca. Inclusive, espera-se que quanto maior a familiaridade com a a experimentação, menos capital é a ideia de estruturação por roteiros guiados e mais pessoal é o desenvolvimento de sua proposta de acordo com suas próprias especificidades. No mínimo, desejo que este produto sirva de inspiração na elaboração do seu planejamento de atividades e prática docente.

APÊNDICE B

ROTEIRO USANDO O DECIBELÍMETRO

Roteiro: Níveis sonoros na escola

Objetivos:

Examinar diversos ambientes dentro da escola com relação à sua intensidade sonora, comparando-se os dados coletados com valores de referência para níveis aceitáveis. Esperamos identificar os pontos com maior volume de ruído e se a exposição contínua a esse ambiente pode ser prejudicial.

Introdução:

Um problema que geralmente nos passa despercebido no cotidiano é a presença de poluição sonora ao nosso redor, causada pelas mais variadas fontes. Embora pareça inofensiva, a ONU considera a poluição sonora o terceiro grande problema ambiental do mundo, e a OMS a trata como um grande problema de saúde mundial e agressivo ao ser humano, recomendando um nível máximo de 50 decibéis (dB) para serem evitados problemas auditivos em curto ou longo prazo.

A unidade de medida decibel é baseada em escala logarítmica e mede a razão entre uma determinada grandeza física e um valor de referência. A intensidade sonora I pode ser medida em decibéis segundo a equação:

$$I_{DB} = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}, \quad (1)$$

onde I_0 é o valor de referência, categorizado como o limite da audição, valendo $1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$. A Tabela 01 abaixo ilustra alguns valores de referência para comparação:

Níveis de ruído em decibéis					
Conforto acústico	Muito baixo	0 dB		Limiar do som	
		5 dB	Passarinho cantando		
		10 dB	Cochicho		
		15 dB	Torneira pingando		
		20 dB	Conversa normal		
	Baixo	25 dB			
		30 dB	Biblioteca	Limite para o sono	
		35 dB	Enfermaria		
		40 dB			
	Moderado	45 dB			
50 dB		Aspirador de pó ligado			
	Moderado	55 dB	Bebê chorando	Irritação	
	Moderado alto	60 dB		Irritação aumenta consideravelmente	
Riscos de danos à saúde	Moderado alto	65 dB	Cachorro latindo		
		70 dB			
		75 dB	Sala de aula		
		80 dB	Piano		
	Alto	85 dB	Telefone tocando	Tolerâncias de exposição	8h
		90 dB	Secador de cabelos		4h
		95 dB	Motocicleta		2h
		100 dB	Cortador de grama		1h
	Muito alto	105 dB	Caminhão		30 min
		110 dB	Pátio no intervalo das aulas		15 min
		115 dB	Banda tocando		7 min
		120 dB	Disparo de revólver		
		125 dB	Auto-falante		
		130 dB	Britadeira ligada		
		135 dB	Avião decolando		
		140 dB			

Tabela 01: Diferentes níveis de ruído sonoro e suas fontes. Fonte: Adaptado de: <https://www.obaricentrodamente.com/2011/11/logaritmos-os-sons-e-audicao-humana.html>. Acesso em julho/2020.

No Brasil, as leis trabalhistas estabelecem a necessidade de exames auditivos constantes em trabalhadores expostos a elevados níveis sonoros por longos períodos de tempo. Numa jornada de trabalho de oito horas, por exemplo, o limite aos ruídos do ambiente não deve ultrapassar 85 dB. Ruídos, por sua vez, podem ser definidos

como modificações nas propriedades naturais de um ambiente passíveis de causarem danos auditivos devido à sua intensidade, sendo assim indesejáveis e desconfortáveis Musafir (2014). A sensação de desconforto também pode derivar da falta de periodicidade das ondas sonoras ao alcançar o ouvido.

Em relação ao tratamento do tema durante as aulas de Física, este parece ser negligenciado nos materiais didáticos em favor de outros subtópicos da ondulatória, como eco e efeito Doppler-Fizeau. Dessa forma, o tratamento dispensado à poluição sonora recai sobre outras matérias ou como menção de rodapé. Entretanto, dentro do ambiente escolar existem inúmeras fontes de ruídos com efeitos possivelmente danosos, não apenas para a saúde, como para o aprendizado. Sem dúvidas, a concentração auditiva e visual, raciocínio, e memorização, por exemplo, são fortemente afetados pelas condições ambientais.

Um dos principais instrumentos relacionados a esses problemas nas salas de aula é o smartphone, graças a sua capacidade de reproduzir músicas em volumes altíssimos diretamente dentro do ouvido do usuário. Aproveitando-se dessa conotação *a priori* ruim, pretendemos usar exatamente o smartphone como um instrumento para medir a intensidade sonora do ambiente escolar. Utilizaremos para isso o microfone instalado em todos os aparelhos, necessário para o funcionamento do sensor sonoro chamado decibelímetro.

Decibelímetro

- ***Smartphone: Xiaomi Mi A2 Lite***
- ***Sensor: Microfone capacitivo do aparelho***

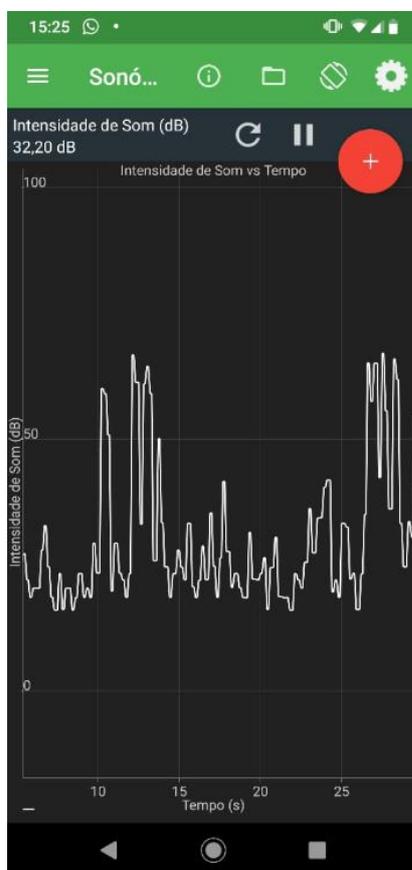


Figura 01: Tela do aplicativo *Physics Toolbox* configurado para mostrar a intensidade sonora do ambiente em função do tempo. Fonte: elaborado pelo autor

A intensidade sonora mostrada em uma medição de um decibelímetro como na figura 01 é determinada através de um microfone nele embutido. O microfone capacitivo dos celulares converte energia sonora em elétrica, e é composto por uma membrana condutora que se flexiona quando uma onda sonora a atinge, e uma placa condutora posicionada atrás da membrana. Quando a membrana flexiona graças ao som que nela chega, a diferença de potencial entre a membrana e a placa se altera.

Essa variação causada pelas ondas sonoras atingindo a membrana produz um sinal elétrico modulado correspondente à frequência e intensidade do som original. Sendo assim, sons fortes causam vibrações mais intensas na membrana e são interpretados como tendo maior intensidade energética, medindo-se assim uma quantidade maior de decibéis. Uma discussão mais profunda do funcionamento do decibelímetro está disponível no capítulo 3.2 da dissertação.

Procedimento experimental

Materiais: Smartphone

Escolha cinco locais da escola em horários adequados para a coleta dos dados.

Exemplos: Sala de aula com e sem atividades, pátio no intervalo, quadra esportiva, corredor etc.

1. Vá para o primeiro local e abra o aplicativo Physics Toolbox, configurando-o para exibir na tela a leitura do decibelímetro.
2. Inicie a gravação dos dados evitando ao máximo fazer qualquer ruído próprio durante 10 segundos.
3. Pause a gravação e anote o maior e o menor valor obtidos na tabela abaixo;
4. Vá para o próximo local e repita os passos 3 e 4.

	<i>Local 1</i>	<i>Local 2</i>	<i>Local 3</i>	<i>Local 4</i>	<i>Local 5</i>
Maior Valor					
Menor Valor					

Questões propostas para discussão:

1. Onde ocorreram as medições de maior intensidade? E de menor?
2. Os níveis sonoros encontrados estão dentro de qual faixa de acordo com a Tabela 01?
3. Utilizando os exemplos da Tabela 01, com qual situação cada nível medido poderia ser comparado?
4. Se os níveis sonoros medidos têm potencial para causar danos à saúde, o que poderia ser feito para minimizar seus efeitos?
5. Você acha que a poluição sonora é um problema na escola? Onde os ruídos são mais frequentes? Onde são mais intensos?
6. Em geral, existem problemas de ruídos na sala de aula, internos ou externos, que atrapalham sua aprendizagem?

Referências

MUSAFIR, R. Poluição Sonora, Rio de Janeiro, Fevereiro 2014. 15.

NIEMANN, Hildegard; MASCHKE, Christian. WHO LARES Final report Noise effects and morbidity. **Berlin: World Health Organization**, p. t1, 200

APÊNDICE C

ROTEIRO USANDO O ACELERÔMETRO

Roteiro: Determinar o coeficiente de atrito estático entre duas superfícies

Objetivos:

Calcular o coeficiente de atrito estático entre duas superfícies com o auxílio do acelerômetro do celular.

Introdução:

O estudo das propriedades envolvendo a força de atrito remonta até a era de Leonardo da Vinci, época em que o famoso artista e cientista estabeleceu, por exemplo, a dependência da força de compressão entre os objetos no valor da força de atrito. Posteriormente Coulomb (1821) não apenas confirma os resultados de da Vinci, como também evidencia que o coeficiente de atrito entre dois objetos depende exclusivamente da composição das superfícies em contato entre ambos.

Atualmente, a força de atrito é entendida como a resultante das forças tangenciais às superfícies que estão em contato, produzidas pela interação entre pequenas rugosidades nos materiais, respeitando-se a Terceira Lei de Newton. Num plano inclinado, um objeto em repouso apresenta o seguinte diagrama de forças:

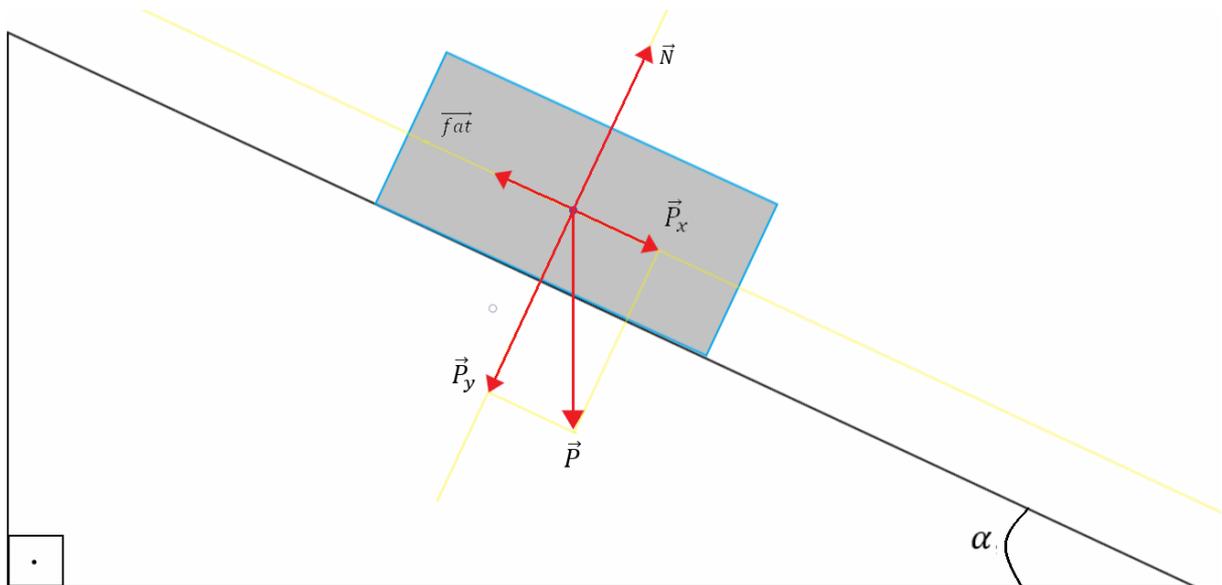


Figura 01: Diagrama de forças de um objeto estático num plano inclinado. Fonte: Elaborado pelo autor

Estando em repouso, todas as forças atuando no objeto se cancelam, nesse caso a componente da força Peso \vec{P}_x é igual em módulo a força de atrito \vec{f}_{at} . É possível mostrar nessa situação que o coeficiente de atrito estático máximo entre o objeto e o plano é obtido pela tangente de seu ângulo com a horizontal na iminência de movimento:

$$\mu = tg\alpha. \quad (1)$$

Para angulações maiores, o atrito estático não é suficiente e o bloco desce a rampa. Os componentes da força Peso podem ser determinados decompondo-se seu vetor:

$$\vec{P}_x = \vec{P} \cdot \text{sen}\alpha, \quad (2)$$

$$\vec{P}_y = \vec{P} \cdot \text{cos}\alpha. \quad (3)$$

Verifica-se portanto uma relação direta entre as componentes da força Peso e do coeficiente de atrito com a inclinação da rampa. Já que a força Peso sentida por um objeto é:

$$\vec{P} = m \cdot g, \quad (4)$$

sendo m a massa do objeto e g a aceleração da gravidade, a inclinação da rampa afeta diretamente o valor da aceleração da gravidade sentida em diferentes direções, uma vez que a massa do objeto é uma grandeza escalar constante. Podemos então tratarmos o problema em termos da chamada *Força-G* que, apesar do nome, refere-se a uma medida de aceleração em função da gravidade da Terra, admitida como sendo:

$$g = 9,806\ 65 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1G, \quad (5)$$

apontando verticalmente para baixo em planos horizontais. Num objeto em repouso sobre planos inclinados, esse valor se decompõe seguindo as equações (2) e (3). A medida da aceleração em G oferece uma referência em relação à gravidade terrestre, assim, um valor 2 G significa uma aceleração duas vezes maior que a gravidade, e assim por diante. Num celular parado e posicionado inicialmente na horizontal, a medição da Força-G ao longo do seu comprimento é zero. Entretanto, quando posicionado verticalmente, a Força-G ao longo de seu comprimento vale 1. Podemos analisar esse comportamento de forma que a Força-G sentida pelo celular ao longo de seu comprimento é equivalente ao seno do ângulo de inclinação em relação à horizontal, assim:

$$G = \text{sen}\alpha. \quad (6)$$

Há, portanto, relação direta entre a inclinação da rampa na iminência do movimento do objeto, a aceleração sentida pelo corpo e o coeficiente de atrito entre as superfícies dos corpos em contato.

Acelerômetro

- **Smartphone: Xiaomi Mi A2 Lite**
- **Sensor: LSM6DS3 Accelerometer**

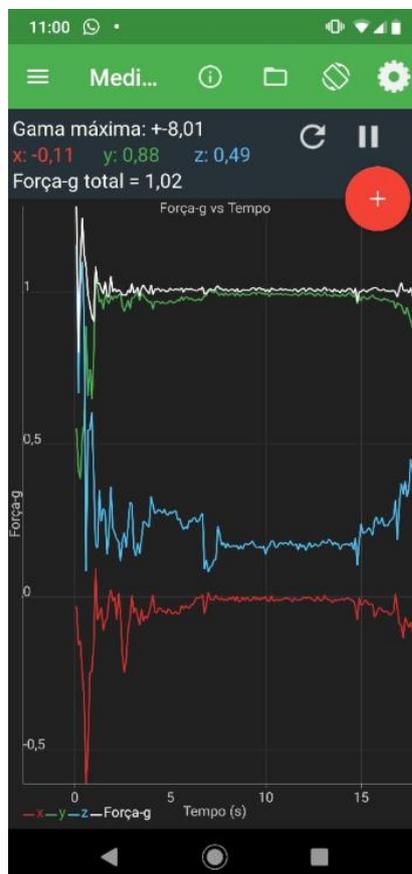


Figura 02: Tela do aplicativo *Physics Toolbox* configurado para mostrar a Força G em função do tempo. Fonte: elaborado pelo autor

O medidor de Força-G é um acelerômetro que mede a aceleração ao qual o aparelho é submetido em três eixos perpendiculares (x,y,z) individualmente, além de seu valor total. Ao contrário de um acelerômetro linear, entretanto, enquanto parado o sensor sempre mostra como referência no total o valor 1 G, ou seja, a aceleração da gravidade terrestre. Caso o smartphone caia em queda livre, o valor é zero G. Isso permite comparar as forças submetidas a um objeto com seu próprio peso. O princípio de funcionamento desse sensor baseia-se no chamado Efeito Hall. Sensores desse tipo possuem placas condutoras planas em cada eixo a ser medido, por onde flui corrente elétrica. Ao sentir os efeitos da gravidade em uma direção específica, uma dessas placas movimenta-se em relação à outra, alterando a distância de separação entre elas (essa placa contém o que é chamado de *massa sísmica*). O resultado é uma diferença de potencial entre os lados da placa medida pelo sensor, cujo valor e direção dependem da diferença da distância entre as placas em relação a seu ponto de equilíbrio. Ao sentir os efeitos da gravidade em certa direção, a massa sísmica altera sua distância entre a placa fixa do capacitor, mudando o potencial entre elas. Essa mudança é convertida então num valor de aceleração proporcional à gravidade. Uma discussão mais profunda do funcionamento do sensor está disponível no capítulo 3.2 da dissertação.

Procedimento experimental

Materiais: chapas/blocos de materiais variados, tábua de madeira, smartphone, fita dupla face.

1. Prenda o smartphone numa chapa/bloco com a fita dupla face. Você pode também usar capinhas de celular de materiais conhecidos ao invés de prender o celular num bloco.
2. Posicione o conjunto sobre a tábua e inicie o software.
3. Levante progressiva e lentamente a tábua, verificando em qual dos eixos a medição a aceleração, iniciando em zero, se altera com a inclinação.
4. Retorne o smartphone para a posição de equilíbrio e inicie a gravação dos dados.
5. Levante progressiva e lentamente a tábua até o smartphone entrar em movimento e descer a rampa. Atenção para movimentos laterais indesejáveis do smartphone.
6. Pause a gravação e anote a Força-G no momento do deslizamento. Este deverá ser o valor máximo mostrado no sensor antes de diminuir pelo deslizamento e aumentar na parada com o chão. Exporte os dados se achar necessário para análise no computador.

7. Repita os passos a partir do 4 até o 6, trocando a chapa em que está o smartphone por outra de material diferente.
8. Utilizando a equação (6) e uma tabela trigonométrica, determine o ângulo de inclinação do celular quando ocorreu o deslizamento.
9. Com o ângulo determinado, utilize a equação (1) para encontrar o coeficiente de atrito estático.
10. Confira na literatura se os seus resultados são compatíveis com os materiais utilizados na execução de cada rodada experimental.

Questões propostas para discussão:

1. Por que o valor da Força-G cai quando o smartphone desliza? E por que ela aumenta quando chega ao fim da rampa?
2. Qual coeficiente de atrito está sendo medido (estático ou cinético) está sendo medido neste experimento?
3. É possível calcular o atrito cinético de maneira similar?
4. O celular deslizaria com uma inclinação mais alta ou mais baixa se o coeficiente de atrito entre as superfícies fosse grande?
5. Como os valores medidos se comportaram em relação a teoria?

Referências:

COULOMB, C. A. *Théorie des Machines Simples.* Paris: Bachelier, 1821.

APÊNDICE D

ROTEIRO USANDO O MAGNETÔMETRO

Roteiro: Campo magnético de um eletroímã

Objetivos:

Mostrar a existência de um campo magnético criado a partir de um eletroímã na forma de uma bobina (ou solenoide), quando existe passagem de corrente pelo mesmo com o auxílio de um smartphone. Espera-se detectar também a diferença entre os polos norte e sul do eletroímã, além da dependência da intensidade do campo com a corrente elétrica e o número de espiras da bobina.

Introdução:

A existência do magnetismo é registrada há muito tempo na história, quando se verificou a propriedade da magnetita em atrair objetos feitos de ferro. Entretanto, certos materiais (chamados de ferromagnéticos) tem uma propriedade que os torna capazes de manter um campo magnético próprio após serem magnetizados, mesmo que, inicialmente, não apresentem tal propriedade, como uma barra de ferro quando exposta a um poderoso campo magnético. À magnetita, composta de óxido de ferro, damos o nome de ímã natural, enquanto aos objetos magnetizados damos o nome de ímã artificial.

Seja qual for o ímã, algumas características lhes são semelhantes: Todos possuem polos Norte e Sul, pelos quais as linhas de campo magnético viajam, sempre, por convenção, saindo do Norte e entrando no Sul, como ilustrado na Figura 01:

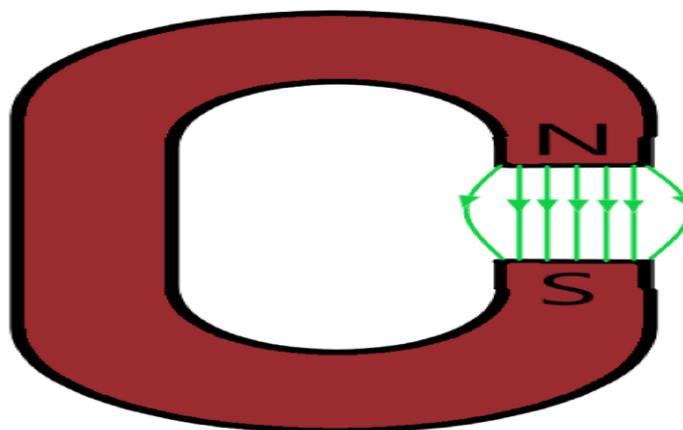


Figura 01: Linhas de campo magnético de um ímã. Fonte: Elaborado pelo autor

Hoje em dia, o estudo dos campos magnéticos é um dos mais completos da Física e proporciona inúmeras aplicações, como alto-falantes, gravação digital de dados, trancas de portas, motores e muitos outros. Na maioria das aplicações, entretanto, o elemento magnético é um eletroímã, cujo campo magnético é produzido através do movimento das cargas elétricas, como os elétrons numa corrente elétrica em um fio. Hans Christian Oersted, em 1820, foi o primeiro cientista a detectar efeitos magnéticos causados por correntes elétricas, ao verificar o desvio da agulha de uma bússola perto de um fio onde era submetida uma corrente elétrica.

Um eletroímã pode ser construído facilmente ao se enrolar um fio metálico formando espiras circulares muito próximas uma da outra. O campo magnético \vec{B} gerado por uma montagem desse tipo pode ser calculado pela lei de Ampère. Para um solenoide ideal de n espiras onde passa uma corrente elétrica i a lei de Ampère fornece, em sua direção axial:

$$B = \mu_0 in, \quad (1)$$

onde μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo. Dessa equação é possível observar que a intensidade do campo magnético é diretamente proporcional à intensidade da corrente elétrica e ao número de espiras da bobina, sendo um dos objetivos comprovar essa dependência com o auxílio do magnetômetro do smartphone.

Magnetômetro

- **Smartphone:** *Xiaomi Mi A2 Lite*
- **Sensor:** *AK09918 Magnetometer*
- **Cadência de recolha do Sensor:** *50 Hz*

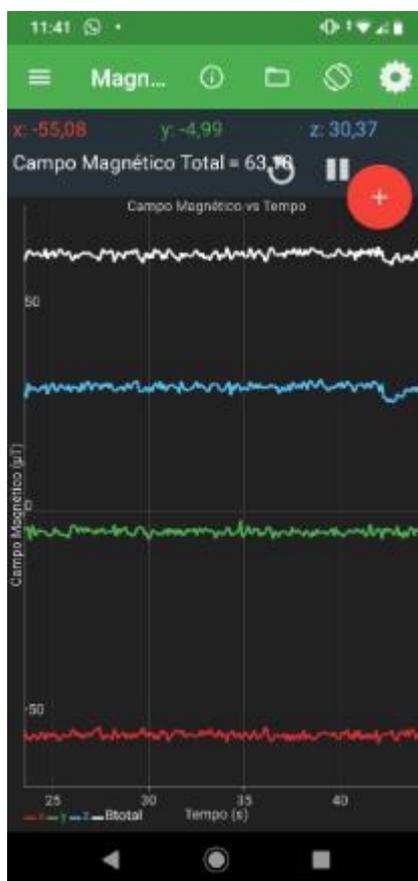


Figura 02: Tela do aplicativo *Physics Toolbox* configurado para mostrar o campo magnético que o smartphone está submetido em função do tempo. Fonte: elaborado pelo autor

O magnetômetro mede o campo magnético no qual o aparelho está inserido em três eixos perpendiculares (x,y,z) individualmente, bem como é capaz de fornecer seu valor total. Segundo o fabricante, seu uso é voltado para localização e trânsito de pessoas, enquanto seu princípio de funcionamento baseia-se numa tecnologia de alta sensibilidade do efeito Hall. Sensores desse tipo possuem placas condutoras planas em cada eixo a ser medido, por onde flui corrente elétrica. Ao ser aplicado um campo magnético externo, o caminho percorrido pelos elétrons deixa de ser direto e é desviado, polarizando a placa perpendicular ao fluxo de elétrons. O resultado é uma diferença de potencial entre os lados da placa medida pelo sensor, cujo valor e direção são maiores dependendo da direção e intensidade do campo magnético aplicados naquela determinada direção.

A bússola, antigo instrumento de navegação utilizada até os dias atuais, é uma espécie de magnetômetro. Sua agulha é composta de um material magnético que reage ao campo magnético terrestre, apontando sempre para o Sul magnético da Terra (cuja localização é próxima do Norte geográfico terrestre). Ela indica então a direção e o sentido de campos magnéticos, podendo também ser utilizada para detectar os efeitos de um eletroímã. Uma discussão mais profunda do funcionamento do sensor está disponível no capítulo 3.2 da dissertação.

Procedimento experimental

Materiais: Duas pilhas AA, parafuso, fios de cobre, alicate, fita isolante, smartphone com magnetômetro.

1. Construa um eletroímã simples enrolando o fio de cobre 10 vezes ao redor do parafuso, deixando as duas pontas do fio expostas. Não esqueça de raspar qualquer cobertura que o fio possa ter (Figura 03).



Figura 03: Exemplo de eletroímã com 10 voltas. Fonte: Elaborado pelo autor

2. Escolha um local plano e posicione o eletroímã.
3. Abra o aplicativo Physics Toolbox e configure-o para exibir na tela a leitura do magnetômetro.
4. Posicione o smartphone próximo ao eletroímã. Durante o experimento, marque e mantenha as posições de ambos o mais precisamente possível.
5. Anote os valores de referência do campo magnético B_{ref} exibidos pelo aplicativo sem a ligação do fio à pilha. Use a tabela no fim dos passos a seguir.
6. Ligue os fios à pilha, e após a estabilização do gráfico anote o valor do campo magnético para uma única pilha B_1 .
7. Retire a pilha, e verifique se o campo magnético volta para o valor de referência;
8. Monte as duas pilhas em série e ligue os fios. Anote o valor do campo magnético B_{2s} .
9. Retire as pilhas, monte-as em paralelo e religue os fios. Anote o valor do campo magnético B_{2p} .
10. Repita o experimento, agora dando 20 voltas no parafuso com o fio (Figura 04).



Figura 04: Exemplo de eletroímã com 20 voltas. Fonte: Elaborado pelo autor

$B_{ref} (\mu T)$	$B_1 (\mu T)$	$B_{2s} (\mu T)$	$B_{2p} (\mu T)$

Obs.: As montagens em série e paralelo podem ser feitas como segue:

- Série:
 - Una as pilhas com o polo positivo de uma em contato com o polo negativo da outra. Prenda as pilhas na superfície com a fita
 - Prenda as duas pontas do fio nos contatos livres com a fita para melhor fixação
- Paralelo:
 - Una as duas pilhas pelas laterais e passe a fita unindo-as, mantendo os polos iguais para um mesmo lado
 - Desencape cerca de 3 cm das extremidades do fio, separe cada extremidade em duas partes e prenda cada uma em um contato com a fita

Questões propostas para discussão:

1. Houve alteração do campo magnético medido entre cada uma das montagens? Qual foi maior? Qual foi menor?
2. Houve diferença entre montar as pilhas em série e em paralelo? Em qual espera-se que o campo magnético seja mais intenso?
3. Houve alteração em relação aos valores medidos com o fio dando 10 e 20 voltas no parafuso?
4. O valor medido estava no mesmo sentido do valor de referência? A que se refere esse valor?
5. O polo Norte do eletroímã estava na cabeça ou ponta do parafuso?
6. Como os dados medidos se comportaram?

APÊNDICE E

ROTEIRO USANDO O LUXÍMETRO

Roteiro: Determinar a aceleração da gravidade local com o luxímetro

Objetivos:

Calcular a aceleração da gravidade no local através da determinação do período de um corpo em movimento pendular, cujo valor será medido com o auxílio do luxímetro instalado no smartphone.

Introdução:

Dentre as muitas constantes naturais que são estudadas no ensino de Física, uma das mais familiares e antigas é a aceleração da gravidade na superfície terrestre. Absolutamente essencial para o estudo da Mecânica newtoniana, construção civil, automação de tarefas envolvendo movimento e uma série de outras aplicações, diversos experimentos e fórmulas matemáticas ao longo da história se propuseram a estabelecer seu valor com precisão.

Dentro do ensino básico, a maioria dos livros didáticos estabelece a aceleração da gravidade na superfície terrestre como sendo:

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2. \quad (1)$$

Ainda que na maioria dos exercícios, para efeito de cálculo, arredonda-se o valor acima para 10 m/s^2 . Para muitos, a Física como a entendemos hoje começou nas tentativas de determinação da aceleração da gravidade com os experimentos de queda dos corpos de Galileu, de onde o cientista concluiu que qualquer objeto, na ausência de resistências ao seu movimento, deveria cair de uma determinada altura sempre com o mesmo tempo.

Ao longo dos anos seguintes diversas propostas de medição foram feitas, dentre as quais se destacam as produzidas por Newton e Huygens, que envolviam pêndulos. Um pêndulo simples pode ser caracterizado por fio ligado a um objeto de massa consideravelmente maior que o próprio fio, como ilustrado na figura 01 abaixo.

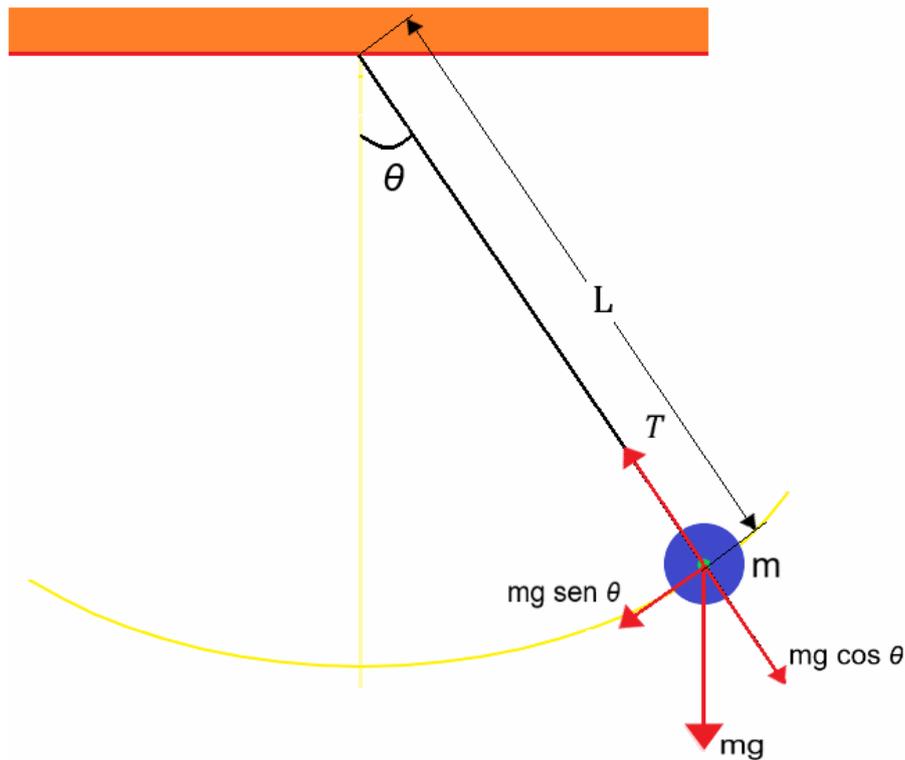


Figura 01: Pêndulo de massa m preso a um fio de comprimento L , puxado até um ângulo de abertura θ . Fonte: Elaborado pelo autor.

No pêndulo da Figura 01, as forças de tração T e a componente da força Peso no sentido oposto dada por $mg \cos \theta$ se anulam mutuamente. O pêndulo então só se move na direção de $mg \sin \theta$, variando no tempo o ângulo θ . Para valores pequenos de θ pode-se obter um movimento harmônico simples, cujo período é dado por:

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

Na equação (1) podemos ver que o período do pêndulo para pequenos ângulos depende apenas de parâmetros constantes. A partir dessa expressão, podemos então calcular a aceleração da gravidade como:

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}. \quad (3)$$

O período T de um pêndulo é o tempo necessário para que este complete uma oscilação. Nossa proposta permite determinar o período através da diferença temporal entre três passagens consecutivas do pêndulo acima do luxímetro do smartphone, causando uma diminuição abrupta na iluminação que chega ao sensor. Em posse desse valor, e medindo o comprimento do pêndulo, iremos calcular a aceleração da gravidade com (3) e comparar seu resultado com o valor da gravidade onde o experimento foi realizado, obtido utilizando a equação de Hinrichsen (1994). Tal equação é dada por:

$$|\vec{g}| = 9,83209 - 0,05179\cos^2(\alpha) - 3,086 \times 10^{-6}h, \quad (4)$$

Onde α é a latitude e h é a altitude do local onde o experimento é realizado. Estes dados podem ser obtidos na internet ou no próprio recurso GPS (*Global Position System*) do aplicativo. Caso esses dados estejam indisponíveis, o valor $g = 9,806\ 65$ m/s² pode ser tratado como a referência.

Luxímetro

- **Smartphone:** *Xiaomi Mi A2 Lite*
- **Sensor:** *LTR579 SLDPD*

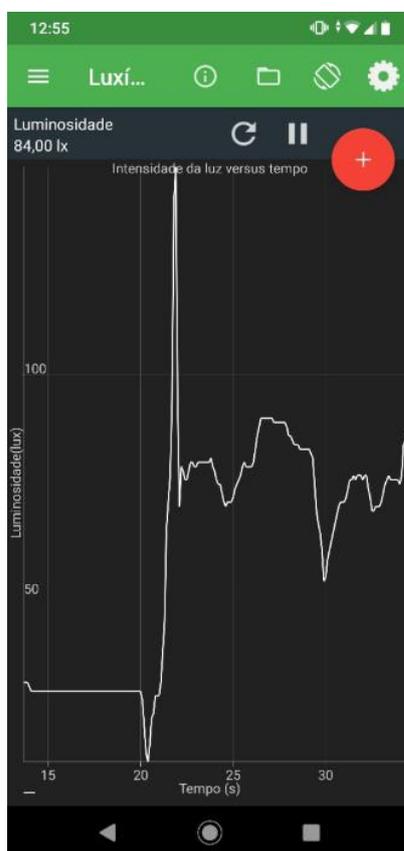


Figura 02: Tela do aplicativo *Physics Toolbox* configurado para mostrar a luminosidade ambiente em função do tempo. Fonte: elaborado pelo autor

O luxímetro utilizado é um fotorresistor composto por um semicondutor que permite passagem de corrente apenas quando os fótons de luz que o atingem tem uma precisa faixa de frequências, limitada ao espectro visível por filtros que impedem a passagem de luz infravermelha e ultravioleta. À medida que os fótons aumentam ou diminuem, assim o faz a corrente do semicondutor, sendo então interpretada como um aumento na iluminância.

A corrente elétrica em certo material deriva do movimento ordenado de seus elétrons. Condutores e isolantes se diferenciam basicamente pela quantidade de elétrons livres capazes de se movimentar quando estabelecido uma diferença de potencial, grandeza conhecida como resistência elétrica. Um fotorresistor é composto por um semiconductor de alta resistência, ou seja, com poucos elétrons livres, estando a maioria presos na rede cristalina do semiconductor. A medida que fótons de luz atingem o material, seus elétrons absorvem esses fótons e ganham sua energia, podendo ser capazes de se livrarem da rede e torná-lo condutor, diminuindo sua resistência elétrica. Esse processo é cumulativo, fazendo com que quanto mais luz incida sobre o semiconductor, menor fique sua resistência elétrica e maior a corrente conduzida por ele. A figura 03 abaixo ilustra um fotorresistor, com os contatos metálicos positivamente carregados. A medida que a luz incide sobre a camada semicondutora, elétrons ganham energia e podem se mover para os contatos, estabelecendo uma corrente elétrica. Como o número de elétrons liberados depende da intensidade da luz, o aumento da corrente elétrica pode ser traduzido como um aumento da iluminação. Uma discussão mais profunda do funcionamento do sensor está disponível no capítulo 3.2 da dissertação.

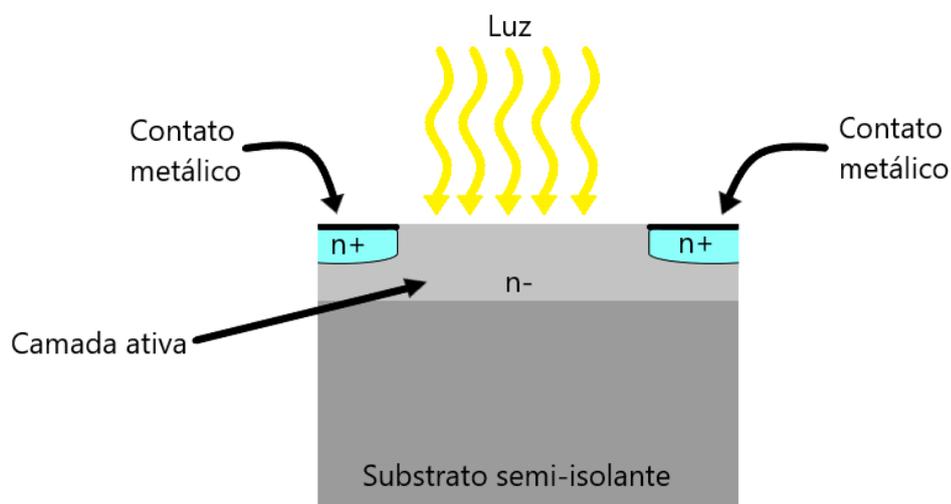


Figura 03: Estrutura do fotorresistor. Fonte: Elaborado pelo autor

Procedimento experimental

Materiais: linha de nylon, objeto metálico, smartphone com luxímetro.

1. Construa o pêndulo amarrando o objeto metálico na linha de nylon. Procure usar um material metálico pela sua elevada densidade, deixando o pêndulo o mais próximo do ideal possível.
2. Posicione o pêndulo de modo a permiti-lo balançar livremente pouco acima do chão. Use o canto de uma mesa ou um suporte fixo que o permita balançar sem impedimentos.

3. Encontre e posicione o sensor luxímetro do smartphone exatamente abaixo da posição de equilíbrio do pêndulo.
4. Inicie a gravação de dados e mova o pêndulo lateralmente consideravelmente (grande ângulo), soltando-o em seguida.
5. Deixe-o passar pelo luxímetro pelo menos 10 vezes, conferindo se formam-se picos e vales correspondentes às passagens no gráfico do sensor.
6. Pause a gravação e exporte os dados para o computador.
7. No software computacional ou no próprio aplicativo, destaque os valores de tempo onde ocorreram os vales do gráfico. Anote na tabela abaixo.
8. Calcule o período do pêndulo, fazendo a diferença entre os valores de tempo correspondentes a um período completo (t_1 e t_3 ; t_2 e t_4 ; t_3 e t_5 ...) e tirando sua média T .
9. Repita os procedimentos a partir do passo 4, mas agora movendo o pêndulo lateralmente apenas alguns centímetros (pequeno ângulo).
10. Usando a equação (2), calcule a aceleração da gravidade.

	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	T
Grande ângulo											
Pequeno ângulo											

Questões propostas para discussão:

1. O que aconteceria com o período do pêndulo conforme ele fosse deixado balançando por um longo tempo?
2. O período deve se alterar dependendo do ângulo inicial com que o pêndulo é solto?
3. O que aconteceria se fosse usado um pêndulo composto por uma bolinha de papel ao invés do objeto metálico?
4. O comprimento do fio de nylon é importante? Se ele fosse muito curto o resultado seria afetado?
5. O ângulo do pêndulo causou alteração no resultado? Por quê?
6. Como os valores medidos se comportaram em relação a teoria?

Referências

APÊNDICE F

QUESTÕES PARA OS PROFESSORES

Percepções sobre o roteiro

Agora que os passos do roteiro foram concluídos e os resultados foram obtidos, eu gostaria muito de saber sobre as suas impressões e sobre qualquer crítica e sugestão que você tenha a oferecer, seja sobre a linguagem, a proposta, o público-alvo, as instruções etc. Você pode fazer isso respondendo cada uma das questões abaixo, ou resumindo tudo em um único texto.

Sinta-se à vontade para escrever abaixo também qualquer melhoria que você considera possível implementar no produto educacional testado. Agradeço por qualquer retorno que possa melhorar o produto para sua versão final. Mais uma vez, obrigado pela participação na execução desse projeto.

- 1) **Você conseguiu seguir o roteiro sem problemas? Quais foram as dificuldades?**
- 2) **Os resultados que você obteve estão de acordo com o esperado? Onde você acha que poderiam ocorrer mudanças para obtenção de melhores resultados?**
- 3) **A linguagem está adequada para o público do experimento?**
- 4) **Você acha que o tema escolhido é do interesse dos estudantes?**
- 5) **Você acha que a proposta atual desperta o interesse dos estudantes? Que modificações você faria para aumentar o interesse?**
- 6) **Você acha que poderia reproduzir o roteiro atual em sua sala de aula? Que modificações seriam necessárias para produzir bons resultados?**

Críticas e melhorias gerais no produto: