

## **Desenvolvimento de experimentos de física: uma alternativa às empresas do ramo de materiais para laboratório**

Maitê Cristina de Almeida Seabra<sup>1</sup>; Arthur Zanetti Garcia<sup>2</sup>; Esdras Garcia Alves<sup>3</sup>.

1 Bolsista (IFMG), Física - Licenciatura, IFMG Campus Congonhas, Congonhas - MG; maitemcdas\_seabra@hotmail.com

2 Voluntário, Engenharia Mecânica, IFMG Campus Congonhas, Congonhas – MG; zanetti.utc@gmail.com

3 Orientador; pesquisador do IFMG, Campus Congonhas; esdras.alves@ifmg.edu.br

### **RESUMO**

Embora a literatura de pesquisa em educação em ciências aponte divergências quanto à forma como a experimentação deva ser usada nas salas de aula, há certo consenso entre professores, pesquisadores e estudantes acerca da importância das atividades experimentais no ensino das ciências naturais. Em particular, o ensino da física pode se beneficiar em grande medida com as atividades experimentais, uma vez que elas permitem o desenvolvimento de certas capacidades que as aulas tradicionais não possibilitam. Contudo, a implementação de atividades experimentais, principalmente no Ensino Superior, é algo que demanda quantidades significativas de recursos financeiros. Muitos dos experimentos realizados nesse nível de ensino visam a comprovação dos modelos teóricos da física em nível quantitativo, o que exige equipamentos mais precisos e sofisticados. Considerando o atual cenário de cortes de verbas vivenciado pelas instituições federais, associado aos preços proibitivos praticados pelas empresas que comercializam experimentos para ensino, tem-se tornado impossível equipar os laboratórios das instituições escolares com determinados experimentos. No sentido de buscar soluções com custo reduzido, mas sem prejudicar a qualidade das interações que os estudantes possam ter com as atividades experimentais, foi proposto um projeto de pesquisa que visa o desenvolvimento de três experimentos para o laboratório de física do IFMG-campus Congonhas: efeito fotoelétrico, indução eletromagnética de Faraday e interferômetro de Michelson. O projeto é desenvolvido sob duas perspectivas distintas, mas que se complementam: uma voltada para a construção dos experimentos, a partir da pesquisa por materiais de custo reduzido que possam ser adaptados para esse fim; a outra voltada para a disseminação do conhecimento construído ao longo da realização do projeto, por meio da publicação de documentos contendo informações detalhadas sobre os passos para a construção e para a utilização dos experimentos, de forma a contribuir para que outras instituições possam se beneficiar desse conhecimento. Os resultados parciais indicam que é possível desenvolver bons experimentos, que irão possibilitar boas explorações para os estudantes, a um custo muito menor que aqueles praticados por empresas do ramo de materiais para laboratório.

### **INTRODUÇÃO:**

A experimentação é uma atividade de grande relevância na construção da ciência e do pensamento científico, uma vez que a ciência depende, não apenas, mas fortemente, da investigação de fenômenos e das observações empíricas (ARAÚJO, 2003). De modo semelhante, levando-se em consideração as especificidades pelas quais passam os saberes ao longo da transposição didática sofrida entre sua produção e a escola (FILHO, 2000), as atividades experimentais didáticas constituem uma importante estratégia de ensino à disposição do professor de física.

O uso da experimentação pode contribuir tanto para o aprendizado de conceitos, quanto para uma percepção de como a ciência produz e valida seus conhecimentos, além de contribuir para o desenvolvimento de habilidades e posturas relacionadas ao fazer da ciência e à atuação do indivíduo na sociedade (PAULA, 2004).

A despeito da importância dada às atividades experimentais por professores, estudantes e pesquisadores, Laburú, Barros e Kanbach (2007) afirmam que elas raramente são utilizadas nas escolas de Ensino Médio. Baseados em diversas pesquisas, esses autores listam uma série de razões dadas pelos professores para a não utilização de experimentos em suas aulas. Algumas dessas razões também têm afetado a realização de atividades experimentais no Ensino Superior, em particular, a falta de equipamentos e materiais adequados que atendam as necessidades didáticas de um curso de graduação. Temos vivenciado essa situação no laboratório de física que atende aos estudantes do curso de Licenciatura em Física do IFMG-campus Congonhas.

O laboratório de física do IFMG-campus Congonhas atende, atualmente, às turmas do Ensino Médio e do curso de Licenciatura em Física. Em se tratando do curso de licenciatura, temos certa carência de montagens que permitam a realização de experimentos sobre eletromagnetismo e física moderna. Em

eletromagnetismo até há alguns experimentos, mas quase nenhum possibilita explorações de cunho quantitativo. No caso da física moderna praticamente não há atividades que atendam aos estudantes.

Em um curso de formação de professores não basta ter experimentos para demonstrar os fenômenos qualitativamente. Ao contrário, é necessário dar oportunidade ao estudante para realizar experimentos que possibilitam a verificação dos modelos teórico-matemáticos comumente utilizados na física para prever e explicar os fenômenos. Por exemplo, em um experimento destinado ao estudo do efeito fotoelétrico, não basta apenas mostrar que a luz pode arrancar elétrons de um material metálico. É necessário proporcionar ao futuro professor condições de estudar o fenômeno em detalhes, dando-lhe oportunidade de verificar, por exemplo, a dependência da ocorrência do fenômeno como função da frequência da luz, bem como a existência de uma tensão de corte que impede a movimentação dos fotoelétrons. A nosso ver, essas explorações possibilitariam uma melhor compreensão do fenômeno.

No sentido de superar essa carência - de equipar o laboratório nas áreas de eletromagnetismo e física moderna - realizamos uma cotação junto a diversas empresas do ramo de materiais para laboratório. Foram cotados diversos materiais, mas, a título de exemplo, vamos apresentar apenas o equipamento para o estudo do efeito fotoelétrico.

Nas empresas nacionais encontramos somente experimentos destinados à realização de demonstrações qualitativas sobre o Efeito fotoelétrico. De modo oposto, empresas estrangeiras como Pasco, Leybold, NTL, 3B Scientific e Phywe, possuem experimentos que possibilitam a realização de medidas, permitindo a realização de experimentos quantitativos sobre o fenômeno. O problema, nesse caso, se torna o alto custo dos equipamentos. O equipamento comercializado pela empresa 3B Scientific custa R\$ 7.773,00<sup>1</sup>. Já a versão mais simples desse experimento, vendido pela empresa Pasco, custava cerca de R\$ 18.200,00 em 2018<sup>2</sup> em um site na internet e cerca de R\$ 25.000,00 no representante dessa empresa no Brasil.

Diante dos altos custos dos experimentos comercializados pelas empresas especializadas e, considerando o orçamento bastante limitado de nosso departamento, nos colocamos a seguinte questão: não seria possível, a partir do estudo dos experimentos comercializados por essas empresas, e do levantamento de materiais e equipamentos que pudessem ser adaptados, desenvolver nossas próprias versões desses experimentos, de modo que atendam às demandas de nosso laboratório, mas a um custo financeiro menor? O projeto de pesquisa que estamos conduzindo visa trazer respostas a essa questão. Em particular, nos propusemos a desenvolver montagens para a realização de três experimentos: indução eletromagnética de Faraday, efeito fotoelétrico e interferômetro de Michelson<sup>3</sup>. Por limitações de espaço nesse texto não temos condições de apresentar as justificativas para a escolha desses três experimentos em detalhes, mas todos eles têm relação com as lacunas observadas em nosso laboratório e que são, possivelmente, experimentadas por outras instituições também.

Mais que simplesmente desenvolver os equipamentos para atender às demandas de nosso laboratório, temos por objetivo compartilhar esse processo com outras instituições. O cenário de corte de verbas que estamos vivenciando certamente está afetando inúmeras instituições pelo Brasil. Poder contar com projetos de baixo custo pode facilitar a implementação de propostas experimentais nessas instituições. Com esta finalidade, está contemplado, na execução do projeto, o registro de todo o processo construtivo, com a elaboração de textos e fotografias, com vistas à elaboração de um documento que possa ser disponibilizado no site do IFMG-campus Congonhas. A partir desse documento, que contará com descrições detalhadas das montagens e dos materiais utilizados, outras instituições de ensino poderão reproduzir os equipamentos desenvolvidos no projeto.

Esse processo de pesquisa e desenvolvimento dos experimentos trás consigo outro ponto importante que merece ser mencionado: a independência da instituição quanto às empresas que fabricam equipamentos para laboratório. Em geral, os experimentos adquiridos dessas empresas são verdadeiras “caixas pretas”. Se houver algum dano aos equipamentos é necessário recorrer à empresa para que seja feita a manutenção. Há casos em que isso pode se arrastar por um longo tempo, uma vez que depende da

<sup>1</sup>[https://www.3bscientific.com.br/constante-de-planck-aparelho-115-v-5060-hz-1000536-u10700-115-3b-scientific,p\\_663\\_16634.html](https://www.3bscientific.com.br/constante-de-planck-aparelho-115-v-5060-hz-1000536-u10700-115-3b-scientific,p_663_16634.html).

<sup>2</sup><https://www.electrotest.co.nz/shop/Educational+Aids+PASCO/Electronic+Components/Basic+Photoelectric+Effect+A+pparatus.html>.

<sup>3</sup>Não temos por objetivo nesse trabalho discorrer sobre os experimentos em si e os conceitos físicos subjacentes a eles. Para o leitor que desejar saber o que é o efeito fotoelétrico, a indução eletromagnética de Faraday e o interferômetro de Michelson, indicamos os livros de Halliday et al. (2012a e b).

liberação de recursos e do envio dos equipamentos danificados à empresa, ou do envio de um técnico da empresa até a instituição, dependendo do caso. Com o desenvolvimento próprio dos experimentos, associados a registros detalhados da construção, problemas como esse seriam facilmente contornados.

## **METODOLOGIA:**

Conforme citado na introdução desse trabalho, o projeto tem por objetivo o desenvolvimento de versões de custo reduzido de aparatos experimentais para o efeito fotoelétrico, o interferômetro de Michelson e a indução eletromagnética de Faraday. Também estão previstas a produção de textos que ensinam como produzir os experimentos citados, bem como textos onde são apresentados roteiros para a utilização dos referidos experimentos em aulas de física.

Esses três experimentos figuram entre aqueles tidos como fundamentais no desenvolvimento da física. A indução eletromagnética, por exemplo, é citada por Luz e Álvares (2000) como um fenômeno que provocou uma verdadeira revolução no estudo do eletromagnetismo. O efeito fotoelétrico é tido como uma parte fundamental do desenvolvimento da física quântica e visto por Cavalcante et al. (2002) como um fenômeno que possibilita discussões filosóficas importantes em função da perspectiva dual da luz. A importância do interferômetro de Michelson é explicitada por Halliday et al. (1996) quando afirmam que esse aparelho teve um importante papel histórico na verificação da inexistência do *éter* (atualmente ele é utilizado na realização de medidas muito precisas de comprimentos por meio da interferência de feixes de luz laser). De certa forma, estamos falando de experimentos muito tradicionais, cujas versões didáticas são fabricadas há bastante tempo por várias empresas internacionais. Os esforços do projeto, portanto, não se concentram em gerar um produto inédito, mas na escolha e adaptação de materiais que possibilitem o desenvolvimento de montagens desses experimentos com custo reduzido.

Como o projeto possui dois braços bastante distintos, um fortemente voltado para o desenvolvimento e a construção de equipamentos, e o outro para a elaboração de material didático destinado à utilização desses equipamentos em aulas experimentais, foram selecionados dois bolsistas de cursos diferentes: uma estudante de graduação em Física e um de graduação em Engenharia Mecânica. Embora haja certa divisão de tarefas entre eles, até como necessidade imposta pelo plano de trabalho previsto no edital, ambos compartilham as ideias na realização das atividades.

O método seguido para a realização do trabalho é essencialmente o mesmo no caso dos três experimentos. Nosso trabalho se inicia pelo estudo das versões comercializadas por empresas estrangeiras (Pasco, Phywe, 3B Scientific, Leybold, dentre outras), quando é o caso, ou pelo estudo de propostas apresentadas em livros ou periódicos. Nos sites dessas empresas é possível obter muitas informações nas páginas de divulgação de seus produtos e, em alguns casos, é possível fazer o download dos manuais dos equipamentos. Alguns manuais apresentam informações bastante detalhadas dos equipamentos, inclusive com a discriminação dos componentes eletrônicos utilizados. O passo seguinte é uma busca nos periódicos dedicados ao Ensino de Física – nacionais e internacionais – sobre propostas alternativas para a construção dos experimentos. Esses dois movimentos nos permitem reunir um conjunto de informações, tanto práticas, quanto teóricas, para elaborarmos o projeto de construção de nossa versão dos equipamentos. Reunindo as informações advindas das diferentes propostas, temos condições de perceber possíveis limitações e propor novas soluções, como fizemos no caso de nossa versão para o efeito fotoelétrico.

Esse movimento de pesquisa em documentos na internet também nos possibilita reunir informações para subsidiar a produção dos textos sobre a construção e o uso dos experimentos em sala de aula. O fato de reunirmos muitas informações, advindas da leitura de diversos artigos, nos dará condições de elaborar um texto bastante rico para o professor. Todo esse material, após a finalização do projeto, será disponibilizado no site do IFMG-campus Congonhas, para que outras instituições possam se beneficiar desse conhecimento.

Uma vez levantadas as informações sobre os experimentos nas pesquisas realizadas na internet tem início a etapa de projeto e construção da nossa versão. Em função da natureza do equipamento essa etapa pode ser desenvolvida por meio de um projeto no computador ou por meio da construção direta de um protótipo. No caso do efeito fotoelétrico, cuja construção depende da compra de alguns equipamentos e componentes bastante específicos, partimos para o desenvolvimento de um projeto no computador. Já no caso da Indução eletromagnética, onde basicamente utilizamos sucatas e fios de cobre esmaltado, realizamos a construção de um protótipo rudimentar. Seja de uma, ou outra forma, essa etapa nos permite vislumbrar

possíveis limitações e dificuldades que possam ser encontradas com a construção final do experimento, bem como verificar se ele se comporta como o esperado frente aos modelos teóricos da física (no caso do protótipo). Por exemplo, ainda que de forma rudimentar, a construção do protótipo da montagem do experimento de indução nos permitiu verificar que é possível realizar todas as explorações didáticas que havíamos definido inicialmente. Além disso, essa etapa de planejamento tem nos permitido estudar a utilização e adaptação de certos materiais para a construção de nossas montagens.

Tão logo sejam liberados os recursos financeiros destinados ao projeto teremos a etapa de construção das montagens e a realização de testes e medidas a fim de verificar se as montagens atendem plenamente aos modelos teórico-matemáticos que descrevem os fenômenos físicos subjacentes.

Por fim, paralelamente à etapa de construção dos experimentos ocorrerá o registro fotográfico e a elaboração de desenhos e esquemas do corte e montagem das peças necessárias à sua construção. Esses elementos irão alimentar a fase de elaboração dos manuais de montagem e dos roteiros de utilização dos experimentos. Essa etapa tem por finalidade reunir informações na forma de textos explicativos que visam auxiliar professores de outras instituições a construir seus próprios experimentos. Nesses textos serão oferecidas informações detalhadas sobre os materiais e as formas de confeccionar os dispositivos de cada experimento. Em princípio, pretendemos disponibilizar esse material de forma eletrônica no site do IFMG-campus Congonhas, que poderá ser alimentado posteriormente com mais recursos dessa natureza, constituindo-se em um banco de recursos visitado por professores e estudantes de todo o Brasil. Parte desse material também será usado nas publicações de artigos em periódicos, relatando a experiência de desenvolvimento desses experimentos. Essa é outra forma de dar visibilidade às ações realizadas no projeto.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Como o projeto se encontra em plena execução ainda não temos os resultados finais, concretos. Apresentamos nessa seção alguns dos resultados parciais que alcançamos até o momento.

As pesquisas sobre o efeito fotoelétrico nos permitiram alcançar alguns avanços importantes. Tanto a empresa Pasco, quanto a NTL, afirmam utilizar a válvula 1P39 como célula fotoelétrica em seus experimentos para o estudo do fenômeno (outras empresas utilizam apenas o termo genérico *phototube*). Essa mesma válvula é citada por Garver (2006) como o dispositivo central de uma proposta experimental sobre o efeito fotoelétrico. Esse dispositivo parece, portanto, fundamental em um experimento desse tipo. Em buscas na internet encontramos esse componente sendo vendido em lojas na internet por um custo aproximado de \$ 50,00.

Outro resultado importante, advindo das pesquisas, diz respeito à diversidade de fontes de luz utilizadas por diferentes fabricantes. Há empresas cujas montagens utilizam lâmpadas de mercúrio associadas a redes de difração ou ao uso de filtros de cor, lâmpadas incandescentes com filtros de cor e LEDs. A utilização de uma lâmpada de mercúrio, associada a uma rede de difração, tem a vantagem de fornecer linhas com frequências bem definidas (o espectro do mercúrio) e com boa intensidade, se for utilizada uma lâmpada de média potência. Isso é fundamental para estudar a dependência do fenômeno com a frequência da luz. No entanto, esse tipo de lâmpada emite muita radiação ultravioleta, o que é extremamente perigoso para os estudantes e requer um invólucro de proteção, cuja construção não é tão simples (envolve altas temperaturas). Além disso, devido à emissão de luz ultravioleta, há uma grande produção de ozônio na região onde se encontra a lâmpada, que pode causar certo desconforto respiratório. Nesse caso é necessário um sistema de ventilação para a retirada do ozônio. Por esses motivos, o uso dessa fonte de luz não apresenta o menor custo.

Outra opção é a utilização de uma lâmpada incandescente, que emite um espectro contínuo, que vai do vermelho ao violeta. Essa lâmpada não emite ultravioleta, mas requer a utilização de um filtro de cor para selecionar faixas específicas do espectro, de modo que se possa incidir uma única cor, de cada vez, sobre a célula fotoelétrica. Nesse caso a montagem é bem mais simples, mas o custo de um bom filtro de cor é bastante alto. Considerando a possibilidade de selecionar pelo menos três, ou quatro, faixas do espectro, o custo do experimento não seria tão pequeno.

A opção de menor custo é aquela onde se utilizam LEDs como fonte de luz. Os LEDs emitem uma luz quase monocromática (ALVES e SILVA, 2008). A empresa 3B Scientific comercializa uma versão do efeito fotoelétrico com LEDs, cujo custo é R\$ 7.773,00. Garver (2006) também apresenta uma proposta em que realiza o experimento utilizando um LED. Contudo, nesses dois exemplos há uma limitação muito grande.

Para estudar a tensão de corte com diferentes intensidades de luz, as montagens citadas utilizam valores diferentes para a tensão de alimentação do LED, o que modifica a corrente que flui pelo componente. Mas ao modificar a corrente elétrica no LED, a cor emitida por ele também se altera, como afirmam Pathak et al. (2014) e Yang et al. (2011). Ou seja, ao mudar a tensão de alimentação, também está sendo modificada a frequência máxima da luz emitida pelo LED. Para resolver esse problema, admitindo que o uso dos LEDs pode ser uma boa opção, elaboramos a proposta mostrada na Figura 1.

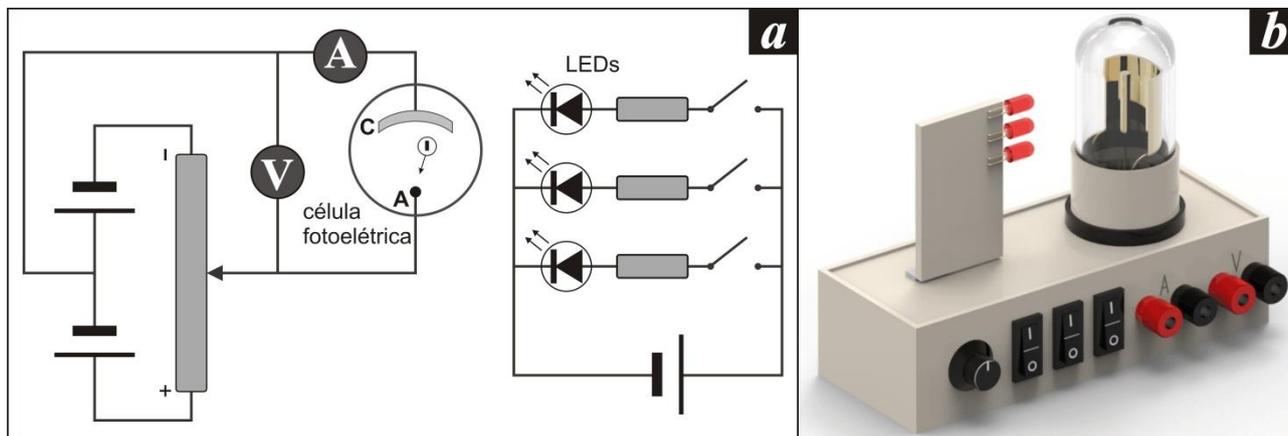


Figura 1 – Em (a) o circuito esquemático que mostra a ligação da célula fotoelétrica e dos LEDs. Em (b) o aspecto físico da montagem, modelado no Solid Edge. Fonte: os autores.

Na Figura 1a mostramos o circuito esquemático do experimento. Uma célula fotoelétrica 1P39 é ligada a um amperímetro, a um voltímetro e a uma fonte de tensão variável formada por duas baterias e um potenciômetro. Essa fonte variável permite acelerar ou retardar os elétrons emitidos pelo catodo da célula. Para variar a frequência da luz vamos utilizar LEDs de diferentes cores. A grande inovação que estamos propondo diz respeito à forma de variar a intensidade. Vamos utilizar placas com três LEDs que podem ser ligados de forma independente. Assim, podemos variar em até três vezes a intensidade da luz que incide sobre a placa, sem alterar sua frequência. Para conseguir esse resultado vamos utilizar placas que podem ser encaixadas sobre a base do experimento por meio de um conector USB, que possui 4 vias. A placa com os LEDs na Figura 1b pode ser trocada por placas com LEDs de outras cores. As chaves na base do experimento permitem acionar cada LED.

É importante ressaltar que, pelas nossas projeções de materiais, incluindo a válvula 1P39, os multímetros para as medidas de tensão e corrente, bem como os demais componentes para a montagem, o custo do experimento deve ficar em torno de R\$ 1.000,00, o que representa cerca de 13% do valor do experimento comercializado pela empresa 3B Scientific. Estamos agora aguardando a liberação dos recursos para implementar nossa proposta na prática. Enquanto isso, passamos para o desenvolvimento do experimento de indução.

A indução eletromagnética é uma parte importante no estudo do eletromagnetismo e a base de muitos equipamentos tecnológicos utilizados nas residências e nas indústrias. Com o objetivo de oferecer aos estudantes a oportunidade de realizar explorações experimentais mais completas com a indução, partimos da proposta de Campos et al. (2007). Esses autores sugerem o estudo da tensão gerada em uma pequena bobina induzida em função do ângulo entre essa bobina e um conjunto de bobinas indutoras (denominadas bobinas de Helmholtz). No entanto, há muitos outros parâmetros que influenciam o valor da tensão na bobina induzida, como o módulo do campo magnético indutor, a área e o número de voltas da bobina induzida. Além disso, Campos et al. (2007) não oferecem detalhes para a construção dos equipamentos. Com base nisso e, principalmente, pensando que os estudantes deveriam ter a oportunidade de experimentar boas explorações com a indução eletromagnética, elaboramos o projeto do experimento, cujo protótipo foi feito de forma bastante rudimentar utilizando materiais reaproveitados de sucatas e/ou de baixo custo. A Figura 2a mostra o protótipo que utilizamos nas primeiras explorações.

Construímos uma bobina grande, denominada bobina indutora, utilizada para produzir um campo magnético indutor, com fio de cobre esmaltado de 1,25 mm. Também construímos três bobinas pequenas, denominadas bobinas induzidas, com fio de cobre esmaltado de diâmetro 0,38 mm. Utilizamos pedaços de tubo e conexões de PVC para enrolar as bobinas induzidas. Essas bobinas possuem diferentes número de voltas e área da seção transversal.

Com esse protótipo rudimentar foi possível verificar a possibilidade de boas explorações quantitativas com os principais elementos de nossa proposta experimental: i) a variação do número de voltas da bobina induzida implica na variação proporcional da tensão induzida; ii) a variação da área da bobina induzida implica na variação proporcional da tensão induzida; iii) a variação do campo magnético da bobina indutora implica na variação proporcional da tensão induzida; iv) a variação do ângulo entre os planos das bobinas indutora e induzida, de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , implica na variação da tensão induzida desde o valor máximo até 0. Todas essas observações condizem com a lei da indução de Faraday, que é o modelo matemático subjacente ao fenômeno da indução.

A fim de verificar a qualidade dos dados quantitativos obtidos em nossas explorações iniciais, utilizamos os valores da medida da tensão induzida em função do ângulo entre as bobinas para determinar experimentalmente o valor da permeabilidade magnética do vácuo,  $\mu_0$  (uma constante fundamental da natureza). O valor dessa constante é  $1,26 \times 10^{-6}$  Tm/A (HALLIDAY, 2012a). Realizando medidas com a montagem da Figura 2a, obtivemos o gráfico da Figura 2b, que corresponde satisfatoriamente ao modelo teórico para o fenômeno (variação com o cosseno do ângulo). A partir da linearização desse gráfico (veja detalhe na figura 2b) obtivemos o valor experimental de  $1,48 \times 10^{-6}$  Tm/A para a permeabilidade magnética do vácuo. Uma diferença de 17,5%.

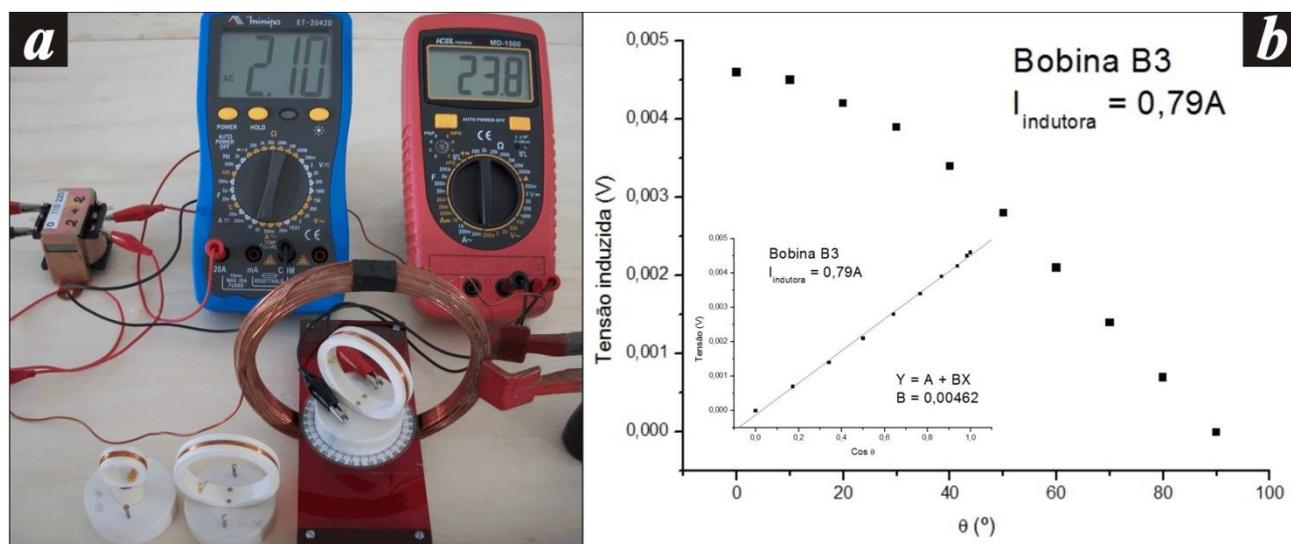


Figura 2 – Em (a) o protótipo do experimento para o estudo da indução eletromagnética. Em (b) o gráfico da tensão induzida em função do ângulo entre as bobinas, bem como a linearização desse gráfico. Fonte: os autores.

Em termos experimentais essa diferença não é aceitável, mas considerando, como já afirmamos, que se trata de um protótipo inicial, consideramos esses resultados bastante satisfatórios. Um dos problemas mais evidentes que possa ter gerado essa diferença é o fato de usar apenas uma bobina indutora, em vez de uma configuração do tipo bobina de Helmholtz, que produz um campo magnético de valor uniforme e bem definido no centro das bobinas. Outras questões, como a robustez do equipamento, para que seja manipulado semestre após semestre por estudantes no laboratório também terão que ser levadas em conta na versão final do equipamento.

Por fim, apresentamos uma projeção para o custo desse experimento com todas as explorações desejadas. Considerando o valor dos fios de cobre, da fonte de tensão, da base e dos multímetros para a realização das medidas, estimamos um valor em torno de R\$ 800,00. Cabe ressaltar que apenas um conjunto de bobinas de Helmholtz, de 30 cm de diâmetro, da empresa 3B Scientific, custa R\$ 3.770,00 (somente as bobinas, sem nenhum outro dispositivo). Portanto, temos um custo bem menor para nosso equipamento, com mais possibilidades de explorações didáticas.

## CONCLUSÕES:

Nesse trabalho apresentamos alguns aspectos do projeto de pesquisa que estamos conduzindo no IFMG – campus Congonhas. Temos por objetivo desenvolver versões de custo reduzido de alguns experimentos que julgamos de grande importância para estudantes de um curso de licenciatura em física.

Procuramos evidenciar que, diante dos equipamentos comercializados por empresas do ramo de materiais para laboratório, nossas versões apresentam um custo consideravelmente menor, sem prejuízo às explorações quantitativas. Embora essa última afirmação esteja diretamente associada às primeiras medidas realizada com o protótipo do experimento sobre indução eletromagnética, acreditamos que ela se mostrará igualmente válida para os demais equipamentos.

Em nossa perspectiva, a execução desse projeto pode beneficiar diversas instituições que têm vivenciado dificuldades em equipar seus laboratórios de ensino com experimentos mais sofisticados. É preciso compartilhar iniciativas que visem suprir essa demanda. Esperamos que o compartilhamento dessas ideias e projetos possa também encorajar outros pesquisadores a se lançarem em empreitadas semelhantes, de modo que possamos desenvolver tecnologias e equipamentos para atender nossas demandas, sem ficarmos na dependência de empresas que praticam preços proibitivos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALVES, E. G.; SILVA, A. F. Usando um LED como fonte de energia. **A Física na Escola**. v. 9, n. 1, 2008.
- ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 2, 2003.
- CAMPOS, A. A. G.; ALVES, E. S.; SPEZIALI, N. L. **Física experimental básica na universidade**. Belo Horizonte: UFMG, 2007.
- CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C.; SOUZA, D. F.; MUZINATTI, J. Uma aula sobre o efeito fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. **A Física na Escola**. v. 3, n. 1, 2002.
- FILHO, J. P. A. Regras da Transposição Didática aplicada ao laboratório didático. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 2, 2000.
- GARVER, W. P. The photoelectric effect using LEDs as light sources. **The Physics Teacher**, v. 44, n. 5, 2006.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física, volume 4: óptica e física moderna**. 9ª ed. Trad. Ronaldo Sergio Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2012b.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física, volume 3: eletromagnetismo**. 9ª ed. Trad. Ronaldo Sergio Biasi. Rio de Janeiro: LTC, 2012a.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. **Física 4**. 4ª ed. Trad. vários autores. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
- LUZ, A. R.; ÁLVARES, B. A. **Curso de Física: volume 3**. São Paulo: Scipione, 2000.
- LABURÚ, C. E., BARROS, M. A e KANBACH, B. G. A relação com o saber profissional do professor de física e o fracasso da implementação de atividades experimentais no Ensino Médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, 2007.
- PATHAK, G.; SAXENA, A.; BANSAL, P. Review of dimming techniques for solid-state LED lights. **International Journal of Advanced Engineering Research and Technology**. v. 2, n. 4, 2014.
- PAULA, H., F. **A ciência escolar como instrumento para a compreensão da atividade científica**. Tese (Doutorado em educação). Programa de pós-graduação em Educação da FAE/UFMG, Belo Horizonte, 2004.
- YANG, W.-C.; CHEN, Y.-J.; MOO, C.-S. An efficient driver for dimmable LED lighting. **6 IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications**, pp. 2331-2336, 2011.