

O USO DA IMPRESSÃO 3D NA POPULARIZAÇÃO DO ELETROMAGNETISMO: UMA ABORDAGEM DIDÁTICA DO EXPERIMENTO DE *OERSTED*

Arthur Vitor Tavares de Andrade¹, Layza Vitoria Nogueira de Oliveira¹, Gislene Micarla Borges de Lima¹, José Luciano da Fonseca Filho¹, Athaanderson Edson Matias dos Santos¹

¹Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Angicos, Brasil
arthur.andrade@alunos.ufersa.edu.br

Resumo: Em resgate ao clássico Experimento de Oersted, este artigo apresenta o desenvolvimento em impressão 3D de kits didáticos portáteis para divulgação científica. O projeto supera a baixa durabilidade e precisão de arranjos tradicionais de baixo custo ao usar bobinas circulares poliméricas. O aparato permite avaliar o campo magnético e sua dependência com o raio, corrente e número de espiras, transformando conceitos físicos abstratos em observações práticas, estáveis e itinerantes.

Palavras-chave: Manufatura aditiva, Experimento de Oersted, Ensino de Física.

INTRODUÇÃO

A busca por um ensino de Física que estimule a criticidade e a investigação, em detrimento da mera reprodução de conceitos, é um desafio que reverbera na educação científica brasileira há décadas. Entre as décadas de 1940 e 1960, o físico norte-americano Richard Feynman, em suas passagens pelo Brasil, já diagnosticava de forma contundente os limites de um modelo educacional puramente "livresco" e centrado na memorização (Moreira, 2018). Ao interagir com estudantes e analisar o cenário acadêmico local, Feynman identificou um fenômeno intrigante: os alunos eram capazes de responder prontamente a definições teóricas complexas, mas falhavam em aplicar o conhecimento ao serem confrontados com o mesmo fenômeno na realidade prática. Para ele, o ensino usual, adstrito a fórmulas mortas, não configurava um ensino de ciência real, o qual deveria ser definido fundamentalmente pelo contato direto dos estudantes com os fenômenos da natureza e pelo desenvolvimento do espírito de pesquisa.

Passados mais de sessenta anos das reflexões de Feynman, os diagnósticos sobre a aprendizagem em ciências continuam a apontar fragilidades estruturais semelhantes. Os dados publicados pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep, 2023), evidenciam o persistente baixo desempenho dos estudantes brasileiros em letramento científico, refletindo a dificuldade histórica em traduzir conceitos abstratos em competências investigativas e práticas.

Na virada do século XXI, o professor e pesquisador Marco Antônio Moreira retomou essa discussão ao traçar uma retrospectiva do ensino de Física no país, apontando que o sistema educacional permanece, em grande medida, aprisionado ao "paradigma do livro-texto". Segundo (Moreira, 2000), o laboratório didático ainda é frequentemente percebido como uma obrigação incômoda, e o ensino muitas vezes resume-se a repetir o manual e aplicar listas de exercícios, resultando em altos índices de evasão e em um aprendizado frágil.

Diante desse cenário de formalismo vazio, a experimentação ressurgiu como uma ferramenta indispensável para oportunizar o estudo da Física sem o viés decorativo (Hodson, 1994; Borges, 2002). Todavia, a implementação de atividades experimentais esbarra na crônica escassez de infraestrutura laboratorial nas escolas públicas brasileiras (Silva; Leal, 2017; Castro, 2017). Como tentativa de contornar essa limitação, o uso de materiais de baixo custo e recicláveis consolidou-se como uma alternativa popular na literatura pedagógica (Moreira; Axt, 1994; Silva; Leal, 2017). Contudo, embora relevantes, tais propostas pedagógicas costumam incorrer em um problema estrutural: tendem a promover abordagens estritamente pontuais e fragmentadas, carecendo de uma continuidade metodológica e de precisão instrumental que sustentem um currículo investigativo de longo prazo.

Para tentar auxiliar na proposta de ideias que possam preencher a lacuna entre a necessidade de uma experimentação contínua e a ausência de laboratórios estruturados, as tecnologias emergentes de fabricação digital vem oferecendo novos caminhos. A manufatura 3D surge como uma alternativa viável e acessível para democratizar o acesso a materiais didáticos científicos de qualidade. Por meio da impressão 3D, torna-se possível projetar e produzir aparatos experimentais de alta reprodutibilidade, precisão e baixo custo operacional diretamente no ambiente escolar. Essa tecnologia viabiliza a transição de experimentos isolados para uma prática laboratorial contínua e integrada, permitindo que escolas sem infraestrutura tradicional possam, finalmente, alinhar a teoria à prática e concretizar a dimensão investigativa defendida por Feynman na educação científica.

Nesse contexto, este artigo apresenta uma proposta de instrumentação experimental voltada para a abordagem do comportamento magnético, um conteúdo frequentemente reduzido a equações abstratas nos livros didáticos. A proposta engloba o desenvolvimento de aparatos para a investigação da geração de campo magnético por correntes elétricas, bem como a análise quantitativa e qualitativa da dependência do campo magnético gerado por uma bobina quando percorrida por uma corrente de intensidade “*i*”. Com essa instrumentação baseada em fabricação digital, busca-se oferecer uma alternativa robusta e replicável que retire o magnetismo do campo puramente teórico e o transforme em um objeto de estudo tangível e investigativo.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia aplicada neste trabalho consiste no desenvolvimento, fabricação e validação de um protótipo experimental integrado e de baixo custo operacional, projetado para estudar comportamentos magnéticos. O desenvolvimento do aparato experimental fundamentou-se na reprodução controlada do experimento clássico de Hans Christian Oersted (1820).

O experimento de *Oersted* foi um marco importante para a Física. A partir dele, constatou-se a relação entre corrente elétrica e o campo magnético, o que ocasionou a criação do eletromagnetismo. Essa descoberta foi fundamental para a criação da grande maioria das tecnologias modernas utilizadas atualmente. Assim, a corrente elétrica em movimento gera campos magnéticos e a variação desses campos conduzem correntes elétricas.

Partindo dessa perspectiva, um exemplo dessas criações foi os motores elétricos que transformam a

energia elétrica em energia mecânica. Esses motores possuem duas partes principais, sendo uma parte fixa e outra que gira em torno de um eixo. Um dispositivo que entra nessa categoria de funcionamento são os liquidificadores, como dito anteriormente, o funcionamento desses se baseiam na convenção de energia elétrica para mecânica, nesse caso específico possuem uma bobina que ao passar corrente elétrica, se torna um eletroímã fazendo girar a peça que está conectada às lâminas.

Assim, o modelo o qual foi escolhido para ser estudado foi o experimento de Oersted onde este procurava propor a relação de corrente elétrica com campo magnético. De modo que uma bússola ao ficar embaixo de um condutor linear simples passando uma corrente elétrica, fazia com que o ponteiro apontando pro norte magnético da terra, move-se para uma nova direção esta que seria o norte desse novo campo magnético, assim confirmando que a relação de corrente elétrica em movimento gera um campo magnético.

Para superar o formalismo abstrato dos livros didáticos, substituiu-se o condutor linear simples por geometrias de bobinas circulares manufaturadas. Na Figura 1 é ilustrado a passagem de corrente elétrica “*i*” em duas bobinas com raios diferentes,

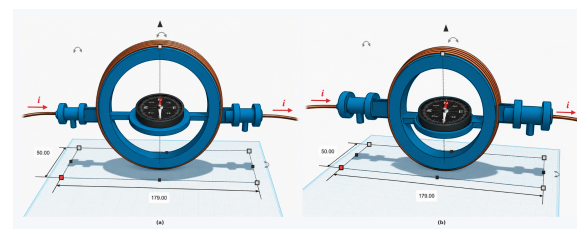


Figura 1. Ilustração de duas bobinas com tamanhos de raio diferentes. Na figura do lado esquerdo o raio é maior que a do lado direito. Fonte: autoria própria.

A análise do campo gerado pelas bobinas permite investigar não apenas a existência do campo magnético, mas também as propriedades intrínsecas da fonte geradora. A intensidade do campo magnético **B** gerado no interior da bobina é dado por

$$B = \frac{\mu_0 n i}{2\pi R} \quad (1).$$

Onde “*n*” é o número de voltas, “*r*” é o raio da bobina e “*i*” a intensidade da corrente e μ_0 é permeabilidade no vácuo.

Com este conhecimento, foi dado início ao processo de criação do anel que funcionava como núcleo para alocação das espiras e da base de suporte ao anel. A

modelagem e o planejamento estrutural para a manufatura do protótipo foram realizados utilizando o *software* **Tinkercad**. O Tinkercad é uma ferramenta de design computacional gratuita e baseada em nuvem, desenvolvida pela Autodesk, amplamente utilizada para a modelagem 3D simplificada. Através de sua interface intuitiva baseada em formas geométricas básicas, o *software* permitiu desenhar com precisão a estrutura de suporte e o arranjo das bobinas, garantindo a simetria necessária para o experimento antes da fabricação física.

Com as peças já preparadas como mostra a Figura 2, para a impressão foi utilizado o fatiador UltiMaker Cura. Este é um *software* de fatiamento gratuito e de código aberto que serve para converter um modelo digital 3D em um arquivo de código de máquina (*G-code*) que pode ser lido pela impressora onde nela terá as informações de velocidade, temperatura para impressão, densidade da peça e suportes.

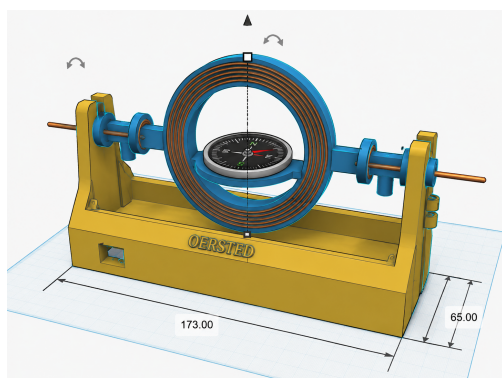


Figura 2. Ilustração do projeto final. Fonte: autoria própria.

Com uma interface mais amigável para iniciantes, foi possível a configuração mais detalhada e precisa das peças. Para esta impressão foi separado dois diferentes modelos no fatiador. Estes sendo a base e a estrutura das bobinas como ilustrado na Figura 3.

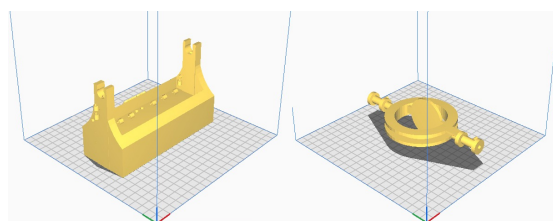


Figura 3. Ilustração do projeto final no fatiador separado em duas peças. Na figura do lado esquerdo a base e no lado direito estrutura da bobina. Fonte: autoria própria.

Dessa forma para a conclusão da etapa final foram necessárias três impressões, de modo que a base e as bobinas tiveram mudanças em suas densidades, como mostra a Tabela 1.

Essas mudanças foram feitas para tornar as bobinas mais resistentes e fáceis de manusear. Como são duas bobinas removíveis que se encaixam na base, foi necessário aumentar sua durabilidade. Isso se deve ao fato de que elas precisam ser trocadas com frequência, já que uma possui diâmetro menor e a outra, maior. Por serem encaixadas e retiradas da base várias vezes consecutivamente, o material foi escolhido para oferecer maior resistência a danos e quebras. Isso garante uma vida útil mais longa nos experimentos. Materiais como papelão, por exemplo, se desfazem com pouco uso, tornando-se inadequados para essa finalidade. Além disso, a base ficou menos densa, o que reduziu o consumo de filamento e o tempo necessário para sua construção. As densidades que foram utilizadas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Densidade das Peças.

Peças	Densidade
Base	8%
Estrutura da bobina	15%

Fonte: autoria própria.

As dimensões das peças construídas estão dispostas na Tabela 2. Conforme mostra a Tabela 2, o projeto é bastante compacto, permitindo um manuseio mais livre e com menos dificuldades, podendo ser transportada para dentro da própria sala de aula. Fazendo assim, com que a aplicação do assunto seja também vivenciando o aprendizado, seja de forma prática e visual onde os discentes teriam a acessibilidade de conseguir identificar os efeitos da natureza de forma mais próxima.

Tabela 2. Dimensões das Peças.

Peças	Dimensões (mm)
Base	175x65x103
Bobina menor (deitada)	179x90x50
Bonina Maior (deitada)	179x120x50

Fonte: autoria própria.

Observa-se ainda que a peça possui espaços internos vazios: na parte inferior da base, onde serão acomodados os fios e a bateria, e na região superior,

destinada ao encaixe das bobinas, cujo centro, como ilustrado na Figura 2, permanece em grande parte oco.

O processo de manufatura aditiva demandou um tempo considerável de execução para garantir o preenchimento e a resistência mecânica adequados dos componentes: a base projetada para o alojamento dos anéis demandou 17 horas e 28 minutos de impressão, enquanto cada anel (bases da bobina) de suporte para as espiras necessitou de 8 horas e 49 minutos de processamento térmico na impressora.

Tabela 3. Custo de filamento.

Peças	Uso
Base	156g
Bobinas	65g

Fonte: autoria própria.

Como pode-se constatar na Tabela 3, o custo de filamento foi proporcional ao tempo de construção, sendo a base com o maior custo, mesmo a bobina tendo uma maior densidade, consequentemente, utilizando mais filamento. Também se nota o fato de um carretel de filamento ter em torno de um quilograma, com um único rolo de filamento pode-se então fabricar aproximadamente 4 projetos completos.

Após essa etapa de fabricação e resfriamento físico da estrutura é que foram integrados os componentes eletrônicos para a realização dos testes práticos e validação do sistema. O planejamento físico envolveu a confecção de dois tamanhos distintos de raio para as bobinas. Essa diferenciação geométrica foi projetada especificamente para proporcionar ao estudante a observação direta das mudanças na intensidade do campo magnético quando ocorre a alteração do raio, consolidando empiricamente a relação de proporcionalidade inversa descrita na equação (1).

Para garantir o controle dinâmico da densidade do fluxo magnético, introduziu-se um resistor ao circuito, atuando como um divisor de tensão ajustável. A fonte de alimentação escolhida para o circuito foi uma bateria convencional para dispositivos portáteis com tensão de 9V.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O experimento foi projetado e prototipado por estudantes do curso de Bacharelado em Sistemas de

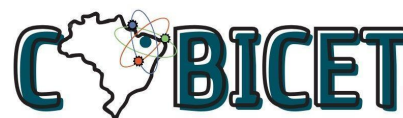
Informação (BSI), área cujo currículo não contempla conteúdos de eletromagnetismo ou comportamento magnético. Essa circunstância, longe de ser uma limitação, revelou-se o elemento mais revelador de todo o processo. Com a orientação de uma professora de física, os próprios alunos responsáveis pela prototipagem tornaram-se os primeiros sujeitos do experimento, e o fizeram sem qualquer familiaridade prévia com os fenômenos que o aparato se propunha a demonstrar.

O resultado foi um espanto não performático. Quando o interruptor foi acionado pela primeira vez, a agulha da bússola respondeu de forma imediata e inequívoca, inclinando-se visivelmente na direção do campo gerado pela bobina. Para estudantes que haviam projetado e impresso cada peça do aparato sem saber, de antemão, o que esperava no outro lado do interruptor, aquele movimento foi uma descoberta real, não a confirmação de algo lido, mas o primeiro encontro com um fenômeno físico que, até então, não existia para eles fora de uma abstração. É precisamente esse tipo de encontro que Feynman reivindicava como o coração de qualquer ensino de ciência digno do nome.

Esse episódio ilumina, de forma concreta, o diagnóstico que tanto Feynman quanto Moreira formularam sobre o ensino brasileiro: o problema não é apenas a ausência de experimentos, mas a ausência de situações em que o fenômeno antecede a explicação. Os estudantes de BSI não tinham vocabulário para nomear o que viram — e foi exatamente por isso que viram. A agulha que inclina não precisou de legenda. Ela simplesmente aconteceu.

A sequência de observações seguiu uma lógica deliberadamente fenomenológica. Com a bobina de diâmetro menor (16 cm) em operação, a deflexão da agulha foi mais pronunciada. Ao substituí-la pela bobina de 18 cm, mantendo a mesma corrente, a deflexão diminuiu visivelmente. Esse comportamento é diretamente consistente com a relação de proporcionalidade inversa entre o campo magnético B e o raio r descrita na Equação (1) mas, crucialmente, ele foi observado antes de ser calculado. A equação, nesse contexto, deixa de ser uma prescrição a ser memorizada e passa a ser a linguagem que nomeia algo que o estudante já testemunhou.

A introdução do potenciômetro ao circuito permitiu uma terceira camada de observação: ao reduzir progressivamente a intensidade da corrente, a deflexão da agulha diminuía de forma correspondente, tornando visível a proporcionalidade direta entre i e B . O estudante não precisou de um gabarito para saber que o experimento estava



funcionando, a própria agulha respondia, em tempo real, a cada ajuste.

Esses resultados dialogam diretamente com a crítica formulada por Moreira (2000) ao ensino de Física no Brasil. Para o autor, o laboratório didático é frequentemente tratado como uma obrigação periférica, e a experimentação acaba cumprindo um papel decorativo, pontual desconectado do currículo e incapaz de sustentar uma prática investigativa contínua. Essa crítica, no entanto, não se dirige apenas à ausência de laboratórios, mas também a uma vasta produção acadêmica que, embora bem-intencionada, reproduz estruturalmente o mesmo problema que pretende resolver. A literatura sobre experimentos de baixo custo é volumosa e heterogênea, mas converge, em sua maioria, para propostas de aplicação única: um experimento isolado, realizado em uma aula específica, com materiais que se desfazem ou se perdem. O impacto pedagógico, quando existe, tende a ser episódico. Não há acúmulo, não há progressão, não há laboratório como ambiente permanente de investigação que Feynman reivindicava.

O kit desenvolvido neste trabalho foi concebido precisamente para romper com essa lógica da pontualidade. Por ser fabricado em material polimérico por manufatura aditiva, o aparato demonstrou estabilidade mecânica ao longo de todos os testes realizados, sem degradação estrutural ou perda de desempenho elétrico. Trata-se de um instrumento que pode ser guardado, transportado, emprestado e reutilizado em múltiplos contextos ao longo do tempo, o que o distingue fundamentalmente de arranjos feitos com papelão, fita adesiva ou materiais descartáveis.

Essa durabilidade abre uma dimensão que vai além da sala de aula. O kit é igualmente adequado para eventos de divulgação científica, feiras, mostras, museus itinerantes, visitas a escolas, contextos nos quais a manufatura aditiva exerce, por si só, um papel de atração. A presença de um objeto claramente fabricado por impressão 3D desperta curiosidade imediata no público não especializado, criando uma camada dupla de engajamento: o visitante é atraído pela estética do objeto impresso e, ao acionar o interruptor, encontra-se diante de um fenômeno físico real. O espanto com a tecnologia de fabricação e o espanto com o eletromagnetismo se reforçam mutuamente, ampliando o alcance comunicativo do experimento.

Do ponto de vista da replicabilidade, o custo total de produção, estimado em aproximadamente R\$ 88,00, incluindo cerca de 300g de filamento polimérico, 85 metros de fio de cobre esmaltado, potenciômetro, interruptor e bateria de 9V, posiciona o kit como

uma alternativa concreta para contextos de baixa infraestrutura. Diferentemente das propostas de baixo custo tradicionais, porém, a reprodutibilidade aqui não depende da disponibilidade de materiais descartáveis, mas da existência de um arquivo digital e acesso a uma impressora 3D, infraestrutura que tem se tornado progressivamente mais acessível em universidades, institutos federais e até em algumas escolas públicas. O mesmo projeto pode ser impresso quantas vezes for necessário, com geometria idêntica, sem perda de precisão.

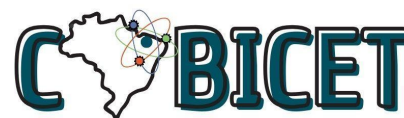
CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou que a manufatura aditiva constitui um caminho concreto e replicável para superar uma das contradições mais persistentes do ensino de ciências no Brasil: a coexistência entre a centralidade teórica da experimentação e a ausência prática de instrumentação adequada nas escolas públicas. O kit desenvolvido para a demonstração do experimento de Oersted não se limita a reproduzir um fenômeno clássico do eletromagnetismo, ele representa uma resposta estrutural a um problema estrutural.

Do ponto de vista técnico, o protótipo cumpriu integralmente os objetivos propostos. O aparato permitiu observar, de forma inequívoca, a deflexão da bússola pelo campo magnético gerado pelas bobinas, confirmar a proporcionalidade inversa entre o campo $\mathbf{B}$ e o raio $\mathbf{r}$ pela comparação direta entre as duas geometrias fabricadas, e verificar a proporcionalidade direta entre $\mathbf{B}$ e a intensidade de corrente $\mathbf{i}$ por meio do ajuste progressivo do potenciômetro. Cada uma dessas observações foi feita de forma sequencial e fenomenológica, com o fenômeno precedendo a formalização, exatamente o movimento epistemológico que Feynman reivindicava como condição mínima para um ensino de ciências legítimo.

O episódio mais revelador do trabalho foi justamente o caráter inesperado da descoberta: estudantes de BSI, sem qualquer formação prévia em eletromagnetismo, tornaram-se os primeiros sujeitos do experimento. A agulha que se inclinou ao acionar o interruptor não confirmou nada que eles já soubessem, ela introduziu algo que ainda não existia para eles fora da abstração. Esse tipo de encontro, em que o fenômeno antecede a explicação e dispensa legenda, é pedagogicamente insubstituível e constitui, na acepção de Feynman, o coração de qualquer ensino de ciência digno do nome.

Do ponto de vista da viabilidade e replicabilidade, o custo total estimado de R\$ 88,00, aliado ao uso de arquivos digitais reproduzíveis em qualquer impressora FDM, posiciona o kit como uma



alternativa concreta para contextos de baixa infraestrutura. Diferentemente das propostas baseadas em materiais descartáveis, a durabilidade do material polimérico garante ao aparato uma vida útil compatível com o uso continuado e itinerante, condição necessária para que a experimentação transcenda a lógica do evento pontual e passe a integrar uma prática laboratorial permanente, tal como defendida por Moreira (2021) ao criticar o papel meramente decorativo que o laboratório didático ainda ocupa em grande parte das escolas brasileiras.

A adequação do kit para contextos de divulgação científica, feiras, museus itinerantes, visitas a escolas, representa uma dimensão que ultrapassa os limites da sala de aula. Nessas situações, o próprio objeto impresso em 3D exerce um papel de atração independente: o espanto com a tecnologia de fabricação e o espanto com o eletromagnetismo se articulam e se ampliam mutuamente, ampliando o alcance comunicativo do experimento. O eletromagnetismo deixa de ser equação e passa a ser acontecimento.

Como desdobramentos futuros, aponta-se a realização de testes com estudantes do ensino médio em contexto escolar formal, a mensuração quantitativa do campo magnético por meio de sensores de efeito Hall para validação instrumental da Equação (1), e o desenvolvimento de uma sequência didática investigativa completa que integre o kit a uma progressão curricular de longo prazo. A disponibilização dos arquivos de modelagem em repositório aberto também está prevista, de modo a ampliar o alcance da proposta para além dos limites institucionais deste trabalho

AGRADECIMENTOS

Ao Programa Educação Tutorial (PET), pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

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

BRASIL. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep). **Notas sobre o Brasil no Pisa 2022**. Brasília, DF: Inep, 2023.

CASTRO, F. Escassez de laboratórios de ciências nas escolas brasileiras limita interesse dos alunos pela física. **Revista Educação**, ed. 239, 2017.

HODSON, Derek. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 12, n. 3, p. 299-313, 1994.

MOREIRA, Ildeu de Castro. Feynman e suas conferências sobre o ensino de física no Brasil. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 40, nº 4, e4203, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0374>.

MOREIRA, M. A.; AXT, R. O ensino experimental e a questão do equipamento de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 13, 1994.

MOREIRA, Marco Antonio. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, supl. 1, e20200451, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0451>.

SILVA, J. C. X.; LEAL, C. E. S. Proposta de laboratório de física de baixo custo para escolas da rede pública de ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 1, e1401, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0167>.