

ENSINO FUNDAMENTAL E MÉDIO

MANUAL DE EXPERIMENTOS DE FÍSICA UTILIZANDO O SMARTPHONE

Produto Educacional elaborado
no MNPEF

DINÂMICA | ACÚSTICA | ELETROMAGNETISMO

RENAN GUSTAVO BELONI FREITAS



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) Inclinação - 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:

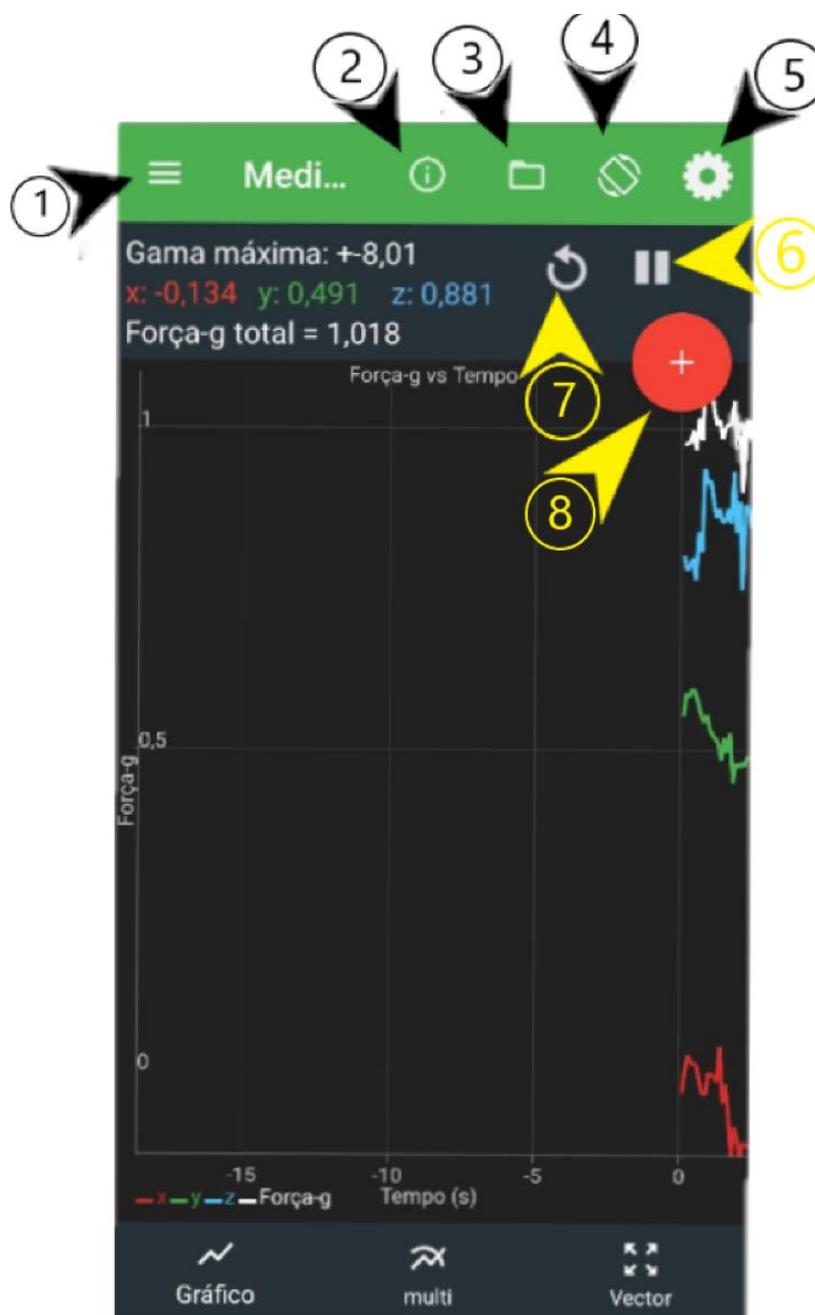


Figura 01: Tela inicial do aplicativo Physics Toolbox. Fonte: Elaborado pelo autor.

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”.

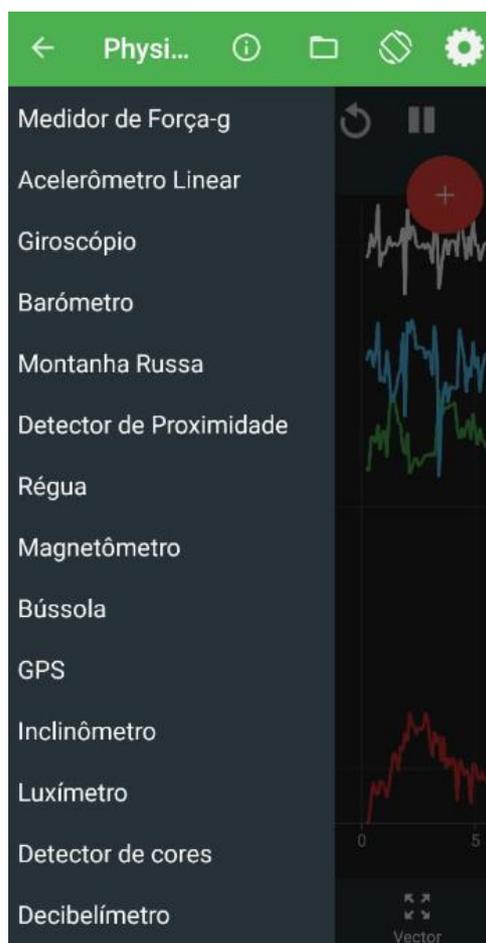


Figura 02: Menu flutuante de sensores e geradores. Fonte: Elaborado pelo autor.

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.

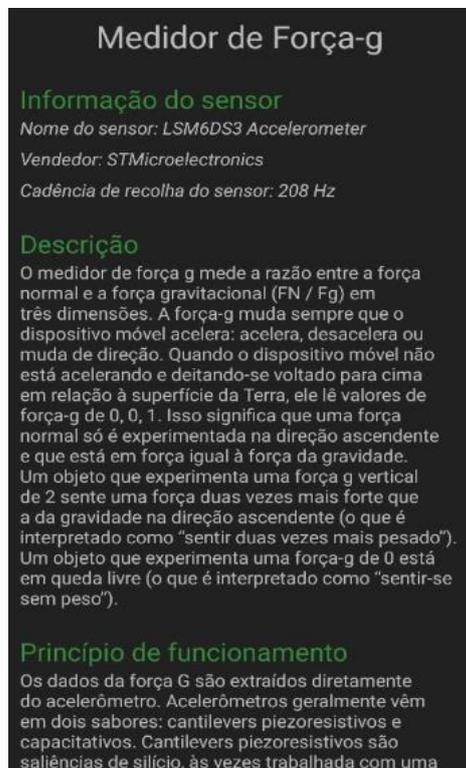


Figura 03: Detalhes sobre o sensor escolhido. Fonte: Elaborado pelo autor.

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

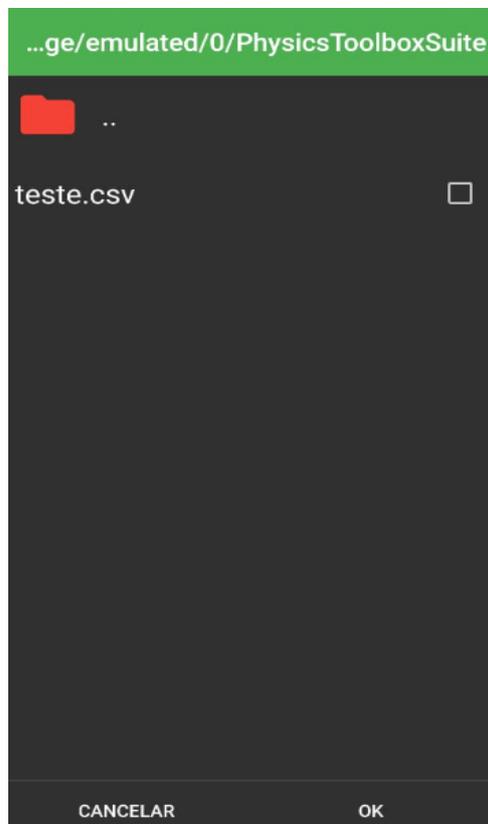


Figura 04: Pasta contendo os arquivos gerados pelo aplicativo. Fonte: Elaborado pelo autor.

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 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 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.

NÍVEIS SONOROS

Examinar diversos ambientes 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.



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		
	Moderado	40 dB			
		45 dB			
		50 dB	Aspirador de pó ligado		
	Moderado	55 dB	Bebê chorando	Irritação	
	Moderado alto	60 dB		Irritação aumenta	
Riscos de danos à saúde	Moderado alto	65 dB	Cachorro latindo	consideravelmente	
		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***

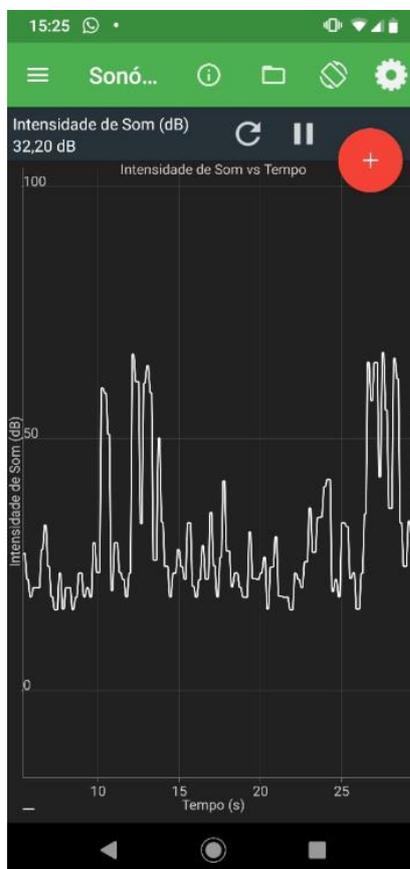


Figura 01: Tela do aplicativo *Physics Toolbox* configurado para mostrar a intensidade sonora do ambiente em função do tempo. Fonte: elaborado pelo autor

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

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO ESTÁTICO ENTRE SUPERFÍCIES



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

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:

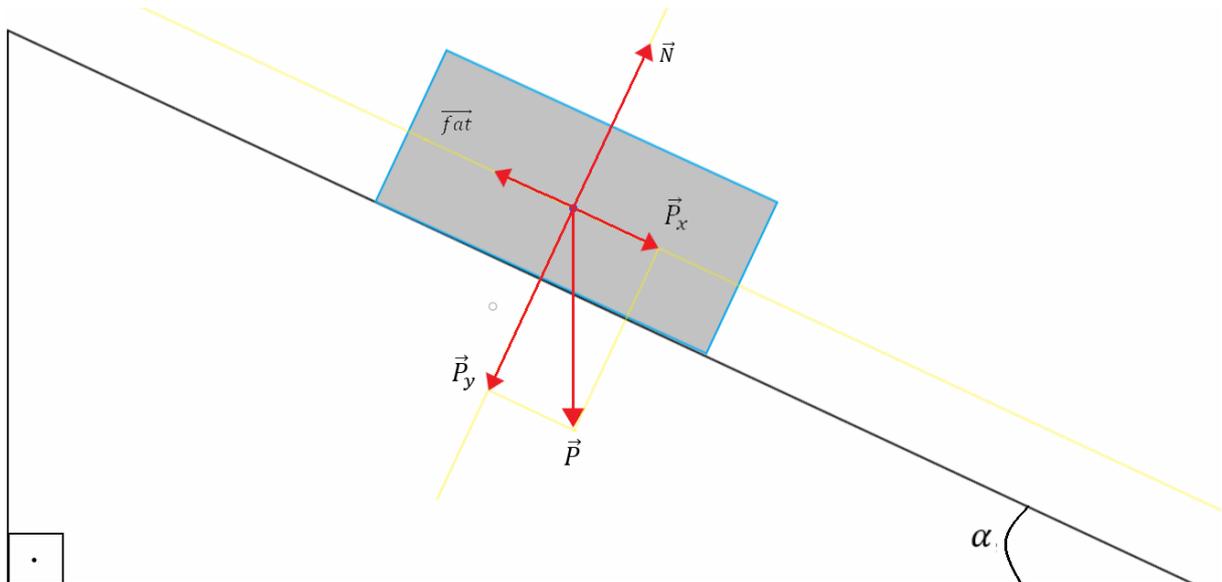


Figura 01: Diagrama de forças de um objeto estático num plano inclinado. Fonte: Elaborado pelo autor

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:

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

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

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:

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

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**

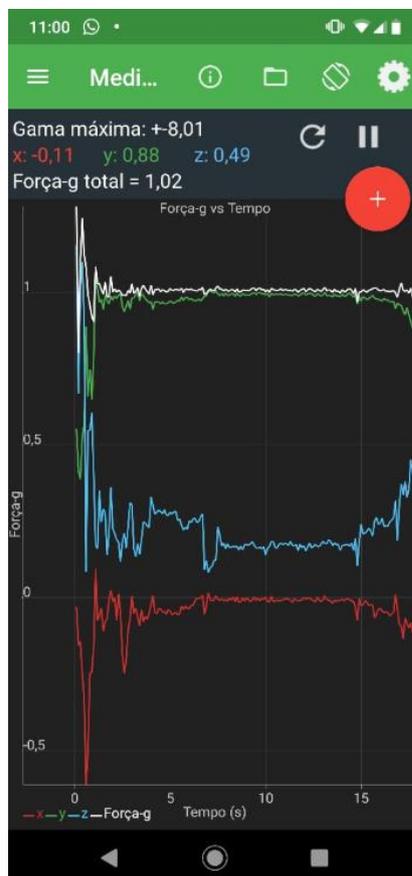


Figura 02: Tela do aplicativo *Physics Toolbox* configurado para mostrar a Força G em função do tempo. Fonte: elaborado pelo autor

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.

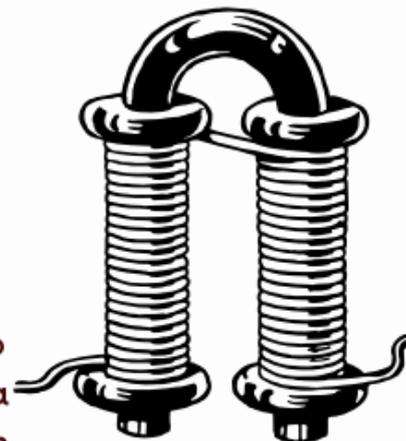
Questões propostas para discussão:

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.

CAMPO MAGNÉTICO DE UM ELETROÍMÃ



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

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:

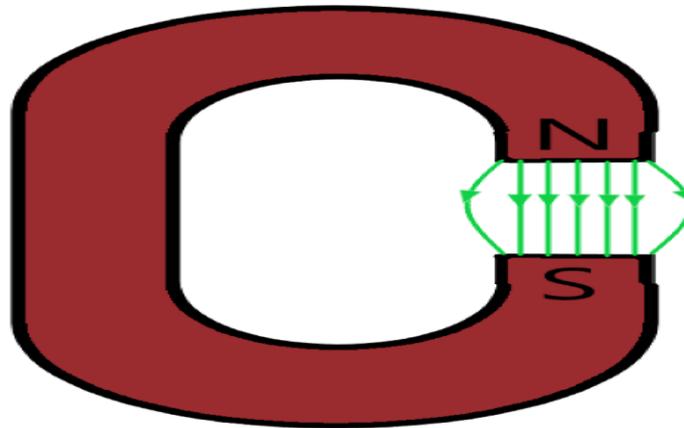


Figura 01: Linhas de campo magnético de um ímã. Fonte: Elaborado pelo autor

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*

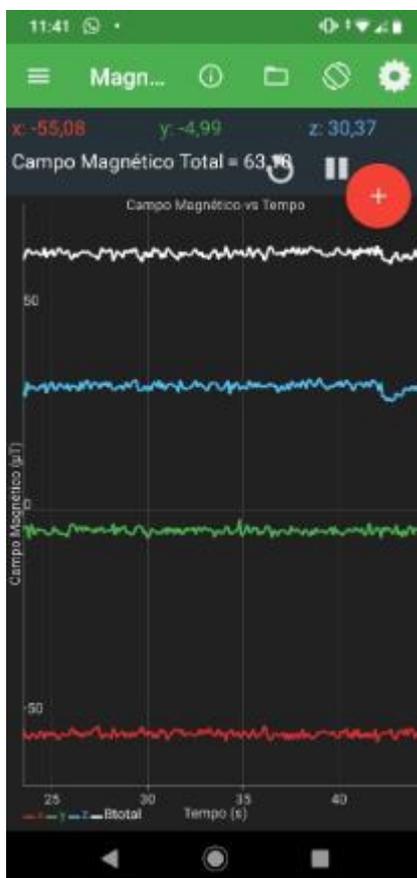


Figura 02: Tela do aplicativo *Physics Toolbox* configurado para mostrar o campo magnético que o smartphone está submetido em função do tempo. Fonte: elaborado pelo autor

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).

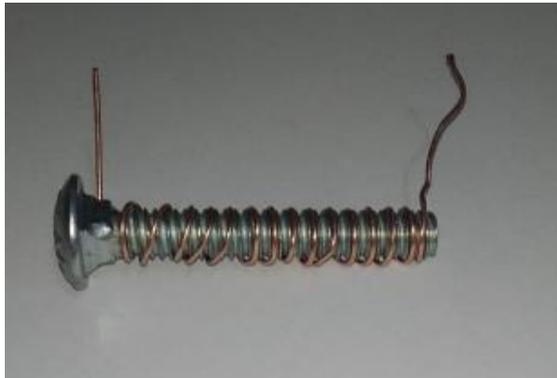


Figura 03: Exemplo de eletroímã com 10 voltas. Fonte: Elaborado pelo autor

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?

DETERMINAÇÃO DA ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE

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.



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.

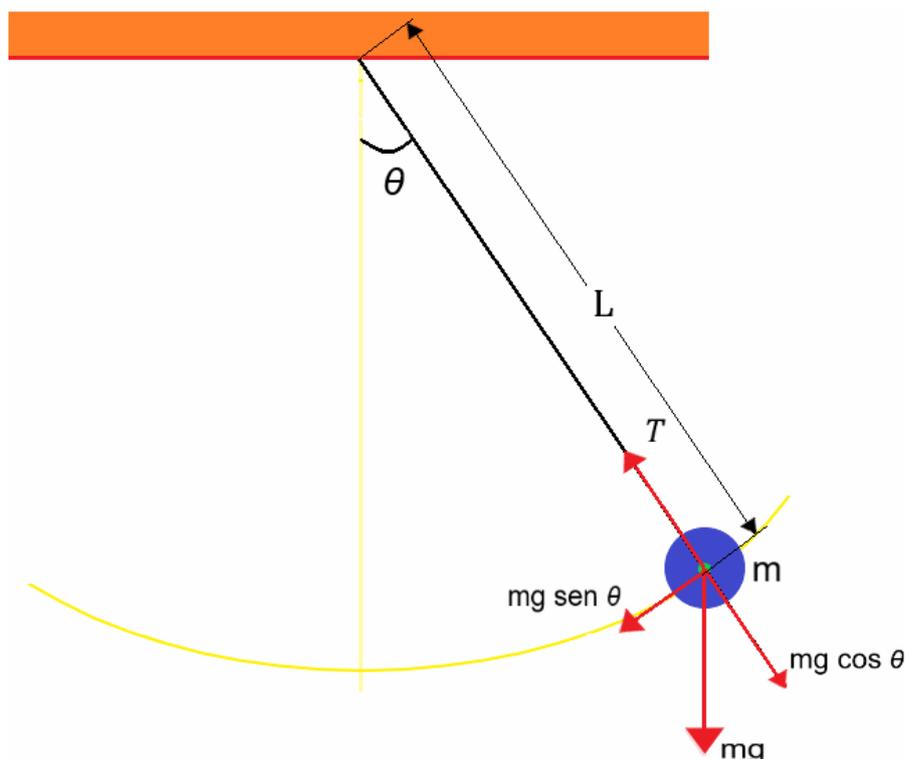


Figura 01: Pêndulo de massa m preso a um fio de comprimento L , puxado até um ângulo de abertura θ . Fonte: Elaborado pelo autor.

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 $g = 9,806 65 \text{ m/s}^2$ pode ser tratado como a referência.

Luxímetro

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

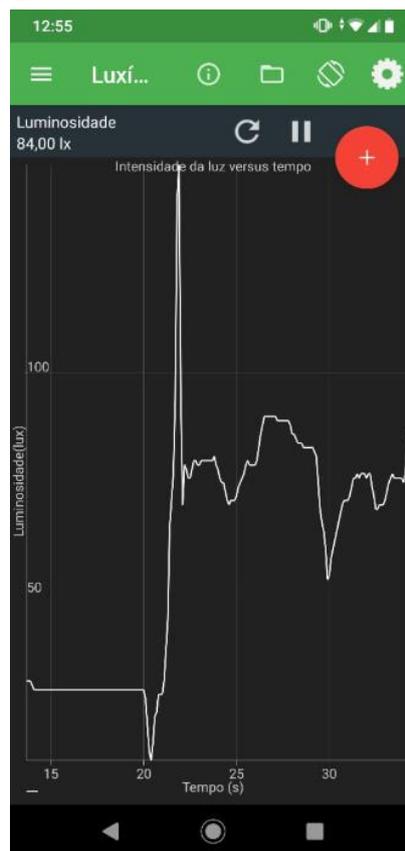


Figura 02: Tela do aplicativo *Physics Toolbox* configurado para mostrar a luminosidade ambiente em função do tempo. Fonte: elaborado pelo autor

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 semiconductor, 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.

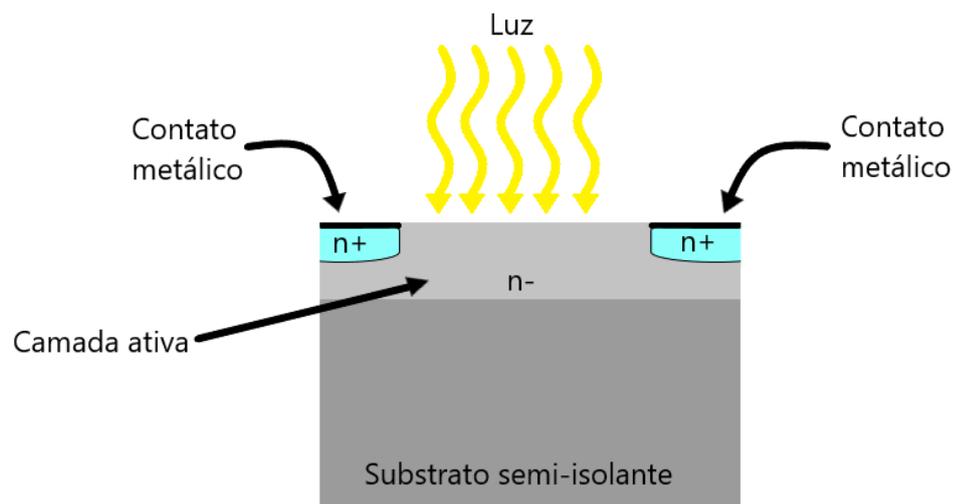


Figura 03: Estrutura do fotorresistor. Fonte: Elaborado pelo autor

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 em que 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

HINRICHSEN, P. Correcting the correction. **The Physics Teacher**, v. 32, p. 388, 1994.