



## **ESTUDO EXPERIMENTAL DA LEI DE FARADAY DA INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA UTILIZANDO UM SMARTPHONE E UM COMPUTADOR**

Tiago de Oliveira Reis

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:  
Prof. Dr. Antonio Augusto Soares

Sorocaba  
Março de 2018

**Estudo experimental da lei de Faraday da indução eletromagnética  
utilizando um *smartphone* e um computador**

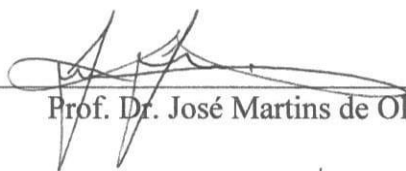
Tiago de Oliveira Reis

Orientador:

Prof. Dr. Antonio Augusto Soares

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:



Prof. Dr. José Martins de Oliveira Junior



Prof. Dr. Renato Fernandes Cantão

Sorocaba  
Março de 2018

de Oliveira Reis, Tiago

Estudo Experimental da Lei de Faraday da Indução Eletromagnética Utilizando um Smartphone e um Computador / Tiago de Oliveira Reis. -- 2018.

85 f. : 30 cm.

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

Orientador: Antonio Augusto Soares

Banca examinadora: Antonio Augusto Soares, José Martins de Oliveira Junior, Renato Fernandes Cantão

Bibliografia

1. Indução Eletromagnética. 2. Tecnologias da Informação e Comunicação. 3. Aquisição e Análise de Dados. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano – CRB/8 6979

*Dedico esta obra aos meus pais, Raimundo e Elena.*

## **Agradecimentos**

O autor expressa seus agradecimentos ao Prof. Dr. Antonio Augusto Soares pelo incentivo e discussões feitas no decorrer do trabalho. Também agradece as escolas que possibilitaram a aplicação do produto e aos estudantes pela dedicação.

## RESUMO

### ESTUDO EXPERIMENTAL DA LEI DE FARADAY DA INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA UTILIZANDO UM SMARTPHONE E UM COMPUTADOR

Tiago de Oliveira Reis

Orientador:

Prof. Dr. Antonio Augusto Soares

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

A proposta experimental tem como objetivo demonstrar a Lei de Faraday da indução eletromagnética fazendo uso de um computador, um smartphone e materiais de baixo custo e fácil aquisição. Espera-se que os estudantes reconheçam do ponto de vista quantitativo que, variando o fluxo magnético através de uma bobina, uma força eletromotriz induzida ( $fem$ ) é gerada na mesma. A detecção da  $fem$  é feita usando a entrada de microfone do computador e o software livre Audacity. Concomitantemente, as medidas do campo magnético em função do tempo são feitas com o smartphone através do aplicativo Physics Toolbox Sensor Suite (PTSS). Os dados obtidos com o smartphone permitem a determinação da variação do fluxo do campo magnético, na espira, em função do tempo. Tal variação é, então, associada àquela  $fem$  obtida com o computador. Utilizando uma planilha eletrônica para a análise dos dados experimentais, este experimento deve levar os estudantes a reconhecer a relação linear existente entre essas duas grandezas físicas.

Palavras-chave: lei de faraday, indução eletromagnética, tecnologias da informação e comunicação, aquisição e análise de dados.

Sorocaba  
Março de 2018

## **ABSTRACT**

### **EXPERIMENTAL STUDY OF THE FARADAY'S LAW OF ELETROMAGNETIC INDUCTION USING A SMARTPHONE AND A PERSONAL COMPUTER**

Tiago de Oliveira Reis

Supervisor:  
Dr. Antonio Augusto Soares

Master's Dissertation submitted to the Post-Graduate Program of the Professional Master's Degree in Physics Teaching of the Federal University of São Carlos, Sorocaba campus, at the National Professional Master's Degree in Physics Teaching, as part of the requirements for obtaining a Master's Degree in Physics Teaching.

The experiment proposal aims to demonstrate Faraday's law of electromagnetic induction using a personal computer, a smartphone and low cost materials. It is expected that students recognize from a quantitative point of view, that varying the magnetic flux through a coil, leads to the generation of an induced electromotive force (emf). The detection of the emf is made using the computer's sound card and the free software Audacity. Concomitantly, measurements of the magnetic field as a function of time is made with the smartphone and the Physics Toolbox Sensor Suite (PTSS) app. The smartphone's data allows to determine the magnetic field flux's time dynamics in the coil. Such variation is associated with the emf obtained with the computer. Using a electronic spreadsheet to analyse the experimental data, students should be able to recognize the linear relationship between these two physical quantities.

Keywords: Faraday's Law, Electromagnetic Induction, Information and Communication Technologies, Acquisition and Analysis of Data.

Sorocaba  
March 2018

## Sumário

Capítulo 1	Introdução.....	09
Capítulo 2	Metodologia.....	14
2.1	Experimentação.....	14
2.2	Aplicação do produto.....	15
Capítulo 3	Fundamentação teórica do produto.....	19
3.1	Magnetismo e ímãs.....	19
3.2	Campo magnético em bobinas.....	20
3.3	A Lei de Faraday da indução eletromagnética.....	22
3.4	A Lei de Lenz.....	28
Capítulo 4	O produto.....	30
4.1	Componentes do produto.....	30
4.2	Coleta de dados.....	34
4.3	Análise de dados.....	36
4.4	Comprovando a Lei de Faraday da indução eletromagnética.....	39
Capítulo 5	Análise dos resultados da aplicação do produto.....	41
5.1	Caracterização do grupo de aplicação.....	41
5.2	Resultados experimentais obtidos pelas turmas.....	43
5.2.1	Resultados obtidos pela turma 1 da escola 1.....	45
5.2.2	Resultados obtidos pela turma 2 da escola 1.....	46
5.2.3	Resultados obtidos pela turma da escola 2.....	47
5.3	Análise do questionário avaliativo.....	48
5.3.1	Amostra de respostas obtidas na escola 1.....	49
5.3.2	Amostra de respostas obtidas na escola 2.....	52
5.4	Resumo dos resultados obtidos para o questionário.....	55
5.5	Análise da atividade pelos estudantes.....	56
Capítulo 6	Conclusões.....	60
	Referências Bibliográficas.....	62
	ANEXO A.....	66
	ANEXO B.....	76
	ANEXO C.....	85



# Capítulo 1

## Introdução

Segundo Monteiro (2016), o ensino de Física, na maior parte das escolas, centra-se em atividades excessivamente voltadas ao conteúdo, prevalecendo a prática pedagógica da “transmissão de conhecimentos”. Dessa forma, o professor explica os conteúdos contidos no livro, faz os exercícios propostos para fixação do conteúdo e, quando pode, faz experimentos a fim de melhor apresentar ou comprovar a teoria trabalhada em aula. Daí, portanto, surge a a necessidade de se pensar numa redefinição do papel do professor em sala de aula bem como dos estudantes, estes últimos no sentido de adotar uma posição mais ativa frente às atividades escolares (MONTEIRO, SANTOS e TEIXEIRA, 2007) (BOZELLI e NARDI, 2012). Isto, pois tal protagonismo dos estudantes no processo ensino-aprendizagem tende a permitir que criem e testem hipóteses, criem explicações para dados obtidos experimentalmente, argumentem a respeito de concepções contraditórias nas ciências etc; tudo isso de forma a refletir sobre o significado da ciência e da prática científica (ABI-EL-MONA e ABD-EL-KHALICK, 2006) (ALBE, 2008). Ainda segundo Monteiro (2016), para que tais competências sejam motivadas, é necessário que a escola crie um ambiente favorável, disponibilizando diferentes recursos para que o saber formal seja significativo na vida dos estudantes.

Nesse sentido, um elemento que apresenta grande potencial no atendimento às demandas anteriormente mencionadas é o computador e seus derivados (*smartphones* e *tablets*). O uso desse dispositivo pode ser útil no processo ensino-aprendizagem, visto que na Física se exige, muitas vezes, alto grau de abstração (MEDEIROS e MEDEIROS, 2002), e o uso de tais elementos no ambiente escolar é inevitável, inclusive sendo prevista em propostas curriculares oficiais (MONTEIRO, 2016).

As Novas Tecnologias de Informação e Comunicação (NTIC) no Ensino de Física exigem uma reflexão sobre como ocorrem os processos educacionais (MARTINS e GARCIA, 2011) possibilitando um ensino mais significativo para os estudantes. Ainda, como defendem Brito e Purificação (2008), numa sociedade onde a tecnologia é amplamente difundida, é importante que, no contexto escolar, seja cada vez mais concretizada a democratização do acesso ao conhecimento. Assim sendo, por exemplo, da edição de um texto até os mais avançados sistemas de modelagem computacional, os

computadores estão presentes em nossas vidas, seja nas escolas, nos hospitais, nas indústrias e centros de pesquisas, eles inerentemente nos acompanham nos afazeres diários (ARAÚJO, VEIT e MOREIRA, 2012). No ambiente escolar, os computadores têm ganhado atenção nos últimos anos. É comum, nos dias atuais, encontrar computadores e *tablets* (e também *smartphones*) nas escolas brasileiras, sendo importante seu uso, visto as potencialidades de tais ferramentas para o ensino (SANTOS, 2016). Tais ferramentas são excelentes fontes de pesquisa, além de possibilitarem aos estudantes análises experimentais mais ricas.

A importância dos computadores na realização dos experimentos modernos está no fato de possibilitarem a coleta de grande quantidade de dados, algo que não seria possível sem esta ferramenta. Ao utilizar tecnologias computacionais nas atividades experimentais no EM, os estudantes podem obter resultados mais detalhados e confiáveis, chegando a conclusões mais precisas a respeito do estudo experimental de um determinado tema, se aproximando, dessa forma, da atividade científica moderna (SILVA e VEIT, 2006).

Muitas vezes, quando a escola faz uso de computadores em experimentos, estes, geralmente, interagem com *kits* experimentais pré-fabricados e de custo relativamente alto. Em geral, tais *kits* experimentais são verdadeiros pacotes fechados, visto que seus componentes não permitem que sejam feitas abordagens diferentes sobre o tema de estudo e, tão pouco, os códigos dos seus softwares são livres para que seja possível mostrar as equações que são utilizadas no modelo ou na análise dos dados experimentais. Isso inviabiliza a flexibilidade do experimento para responder (ou motivar) outras questões feitas pelos estudantes (CAVALCANTE e TAVOLARO, 2000). Hoje, por outro lado, existem diversos softwares livres que possibilitam a aquisição e a consequente análise de dados tais como o *Audacity*, o *SuperLogo*, o *Spectrogram*, o *Gram V6*, o *GoldWave*, o *Oscilloscope*, entre outros. Esses softwares, aliados aos computadores, são uma fonte rica e de relativo baixo custo se comparado a *kits* experimentais pré-fabricados.

A literatura reporta diversas montagens experimentais feitas para o Ensino Médio (EM) utilizando computadores para aquisição e análise de dados. Como exemplo, Aguiar e Laudaes determinam o período de oscilação de um pêndulo através de uma proposta experimental que utiliza foto sensores conectados à porta de jogos de um computador (IBM-PC). O arranjo experimental foi basicamente composto por um foto

sensor, um pêndulo e uma lâmpada. O pêndulo possuía raio de giração de  $48,8 \pm 0,2$  cm. À medida que o pêndulo oscilava, a passagem deste pelo caminho entre o foto sensor e a lâmpada interrompia os sinais elétricos enviados para o computador. Este, mediante a linguagem SuperLogo, registra a evolução temporal dos sinais recebidos, criando uma planilha de dados e seus respectivos gráficos para análise. Esta análise mostrou um período de oscilação próximo do valor previsto teoricamente que era de  $1,403 \pm 0,003$  s (AGUIAR e LAUDARES, 2001). Figueira e Veit propõem uma montagem experimental em que utilizam um arranjo semelhante para a determinação do período de oscilação de um pêndulo, porém coletando e analisando os dados através do software Excel. O resultado obtido para o período de oscilação,  $1,740 \pm 0,005$  s, mostrou-se de acordo com a teoria (FIGUEIRA e VEIT, 2004). Haag propõe uma montagem experimental semelhante, no entanto utilizando um potenciômetro linear como sensor. O potenciômetro foi acoplado ao braço do pêndulo, permitindo a aquisição dos diferentes sinais elétricos enviados ao computador à medida que o valor da resistência elétrica do potenciômetro variava de acordo com o movimento do pêndulo. O resultado obtido para o período de oscilação do pêndulo foi de 1,857 s, resultado próximo do valor teórico que era de 1,850 s (HAAG, 2001). Em cinemática, Cavalcante e Tavolaro propõem uma montagem experimental em que utilizam um sensor óptico conectado ao computador para fazer análises. Os resultados obtidos apresentaram erro inferior a 2% quando comparados aos valores teóricos (CAVALCANTE e TAVOLARO, 1997). Soares e Borcsik utilizam o software *Audacity* para o estudo da cinemática do movimento circular uniforme. Para isso, propõem uma montagem experimental de baixo custo em que se faz uso de um sensor caseiro, composto por foto-transistor sensível ao infravermelho, conectado na entrada de som de um computador para coleta dos sinais elétricos, e um ventilador. Como exemplo, o resultado para a velocidade angular obtida através do experimento foi de 20,58 rad/s, mesmo valor obtido com um sensor integrante de *kit* comercial da PASCO (SOARES e BORCSIK, 2016). Ainda na mecânica, Cavalcante e colaboradores propõem uma montagem experimental que utiliza um microfone, conectado a placa de som do computador, para coleta de sinais sonoros emitidos por uma bola quicando numa superfície plana. O objetivo é determinar o coeficiente de restituição da bola utilizando o software *Spectrogram*. Os resultados do coeficiente de restituição para a interação vidro/pedra foi de 0,86, para vidro/madeira foi de 0,67 e para aço/madeira foi de 0,58 (CAVALCANTE, SILVA, *et al.*, 2002). Saab e colaboradores propõem uma montagem experimental para determinar a velocidade do

som. Para isso utilizam um microfone conectado na entrada de som do computador para a coleta dos sinais sonoros de um apito. O apito é acoplado a um tubo de ensaio contendo pó de cortiça, lacrado com papel celofane. Com o auxílio de um software para análise do espectro sonoro, o *Spectrogram*, foi possível obter dados como, por exemplo, a frequência das ondas formadas no interior do tubo, sendo encontrado o valor de  $342 \pm 4$  m/s para a velocidade do som no ar à temperatura ambiente (SAAB, CÁSSARO e BRINATTI, 2005). Em eletrodinâmica, Montarroyos e Magno propõem uma montagem experimental aberta com o objetivo de usar o computador como um osciloscópio. Nessa montagem, foram utilizados componentes eletrônicos como capacitores, resistores, transistores, fios, conectores e protoboard, para montagem de circuitos a serem ligados a um computador via entrada de som. Além disso, utilizaram o software *Oscilloscope* para análises de ondas (MONTARROYOS e MAGNO, 2001). Magno e colaboradores propõem uma montagem experimental semelhante, utilizando o software Varifreq para a geração de ondas (MAGNO, ARAUJO, *et al.*, 2004).

Igualmente aos computadores, a utilização dos *smartphones* para aquisição e análise de dados tem mostrado vantagens do ponto de vista da aquisição e análise dos dados em experiências didáticas. Monteiro e colaboradores, fazendo uso de sensores embarcados num *smartphone* acoplado a um *quadcopter*, realizaram a coleta de dados referentes à altitude e à pressão (este último com o aplicativo gratuito *Androsensor*). Tais valores foram utilizados para determinação da densidade atmosférica local, obtendo o valor  $1,12 \text{ kg/m}^3$ , valor próximo do padrão local  $1,18 \text{ kg/m}^3$  (MONTEIRO, VOGT, *et al.*, 2016). Forinash e Wisman utilizam um *smartphone* como osciloscópio para estudo de um circuito LRC (indutor, resistência e capacitor - 25 mH,  $1000 \Omega$  e 0,1 mF, respectivamente). Conectado ao circuito, havia um gerador de onda senoidal. Para que o *smartphone* fosse utilizado como osciloscópio foi instalado o aplicativo SignalScope. O valor da frequência determinada pelo aplicativo foi de 750 Hz, valor coerente com aquele enviado pelo gerador de ondas (FORINASH e WISMAN, 2012). Em um trabalho de 2017, Ogawara e colaboradores realizam uma prática experimental utilizando um *smartphone* para medir o campo magnético devido a uma corrente circular. No *smartphone* instalaram o aplicativo Sensor Box para coleta e exportação dos dados para posterior análise utilizando o Excel (OGAWARA, BHARI e MAHRLEY, 2017). Seus resultados, organizados em tabela e gráficos, mostraram concordância com aqueles previstos pela teoria.

Como se vê, as possibilidades de utilização de computadores e *smartphones* para coleta e análise de dados experimentais no ensino de física são amplas, abrangendo vários temas da área. No entanto, observamos que na literatura não são encontrados trabalhos que utilizem um computador ou um *smartphone* (ou ambos) para verificar, do ponto de vista quantitativo, a Lei de Faraday da indução eletromagnética. O que se encontra, são trabalhos que tratam de tal lei porém de uma perspectiva qualitativa. Por exemplo, uma experiência simples, utilizando fios enrolados e um ímã, é utilizada no Material de Apoio ao Currículo do Estado de São Paulo para demonstrar, qualitativamente, que variando o campo magnético através de uma espira (feito pela movimentação de vai-e-vem) há o surgimento de uma corrente induzida, identificada através da movimentação da agulha de uma bússola no interior de outra bobina interligada (PAULO, 2017). Este experimento mostra-se relevante do ponto de vista qualitativo, pois demonstra a validade da Lei de Faraday da indução eletromagnética. No entanto, a relação matemática relacionada a tal lei acaba por ser pouco trabalhada experimentalmente, visto a complexidade de realização de experimentos quantitativos. Isso faz com que o modelo que descreve tal fenômeno fique, do ponto de vista prático, preterido.

Na presente proposta damos nossa contribuição ao preenchimento dessa lacuna quantitativa propondo um experimento de baixo custo que permite a verificação experimental da lei da indução eletromagnética de Faraday. Em tempo, nossa proposta tem cunho ferramental uma vez que projetamos, desenvolvemos e testamos um experimento para a observação quantitativa da Lei de Faraday da indução eletromagnética. Desta forma, embora consideremos as diversas teorias de ensino e seus respectivos autores elementos de alta relevância, este texto volta suas atenções, majoritariamente, à exposição, aplicação e discussão da ferramenta desenvolvida.

## Capítulo 2

### Metodologia

#### 2.1 Experimentação

A experimentação é uma das principais características da ciência, no entanto, na escola, é uma das atividades menos realizadas. Isso se deve, em parte, pelo pouco tempo disponível para os professores planejarem tais atividades (SANTOS, 2016). Os experimentos podem assumir variadas formas, a depender dos objetivos do professor. Nesse contexto, optamos por discutir aqui três dessas formas: experimentos demonstrativos, experimentos convencionais e experimentos divergentes.

Nos experimentos demonstrativos o foco é ilustrar conteúdos trabalhados previamente em sala de aula (FILHO, 2000), demonstrando conceitos discutidos previamente à execução do experimento (SANTOS, 2016). Tais experimentos complementam conteúdos trabalhados em aulas teóricas, facilitando a compreensão dos estudantes e tornando os conteúdos mais agradáveis. Também desenvolvem nos estudantes habilidades, tais como observação e reflexão ao ser apresentado fenômenos físicos vistos anteriormente apenas na teoria (FILHO, 2000).

Nos experimentos convencionais o foco é verificar a validade de um conteúdo, e para isso é feita a tomada de dados, e posteriormente análise sobre os resultados. Em tais experimentos é comum a utilização de roteiros experimentais para a sua realização, sendo que ao final é necessário se fazer um relatório contendo os resultados (incluindo comentários a respeito de erros de medida, por exemplo). Essa estruturação dos experimentos convencionais acaba por limitar a reflexão dos estudantes, visto que há redução considerável de tempo para esta ação (FILHO, 2000).

Por último, nos experimentos divergentes o foco é a resolução de problemas sem respostas previamente construídas. Em tais experimentos é comum os estudantes decidirem quanto ao procedimento a ser seguido para resolver o problema estabelecido (FILHO, 2000).

A aplicação do produto apresentado nesta obra pode ser feita em cima de uma das formas de experimentação apresentadas anteriormente, a depender dos objetivos formativos do professor. A aplicação piloto do produto foi feita na forma de experimento demonstrativo considerando-se o tempo disponível para a aplicação.

## 2.2 Aplicação do produto

Desde o desenvolvimento da proposta até sua efetiva aplicação do produto em sala de aula, foi levada em conta a teoria do desenvolvimento cognitivo de Jean William Fritz Piaget (1896 – 1980). Sobre os seus estudos, é importante destacar alguns conceitos, tais como assimilação, acomodação e equilíbrio. Para Piaget o desenvolvimento cognitivo se dá por assimilação e acomodação. Quando o indivíduo cria esquemas mentais para compreender a realidade, diz-se que houve assimilação (os esquemas mentais também podem ser denominados esquemas de assimilação). No entanto, ao deparar com um problema em que não consegue assimilar, o indivíduo acomoda, criando novos esquemas de assimilação. O equilíbrio entre assimilação e acomodação leva à adaptação do indivíduo ao problema. As sucessivas reequilibrações ocorridas ao longo da vida do indivíduo leva ao desenvolvimento cognitivo (MOREIRA, 1999).

Para Piaget, o desenvolvimento cognitivo é dividido em períodos (ou “Estágio de Desenvolvimento”). Tais períodos compreendem diferentes idades, variando de pessoa para pessoa. O primeiro período é o “Sensório Motor” (0 – 2 anos), sendo caracterizado pelo desenvolvimento da inteligência motora do indivíduo, desenrolando-se até a aquisição da linguagem; o segundo período é o “Pré-Operacional” (2 – 7 anos), sendo caracterizado pelo domínio da linguagem e da representação do mundo por símbolos, pela imitação e pela curiosidade, é a famosa “fase dos porquês”; o terceiro período é o “Operatório Concreto” (7 – 12 anos), caracterizado pelo início das reflexões, ações operatórias, sentimento de justiça e pelo início do desenvolvimento da abstração; finalmente o quarto período é o “Operacional Formal”, onde os aspectos cognitivos relacionado a abstração está desenvolvido, prolongando-se por toda a vida do indivíduo (MOREIRA, 1999).

Na presente aplicação, participaram estudantes com idades entre 16 a 17 anos, estando, portanto, no período das operações formais. O experimento proposto exige dos estudantes conhecimento de conceitos abstratos, tais como campo magnético, fluxo magnético e regra prática para derivada de polinômios. Tais conceitos são pré-requisitos para a aplicação do produto, e foram trabalhados ao longo de um bimestre anterior, sendo acompanhada a evolução dos estudantes para verificar se realmente estavam no período das operações formais.

A aplicação do produto (experimento) se deu em dois momentos distintos: uma aula expositiva-dialógica, onde foi trabalhada a lei de Faraday da indução eletromagnética e feita a apresentação do roteiro experimental bem como os aplicativos que seriam utilizados e, posteriormente, uma aula experimental para o desenvolvimento do experimento que aqui propomos. Para a aplicação do produto foi levado em conta os conteúdos previamente trabalhados com os estudantes, tais como magnetismo e ímãs, campo magnético, campo magnético em espiras e fluxo do campo magnético. A aplicação do produto ocorreu em duas escolas: uma da rede privada de ensino e a outra da rede estadual de ensino, totalizando 70 estudantes participantes.

Na primeira aula, com duração de 50 minutos foi trabalhada, na forma de aula expositiva-dialógica, a lei de Faraday da indução eletromagnética. A aula foi iniciada com uma discussão fenomenológica, sendo os estudantes questionados sobre se é possível “gerar” energia elétrica utilizando apenas um ímã e, em caso positivo, como isso poderia ser feito. As respostas, de alguns estudantes, foram registradas de modo que os demais pudessem tomar conhecimento, pensar sobre e avaliar. Tais respostas foram, então, analisadas, destacando as validades e limitações de cada proposta feita. Após essa discussão inicial, foi apresentado o experimento realizado por Michael Faraday, finalizando com o enunciado de sua lei da indução eletromagnética, porém ainda sem a preocupação quantitativa sobre a teoria.

A partir do enunciado da Lei de Faraday da indução eletromagnética foi explorada a teoria de forma quantitativa. Iniciou-se a discussão sobre a relação direta entre a força eletromotriz média ( $\varepsilon_m$ ) e a variação do fluxo do campo magnético através da espira em relação ao tempo  $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ , isto é:

$$\varepsilon_m = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}, \quad (2.1)$$

onde  $\Delta\phi$  é a variação do fluxo magnético no intervalo de tempo  $\Delta t$ .

Como se vê, na Equação (2.1) aparece o sinal negativo (-), relacionado à lei de Lenz. Portanto é necessário discutir esta lei para que o sinal negativo faça sentido aos estudantes.



Após discutir a relação entre  $\varepsilon_m$  e  $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ , foi definida a força eletromotriz instantânea ( $\varepsilon$ ). Retomou-se o conceito já visto em cinemática da característica “instantânea” de uma dada grandeza física, onde o intervalo de tempo deve ser tomado tendendo a zero de modo que:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}, \quad (2.2)$$

onde  $\frac{d\phi}{dt}$  é a taxa de variação de fluxo magnético no tempo.

Ao final da primeira aula foi apresentada aos estudantes o roteiro do experimento, destacando que o objetivo era demonstrar, de forma quantitativa, a lei de Faraday da indução eletromagnética. Também já foi informado aos estudantes que seriam utilizados o software *Audacity* (instalado no computador) e o aplicativo PTSS (instalado no *smartphone*). Os estudantes receberam o roteiro experimental de forma que, até a realização da segunda aula, pudessem ter um primeiro contato com o roteiro do experimento. Este procedimento teve como objetivo inteirar os estudantes sobre todos os procedimentos que seriam realizados na execução experimental (segunda aula).

A segunda aula foi destinada à execução do experimento com previsão de duração de 50 minutos. Nesta etapa, o objetivo era a demonstração experimental quantitativa da lei de Faraday da indução eletromagnética, sendo os dados coletados com o auxílio de um computador e de um *smartphone*. Tais dados foram analisados com uma planilha eletrônica, neste caso, o Excel. Tais instrumentos de coleta e análise dos dados experimentais constituem elementos indispensáveis para a execução do experimento, pois é através deles que a teoria será demonstrada aos estudantes. Cabe salientar que a coleta dos dados experimentais constitui uma tarefa delicada, pois se deve atentar a variáveis tais como ruídos nos sensores e no experimento.

Por tratar-se de um experimento demonstrativo, coube ao professor executar as etapas experimentais, e aos estudantes observar, anotar e refletir sobre os procedimentos desenvolvidos pelo professor e sobre os resultados experimentais obtidos e analisados. Destaca-se, nesta fase, a importância de os estudantes lerem o roteiro experimental antecipadamente para que possam acompanhar o desenvolvimento da atividade.

Os resultados experimentais, após passarem por análise na planilha eletrônica, devem remeter os estudantes a um comportamento linear de forma que, após esta

percepção, os pontos experimentais devem ser ajustados por uma reta. Com isso, conclui-se a validade da equação (2.2). Além da questão visual, ou seja, da percepção sensorial de que o gráfico é uma reta e que, por isso, a equação (2.2) está confirmada, foi apresentada aos estudantes a equação da reta. Este procedimento foi feito na própria planilha eletrônica, pois esta permite a apresentação da equação da curva que melhor se ajusta aos pontos experimentais. Ainda, o professor fez questionamentos em relação ao resultado final, para que os estudantes refletissem sobre as conclusões a que chegaram.

Após a aplicação, os estudantes responderam a um questionário avaliativo. O questionário tinha por objetivo de verificar se os estudantes reconheceram a validade da lei de Faraday da indução eletromagnética, na maneira proposta pelo produto. Nessa aplicação, o questionário continha três questões, duas relacionadas ao tema e uma relacionada à percepção dos estudantes em relação à aplicação. A primeira questão teve o objetivo de verificar a compreensão do estudante em relação à corrente elétrica gerada na bobina e sua relação com a força eletromotriz induzida, levando em conta a lei de Lenz. A segunda, por sua vez, teve o objetivo de verificar a compreensão dos estudantes em relação à lei de Faraday da indução eletromagnética e o gráfico obtido a partir dos dados experimentais. A última questão teve o objetivo de verificar as percepções dos estudantes sobre a atividade e era de preenchimento opcional.

## Capítulo 3

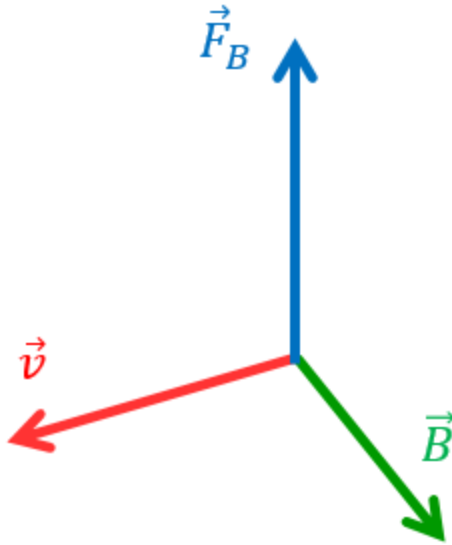
### Fundamentação teórica do produto

#### 3.1 Magnetismo e imãs

Desde a antiguidade fenômenos relacionados ao magnetismo, como exemplo a atração de minérios de ferro, eram conhecidos graças à descoberta da “pedra-imã”, sendo pioneiras as civilizações como a egípcia e a chinesa. Na Grécia antiga, muitos filósofos buscaram explicar o seu funcionamento, mas coube a William Gilbert a coleta e organização de tudo o que se conhecia até então sobre os fenômenos magnéticos. O resultado deste esforço está em seu livro publicado em 1600, *De Magnete* (Do Magneto). Foi Gilbert quem primeiro propôs que a Terra funcionaria como um grande imã (JÚNIOR, 2010), indicando a sua tentativa de explicar fenômenos magnéticos observados no cotidiano.

Hoje se sabe, por exemplo, que um campo elétrico ( $\vec{E}$ ) é gerado por cargas elétricas, sendo encontradas na natureza sob a forma de monopolos elétricos. Na tentativa de se entender como um campo magnético é gerado, seria razoável atribuir a sua origem a monopolos magnéticos, porém tais monopolos ainda não foram encontrados na natureza.

A definição de campo magnético pode ser entendida levando-se em conta a força magnética ( $\vec{F}_B$ ) que uma partícula, de carga elétrica ( $q$ ), experimenta ao passar animada de velocidade ( $\vec{v}$ ) por uma região onde há um campo magnético ( $\vec{B}$ ). Fazendo-se um experimento onde é medida a intensidade de  $\vec{F}_B$  para várias direções de movimento da partícula, nota-se que, para uma determinada direção, a intensidade de  $\vec{F}_B$  é nula e que, além disso, quando a intensidade da força é diferente de zero, a sua direção é sempre perpendicular ao vetor velocidade da partícula, conforme mostra a figura 3.1.



**Figura 3.1.** Representação da orientação dos vetores  $\vec{F}_B$ ,  $\vec{v}$  e  $\vec{B}$ . O vetor  $\vec{F}_B$  é sempre perpendicular ao plano formado pelos vetores  $\vec{v}$  e  $\vec{B}$ .

Sendo os vetores velocidade e campo magnético perpendiculares entre si, o módulo desse campo magnético pode, então, ser expresso por:

$$B = \frac{F_B}{|q|v} \quad (3.1)$$

onde  $B$  é o módulo do campo magnético,  $F_B$  é módulo da força magnética,  $|q|$  é o módulo da carga elétrica e  $v$  é o módulo do vetor velocidade da partícula.

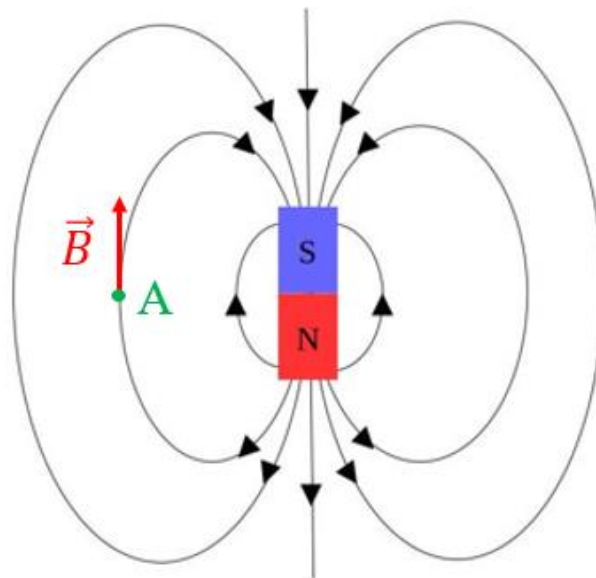
Nota-se, a partir da análise dimensional da equação (3.1), que o campo magnético tem unidade de medida dada por  $\frac{N}{C(m/s)}$ . A unidade de medida correspondente, no Sistema Internacional de Unidades (SI), é o tesla ( $T$ ).

### 3.2 Campo magnético em bobinas

Uma característica dos campos magnéticos é que, assim como os campos elétricos, estes podem ser representados pictoricamente por linhas, denominadas linhas de campo magnético. Este artifício gráfico permite a “visualização” de campos magnéticos. Nessa representação visual, o espaçamento entre tais linhas (a densidade de linhas) é diretamente proporcional à intensidade (módulo) do vetor campo magnético. As linhas

de campo magnético também permitem determinar a direção do vetor campo magnético em um dado ponto do espaço de forma que o vetor é sempre tangente à linha naquele ponto e aponta na mesma direção desta.

A figura 3.2 mostra um ímã em forma de barra com os polos nas extremidades e ao redor dele as linhas de campo representando o campo magnético no plano do papel. Por convenção, as linhas de campo magnético “saem” do polo norte (N) e “entram” no polo sul (S).

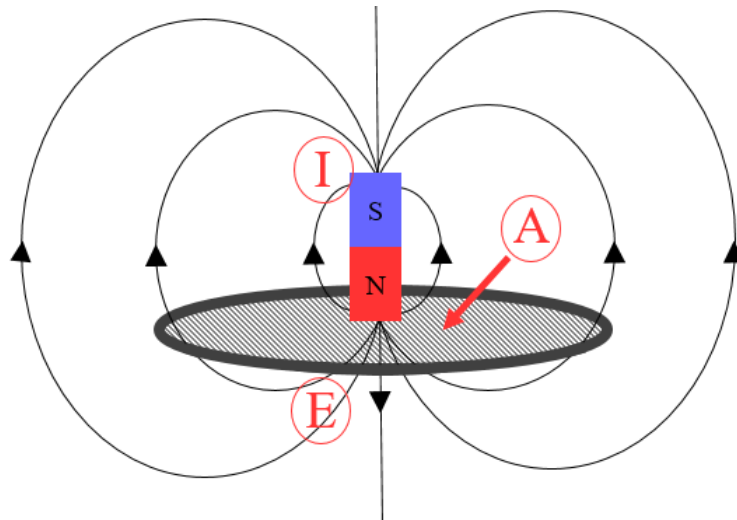


**Figura 3.2.** Representação das linhas de campo magnético. As setas indicam o sentido das linhas de campo, saindo do polo norte (N) e chegando no polo sul (S). O vetor campo magnético no ponto A está representado pela seta em vermelho.

Ao deixar um ímã próximo a uma espira (ou bobina) as linhas de campo magnético a atravessam, conforme ilustrado na figura 3.3. É possível fazer um tratamento matemático, relacionando a quantidade de linhas que atravessam a espira à uma grandeza física denominada fluxo magnético ( $\phi_B$ ). O fluxo magnético pode ser expresso por (REITZ, MILFORD e CHRISTY, 1982):

$$\phi_B = \int \vec{B} \cdot \hat{n} da, \quad (3.2)$$

onde  $\hat{n}da$  é o elemento de área da espira.



**Figura 3.3.** Ímã (I) próximo a uma espira circular (E). As linhas de campo magnético atravessam a espira de área (A).

Considerando-se a componente do campo magnético uniforme e perpendicular à área da espira, a equação (3.2) pode ser reescrita conforme segue:

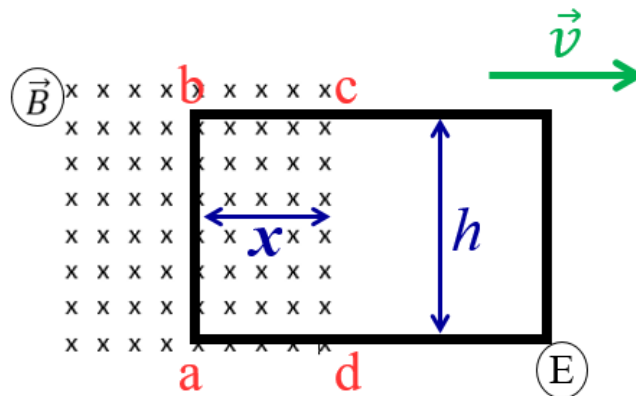
$$\phi_B = BA. \quad (3.3)$$

A unidade de medida de fluxo magnético é  $Tm^2$ , podendo ser expresso, no SI, por weber ( $Wb$ ).

### 3.3 A lei de Faraday da indução eletromagnética

Nas experiências realizadas por Michael Faraday (1791 – 1867), foi observado que ao movimentar um ímã nas proximidades de uma espira uma corrente elétrica é induzida. Na época, conta a história que este fato foi inesperado visto que os cientistas contemporâneos de Faraday ainda estavam estudando os efeitos da indução de campo magnético pela movimentação de portadores de carga. Em uma de suas experiências, relatada em 1831, Faraday fez uma espira se movimentar por uma região de campo magnético uniforme. A figura 3.4 mostra um esquema de um dos experimentos

realizados por Faraday, onde uma espira passa por uma região de campo magnético (GRIFFITHS, 2011).

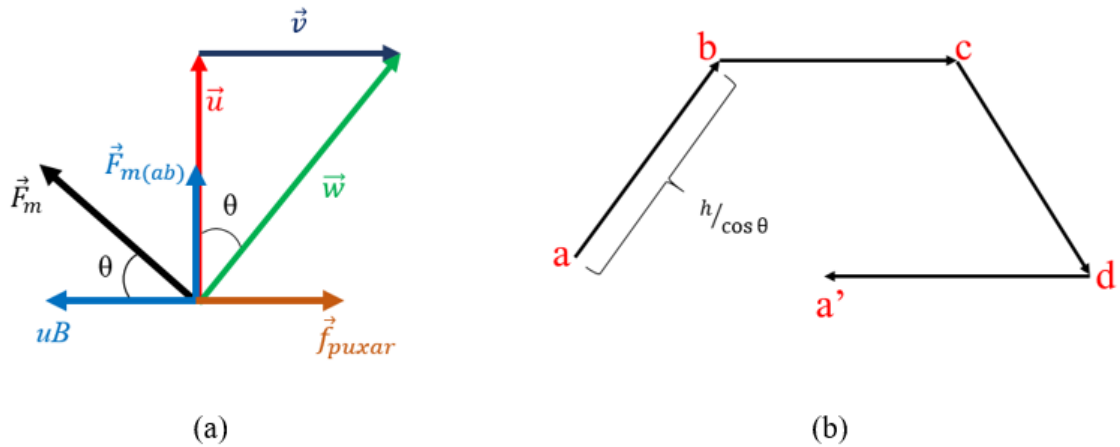


**Figura 3.4.** Esquema de uma espira retangular (E) em movimento. A direção e o sentido do movimento estão indicados pelo vetor velocidade ( $\vec{v}$ ). A espira tem largura  $h$  e está parcialmente imersa numa região de campo magnético ( $\vec{B}$ ), entrando no plano da folha. O comprimento  $x$  delimita a região de campo magnético coberta pelos pontos a-d.

As cargas que transitam na direção  $\overline{ab}$  da figura 3.4 estão submetidas à uma força magnética vertical  $\vec{F}_{m(ab)}$ , sendo esta uma componente da força magnética que age sobre a partícula. Esta força faz com que as cargas se movimentem no sentido horário da espira. A figura 3.5 (a) mostra as direções das velocidades de uma partícula ao longo da direção  $\overline{ab}$  ( $\vec{u}$ ) e da direção do movimento da partícula ( $\vec{v}$ ). Conforme se vê pela figura 3.5 (a), a resultante das velocidades  $\vec{u}$  e  $\vec{v}$  é a velocidade  $\vec{w}$ . Consequentemente a força magnética  $\vec{F}_m$  que age sobre uma carga tem direção e sentido conforme mostra a mesma figura. No entanto, esta força não exerce trabalho sobre a carga. O trabalho é realizado por uma força por unidade de carga que puxa a espira ( $\vec{F}_{puxa}$ ) (GRIFFITHS, 2011), que tem a mesma intensidade que a componente da  $\vec{F}_m$  ao longo da horizontal ( $uB$ ):

$$\vec{F}_{puxa} = uB. \quad (3.4)$$

A figura 3.5 (b) mostra o caminho percorrido por uma carga, bem como a direção do movimento ao longo de  $\overline{ab}$ . O deslocamento  $\overline{ab}$  sofrido por uma carga é dado por  $\frac{h}{\cos\theta}$  (GRIFFITHS, 2011).



**Figura 3.5.** Em (a) é mostrado as direções das velocidades  $\vec{u}$  e  $\vec{v}$ , bem como a direção da velocidade resultante  $\vec{w}$ ; na mesma ilustração é mostrado a força magnética  $\vec{F}_m$ , as suas componentes  $\vec{F}_{m(ab)}$  e  $uB$ , e também a força exercida para puxar a bobina  $\vec{F}_{puxar}$ . Em (b) é mostrado o caminho que as cargas fazem, considerando também o movimento da espira; o comprimento  $\overline{ab}$  é dado por  $h/\cos\theta$ .  
**Fonte:** Griffiths (2011).

Dessa forma, o trabalho realizado pela força  $\vec{F}_{puxa}$  é dado por:

$$\varepsilon = \int \vec{F}_{puxa} \cdot d\vec{l}, \quad (3.5)$$

onde  $dl$  é o elemento de comprimento ao longo da horizontal.

Considerando a equação 3.4 e também o deslocamento da partícula ao longo da direção de  $\vec{F}_{puxa}$ , a equação (3.5) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\varepsilon = uB \left( \frac{h}{\cos\theta} \right) \text{sen}\theta, \quad (3.6)$$

onde  $uB$  é a intensidade de  $\vec{F}_{puxa}$  e  $\left( \frac{h}{\cos\theta} \right) \text{sen}\theta$  é o módulo do deslocamento da partícula na horizontal (mesma direção que  $\vec{F}_{puxa}$ ) (GRIFFITHS, 2011).

Desenvolvendo os cálculos, conclui-se que o trabalho por unidade de carga é dado por:

$$\varepsilon = Bhv, \quad (3.7)$$



onde  $\varepsilon$  é o trabalho por unidade de carga, também denominada força eletromotriz.

Outra maneira de expressar a força eletromotriz é considerando a força  $\vec{F}_{m(ab)}$  ao longo da direção  $\overline{ab}$ , onde o trabalho por unidade de carga é o mesmo que aquele dado pela equação (3.7) (GRIFFITHS, 2011), conforme segue:

$$\varepsilon = \oint \vec{F}_{m(ab)} \cdot d\vec{l}' = Bhv, \quad (3.8)$$

o elemento de comprimento  $d\vec{l}'$  tem a mesma direção e sentido da força  $\vec{F}_{m(ab)}$ . A equação (3.8) se aplica a um instante de tempo, sendo, portanto, considerada a força eletromotriz instantânea.

Para o esquema da figura 3.4, a equação (3.3) pode ser reescrita, conforme segue:

$$\phi_B = Bhx, \quad (3.9)$$

onde  $h$  é a largura da espira e  $x$  é a parcela de seu comprimento se encontra imerso na região de campo magnético.

No experimento da figura 3.4, conforme a espira se movimenta, o fluxo magnético varia em relação ao tempo dado que o número de linhas diminui conforme a espira caminha para a direita. Assim, podemos relacionar esta taxa de variação do fluxo com a taxa de variação do comprimento da espira imersa na região de campo magnético (velocidade da espira) (GRIFFITHS, 2011), assim:

$$-\frac{d\phi}{dt} = Bhv, \quad (3.10)$$

onde  $\frac{d\phi}{dt}$  é a taxa de variação do fluxo magnético em relação ao tempo.

Dado que, no contexto em questão, o fluxo magnético diminui à medida que a espira se movimenta, pode-se atribuir um sinal negativo a  $\frac{d\phi}{dt}$ . Dessa forma, da combinação entre a equação (3.7) e a equação (3.10), chega-se à seguinte expressão para a força eletromotriz  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}, \quad (3.11)$$

onde  $\frac{d\phi}{dt}$  é a taxa de variação do fluxo magnético em relação ao tempo.

A equação (3.11) expressa a força eletromotriz devida ao movimento da espira em relação a um campo magnético, conforme mostrado na figura 3.4. Se, no entanto, o campo magnético se mover para a esquerda na figura 3.4, de modo que a espira fique em repouso, as cargas no interior da direção  $\overline{ab}$  não estarão mais submetidas à  $\vec{F}_{m(ab)}$ , isto porque as cargas estarão com velocidade nula. A movimentação das cargas é, dessa forma, devido ao campo elétrico  $\vec{E}$ , conforme sugeriu Faraday (GRIFFITHS, 2011). A força eletromotriz é definida como:

$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\phi}{dt}. \quad (3.12)$$

A derivada da equação (3.2), fornece:

$$\frac{d\phi_B}{dt} = \int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \hat{n} da, \quad (3.13)$$

onde  $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$  é a taxa de variação do campo magnético em relação ao tempo.

Dessa forma, a equação (3.12) pode ser reescrita como segue:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot \hat{n} da. \quad (3.14)$$

A equação (3.14) trata-se da Lei de Faraday na forma integral. Aplicando o teorema de Stokes é possível transformá-la para a forma diferencial, isto é:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}. \quad (3.15)$$

Tanto a equação (3.14) quanto a (3.15) indicam que um campo magnético variável induz um campo elétrico no entorno da espira.

Uma carga no interior do fio, que esteja em um estado estacionário, experimenta uma força de Lorentz  $[\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})]$  nula. A carga, estando em repouso, não experimentará uma força magnética e, por isso, a força que age sobre a carga se reduz a:

$$\vec{F} = q\vec{E} = 0. \quad (3.16)$$

A equação (3.16) é satisfeita somente quando  $\vec{E}$  possui módulo nulo. Isto pode ser feito considerando que, ao ser movimentado o campo magnético, haverá separação de cargas positivas e negativas ao longo da direção  $\overline{ab}$ , alocando cada qual numa extremidade (REITZ, MILFORD e CHRISTY, 1982). Dessa forma, haverá um campo elétrico  $\vec{E}_1$ , proveniente da separação das cargas. Este é anulado por um campo elétrico  $\vec{E}_2$ , associado ao campo magnético variável (REITZ, MILFORD e CHRISTY, 1982). Dessa forma, o campo elétrico resultante  $\vec{E}$  é anulado.

Dessa maneira, fazendo-se a integração ao longo da curva fechada da espira, obtém-se:

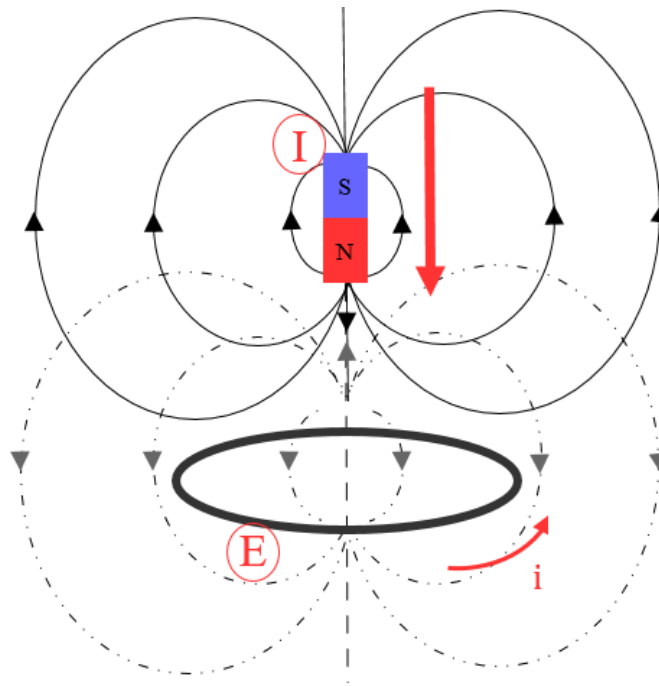
$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} + \int_b^a \vec{E} \cdot d\vec{l}. \quad (3.17)$$

O termo  $\int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l}$  da equação (3.17) é nulo, já que  $\vec{E}$  resultante da direção  $\overline{ab}$  tem módulo nulo. Já o termo  $\int_b^a \vec{E} \cdot d\vec{l}$  está relacionado ao trecho restante da espira, correspondendo à taxa de variação de fluxo magnético (REITZ, MILFORD e CHRISTY, 1982), tal como se demonstrou no caso anterior (espira se movendo). Dessa forma, à força eletromotriz associa-se uma taxa de variação de fluxo magnético conforme equação (3.11).

A conclusão das observações de Faraday foi que uma corrente, relacionada à força eletromotriz, é induzida quando há movimento relativo entre o ímã e a espira. Conseqüentemente, quanto mais rápido for esse movimento relativo, maior será a taxa temporal segundo a qual o fluxo magnético varia e maior a intensidade da corrente induzida na espira.

### 3.4 A Lei de Lenz

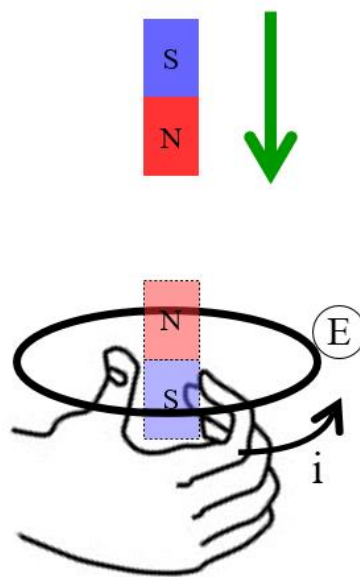
Num experimento típico para a indução de corrente numa espira, faz-se aproximar ou afastar um ímã da espira. Nota-se que ao inverter o sentido de movimento, há a inversão do sentido da corrente induzida na espira. Isto fez com que Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804 – 1865) criasse uma regra, conhecida como Lei de Lenz. Essa lei estabelece o sentido da corrente induzida numa espira devido à variação de fluxo magnético, e para isso considera-se que o campo magnético induzido ( $\vec{B}_{ind}$ ) se opõe à variação de fluxo magnético imposta pela movimentação do ímã. A figura 3.5 mostra esquematicamente a aproximação de um ímã a uma espira. No contexto da figura, à medida que o ímã se aproxima, o número de linhas de força que atravessam a espira aumentam, levando a um aumento no fluxo do campo magnético. A espira, por sua vez, no sentido de cancelar esse aumento no número de linhas de campo (variação de fluxo magnético) passa a apresentar uma corrente elétrica induzida que, por sua vez, cria um campo magnético induzido (representado pelas linhas tracejadas-pontilhadas) contrário ao campo do ímã se opõe à variação de fluxo magnético sofrido pela espira.



**Figura 3.5.** Lei de Lenz. O ímã (I) é aproximado da espira circular (E) no sentido indicado pela seta vertical. Uma corrente (i) é induzida no sentido anti-horário. Essa corrente cria um campo magnético contrário àquele gerado pelo ímã. As linhas de campo representadas por linhas contínuas são devidas ao ímã e aquelas representadas por linhas tracejadas-pontilhadas são devidas ao campo gerado pela corrente i e que se opõe ao do ímã.

A Lei de Lenz justifica o sinal negativo da equação (3.7), indicando que o campo magnético induzido é contrário à variação de fluxo magnético sofrido pela espira (GRIFFITHS, 2011) (HALLIDAY, 2009).

É possível, de maneira prática, determinar o sentido da corrente induzida na espira utilizando a regra da mão direita (HALLIDAY, 2009), conforme mostra a figura 3.6. Ao aproximar um ímã de uma espira, uma corrente é induzida, de tal forma que um campo magnético induzido (representado pelo ímã tracejado) se contrapõe a variação de fluxo. A regra da mão direita constitui uma forma prática para se determinar o sentido da corrente.



**Figura 3.6.** Esquema da regra da mão direita. O campo magnético induzido é representado pelo ímã tracejado. O polegar indica a direção e o sentido do campo magnético induzido e os demais dedos indicam o sentido de movimentação da corrente induzida. O campo magnético induzido se opõe àquele que o originou.

**Fonte:** Ilustração da mão adaptada de Villate (2017).

Para uma bobina de  $N$  espiras suficientemente próximas umas das outras, é possível determinar o módulo da força eletromotriz  $\varepsilon$  por (HALLIDAY, 2009):

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt}. \quad (3.8)$$

## Capítulo 4

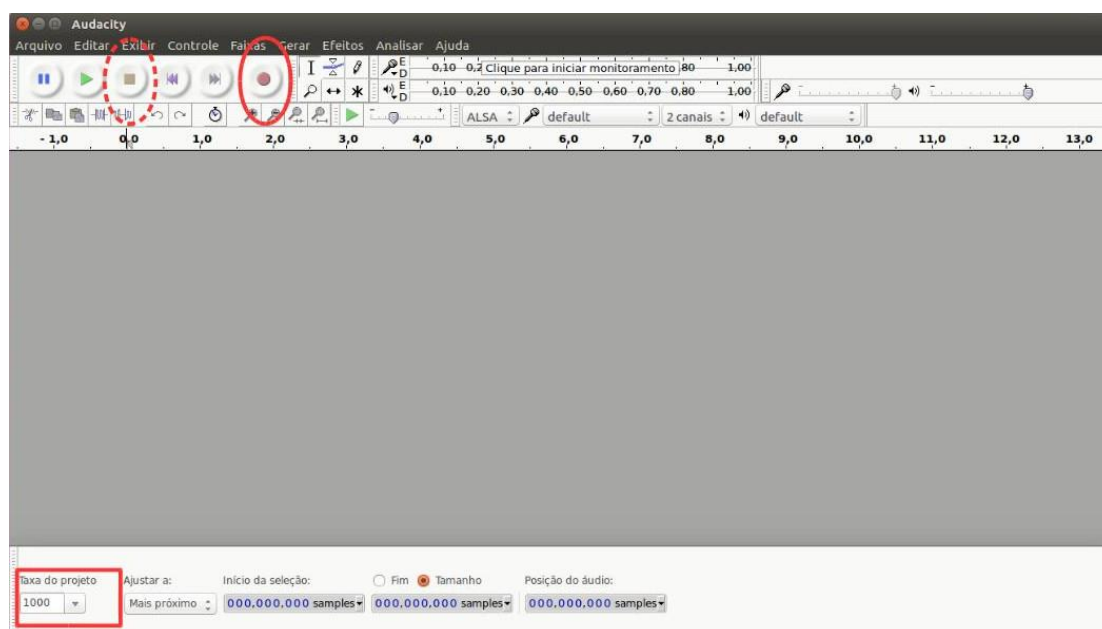
### O produto

#### 4.1 Componentes do produto

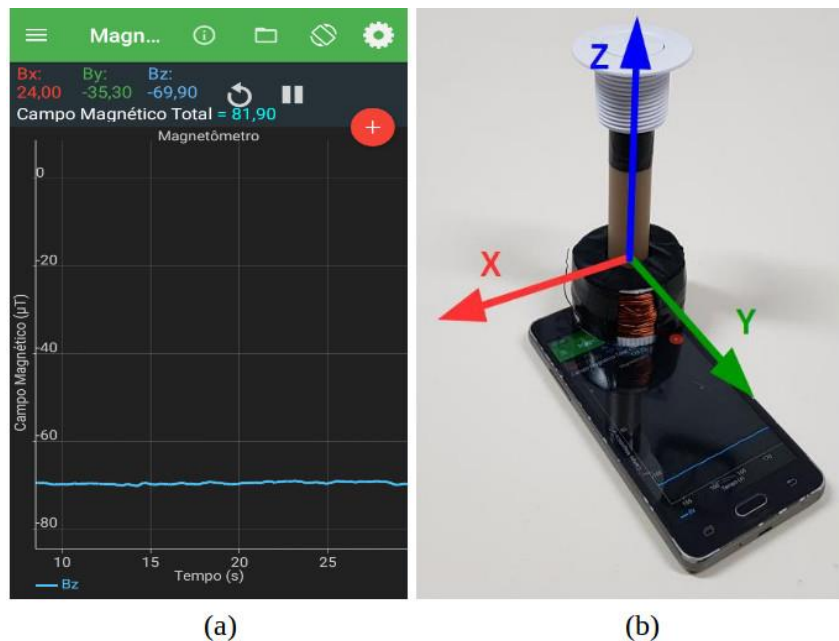
O produto é um experimento de baixo custo onde ocorre a aquisição e a análise de dados experimentais a partir de um *smartphone* e um computador. Este experimento leva à comprovação quantitativa da Lei de Faraday da indução eletromagnética. Acompanha o produto uma proposta de roteiro para o professor e outra para o estudante (para o professor utilizar junto a seus estudantes na execução do experimento). O produto tem um cunho inovador dado que permite ao professor, com baixo custo e de forma criativa e atual, comprovar aos estudantes de forma quantitativa a lei da indução eletromagnética de Faraday. Além disso, dado seu caráter de baixo custo, colabora com a universalização da oportunidade de acesso ao conhecimento.

A coleta de dados a partir do computador é feita através do software *Audacity*, e a coleta de dados a partir do *smartphone* é feita através aplicativo *Physics Toolbox Sensor Suite* (PTSS) para sistema *Android*.

A figura 4.1 mostra a tela inicial do *Audacity* versão 2.1.2-1 e a figura 4.2 mostra a tela inicial do PTSS versão 1.6.9.



**Figura 4.1.** Tela inicial do software *Audacity* versão 2.1.2-1. A elipse tracejada indica a função “parar”, a elipse contínua indica a função “gravar” e o retângulo em vermelho no canto inferior esquerdo indica a taxa de amostragem projeto.



**Figura 4.2.** (a) Tela inicial do PTSS 1.6.9 já selecionada a função magnetômetro. O gráfico (em azul claro) indica as medidas referentes à componente “z” do campo magnético em função do tempo. (b) Sistema de eixo cartesiano tridimensional contendo a respectiva direção do eixo z, como usado pelo magnetômetro do *smartphone*.

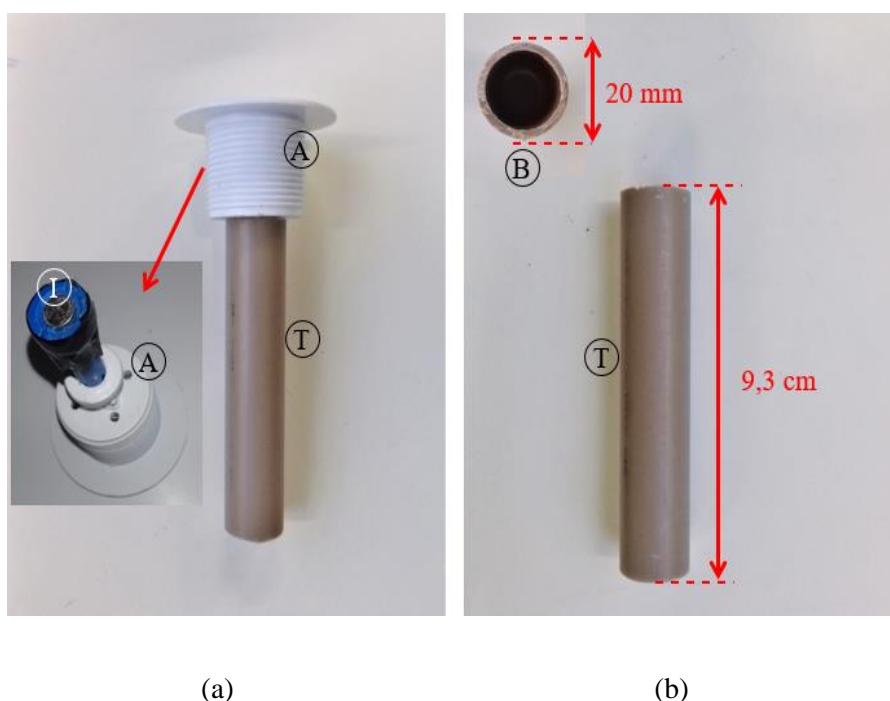
Como visto, o *smartphone* e o computador dão conta apenas da aquisição e análise dos dados. Tais dados são gerados por um dispositivo caseiro e simples que pode ser desenvolvido pelo professor previamente ou em conjunto com seus estudantes a depender do tempo que disponha. Esse dispositivo constitui-se de uma bobina de fio de cobre esmaltado com aproximadamente 600 voltas e bitola 25 AWG, como mostrado na figura 4.3. A bobina<sup>1</sup> tem as duas extremidades do fio de cobre descascadas (esmalte removido) com o objetivo de garantir a conexão elétrica.



**Figura 4.3.** Bobina circular construída para o experimento com fio de cobre. A bobina está envolvida com fita isolante para segurar o fio enrolado.

<sup>1</sup> O fio de cobre foi enrolado num carretel de esparadrapo com 5,5 cm de diâmetro por 2,5 cm de largura, com orifício central de 20 mm de diâmetro. Ao final, selou-se o conjunto (fio enrolado e carretel) com fita isolante. O carretel de esparadrapo (vazio) pode ser obtido gratuitamente em uma farmácia, por exemplo.

Além da bobina, é usado um acionador de válvula de descarga de sanitários (caixa acoplada), encaixado em um tubo PVC, conforme mostrado na figura 4.4. Este dispositivo, dado que possui uma mola, é usado para mover o ímã<sup>2</sup> da sua posição rente à face superior da bobina (botão pressionado) até a sua posição de equilíbrio (botão livre), levando à variação do fluxo do campo magnético. A figura 4.4 ilustra o posicionamento desse dispositivo. Esse dispositivo não é mandatório. O professor pode, por exemplo, substituí-lo por um lápis ou caneta com o ímã colado em uma de suas extremidades. Optando por isso, a movimentação do ímã se dá, exclusivamente, de forma manual.

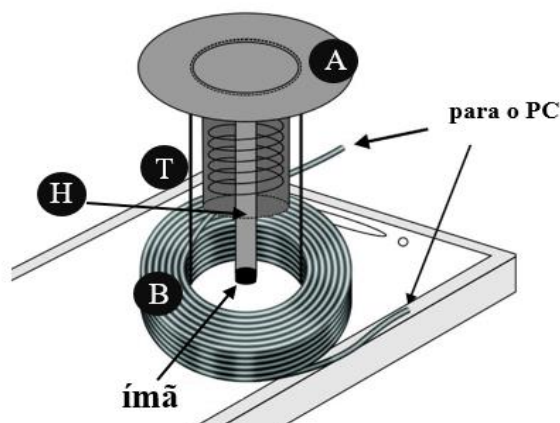


**Figura 4.4.** (a) O acionador de descarga está marcado por “A” e o tubo PVC está marcado por “T”. A seta aponta para uma imagem onde o acionador de descarga está isolado, e nesta imagem é mostrado o ímã de neodímio, marcado por “T”. Em (b) vê-se o comprimento do tubo PVC e da sua bitola, marcada por “B”.

A figura 4.5 apresenta um esquema que mostra o ímã no interior do dispositivo, com o botão do acionador pressionado. O ímã está preso na haste (H), que por sua vez, após liberação do botão, se move verticalmente (ao longo do eixo z) devido a restauração da mola (no interior do acionador de descarga).

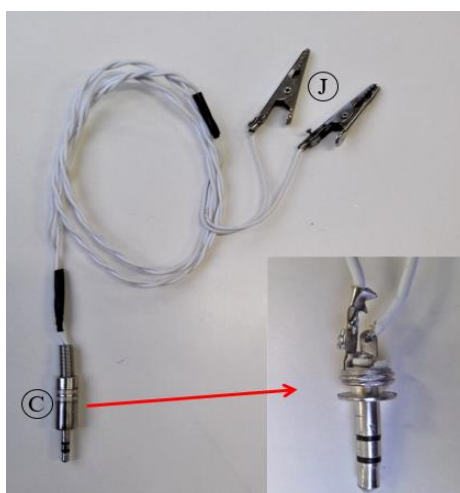
<sup>2</sup> Para a aplicação foi utilizado um ímã cilíndrico de neodímio de dimensões 2,5 mm x 7 mm. O ímã pode ser obtido em lojas online, por exemplo, a um custo na ordem de centavos. Uma outra opção é utilizar um ímã de alto-falante, desde que a intensidade do campo magnético seja suficientemente forte.





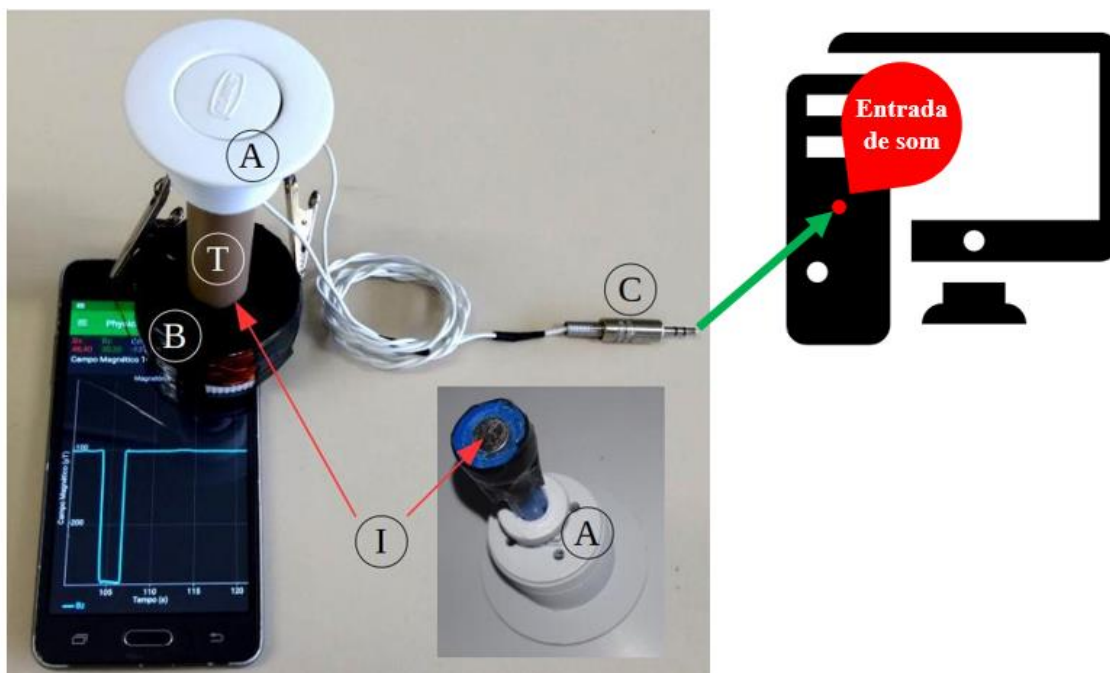
**Figura 4.5.** Esquema mostrando o ímã no interior do dispositivo. O ímã, preso na extremidade inferior da haste (H), está rente à face superior da bobina (B). O botão do acionador (A) está pressionado. A haste (H) e o tubo (T) são coaxiais. Os dois terminais da bobina são ligados ao PC. Abaixo da bobina está representado um *smartphone*.

Já a conexão da bobina, mostrada na figura 4.3, com a porta de áudio (placa de som) do computador é feita com o dispositivo apresentado na figura 4.6. Este dispositivo é constituído de um pedaço (aproximadamente 50 cm) de fio condutor paralelo, ligado a um plugue de áudio de 3,5 mm. As extremidades do fio paralelo serão ligadas às extremidades descascadas do fio de cobre que constitui a bobina, podendo ser feita com auxílio de conectores do tipo “jacaré”, soldagem ou simplesmente enrolando (torcendo um contra o outro) os respectivos fios firmemente. Conforme pode ser visto no *inset* da figura 4.6, mesmo se tratando de um conector estéreo, apenas um canal é utilizado.



**Figura 4.6.** Cabo com plugue de áudio construído para o experimento. O plugue está marcado por “C” e os “Jacarés” estão marcados por “J”. A seta aponta para uma ampliação do plugue de áudio, sem a capa protetora, mostrando como o fio paralelo é soldado a um de seus dois canais. Conforme pode ser visto na ampliação, mesmo se tratando de um conector estéreo, apenas um canal é utilizado.

O tubo de PVC é encaixado na bobina de modo a não haver folga e o conjunto fique estável. A figura 4.7 mostra o sistema montado. Para a realização do experimento, o dispositivo é posicionado imediatamente acima do sensor magnético do *smartphone*, conforme mostra a figura 4.7. Para isso, é necessário localizar a região onde fica o sensor magnético do *smartphone*, podendo ser feito, por exemplo, aproximando o ímã com o PTSS em operação. Outra forma é entrar no site do fabricante do *smartphone* e verificar a localização do sensor magnético.



**Figura 4.7.** Sistema montado. O acionador de descarga está marcado por “A”, o ímã por “I”, a bobina por “B”, o tubo PVC por “T” e o plugue de áudio por “C”. As setas vermelhas indicam as posições do ímã. A seta verde indica a entrada de som do computador para acoplamento do plugue. O gráfico mostrado na tela do *smartphone* é um exemplar do que se obtém no experimento.



**Fonte:** Ilustração do computador adaptada de <https://br.freepik.com> (2014).

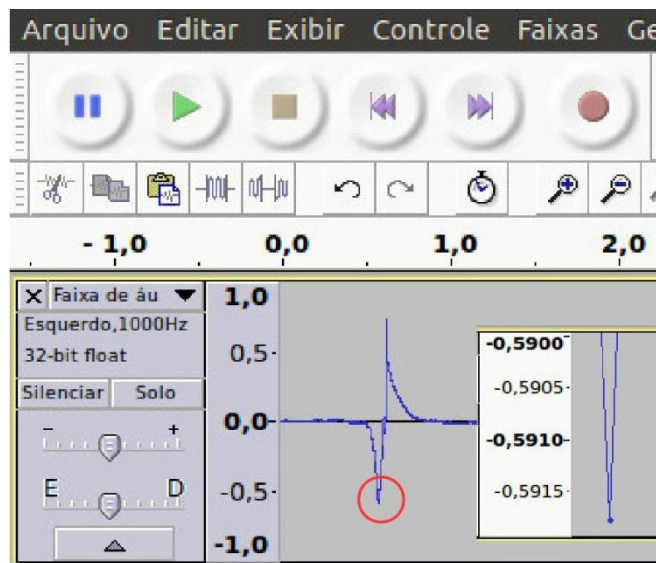
## 4.2 Coleta de dados

Os dados adquiridos através do computador e do *smartphone* formarão um par ordenado do tipo  $(\epsilon, \frac{d\phi}{dt})$ . Para a demonstração quantitativa da Lei de Faraday da indução eletromagnética, numa turma do EM e considerando o tempo que se tem para a realização do experimento e análise dos dados, recomendamos a obtenção de 4 a 6 pares ordenados.

A primeira medida é feita liberando o botão do acionador de descarga rapidamente, sem que o pico mostrado no *Audacity* sature a escala, ou seja, esteja ligeiramente menor



que 1,0. Em caso de saturação, é necessário diminuir a sensibilidade da placa de som (volume de entrada), ou refazer a medida soltando o botão mais lentamente. As demais medidas devem ser feitas liberando o botão do acionador com velocidades gradativamente menores, de modo a se obter diferentes pares ordenados.

A gravação é iniciada clicando em , sendo necessário clicar em  para que a gravação seja encerrada. O valor do pico é identificado diretamente da tela do *Audacity*, conforme mostra a ampliação (no canto inferior direito) da figura 4.8.

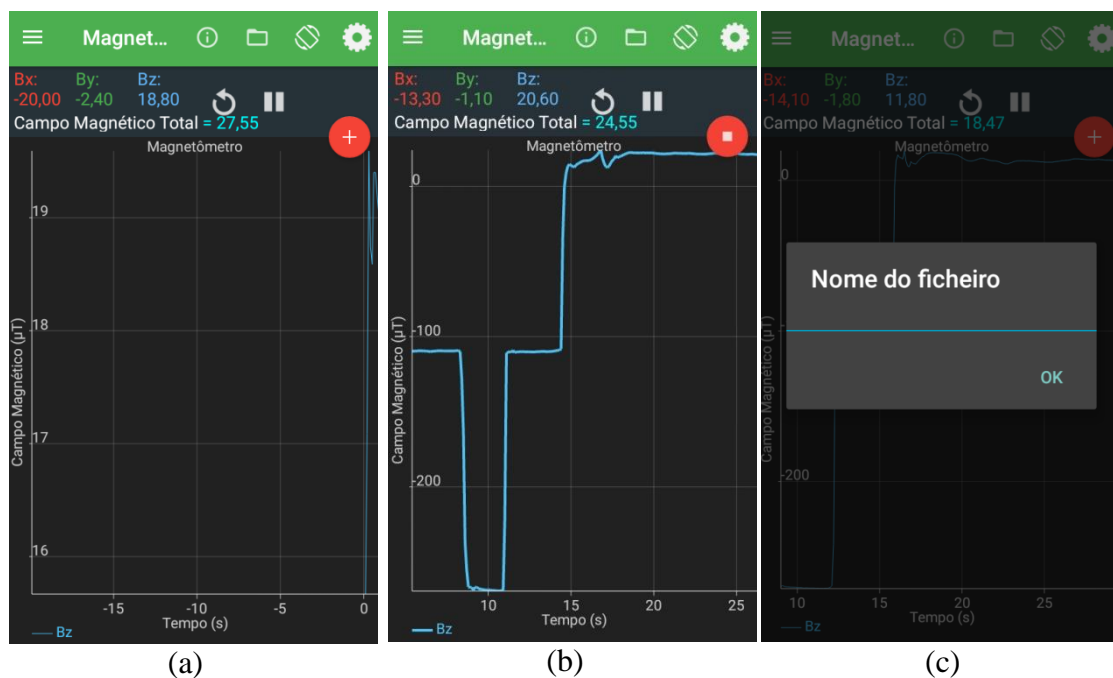


**Figura 4.8.** Pico identificado na tela do *Audacity* em típica medida do experimento. O pico está na região circular, sendo esta ampliada para a determinação do valor correspondente (à direita). Nesta medida, o pico foi de 0,59178 u.a.

Concomitantemente é feita a medida no PTSS, a fim de formar o par ordenado.

Para iniciar a gravação é necessário clicar em , no canto superior direito da tela, conforme mostra a figura 4.9(a). Para que a gravação seja encerrada é necessário clicar em , conforme mostra a figura 4.9(b). Nesta etapa, um arquivo de dados (no formato CSV<sup>3</sup>) é gerado, sendo necessário salvá-lo conforme solicitação mostrada na figura 4.9(c). Em seguida, é necessário enviar o arquivo de dados para o computador, via e-mail ou cabo USB, para posterior análise dos dados com o PTSS utilizando o computador.

<sup>3</sup> CSV (*Comma-separated values*) é um arquivo de dados organizados com separação por vírgulas. Podem ser executados no Excel, por exemplo.

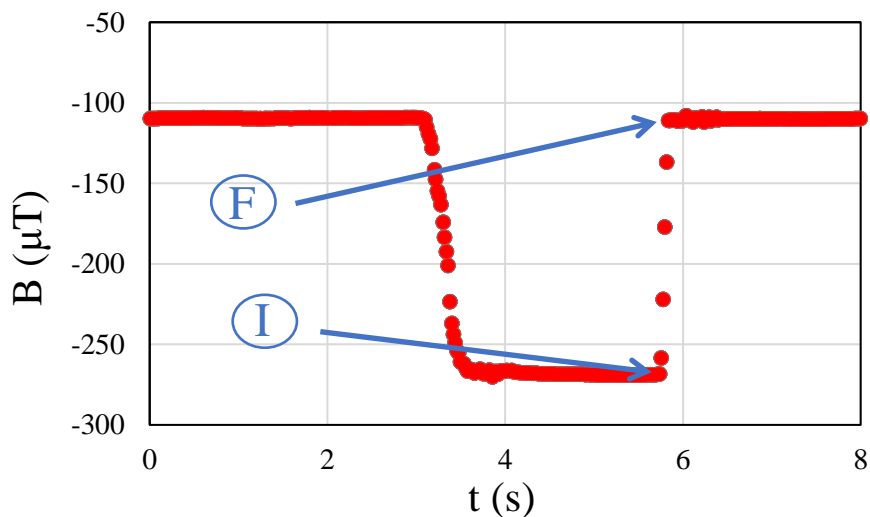


**Figura 4.9.** Procedimento para iniciar a gravação e salvar o arquivo de dados do PTSS. Em (a) tela antes de iniciar a gravação dos dados; em (b) os dados sendo gravados numa situação típica do experimento e em (c) tela para nomear o arquivo de dados.

### 4.3 Análise de dados

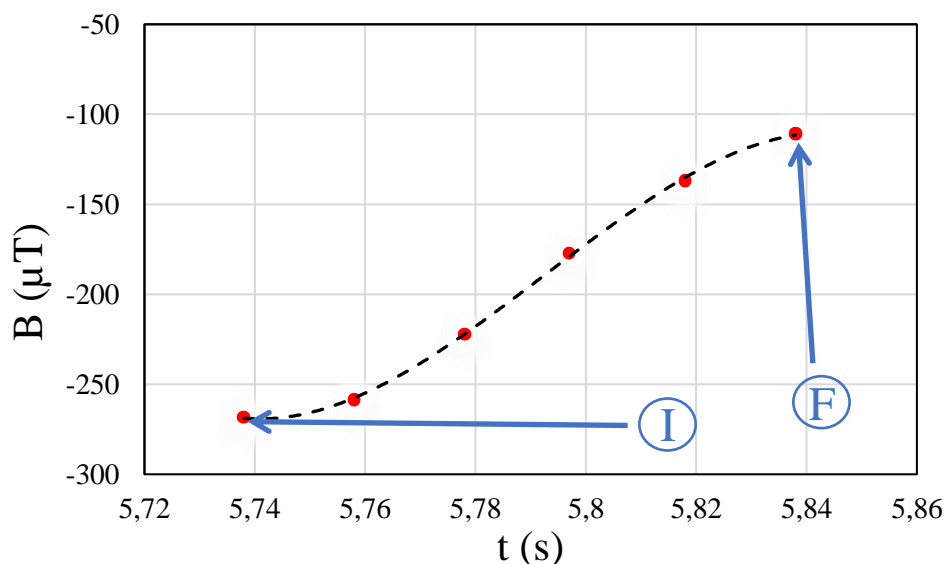
O pico identificado no *Audacity* está relacionado à força eletromotriz gerada na bobina. Para formar o par ordenado é necessário determinar, através dos dados salvos do PTSS, a máxima taxa de variação do fluxo magnético em relação ao tempo. Tais dados, salvos em arquivos csv, devem ser analisados numa planilha eletrônica. No caso do experimento aplicado foi utilizada a planilha eletrônica Excel.

Na planilha eletrônica, o arquivo proveniente do *smartphone* deve ser aberto. Feito isso, é necessário verificar quais colunas correspondem ao tempo e à componente z do campo magnético, respectivamente. Tais colunas devem ser selecionadas, copiadas e coladas em outra planilha, sendo a original descartada. Este procedimento visa selecionar apenas os dados de interesse no experimento e também diminuir o volume de dados facilitando, assim, a manipulação dos mesmos pelo computador. Feito isso, deve-se construir um gráfico de dispersão conforme mostrado na figura 4.10.



**Figura 4.10.** Campo magnético *versus* tempo construído a partir dos dados obtidos pelo PTSS (arquivo csv). As setas indicam os pontos inicial (I) e final (F) dos dados que serão utilizados.

De posse desse gráfico, é necessário determinar os pontos “I”, que é onde o campo magnético começa a variar devido à liberação da válvula, e “F”, que é quando o campo magnético deixa de variar, pois o movimento do ímã já cessou. Os pontos entre I e F devem ser selecionados na planilha de forma a construir um novo gráfico. Esse gráfico deve conter apenas os pontos referentes ao movimento do ímã durante a restituição da mola à sua posição original, conforme exemplo mostrado na figura 4.11.



**Figura 4.11.** Campo magnético *versus* tempo. Os pontos entre os pontos “I” e “F” compreendem uma faixa do conjunto de dados original. As setas indicam a localização dos pontos inicial e final. A linha tracejada é o ajuste dos pontos a um polinômio de ordem 3.

Como é possível ver na figura 4.11, a escala correspondente a intensidade do campo magnético está negativa. Isto pode ser alterado invertendo a polaridade do imã. Recomenda-se que os dados coletados no *smartphone* estejam conforme mostrado, pois assim a máxima derivada será positiva. No gráfico da figura 4.11, uma linha de tendência (linha tracejada) é ajustada aos pontos obtendo-se, assim, uma função polinomial de 3ª ordem, cuja forma geral é dada por:

$$B(t) = -at^3 + bt^2 - ct + d, \quad (4.1)$$

onde os coeficientes  $a$  e  $c$  são números positivos<sup>4</sup>.

A justificativa para o uso de uma função polinomial de 3ª ordem é para que sua derivada, entendida como a taxa de variação do campo magnético em relação ao tempo, seja de 2ª ordem. Uma linha de tendência polinomial de ordem superior a 3 poderia levar a um melhor ajuste dos pontos, aumentando a qualidade do resultado final. Porém, com uma de 3ª ordem, os ajustes se mostraram suficientemente bons como exemplificado no caso da figura 4.11 mencionado acima ( $R^2 = 0,99$ ). Ainda mais importante que isso, no contexto deste trabalho, o ajuste por um polinômio de 3ª ordem leva a uma derivada de 2ª ordem (cujo gráfico no plano cartesiano resulta, neste trabalho, em uma parábola com concavidade voltada para baixo) que os estudantes do EM já tem familiaridade com a determinação de seu vértice ( $y_v$ ), visto que se trata de um conteúdo dos anos iniciais do EM. Este vértice é, na verdade, o ponto onde ocorre a máxima variação do campo magnético. Considerando a derivada da equação (3.3) e que a área média da espira é constante, multiplicando-se o  $y_v$  (máxima variação do campo magnético) pela área média da espira, é obtida a máxima taxa de variação do fluxo do campo magnético que se relaciona com a máxima amplitude ( $A$ ) do pico obtido no *Audacity*.

---

<sup>4</sup> Optou-se por manter o sinal negativo explícito nos coeficientes  $a$  e  $c$  com o objetivo de, no momento de aplicação no EM, remeter os estudantes a uma fácil identificação da concavidade para baixo da parábola que se obtém da derivada da equação (4.1). Com isso, é imediata a compreensão de que se trata da existência de um ponto de máximo.

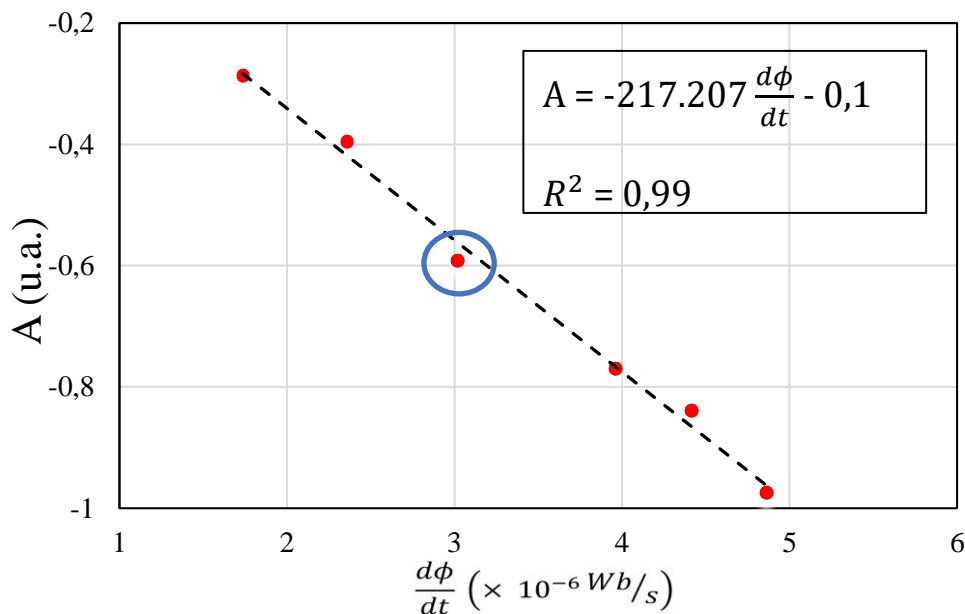
Como exemplo de execução do experimento aqui proposto, apresentamos um caso onde trabalhamos com 6 pares ordenados. Com fins didáticos, tais pares ordenados são organizados na tabela a seguir para que seja construído o gráfico final e, conseqüentemente, análise e comprovação da lei de Faraday da indução eletromagnética.

$\frac{d\phi}{dt} (\times 10^{-6} \text{ Wb/s})$	A (u.a.)
4,86295	-0,97462
4,41389	-0,83898
3,96317	-0,77042
3,01703	-0,59178
2,35836	-0,39613
1,73685	-0,28649

**Tabela 4.1.** Máximas taxas de variação temporal do fluxo magnético e as respectivas forças eletromotrizes induzidas (amplitudes dos picos) obtidas no *Audacity* e em unidades arbitrárias (u.a.).

#### 4.4 Comprovando a Lei de Faraday da indução eletromagnética

Para, finalmente, comprovar a lei de Faraday da indução eletromagnética é necessário construir um gráfico a partir da tabela 4.2. A Figura 4.12 mostra esse gráfico.



**Figura 4.12.** Amplitude do pico (medida no *Audacity*) versus máxima taxa de variação de fluxo magnético (medida a partir do PTSS). O círculo mostra um ponto construído a partir do par ordenado determinados, respectivamente, pela figura 4.7 e figura 4.10.

Conforme mostra a figura 4.12, os pontos se ajustam bem a uma reta ( $R^2 = 0,99$ ). O coeficiente linear da equação do gráfico pode ser desprezado, já que interessa a linearidade do ajuste feito (independentemente da posição que o gráfico assumira no plano cartesiano). Geralmente o coeficiente angular assume valores altos, visto que os dados ao longo do eixo horizontal, correspondentes a taxa de variação de fluxo magnético, estão na ordem de  $10^{-6} \text{ Wb/s}$ , e além disso, os valores dos picos no *Audacity* estão em unidades arbitrárias (u.a.). Pode haver diferentes valores para o coeficiente angular, dependendo do ajuste da sensibilidade da placa de som. Ressalta-se que o foco da demonstração é que o estudante reconheça a linearidade do ajuste dos pontos experimentais, não importando, para este estudo, os valores de quaisquer dos coeficientes mencionados. Conforme se pode verificar, a linearidade do gráfico está de acordo com a Lei de Faraday da indução eletromagnética expressa pela equação (3.11), já que essa relação também é linear.



## Capítulo 5

### Análise dos resultados da aplicação do produto

#### 5.1 Caracterização do grupo de aplicação

O experimento foi aplicado em duas escolas, sendo uma da rede privada e a outra da rede estadual de ensino, totalizando 70 estudantes que participaram da atividade. Na escola da rede privada o produto foi aplicado em duas turmas do terceiro ano do EM, e na escola da rede estadual o produto foi aplicado em uma turma do terceiro ano do ensino médio. Apenas por motivo de organização do texto, a escola da rede privada será chamada de E1 e a da rede estadual de E2. Na E1 o experimento também foi apresentado no Festival Cultural, evento anual onde são apresentados trabalhos feitos pelos professores e estudantes. O evento foi aberto ao público, sendo o experimento apresentado na forma de banner. Na E2 o produto foi apresentado aos demais professores no Replanejamento, evento anual onde ocorrem discussões entre os professores para elaboração de estratégias de ensino.

Na E1 participaram 48 estudantes, sendo 28 na turma 1 (T1) e 20 na turma 2 (T2). As duas turmas são compostas por estudantes predominantemente receptivos a novas estratégias de ensino, constatado por relatos dos professores das duas turmas. Embora muitos estudantes tenham se manifestado no sentido de não gostar da disciplina Física, reconhecem a sua importância no desenvolvimento tecnológico moderno. No decorrer do estudo sobre eletromagnetismo os estudantes buscaram relações do tema com seu cotidiano, coisas como o funcionamento de bússolas, origens do campo magnético terrestre e como funciona uma usina hidrelétrica, esta última intimamente relacionada ao experimento aqui proposto. Muitos estudantes estavam prestes a realizar o vestibular e o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), o que sugere, talvez, ser uma motivação a mais para o despertar do interesse em relação à nossa abordagem. Mesmo assim, isso não torna diminuído o mérito de uma postura bastante ativa dos estudantes nas aulas.

O experimento foi apresentado com uma semana de antecedência, sendo disponibilizado o roteiro experimental para que os estudantes pudessem se inteirar da atividade. Em ambas as turmas os estudantes se interessaram pela atividade, e ao longo

da semana leram e tiraram dúvidas sobre os tópicos discutidos no roteiro experimental. Alguns até mesmo instalaram o PTSS no *smartphone* para se inteirarem ainda mais da atividade. Ainda nesse período, um grupo de estudantes questionou se era possível acender um LED com a bobina do experimento. Este questionamento foi motivado pelo fato de já terem lido um texto sobre experimento onde uma bobina era construída com um LED ligado em série. Foi exposto aos estudantes que a corrente elétrica gerada em nosso experimento é insuficiente para fazer com que um LED acenda. Ainda assim, alguns testes foram feitos utilizando diferentes LEDs, alguns deles trazidos pelos próprios estudantes. Aproveitando essa deixa gerada pelos próprios estudantes, foi reforçada a explicação que para a medida da corrente induzida (proporcional à fem), seria utilizado o software *Audacity* e a porta de áudio do computador. Esse ocorrido deixa transparecer a postura ativa tomada pelos estudantes frente à nossa abordagem. Como é possível notar, a atividade motivou parte dos estudantes ao protagonismo no estudo sobre o tema.

Na E2, ao todo participaram 22 estudantes de uma turma do terceiro ano do EM. A sala é composta por estudantes onde parte são receptivos a novas estratégias de ensino e outra parte são indiferentes a novidades desse tipo. De forma geral, os estudantes se manifestaram no sentido de não gostar da disciplina Física e, salvo alguns, não reconhecem a importância desta disciplina no desenvolvimento tecnológico moderno e a implicação da mesma em suas vidas.

Ao longo das aulas sobre eletromagnetismo, os estudantes buscavam relações dos temas com o cotidiano em que vivem, sendo feitas relações tais como o funcionamento de eletroímãs em ferros-velhos e o funcionamento da bússola. O experimento foi anunciado com uma semana de antecedência e, inicialmente, os estudantes mostraram interesse em participar. No entanto não houve procura, por parte dos estudantes, pelo professor no sentido de tirar dúvidas em relação ao experimento.

Cabe ressaltar que, tanto na E1 quanto na E2, foi realizada uma breve revisão dos tópicos pré-requisitos para a realização do experimento (magnetismo e imãs; campo magnético; campo magnético em espiras; fluxo do campo magnético; introdução à regra prática de determinação de derivada de polinômios e a lei de Faraday da indução eletromagnética). A revisão teve como objetivo garantir a clareza da análise dos resultados experimentais ao final da atividade.

## 5.2 Resultados experimentais obtidos pelas turmas

A análise dos dados experimentais obtidos com o PTSS se deu a fim de obter a máxima taxa de variação do fluxo magnético. Para tanto foi necessário que, primeiro, se obtivesse a equação (5.1) que se ajusta a curva entre os pontos I e F (ver figura 4.7). Como o interesse é o de obter a máxima taxa de variação do fluxo do campo magnético através da bobina, utilizou-se a derivada da equação (4.1). Ressalta-se que a equação (4.1) não tem significado físico, apenas ajustou-se um polinômio aos pontos experimentais, polinômio este cuja derivada resulta numa equação polinomial de ordem 2. Esta equação tem como gráfico, no plano cartesiano, uma parábola com a concavidade voltada para baixo e familiar aos estudantes da série na qual o experimento aqui apresentado se insere, já que se trata de conteúdo dos anos iniciais do EM. Assim, a determinação de seu valor máximo pode ser feita pela regra prática de determinação do “y do vértice da parábola” dada por:

$$y_v = -\left(\frac{B^2 - 4AC}{4A}\right), \quad (5.1)$$

onde  $A$ ,  $B$  e  $C$  são coeficientes de:

$$B'(t) = At^2 + Bt + C, \quad (5.2)$$

onde  $A$ ,  $B$  e  $C$  são coeficientes reais dados por:

$$A = -3a \quad B = 2b \quad C = -c. \quad (5.3)$$

Pela da equação (5.1) determina-se a máxima taxa de variação do campo magnético em relação ao tempo  $\left(\frac{dB}{dt}\right)$ . Retomando à equação (3.3), esta pode ser derivada, assumindo a seguinte forma:

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{dB}{dt} A. \quad (5.4)$$

onde  $A$  é a área média da bobina.

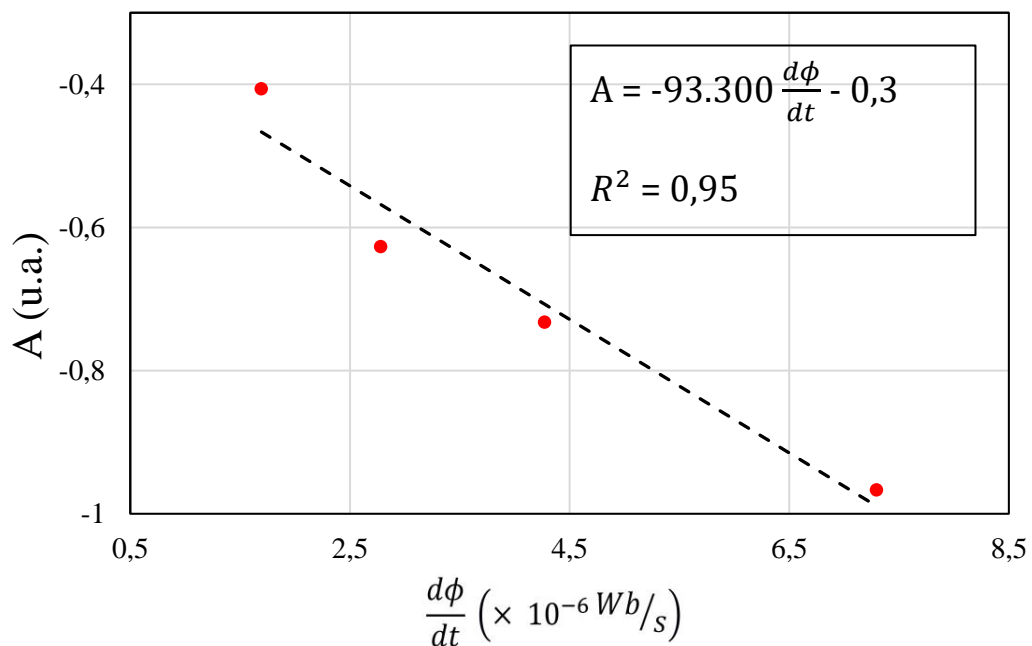
A área média assume valor constante na equação (5.4), derivando-se apenas  $B$ . A área média da bobina utilizada foi de  $0,0013 \text{ m}^2$ . Através da equação (5.4) determina-se a máxima taxa de fluxo magnético em relação ao tempo  $\left(\frac{d\phi}{dt}\right)$ .

Todas as equações foram previamente inseridas na planilha eletrônica a fim de facilitar o trabalho durante a aula, sendo essas apresentadas aos estudantes para que a planilha eletrônica fosse entendida como um instrumento facilitador para a análise dos dados. Dessa forma, bastou utilizar os coeficientes das equações das curvas para se determinar a máxima taxa de fluxo magnético. Devido ao tempo previsto para realização da atividade, preferiu-se inserir as equações antes da aplicação da atividade, no entanto, se o tempo em aula permitir, o professor pode inserir as equações na planilha eletrônica junto com os estudantes, sendo uma possibilidade de fazer com que estes construam a própria planilha de análise experimental. Isso torna o experimento um diferencial frente a muitos pacotes comerciais, em que as funções de tais pacotes não são abertas e torna a atividade do professor limitada a utilizar aquilo que vem embarcado no software.

Abaixo apresentamos os gráficos de  $\varepsilon$  versus  $\frac{d\phi}{dt}$  construídos por cada uma das turmas envolvidas na aplicação do experimento.

### 5.2.1 Resultados obtidos pela turma 1 da escola 1

Uma vez construído e discutido com os estudantes o gráfico da figura 5.1 (ainda apresentando apenas os pontos experimentais), os mesmos concluíram que a melhor curva que poderia ser ajustada a tais pontos era uma reta. Após isso, usando o comando “linha de tendência” da planilha eletrônica, foi inserida a reta que melhor se ajusta aos pontos experimentais em questão. Além da inserção da linha de tendência, como mostrado na figura 5.1, a planilha eletrônica retorna a equação da curva ajustada e o valor do parâmetro  $R^2$ .



**Figura 5.1.** Amplitude A em unidades arbitrárias, medida no Audacity, versus taxa de variação do fluxo magnético  $\frac{d\phi}{dt}$ , medida a partir do PTSS, obtido na E1-T1. A linha tracejada é o ajuste linear.

Como podemos observar, nesse caso, o parâmetro obtido foi  $R^2 = 0,95$ , o que indica uma boa qualidade no ajuste realizado. Ainda nesse caso, a equação da reta obtida é:

$$A = -93.300 \frac{d\phi}{dt} - 0,3. \quad (5.4)$$

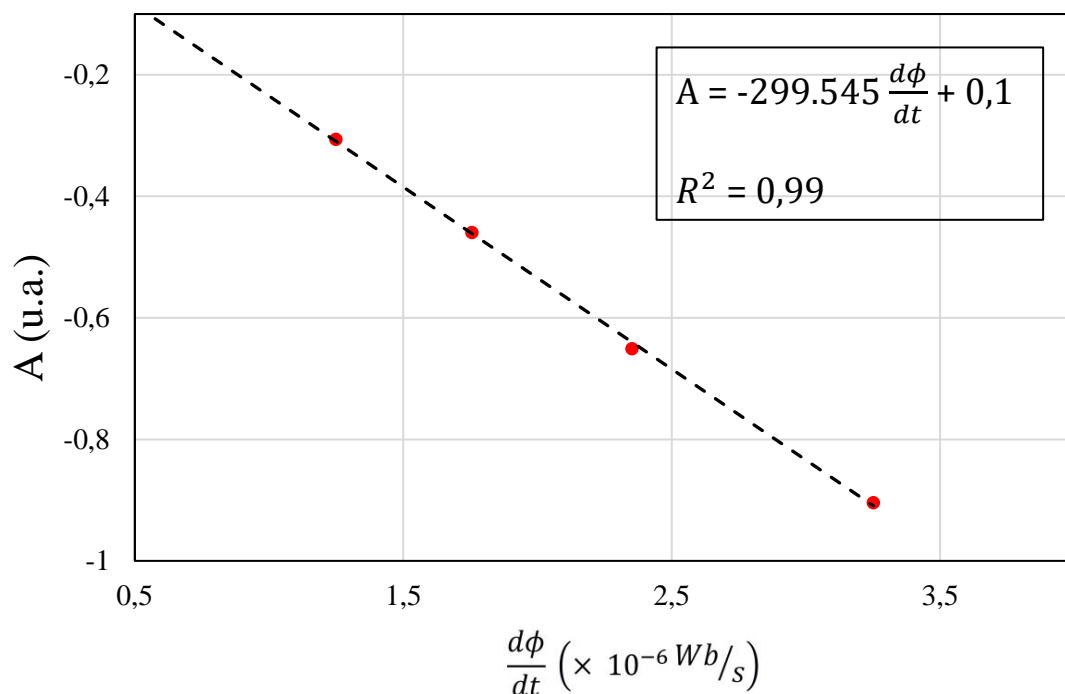
Desprezando o coeficiente linear da equação (5.4), esta fica da seguinte forma:

$$A = -93.300 \frac{d\phi}{dt}. \quad (5.5)$$

Portanto, a comparação da equação (5.5) com a equação (3.7) resulta numa prova experimental da lei da indução eletromagnética de Faraday. O sinal negativo da equação (5.5) está de acordo com a Lei de Lenz.

### 5.2.2 Resultados obtidos pela turma 2 da escola 1

Novamente, após as argumentações junto à turma, feitas seguindo o mesmo protocolo do caso analisado anteriormente, os pontos da figura 5.2 se ajustaram bem a uma reta e, neste caso, foi obtido  $R^2 = 0,99$ .



**Figura 5.2.** Amplitude A, medida no Audacity, versus taxa de variação do fluxo magnético  $\frac{d\phi}{dt}$ , medida a partir do PTSS, obtido na E1-T2. A linha tracejada é o ajuste linear.

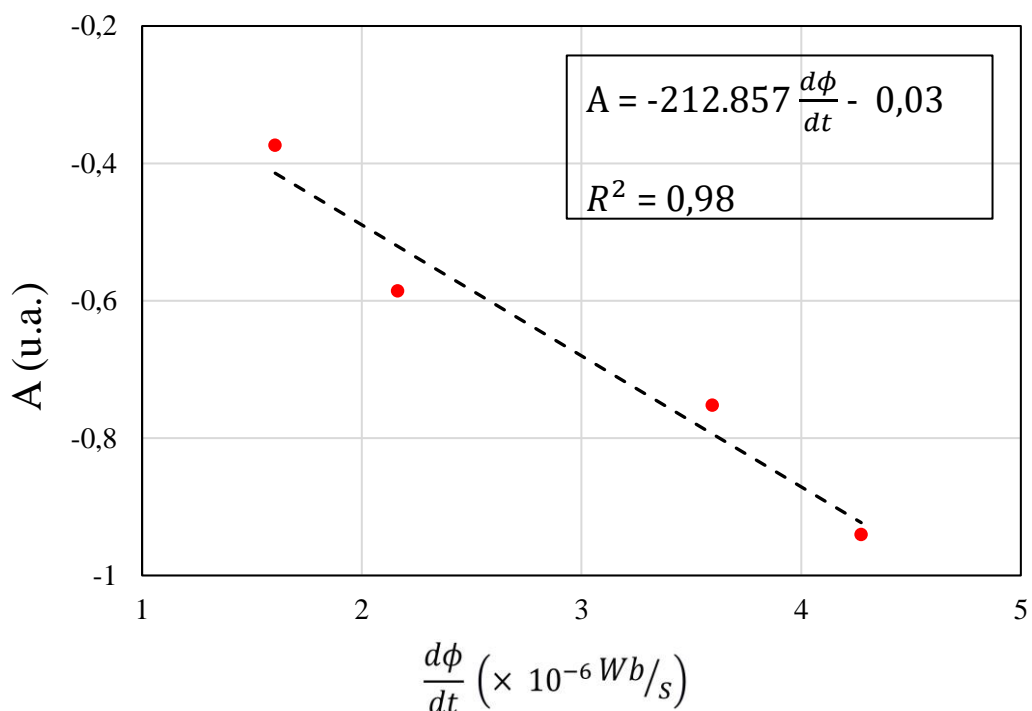
A equação (5.6) foi obtida a partir da reta ajustada aos pontos, dada pela figura 5.2.

$$A = -299.545 \frac{d\phi}{dt} + 0,1 \quad (5.6)$$

Novamente fica verificada a Lei de Faraday da indução eletromagnética. O sinal negativo está de acordo com a Lei de Lenz.

### 5.2.3 Resultados obtidos pela turma da escola 2

Novamente, após as argumentações junto à turma, feitas seguindo o mesmo protocolo dos casos analisados anteriormente, os pontos da figura 5.3 se ajustaram bem a uma reta, neste caso,  $R^2 = 0,98$ .



**Figura 5.3.** Amplitude  $A$ , medida no *Audacity*, versus taxa de variação do fluxo magnético  $\frac{d\phi}{dt}$ , medida a partir do PTSS, obtido na E2-T1. A linha tracejada é o ajuste linear.

A equação (5.7) foi obtida a partir da reta ajustada aos pontos.

$$A = -212.857 \frac{d\phi}{dt} - 0,03. \quad (5.7)$$

Da mesma forma, como nos casos anteriores, a Lei de Faraday da indução eletromagnética é verificada. O sinal negativo está de acordo com a Lei de Lenz.

### 5.3 Análise do questionário avaliativo

Ao final da atividade foi aplicado um questionário avaliativo aos estudantes, objetivando verificar se a atividade atingiu o objetivo de fazer com que os estudantes reconheçam, quantitativamente, a validade experimental da Lei de Faraday da indução eletromagnética.

A análise das respostas às questões tem como objetivo expor algumas percepções qualitativas em relação ao experimento aqui proposto e à sua aplicação nas diferentes turmas, não sendo objetivo emitir um parecer de caráter estatístico. Os relatos que seguem se referem às aplicações feitas nas duas escolas (E1 e E2). Para cada questão foi considerado o conceito Plenamente Satisfatório (PS), Satisfatório (S) e Insatisfatório (I). Considera-se PS a resposta que atendeu a todos os objetivos requeridos para a questão, demonstrando pleno desenvolvimento da compreensão sobre o tema. Considera-se S a resposta que atendeu parcialmente os objetivos propostos para a questão, acertando no mínimo metade da questão. O conceito I é atribuído à resposta que não atendeu os objetivos propostos, acertando menos da metade.

Para demonstração do aproveitamento da atividade, levando em conta as questões 1 e 2 do questionário, abaixo é apresentada uma amostra de respostas feitas pelos estudantes das duas escolas.



### 5.3.1 Exemplos de respostas obtidas na escola 1

Nota-se, pela resposta mostrada na figura 5.4(a), que houve compreensão parcial em relação ao tema da questão 1. O estudante reconhece que existem as linhas de campo magnético e que a aproximação dessas induz a corrente elétrica, no entanto, não deixa claro que é a variação do fluxo magnético que induz a corrente elétrica na bobina, o que coloca a resposta como satisfatória (S). Também nota-se que o estudante compreendeu a Lei de Lenz, indicando o sentido da corrente induzida (anti-horário) em conformidade com o sentido de movimento do imã em relação à espira, conforme mostra a ilustração na figura 5.4 (a). Na figura 5.4(b) é apresentada outra resposta, onde nota-se que houve compreensão plena em relação ao tema da questão 1, relacionando o surgimento da corrente elétrica na bobina à taxa de variação de fluxo magnético, o que coloca a resposta como plenamente satisfatória (PS). Em relação ao sentido da corrente induzida na espira, assim como o estudante anterior, compreendeu a Lei de Lenz, considerando o sentido de movimento do imã.

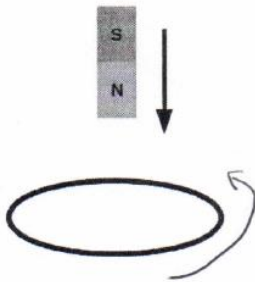
(a) **Questão 1.** Considerando o experimento realizado, responda o que segue:

a) Se um imã for aproximado de uma espira, conforme a figura, é possível haver indução de corrente elétrica? Justifique sua resposta.

É. As linhas de campo magnético se aproximam, gerando e induzindo corrente elétrica.

b) Considerando a Lei de Lenz, indique na figura o sentido da corrente (i) induzida na espira, se houver.

Sentido anti-horário.

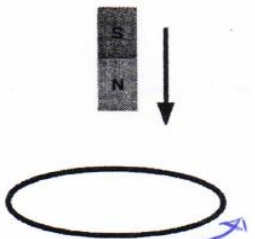


(b) **Questão 1.** Considerando o experimento realizado, responda o que segue:

a) Se um imã for aproximado de uma espira, conforme a figura, é possível haver indução de corrente elétrica? Justifique sua resposta.

Sim, sempre que houver variação de fluxo, surgirá nela uma corrente elétrica.

b) Considerando a Lei de Lenz, indique na figura o sentido da corrente (i) induzida na espira, se houver.



**Figura 5.4.** (a) Resposta com conceito S referente à questão 1. (b) Resposta com conceito PS referente à questão 1.

Na resposta mostrada a figura 5.5(a), nota-se compreensão parcial sobre a relação entre o gráfico obtido e a equação  $\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}$ , onde a resposta sugere que o estudante não domina o conceito de função. Sobre como foi possível comprovar a Lei de Faraday da indução eletromagnética, o estudante responde que esta é feita através do gráfico, sendo a corrente induzida diretamente proporcional a taxa de variação do fluxo magnético, no entanto não deixa claro que a comprovação está relacionada ao fato de o gráfico ser linear, relacionando-se com  $\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}$ . Outro ponto é que o gráfico relaciona a força eletromotriz, e não a corrente elétrica, com a taxa de variação de fluxo magnético, o que coloca a resposta como S. Já na resposta da figura 5.5(b), nota-se plena compreensão sobre a relação entre o gráfico obtido e a equação da Lei de Faraday da indução eletromagnética, reconhecendo que tanto o gráfico obtido quanto a função  $\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}$  resultam de um polinômio de primeiro grau. Em relação a como foi possível comprovar a Lei de Faraday da indução eletromagnética, o estudante descreveu o procedimento experimental, concluindo que a comprovação é feita pela reta obtida no gráfico final, o que coloca a resposta como PS.

**(a) Questão 2.** No experimento foram coletados quatro pares ordenados de medidas feitas utilizando simultaneamente o computador e o smartphone. No primeiro determinou-se a força eletromotriz  $|\varepsilon|$  em unidades arbitrárias (u.a.), e no segundo a taxa de variação do fluxo magnético. Considerando os pares ordenados obtidos, o gráfico construído através da planilha eletrônica foi uma reta. Nessas condições, responda:

a) Qual é a relação entre o gráfico obtido e a equação matemática  $\varepsilon = -\left(\frac{d\phi}{dt}\right)$  ?

A equação e o gráfico podem ser expressos por uma função de primeiro grau.

b) Como foi possível comprovar a Lei de Faraday da indução eletromagnética?

A partir de dados experimentais, que quanto maior a taxa de variação de fluxo de indução magnética maior a corrente induzida.

(b) **Questão 2.** No experimento foram coletados quatro pares ordenados de medidas feitas utilizando simultaneamente o computador e o smartphone. No primeiro determinou-se a força eletromotriz  $\mathcal{E}$  em unidades arbitrárias (u.a.), e no segundo a taxa de variação do fluxo magnético. Considerando os pares ordenados obtidos, o gráfico construído através da planilha eletrônica foi uma reta. Nessas condições, responda:

a) Qual é a relação entre o gráfico obtido e a equação matemática  $\mathcal{E} = -\left(\frac{d\Phi}{dt}\right)$  ?

A relação entre o gráfico e a fórmula, é que a fórmula é uma equação de primeiro grau, sendo assim, o gráfico, obrigatoriamente, tem que formar uma reta.

b) Como foi possível comprovar a Lei de Faraday da indução eletromagnética?

Através de quatro pontos feitos a partir de pares ordenados (eletromotriz e variação de fluxo magnético), resultando em uma reta composta no gráfico, e comprovando a lei de Faraday.

**Figura 5.5.** (a) Resposta com conceito S referente à questão 2. (b) Resposta com conceito PS referente à questão 2.

A figura 5.6 mostra uma resposta com conceito I em relação à questão 2. Nota-se que não houve compreensão sobre o tema. Na tentativa de encontrar formas de melhorar a estratégia de ensino, posteriormente, o professor conversou com o estudante para verificar o que havia ocorrido. No entanto, o estudante disse que não tinha lido o roteiro experimental e que ao longo da atividade ficou confuso. Isso é um indicativo de que a leitura do roteiro experimental é fundamental para que se possa compreender os procedimentos e as conclusões do experimento. Diante do que foi discutido neste parágrafo, a resposta dada pelo estudante foi classificada como insatisfatório (I).

**Questão 2.** No experimento foram coletados quatro pares ordenados de medidas feitas utilizando simultaneamente o computador e o smartphone. No primeiro determinou-se a força eletromotriz  $|\epsilon|$  em unidades arbitrárias (u.a.), e no segundo a taxa de variação do fluxo magnético. Considerando os pares ordenados obtidos, o gráfico construído através da planilha eletrônica foi uma reta. Nessas condições, responda:

a) Qual é a relação entre o gráfico obtido e a equação matemática  $\epsilon = -\left(\frac{d\Phi}{dt}\right)$  ?

*A relação é uma equação de primeiro grau*

b) Como foi possível comprovar a Lei de Faraday da indução eletromagnética?

*para o computador*

**Figura 5.6.** Resposta com conceito I referente à questão 2 do questionário, aplicado após o experimento.

### 5.3.2 Exemplos de respostas obtidas na escola 2

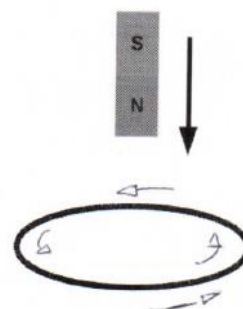
Nota-se pela resposta da figura 5.7 compreensão parcial sobre o tema da questão 1. O estudante reconhece que há linhas de força (linhas de campo magnético) que passam pela espira, no entanto não compreende que a corrente induzida na bobina está associada à taxa de variação de fluxo magnético, sendo necessário, de acordo com a ilustração da questão 1, que haja movimento relativo entre o ímã e a bobina, o que coloca a resposta como S. Compreende a Lei de Lenz, respondendo que o sentido da corrente elétrica é anti-horário, considerando o movimento do ímã em relação à bobina, conforme mostra a indicação do sentido da corrente na ilustração da questão 1.

**Questão 1.** Considerando o experimento realizado, responda o que segue:

a) Se um ímã for aproximado de uma espira, conforme a figura, é possível haver indução de corrente elétrica? Justifique sua resposta.

Sim. Há passagem das linhas de força do ímã para a espira. Logo, indução de corrente elétrica.

b) Considerando a Lei de Lenz, indique na figura o sentido da corrente (i) induzida na espira, se houver. *Anti-horário*



**Figura 5.7.** Resposta com conceito S referente à questão 1 do questionário, aplicado após o experimento.

Na resposta da figura 5.8(a), nota-se compreensão parcial sobre o tema, reconhecendo que  $\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}$  é uma função do primeiro grau e que o gráfico obtido corresponde àquela da lei de Faraday da indução eletromagnética. Sobre como foi possível comprovar a lei de Faraday da indução eletromagnética, faltou o estudante deixar claro que foi feito através da reta obtida pelo gráfico final, estando este relacionado a  $\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}$ , o que coloca a resposta como S. Já na resposta da figura 5.8(b), nota-se plena compreensão sobre o tema, estabelecendo a relação direta entre o gráfico obtido e  $\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}$ . Em relação à comprovação da Lei de Faraday da indução eletromagnética, o estudante descreve o procedimento experimental, concluindo que o experimento comprova a Lei de Faraday da indução eletromagnética, já o gráfico obtido corresponde a uma função do primeiro grau, o que coloca a resposta como PS.

(a) **Questão 2.** No experimento foram coletados quatro pares ordenados de medidas feitas utilizando simultaneamente o computador e o smartphone. No primeiro determinou-se a força eletromotriz  $|\varepsilon|$  em unidades arbitrárias (u.a.), e no segundo a taxa de variação do fluxo magnético. Considerando os pares ordenados obtidos, o gráfico construído através da planilha eletrônica foi uma reta. Nessas condições, responda:

a) Qual é a relação entre o gráfico obtido e a equação matemática  $\varepsilon = -\left(\frac{d\Phi}{dt}\right)$  ?

é uma equação do 1º grau e tem que ser uma reta

b) Como foi possível comprovar a Lei de Faraday da indução eletromagnética?

Se a minha equação é do 1º grau, e deu uma reta, eu consigo comprovar a lei de Faraday.

(b) **Questão 2.** No experimento foram coletados quatro pares ordenados de medidas feitas utilizando simultaneamente o computador e o smartphone. No primeiro determinou-se a força eletromotriz  $|\varepsilon|$  em unidades arbitrárias (u.a.), e no segundo a taxa de variação do fluxo magnético. Considerando os pares ordenados obtidos, o gráfico construído através da planilha eletrônica foi uma reta. Nessas condições, responda:

a) Qual é a relação entre o gráfico obtido e a equação matemática  $\varepsilon = -\left(\frac{d\Phi}{dt}\right)$  ?

a relação é que existe uma equação do primeiro grau, que deve dar uma reta como o gráfico

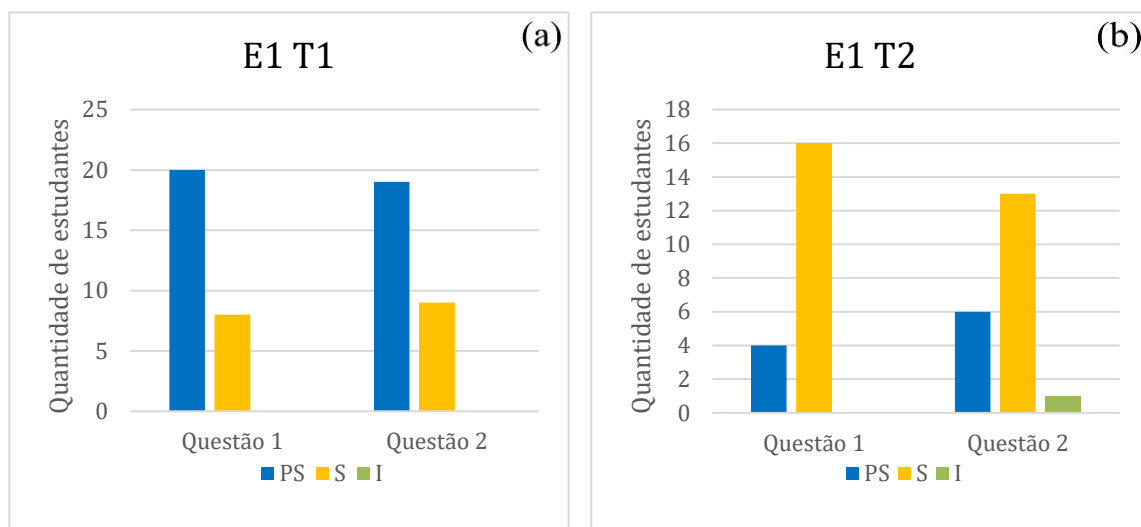
b) Como foi possível comprovar a Lei de Faraday da indução eletromagnética?

meus primeiros 4 pares ordenados de força eletromotriz e taxa de variação de fluxo magnético quando colocamos no gráfico ele deu uma reta, como de fato a equação do 1º grau deu

**Figura 5.8.** (a) Resposta com conceito S referente à questão 2. (b) Resposta com conceito PS referente à questão 2.

## 5.4 Resumo dos resultados obtidos para o questionário

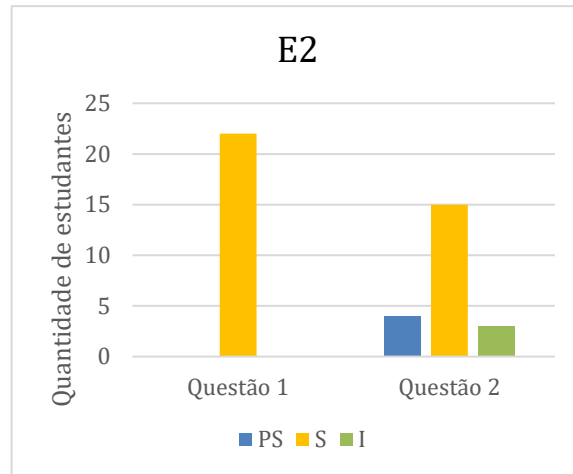
A figura 5.9 mostra os resultados para as duas turmas da E1, onde é apresentada a quantidade de estudantes *versus* conceito por questão.



**Figura 5.9.** Número de alunos *versus* conceito por questão para as duas turmas da E1. Em (a), gráfico para a T1 e em (b) gráfico para a T2.

Como se pode observar na figura 5.9, os estudantes apresentaram um bom aproveitamento no estudo sobre o tema com a atividade realizada. A maioria dos estudantes obteve conceitos entre PS e S, apenas 1 apresentou conceito I. Nota-se, comparando os gráficos das duas turmas, que na T1 a maioria dos estudantes obteve conceito PS nas duas questões, enquanto que na T2 o conceito predominante, nas duas questões, foi S. Observou-se, na T2, que uma parte dos estudantes não leram apropriadamente o roteiro ao longo da semana anterior ao experimento, havendo algumas dúvidas ao longo da execução experimental. Ainda assim, foi possível notar um bom rendimento da turma, considerando a faixa de conceito em que se encontram.

A figura 5.10 mostra os gráficos para a turma da E2, onde é apresentada a quantidade de estudantes *versus* conceito por questão.



**Figura 5.10.** Número de respostas *versus* conceito por questão para a turma da E2.

Como é possível notar através da figura 5.10, uma parte considerável dos estudantes compreendeu o tema desenvolvido pela atividade. O conceito S, tanto na questão 1 quanto na questão 2, foi predominante. Foram obtidos 3 conceitos I na questão 2. Apesar de o experimento ter sido divulgado aos estudantes com uma semana de antecedência e tenha ocorrido incentivo, por parte do professor, da leitura do roteiro experimental, constatou-se que os estudantes não o fizeram. Isso contribuiu para que o conceito PS aparecesse em menor volume.

## 5.5 Análise da atividade pelos estudantes

A fim de verificar as principais vantagens do experimento, na perspectiva dos estudantes, foi proposta a questão 3, sendo de preenchimento optativo. Nela, os estudantes poderiam expor as principais vantagens ou desvantagens sobre o experimento aplicado. O retorno dos estudantes tem como objetivo verificar a aderência do experimento ao contexto de sala de aula e ao interesse dos mesmos em relação à abordagem dada, considerando que é um experimento cuja realização toma um tempo relativamente longo.

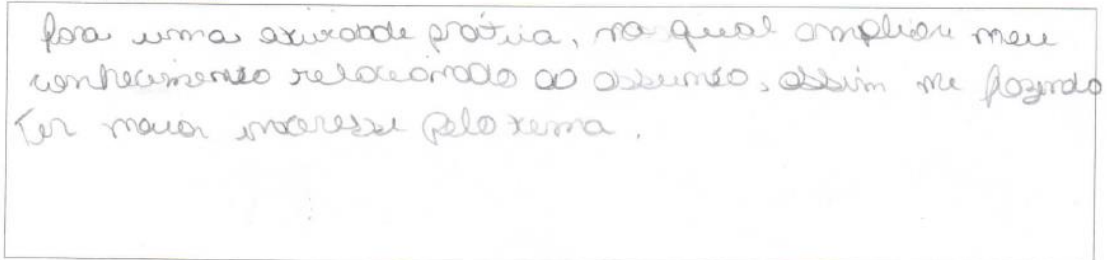
As respostas indicam que o experimento foi bem aceito pelos estudantes, principalmente por utilizar um computador e um *smartphone*, elementos comuns no



cotidiano dos estudantes que participaram da aplicação. Conforme respondido por eles, o experimento possibilitou um conhecimento mais profundo da relação  $\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}$ , e alguns estudantes relataram que isso foi um fator importante para que houvesse mais interesse pelo tema. Outros relataram a importância de se ter trabalhado a relação através de um experimento com enfoque quantitativo, havendo maior interesse pelo tema, visto que passaram a entender melhor a Lei de Faraday da indução eletromagnética. No mesmo sentido, alguns relataram que o experimento ajudou a entender melhor a teoria, visto que os problemas resolvidos em sala, e aqueles sugeridos como tarefa, não ajudavam muito nesse na compreensão.

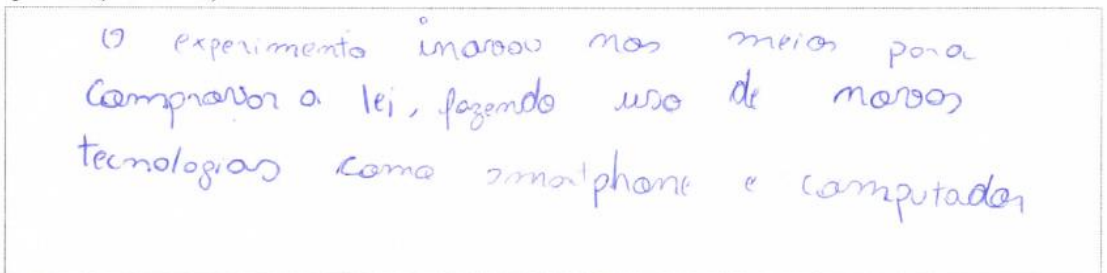
A figura 5.11 mostra duas respostas referentes à questão 3. Não é pretendido, com tais respostas, concluir que todos os estudantes tiveram as mesmas impressões, mas mostrar alguns pontos positivos reconhecidos por parte dos mesmos, pontos estes relevantes que merecem ser analisados à luz dos objetivos pretendidos pelo experimento.

(a) **Questão 3.** Aponte as principais vantagens do experimento para o estudo do tema em questão (se houver).



foi uma atividade prática, na qual ampliei meu conhecimento relacionado ao assunto, obtim me fazendo ter maior interesse pelo tema.

(b) **Questão 3.** Aponte as principais vantagens do experimento para o estudo do tema em questão (se houver).



O experimento inovou nos meios para compreender a lei, fazendo uso de novas tecnologias como smartphone e computadores

**Figura 5.11.** (a) Resposta destaca que o experimento aumentou o interesse do estudante pelo tema. (b) Resposta destaca a inovação do experimento ao ser utilizado um *smartphone* e um computador.

A resposta da figura 5.11(a) relata que o experimento ampliou o conhecimento relacionado ao tema, e que isso contribuiu para que aumentasse seu interesse sobre o tema. Já a resposta da figura 5.11(b) destaca a inovação do experimento em comprovar a Lei de Faraday da indução eletromagnética utilizando um *smartphone* e um computador.

Com base nas respostas dos questionários o experimento, da forma como foi utilizado, contribuiu para o melhor entendimento sobre o tema, visto que para isso os estudantes tiveram aula prévia ao experimento, com enfoque na Lei de Faraday da indução eletromagnética (e apresentação introdutória do experimento), e na execução deste (já com o roteiro experimental lido pelos estudantes) os estudantes foram submetidos a observações e questionamentos dos resultados experimentais obtidos. Esse maior entendimento sobre o tema (ou ampliação do conhecimento como relatado em uma das respostas) de certa forma foi o responsável por aumentar o interesse de parte dos estudantes sobre o tema.

O experimento também foi bem recebido pelos estudantes, visto que utilizou *smartphone* e computador, elementos comuns no cotidiano dos estudantes que participaram da aplicação do experimento. A resposta da figura 5.11(b) sintetiza a curiosidade da maior parte dos estudantes antes da realização do experimento sobre o uso do *smartphone* para um experimento de Física, uma novidade para esses estudantes. A novidade foi um fator importante no processo de aplicação, e ao longo da execução muitos estudantes mostraram ansiedade em se chegar ao resultado final (gráfico) e como a Lei de Faraday da indução eletromagnética seria verificada. Vê-se que o experimento foi significativo para muitos estudantes.

A faixa etária dos estudantes que participaram da aplicação gira em torno de 16 a 17 anos, que pela teoria do desenvolvimento cognitivo de Piaget (ainda que não sendo uma ciência exata), estão no período das operações formais (MOREIRA, 1999). As respostas dos estudantes, dadas no questionário avaliativo, mostra que todos estão nesse período de desenvolvimento cognitivo, visto que argumentam suas respostas com base em resultados não concretos (como fluxo magnético, um conceito abstrato). Numa análise preliminar das respostas dos estudantes às perguntas do questionário avaliativo, percebe-se que a aplicação do experimento possibilitou a compreensão da Lei de

Faraday da indução eletromagnética, sendo notado a criação de novos esquemas de assimilação (acomodação).

Ressalta-se que a abordagem parcial da teoria de Piaget no parágrafo anterior tem relação apenas com a aplicação do experimento que ocorreu em sala de aula. Em futuras aplicações, a depender da disponibilidade e dos objetivos formativos do professor, é possível a aplicação levando em conta outras teorias de aprendizagem, tais como, por exemplo, Vygotsky ou Ausubel. Se optando por Vygotsky, o professor poderia, através da zona de desenvolvimento proximal, mediar a interação dos estudantes com o experimento (MOREIRA, 1999), por exemplo, na forma de uma oficina, onde os estudantes construiriam o dispositivo (com possibilidade de trocar o acionador de válvula de descarga por outro instrumento que produzisse o efeito de movimentar o ímã), e a aplicação seria concluída com a execução do experimento. Se optando por Ausubel uma abordagem individualizada poderia ser considerada levando em conta os subsunçores dos estudantes (MOREIRA, 1999). Dessa forma, uma discussão introdutória relacionada, por exemplo, ao funcionamento de usinas hidrelétricas, poderia ser um elemento motivacional aos estudantes. Após a discussão em sala, os estudantes poderiam construir o dispositivo juntamente com o professor, sendo discutido o uso tecnológico de cada componente, tal como o ímã e o fio de cobre em motores elétricos. E num terceiro momento o experimento seria executado para a demonstração fenomenológica.

O experimento em si de descola de qualquer teoria de ensino, por mais nobre que possa ser, dado que se trata de um instrumento para o ensino do tema aqui abordado. Fica, então, sua utilização (sob a luz de alguma teoria de ensino ou não) a critério do docente que venha a utilizar nosso experimento em seu dia a dia profissional. Em suma, nosso experimento, bem como qualquer outro, não se agarra (e nem desejamos que isso venha a acontecer) a uma ou a outra teoria. Em nosso caso visa, pura e simplesmente, a fazer uso de elementos que são do cotidiano dos estudantes e disponíveis e acessíveis a uma parcela muito grande da comunidade docente e discente. Assim, nossa proposta, humildemente, vem a somar com todas aquelas que têm por objetivo a universalização das oportunidades de aprendizagem.

## Capítulo 6

### Conclusões

Conforme se vê através da análise das respostas nos questionários avaliativos, a aplicação do experimento proposto para demonstrar a Lei de Faraday da indução eletromagnética, de forma quantitativa, foi capaz de motivar os estudantes ao estudo do tema, sendo identificado a criação de novos esquemas de assimilação (acomodação). Dessa forma, mostrou-se que os estudantes compreenderam o conteúdo por meio dessa aplicação, visto que as respostas destes estiveram, predominantemente, na faixa dos conceitos avaliativos utilizados, entre S (satisfatório) e PS (plenamente satisfatório). A aplicação do experimento, por exigir dos estudantes trabalharem com conceitos abstratos (tais como campo magnético, fluxo magnético e regra prática para derivada de polinômios, pré-requisitos para a aplicação), está de acordo com o período de desenvolvimento cognitivo (operatório formal). Da forma como foi aplicado, recomenda-se que o experimento seja executado no Ensino Médio. Verificou-se também que a leitura do roteiro é imprescindível para que os estudantes possam, posteriormente à execução do experimento, compreender os resultados experimentais.

Por ser uma proposta de baixo custo e utilizar materiais de fácil aquisição e tecnologias comuns no cotidiano dos estudantes dessa aplicação, considerando a crescente utilização dos computadores e *smartphones* nas mais diversas áreas da sociedade, a presente obra contribui, dessa forma, para a democratização do acesso ao conhecimento. Além disso, conforme relatado pelos estudantes, foi uma atividade motivadora, que possibilitou seus engajamentos no processo ensino-aprendizagem, visto que utilizaram tecnologias comuns em seus cotidianos, que frequentemente são utilizadas para as mais diversas finalidades. Para muitos estudantes, a utilização de tais tecnologias em sala de aula foi uma novidade, servindo, dessa forma, como um elemento a mais para motivação, o que aumentou o interesse dos estudantes até mesmo antes da aplicação, ao lerem o roteiro experimental.

O experimento é de relativa fácil aquisição e não há restrição de faixa etária para a sua manipulação, pois exigem do estudante o conhecimento prévio da Lei de Faraday da indução eletromagnética, e saber mexer com *smartphone* e computadores. Com tais tecnologias a disposição, é indispensável que os professores estejam atualizados para

acompanhar a evolução dos métodos de ensinar, ampliando as possibilidades em sala de aula. Além disso, vê-se a necessidade de que as potencialidades de tais tecnologias sejam exploradas, já que formam uma alternativa para os *kits* fabricados, sendo essa um dos pilares deste trabalho. Com tudo o que foi observado no presente trabalho, espera-se que o produto, bem como as considerações a respeito da sua aplicação, sirva para a melhoria no ensino do tema em sala de aula, além de ser um instrumento motivador para que sejam exploradas mais alternativas, de baixo custo, as atividades práticas.

## Referências Bibliográficas

- ABI-EL-MONA, I.; ABD-EL-KHALICK, F. Argumentative Discourse in a High School Chemistry Classroom. **School Science and Mathematics**, Illinois, v. 106, n. 8, p. 349-361, December 2006.
- AGUIAR, C. E.; LAUDARES, F. Aquisição de Dados Usando Logo e a Porta de Jogos do PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 371-380, Dezembro 2001.
- ALBE, V. When Scientific Knowledge, Daily Life Experience, Epistemological and Social Considerations Intersect: Students' Argumentation in Group Discussions on a Socio-scientific Issue. **Science Education**, v. 38, n. 1, p. 67-90, 2008.
- ALVES, C. N. **Uma Proposta Pedagógica para o Uso do Computador em Ambientes de Ensino Experimental de Física**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2000.
- ARAÚJO, S.; VEIT, E. ; MOREIRA, M. A. **Uma Revisão da Literatura sobre Estudos Relativos a Tecnologias**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2012.
- BOZELLI, F. C.; NARDI, R. Interações Discursivas e o Uso de Analogias no Ensino de Física. **Investigações em Ensino de Ciências**, Ilha Solteira, v. 17, n. 1, p. 81-107, 2012.
- BRITO, D. S.; PURIFICAÇÃO, I. D. **Educação e Novas Tecnologias: Um Repensar**. 2ª. ed. Curitiba: IBPEX, 2008.
- CAVALCANTE, ; TAVOLARO, R. C. Projete Você Mesmo Experimentos Assistidos por Computador: Construindo Sensores e Analisando Dados. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 421-425, Setembro 2000.
- CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Estudo do Lançamento Horizontal Utilizando o Computador para Aquisição e Análise de Dados. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 14, n. 3, p. 276-287, Dezembro 1997.
- CAVALCANTE, M. et al. O Estudo de Colisões através do Som. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 150-157, Junho 2002.

FIGUEIRA, J. S.; VEIT, E. A. Usando o Excel para Medidas de Intervalo de Tempo no Laboratório de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 26, n. 3, p. 203-211, 2004.

FILHO, J. D. P. A. Regras da Transposição Didática Aplicadas ao Laboratório Didático. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 2, p. 174-182, Agosto 2000.

FORINASH, K.; WISMAN, R. F. Smartphones as Portable Oscilloscopes for Physics Labs. **The Physics Teacher**, v. 50, April 2012.

GRIFFITHS, D. J. Eletrodinâmica. In: GRIFFITHS, D. J. **Eletrodinâmica**. 3ª. ed. Londres: Pearson, 2011. Cap. 7.

HAAG, ; ARAUJO, S.; VEIT,. Por que e Como Introduzir a Aquisição Automática de Dados no Laboratório Didático de Física? **Física na Escola**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 69-74, 2005.

HAAG, R. Utilizando a Placa de Som do Micro PC no Laboratório Didático de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 23, n. 2, p. 176-183, Junho 2001.

HALLIDAY, D. Campos Magnéticos. In: HALLIDAY, D. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo**. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 3, 2009. Cap. 28.

HALLIDAY, D. Indução e Indutância. In: HALLIDAY, D. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo**. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 3, 2009. Cap. 30.

HTTPS://BR.FREEPIK.COM. **Freepik**, 2014. Disponível em:  
<[https://br.freepik.com/icones-gratis/computador-pc-com-monitor\\_737455.htm](https://br.freepik.com/icones-gratis/computador-pc-com-monitor_737455.htm)>.  
Acesso em: 22 Dezembro 2017.

JÚNIOR, O. P. Modelo causal dos primórdios da ciência do magnetismo. **Scientia e Studia**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 195-212, 2010.

MAGNO, W. C. et al. Realizando Experimentos Didáticos com o Sistema de Som de um PC. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 117-123, Dezembro 2004.

- MARTINS, A. A.; GARCIA, N. M. D. **Ensino de Física e Novas Tecnologias de Informação e Comunicação: Uma Análise da Produção Recente**. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Campinas: [s.n.]. 2011.
- MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, 2002.
- MONTARROYOS, E.; MAGNO, W. C. Aquisição de Dados com a Placa de Som do Computador. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 57-62, Março 2001.
- MONTEIRO, M. A. A. O Uso de Tecnologias Móveis no Ensino de Física: Uma Avaliação de seu Impacto Sobre a Aprebdizagem dos Alunos. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte , v. 16, n. 1, p. 1-15, 2016.
- MONTEIRO, M. A. A.; SANTOS, D. D. A.; TEIXEIRA, O. P. B. Caracterizando a Autoria no Discurso em Sala de Aula. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 12, n. 2, p. 205-225, 2007.
- MONTEIRO, M. et al. Exploring the Atmosphere Using Smartphones. **The Physics Teacher**, v. 54, May 2016.
- MOREIRA, M. A. A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. In: MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999. Cap. 10, p. 151-166.
- MOREIRA, M. A. A teoria da mediação de Vygotsky. In: MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999. Cap. 7, p. 109-122.
- MOREIRA, M. A. A teoria do desenvolvimento cognitivo de Piaget. In: MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999. Cap. 6, p. 98-99.
- OGAWARA, Y.; BHARI, S.; MAHRLEY, S. Observation of the Magnetic Field Using a Smartphone. **The Physics Teacher**, v. 55, March 2017.
- PAULO, S. Campos e Forças Eletromagnéticas. In: PAULO, S. **Material de Apoio ao Currículo do Estado de São Paulo: Física Ensino Médio 3ª Série**. 2014-2017. ed. São Paulo: R2 Editorial, v. 1, 2017. Cap. 2, p. 63-65.



REITZ, J. R.; MILFORD, F. J.; CHRISTY, R. W. Campo magnético de correntes estacionárias. In: REITZ, J. R.; MILFORD, F. J.; CHRISTY, R. W. **Fundamentos da teoria eletromagnética**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Campos, 1982. Cap. 8, p. 161-179.

REITZ, J. R.; MILFORD, F. J.; CHRISTY, R. W. Indução eletromagnética. In: REITZ, J. R.; MILFORD, F. J.; CHRISTY, R. W. **Fundamentos da teoria eletromagnética**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Campos, 1982. Cap. 11, p. 230-234.

SAAB, S. C.; CÁSSARO, F. A. M.; BRINATTI, A. M. Tubo de Ensaio Adaptado como Tudo de Kundt para Medir a Velocidade do Som no Ar. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 22, n. 1, p. 112-120, Abril 2005.

SANTOS, J. R. D. S. Utilização do Software Origin nas Aulas de Física: Um relato de Experiência. **Revista de Pesquisa Interdisciplinar**, Cajazeiras, v. 1, p. 523 – 531, Dezembro 2016. Disponível em:  
<[revistas.ufcg.edu.br/cfp/index.php/pesquisainterdisciplinar/article/download/116/96](http://revistas.ufcg.edu.br/cfp/index.php/pesquisainterdisciplinar/article/download/116/96)>. Acesso em: 31 Novembro 2017.

SILVA, F. D.; VEIT,. Uma Experiência Didática com Aquisição Automática de Dados no Laboratório de Física do Ensino Médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 18-32, Dezembro 2006.

SOARES, A. A.; BORCSIK, F. S. Using a Computer Microphone Port to Study Circular Motion: Proposal of a Secondary School Experiment. **Physics Education**, Sorocaba, v. 51, n. 3, May 2016.

VILLATE, J. E. <https://def.fe.up.pt/>. **Documentação para Engenharia e Física (Universidade do Porto)**, 2017. Disponível em:  
<[https://def.fe.up.pt/electricidade/campo\\_magnetico.html](https://def.fe.up.pt/electricidade/campo_magnetico.html)>. Acesso em: 22 Dezembro 2017.

## ANEXO A

### ROTEIRO PARA O PROFESSOR

#### **Aquisição de Dados por um Computador e um Smartphone para Verificar a Lei de Faraday da Indução Eletromagnética no Ensino Médio**

##### **Resumo**

O experimento tem como objetivo comprovar a Lei de Faraday da indução eletromagnética fazendo uso de um computador, um *smartphone* e materiais de baixo custo e fácil aquisição. Espera-se que os estudantes reconheçam, do ponto de vista quantitativo, que variando o fluxo magnético através de uma espira uma força eletromotriz (fem) é gerada na mesma. A detecção da fem será feita usando a entrada de microfone do computador e o software livre *Audacity*. Concomitantemente, as medidas do campo magnético em função do tempo serão feitas com o *smartphone* através do aplicativo *Physics Toolbox Sensor Suite* (PTSS). Os dados obtidos com o *smartphone* permitirão a determinação da variação do fluxo do campo magnético, na espira, em função do tempo. Esta variação será associada àquela fem obtida com o computador. Utilizando uma planilha eletrônica para a análise dos dados experimentais, os estudantes deverão reconhecer a relação linear existente entre as duas medidas realizadas. O tempo previsto para a aplicação é de duas horas-aula, sendo na primeira aula feita discussão sobre a Lei de Faraday da indução eletromagnética e apresentado o *Audacity* e o PTSS, e na segunda aula a prática experimental para verificação da teoria.

##### **Aplicação da atividade**

###### **Pré-requisitos**

É recomendável que antes da aplicação da atividade já tenham sido trabalhados com os estudantes os temas: i. Magnetismo e imãs; ii. Campo magnético; iii. Campo magnético em espiras; e iv. Fluxo do campo magnético. Além desses temas, é importante que os estudantes tenham uma certa noção sobre derivada de polinômios na sua forma prática conhecida como “regra do tombo”. Os temas mencionados são importantes para o desenvolvimento da atividade, garantindo que o estudante consiga acompanhá-la de forma clara e objetiva. Antes de iniciar o desenvolvimento do

experimento, recomenda-se uma sucinta revisão interligando esses temas a fim de tirar quaisquer dúvidas dos estudantes.

## PRIMEIRA AULA

### Parte 1 - Lei de Faraday

Antes da prática experimental é necessário que seja feita uma aula dialógica com os estudantes sobre a lei da indução eletromagnética. Inicia-se discutindo a fenomenologia questionando-os, por exemplo, se é possível gerar energia elétrica utilizando um ímã e, se sim, como isso poderia ser feito. Registra-se, então, na lousa as propostas dos estudantes discutindo uma a uma e apontando as validades e limitações. Introduce-se na discussão o experimento realizado por Michel Faraday com a espira, questionando os estudantes sobre se é possível a existência da corrente induzida pela movimentação do ímã através da espira. Após essa discussão inicial, conclui-se enunciando a Lei de Faraday da indução eletromagnética, porém ainda sem se preocupar com uma análise quantitativa do tema.

A partir daí pode-se explorar o tema em uma análise quantitativa, discutindo a relação entre a força eletromotriz média ( $\varepsilon_m$ ) e a variação do fluxo do campo magnético através da espira em relação ao tempo. Esta relação é dada por:

$$\varepsilon_m = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}, \quad (1)$$

onde  $\Delta\phi$  é a variação do fluxo magnético no intervalo de tempo  $\Delta t$ .

Outro ponto importante é que seja tratada a Lei de Lenz, que justifica o sinal negativo (-) na equação (1), sendo este atribuído a um campo magnético induzido na espira, contrário ao campo magnético do ímã. Destaca-se que o campo magnético induzido contrapõe àquele que o induziu, de modo a estabilizar o sistema.

A partir deste ponto, argumenta-se sobre a diminuição do intervalo de tempo de forma a se obter  $\Delta t$  e  $\Delta\phi$  pequenos o suficiente para uma força eletromotriz instantânea ( $\varepsilon$ ) chegando a:

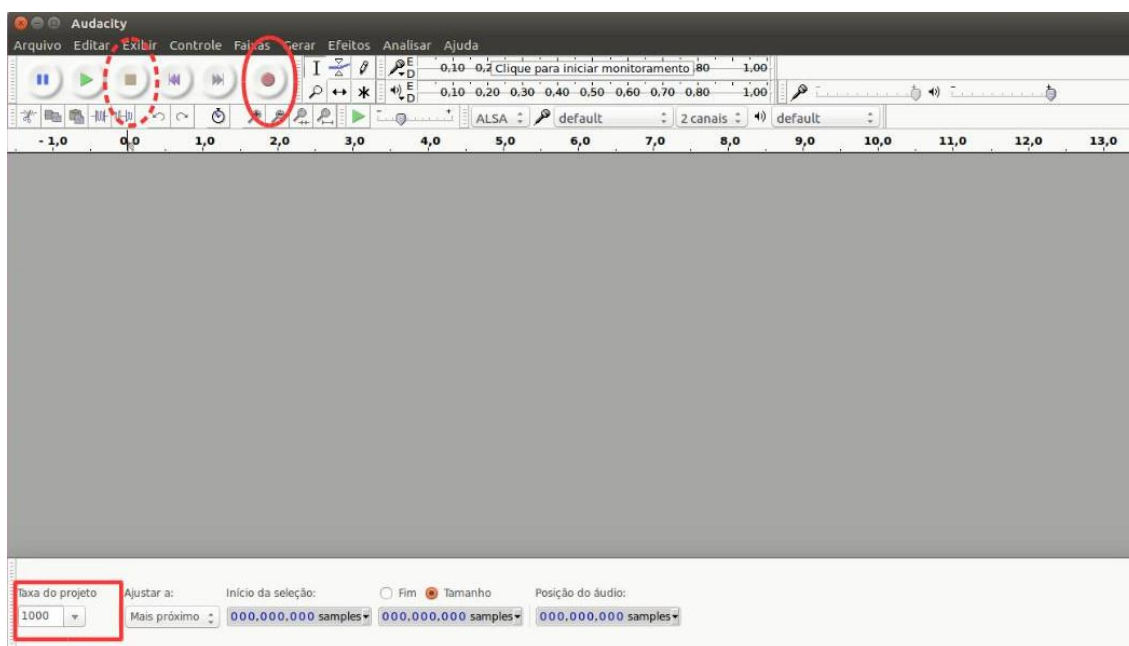
$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}, \quad (2)$$

onde  $d\phi$  é a variação do fluxo magnético no intervalo de tempo  $dt$ .  $\frac{d\phi}{dt}$  é a taxa de variação de fluxo magnético.

## Parte 2 - Introdução ao experimento

Para que os estudantes possam acompanhar o experimento, é necessário que sejam apresentados os componentes, tais como a bobina, o acionador de descarga, tubo PVC e o plugue (Tabela 1). É importante ressaltar que são componentes de relativo baixo custo e que são suficientes para a realização do experimento. Em seguida passa-se para a apresentação do software *Audacity* - versão 2.1.2-1 ou superior - e o aplicativo *Physics Toolbox Sensor Suite* (PTSS) - versão 1.6.9 ou superior-, pois é através deles que os dados serão coletados.

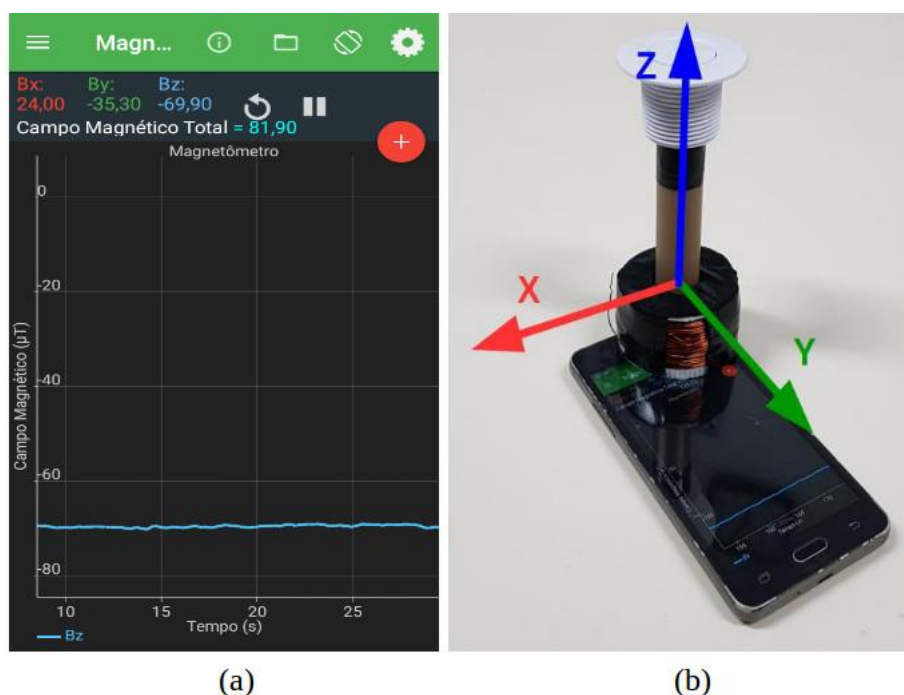
Em relação ao *Audacity*, é necessário apresentar a tela inicial e as funções que serão utilizadas para o experimento, tais como “gravar”, “parar” e “taxa do projeto”. Para este experimento, recomenda-se uma taxa do projeto da ordem de 1000 pontos por segundo. A figura 1 apresenta a tela inicial do *Audacity*.



**Figura 1:** Tela inicial do *Audacity* (versão 2.1.2-1). A função “gravar” está indicada pela elipse contínua, a função “parar” pela elipse tracejada e a função “taxa do projeto” pelo retângulo.

No PTSS, é necessário que a tela inicial seja apresentada, ressaltando que se trata de um aplicativo para medidas de grandezas físicas e que para a finalidade do experimento será utilizada a função magnetômetro. Os eixos “Campo Magnético ( $\mu\text{T}$ )” e “Tempo (s)”, bem como a linha azul indicando o campo magnético ao longo do eixo

vertical “z” são elementos para serem destacados na apresentação. A figura 2 apresenta a tela inicial do PTSS.



**Figura 2:** (a) Tela inicial do PTSS (versão 1.6.9) com a função magnetômetro em execução. A linha azul é um gráfico representando as medidas do campo magnético ao longo do eixo vertical “z”. (b) Sistema de coordenadas tridimensional, o PTSS deve medir o campo ao longo do eixo “z” representado.

O estudante deve saber que o *Audacity* será utilizado para medir a força eletromotriz induzida e o PTSS para a medida do campo magnético em função do tempo. Ambos os conjuntos de dados serão utilizados simultaneamente para que possa ser feita a relação entre o fluxo do campo magnético e a força eletromotriz induzida. **A aula deve ser finalizada com a ênfase de que a expressão matemática para a Lei de Faraday é do tipo linear, e que se for construído um gráfico relacionando o par de medidas feitas, simultaneamente, este deverá ser linear, o que virá a verificar a Lei de Faraday da indução eletromagnética.**

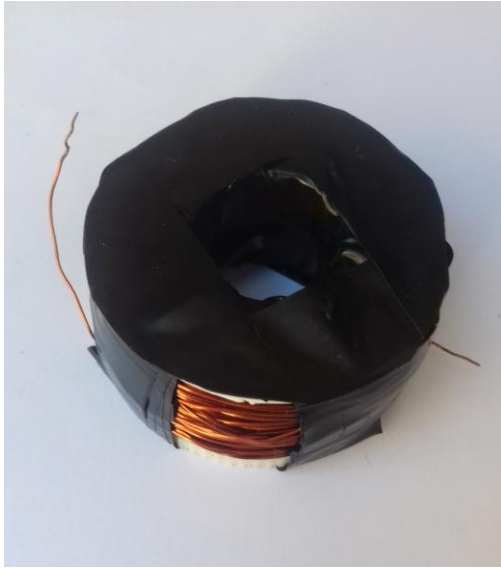
## SEGUNDA AULA

### Montagem experimental

Para a realização do experimento, além do **computador** e do *smartphone*, serão necessários os materiais descritos na Tabela 1.

**Tabela 1:** Materiais necessários para a realização do experimento.

1 – Bobina circular de 600 voltas - fio de bitola 25 AWG



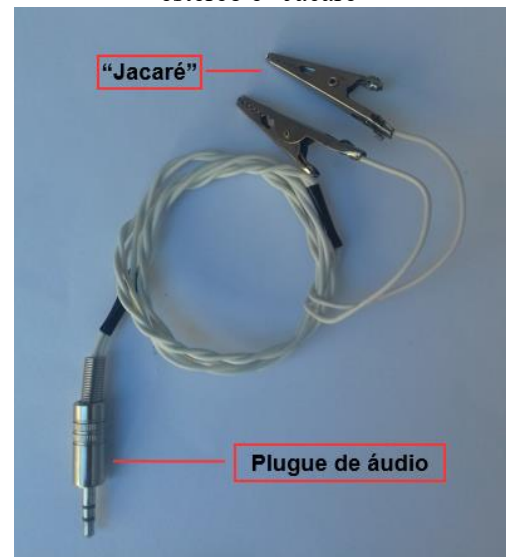
2 – Acionador de descarga com imã cilíndrico encaixado<sup>5</sup>– 2,5 mm X 7,0 mm



3- Tubo PVC



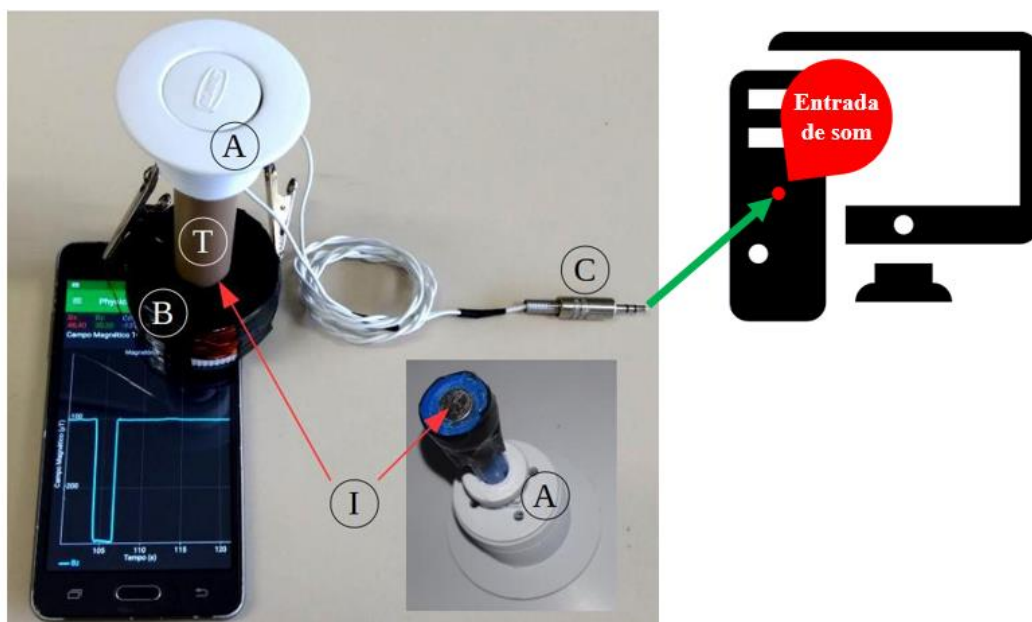
4 – Cabo com plugue de áudio 3,5 mm estéreo e “Jacaré”



O tubo embutido no acionador de descarga deve encaixar na parte central da bobina, de modo a não deixar folga. Outro cuidado importante é não deixar que o imã, quando o acionador estiver pressionado, ultrapasse a face superior da bobina, portanto é recomendável que sejam feitas medidas prévias para que isso não ocorra.

<sup>5</sup> Itens vendidos separadamente. O imã pode ser comprado, por exemplo, em lojas na internet a um custo de centavos.



Deve-se conectar as duas extremidades da bobina ao cabo - com conector de áudio – podendo ser feito através dos “jacarés”<sup>6</sup>, e o conector de áudio à entrada da placa de som do computador. A figura 3 mostra o sistema montado.



**Figura 3:** Sistema montado. O acionador está marcado por “A”, o ímã por “T”, a bobina por “B”, o tubo PVC por “T” e o plugue por “C”. As setas vermelhas indicam as posições do ímã, com o sistema fechado e aberto. A seta verde indica a entrada de som do computador para acoplamento do plugue.

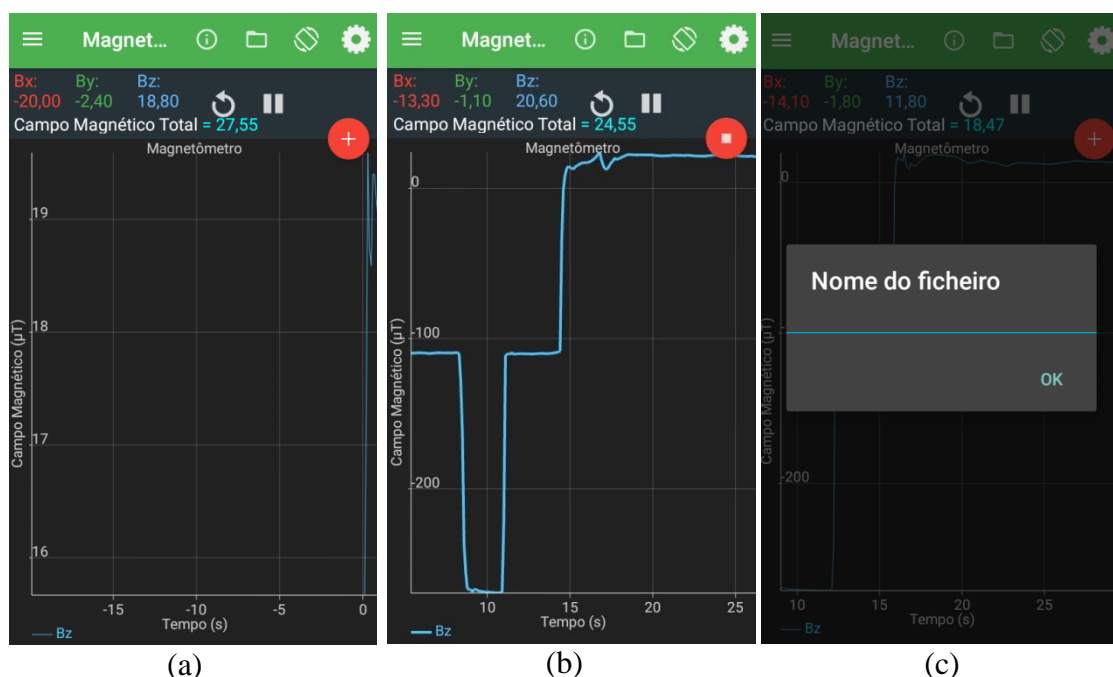
### Parte 1 - Coleta de dados

Antes de iniciar a coleta de dados, é importante verificar se o pico registrado no *Audacity* não satura no eixo vertical, isto é, se não ultrapassa a escala. Caso haja saturação, deve-se diminuir a sensibilidade da placa de som, diminuindo o volume através do ajuste no computador. Isso deve ser feito até que o pico fique ligeiramente menor que 1,0 na escala do *Audacity*.



Ao todo recomenda-se quatro medidas utilizando simultaneamente o computador e o *smartphone*, ou seja, 5 pares ordenados do tipo  $(\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt})$ . A primeira medida deve ser feita liberando o acionador de descarga rapidamente, de modo a ter um pico ligeiramente menor que 1,0 no *Audacity*. Para que os dados do PTSS sejam gravados é necessário que seja clicado em , no canto superior direito da tela do *smartphone*, conforme mostra a figura 4a. Para que a gravação pare e o arquivo seja gravado, é necessário clicar em , conforme mostra a figura 4.b. É necessário que o arquivo de

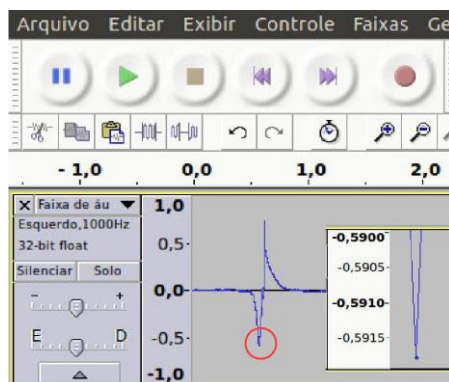
<sup>6</sup> A conexão também pode ser feita soldando as extremidades, ou simplesmente enrolando-as firmemente.

dados gerado pelo PTSS (no formato CSV<sup>7</sup>) seja exportado para o computador, podendo ser feito via cabo USB ou por e-mail. Antes de exportar, será gerada a tela conforme a figura 4.c, onde o arquivo deverá ser nomeado e salvo.



**Figura 4:** procedimento para iniciar gravação e salvar o arquivo .csv no PTSS. Em (a) tela antes de iniciar a gravação dos dados; em (b) os dados sendo gravados numa situação típica do experimento aqui apresentado e em (c) tela para nomear arquivo.

Concomitantemente, a medida no *Audacity* será feita para formar o par ordenado. Esta medida será feita diretamente no *Audacity*, devendo-se identificar o valor do pico gerado. Para iniciar a gravação deve-se clicar em , sendo necessário clicar em  ao final da gravação. A figura 5 mostra um pico de uma típica medida feita em um experimento.



**Figura 5:** Típica medida feita em experimento. O pico está na região do círculo, e ao lado, a ampliação do pico para a identificação do valor correspondente. Nesta medida, o pico foi de  $0,59178 \pm 0,00025$ .

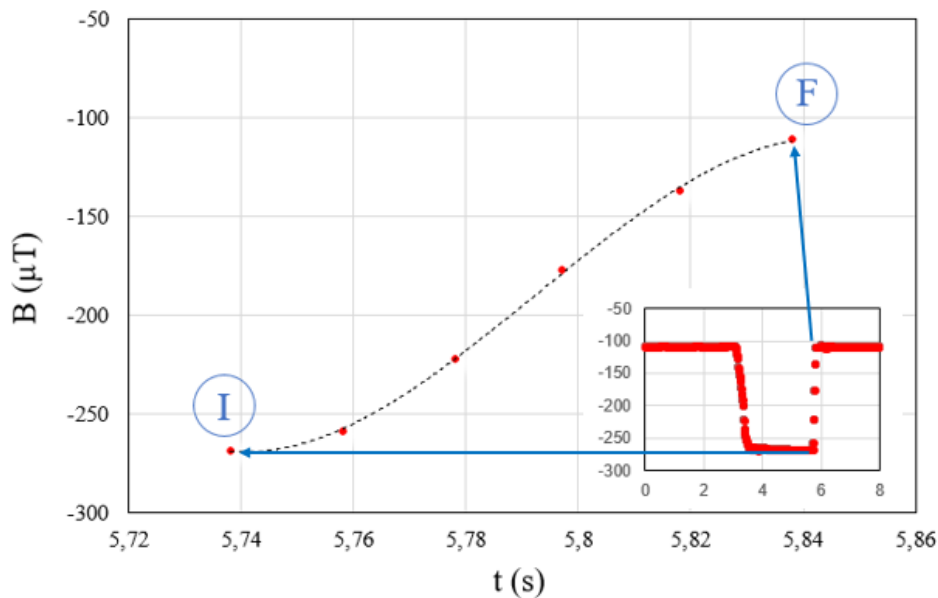
<sup>7</sup> CSV (Comma-separated values) é um arquivo de dados, onde estes são organizados por separação de vírgulas. Podem ser executados em softwares como o Excel.



Os procedimentos descritos acima devem ser reproduzidos para as quatro medidas restantes da série, devendo-se diminuir a velocidade ao liberar o acionador de válvula.

## Parte 2 - Análise dos dados

Ao final da coleta dos dados haverá quatro valores de picos identificados diretamente no *Audacity* e quatro arquivos .csv do PTSS. Tais arquivos devem ser abertos, um a um, numa planilha eletrônica, por exemplo o Excel. Ao abrir o arquivo, as colunas A e D devem ser selecionadas para a construção de um gráfico (do tipo dispersão). O motivo de selecionar essas colunas é que a coluna A refere-se ao tempo, e a coluna D a componente z do campo magnético. Para a análise dos dados, é necessário que o gráfico construído seja ampliado, sendo necessário a identificação dos pontos inicial “I”, quando o botão é liberado, e final “F”, quando o botão retorna a sua posição inicial. Deve-se selecionar na planilha os pontos que vão do ponto inicial ao ponto final, para a construção do novo gráfico ampliado com os pontos selecionados. A figura 6 mostra o gráfico construído.



**Figura 6:** Gráfico construído a partir dos pontos selecionados. As setas indicam o ponto inicial “I” e final “F” correspondentes. A curva de tendência está representada pela linha tracejada.

É importante que a linha de tendência tenha um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,98, para maior confiabilidade das medidas. A linha de tendência deve ser ajustada (fit) a um polinômio de terceiro grau, de modo a se obter uma função polinomial de terceira ordem, conforme equação 3.

$$B(t) = -at^3 + bt^2 - ct + d. \quad (3)$$

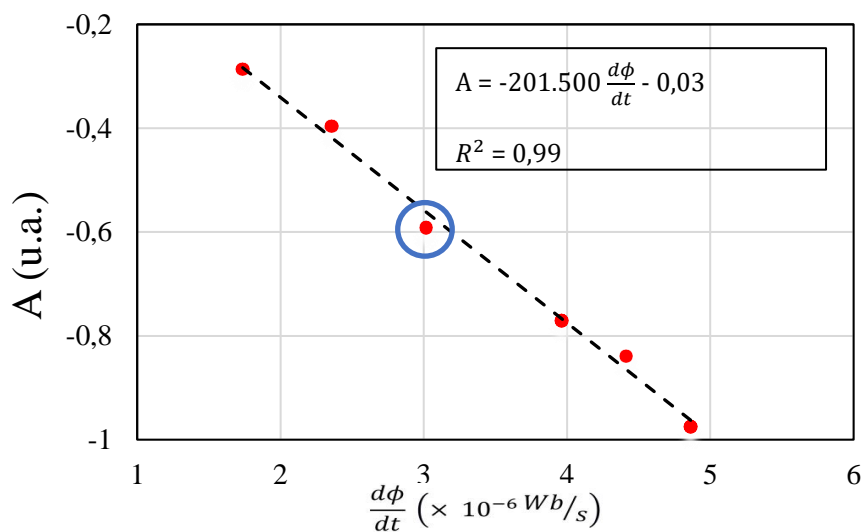
onde as variáveis “x” devem ser entendidas como a grandeza tempo “t”.

Na equação (3) optou-se por manter o sinal (-) nos coeficientes  $a$  e  $c$  pois representa a função em sua forma numérica. O motivo de ajustar a linha de tendência a um polinômio de terceiro grau é para que se possa determinar, através da primeira derivada da equação 3 (que é um polinômio de grau 2), a máxima taxa de variação do campo magnético em relação ao tempo. Com os estudantes, a máxima derivada pode ser determinada através da equação do vértice da parábola  $y_v$ . Sabe-se que o produto entre a máxima taxa de variação do campo magnético pela área média da espira resulta na máxima taxa de variação de fluxo magnético  $\frac{d\phi}{dt}$ .

Os quatro pares ordenados (máxima taxa de fluxo magnético e os respectivos valores dos picos identificados no *Audacity*) devem ser organizados numa planilha eletrônica, para que se possa construir o gráfico final, que verificará a Lei de Faraday da indução eletromagnética.

### Fechando a aula: Demonstrando a Lei de Faraday da indução eletromagnética

A partir dos dados obtidos experimentalmente, deve-se construir um gráfico do tipo dispersão. Conforme mostra a figura 7, os dados experimentais se ajustam muito bem a uma reta ( $R^2 = 0,99$ ).



**Figura 7:** Gráfico relacionando amplitude  $A$  medido no *Audacity* – em unidades arbitrárias u.a. – e a taxa de fluxo magnético  $\frac{d\phi}{dt}$  em  $\frac{Wb}{s}$ . O círculo mostra o ponto formado a partir de um par ordenado contendo um valor proveniente do *Audacity* e outro do PTSS.

Conforme é possível notar pela equação da reta, o coeficiente angular possui um valor alto, explicado pela baixa escala do eixo horizontal (na ordem de  $10^{-6}$ ), e também pelos picos do Audacity estarem em unidades arbitrárias. O valor deste coeficiente pode variar, conforme a sensibilidade da placa de som for variada (ajuste do volume de entrada). O coeficiente linear pode ser desprezado, uma vez que o importante é que os estudantes reconheçam a linearidade do gráfico obtido, não importando o seu posicionamento no plano cartesiano. Para o fechamento da aula é necessário destacar que a Lei de Faraday da indução eletromagnética é válida, visto que o gráfico obedece a uma relação linear, conforme se espera na equação a (1).

---

## ANEXO B

### ROTEIRO PARA O ESTUDANTE

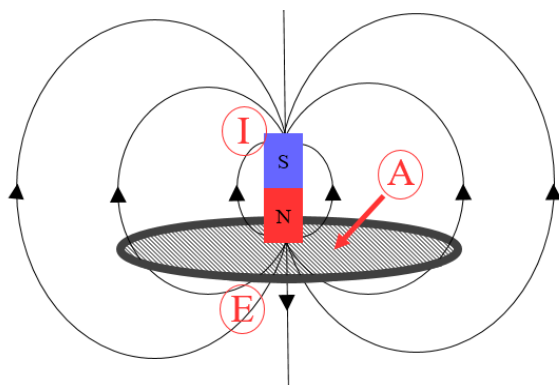
#### Aquisição de Dados por um Computador e um Smartphone para Verificar a Lei de Faraday da Indução Eletromagnética no Ensino Médio

##### Objetivo da prática experimental

A prática experimental tem o objetivo de comprovar a Lei de Faraday da indução eletromagnética. Para a coleta dos dados experimentais serão utilizados um computador com o software livre *Audacity* e um *smartphone* com o aplicativo *Physics Toolbox Sensor Suite* (PTSS). A análise dos dados experimentais será realizada com uma planilha eletrônica.

##### Lei de Faraday da indução eletromagnética

Considere o imã da figura 1, próximo a uma espira sobre a qual atravessam as linhas de campo magnético do imã.



**Figura 1:** Imã (I) próximo da espira (E). As linhas de campo magnético do imã estão representadas por linhas contínuas. As setas indicam o sentido das linhas de campo magnético. (A) corresponde a área da seção transversal da espira.

A quantidade de linhas de campo magnético que atravessam a espira está relacionada a uma grandeza denominada fluxo do campo magnético ( $\phi$ ), podendo ser expresso matematicamente por:

$$\phi = B \cdot A, \quad (1)$$

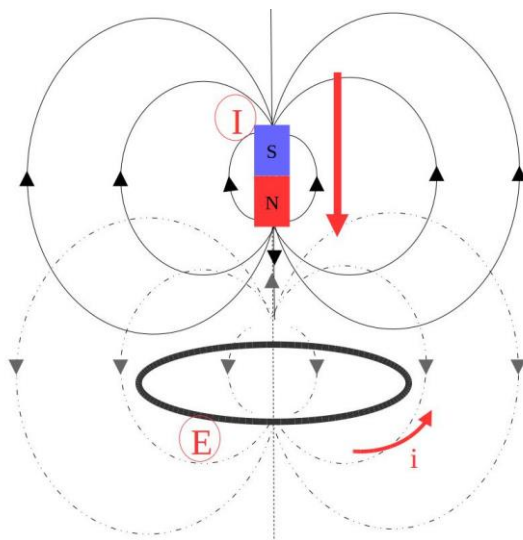
onde  $A$  é a área da seção transversal da espira e  $B$  é a intensidade do campo magnético do ímã na altura da seção transversal da espira.

Já sabemos que ao movermos um ímã nas proximidades de uma espira (ou bobina) condutora, é induzida uma força eletromotriz média ( $\varepsilon_m$ ), que pode ser calculada conforme a expressão a seguir:

$$\varepsilon_m = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}, \quad (2)$$

onde  $\Delta\phi$  é a variação do fluxo do campo magnético no intervalo de tempo  $\Delta t$ .

O sinal negativo na Equação (2) é atribuído ao campo magnético induzido na espira, que se contrapõe àquele devido ao ímã e que induziu a força eletromotriz ( $\varepsilon_m$ ). Esse fenômeno é explicado pela Lei de Lenz. A figura 2 mostra um ímã sendo aproximado de uma espira circular. Nela pode-se observar o sentido da corrente elétrica induzida ( $i$ ) na espira (diretamente relacionada a  $\varepsilon_m$ ). Ainda nessa figura, as linhas de campo (linhas tracejadas) representam o campo magnético gerado pela espira no sentido a se contrapor às linhas de campo do ímã (linhas sólidas em preto), anulando-as.



**Figura 2:** Lei de Lenz. O ímã (I) é aproximado da espira (E) circular no sentido indicado pela seta. Uma corrente ( $i$ ) é induzida, no sentido anti-horário. Essa corrente cria um campo magnético contrário àquele gerado pelo ímã. As linhas de campo representadas por linhas contínuas são devidas ao ímã e aquelas representadas por linhas tracejadas são devidas ao campo gerado pela corrente  $i$  e que se opõe ao do ímã.

Para a comprovação experimental da lei de Faraday da indução eletromagnética é necessário obter uma expressão matemática para a força eletromotriz instantânea ( $\varepsilon$ ). Para isso, fazemos com que  $\Delta t$  se aproxime de zero, o que nos leva a:

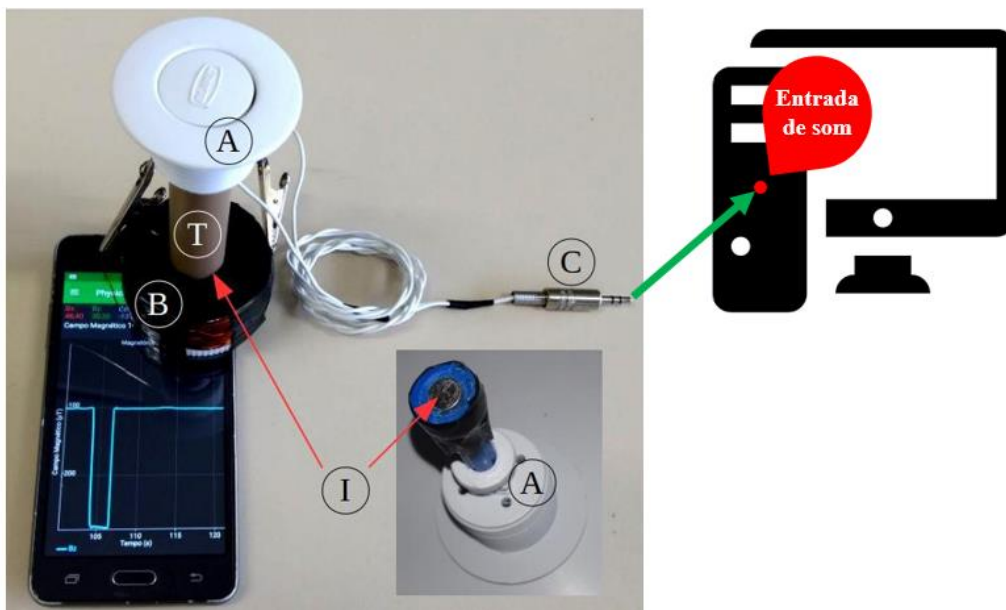
$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt}, \quad (3)$$

onde  $\frac{d\phi}{dt}$  é a taxa de variação do fluxo magnético em relação ao tempo, matematicamente conhecida como a derivada do fluxo magnético em relação ao tempo.

### Materiais necessários

- Acionador de descarga;
- Imã (2,5 mm x 7,0 mm);
- Bobina circular caseira (fio de bitola 25 AWG);
- Tubo PVC com 9,0 cm de comprimento e bitola ½ polegada;
- Cabo com plugue de áudio (3,5 mm) estéreo;
- Computador;
- *Smartphone*.

A figura 3 mostra o experimento já montado.



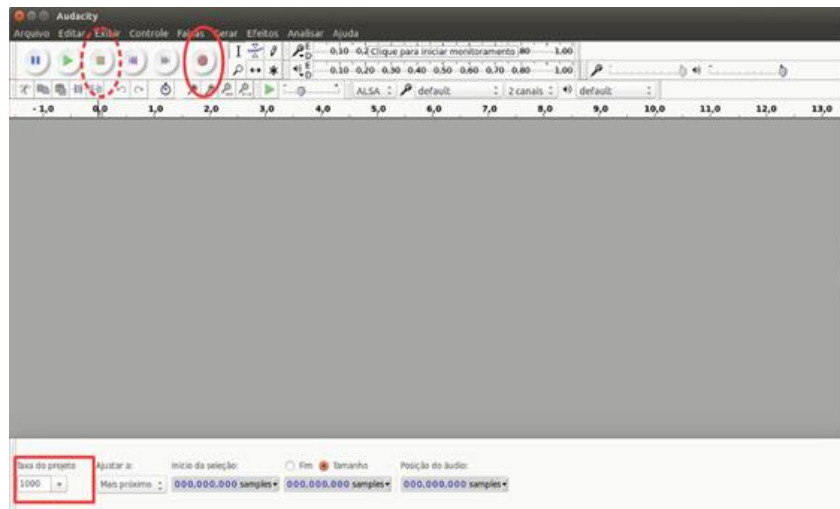
**Figura 3:** Sistema montado. O acionador de descarga está marcado por “A”, o ímã por “I”, a bobina por “B”, o tubo PVC por “T” e o plugue de áudio por “C”. As setas vermelhas indicam as posições do ímã. A seta verde indica a entrada de som do computador para acoplamento do plugue.

### Como será a prática experimental?

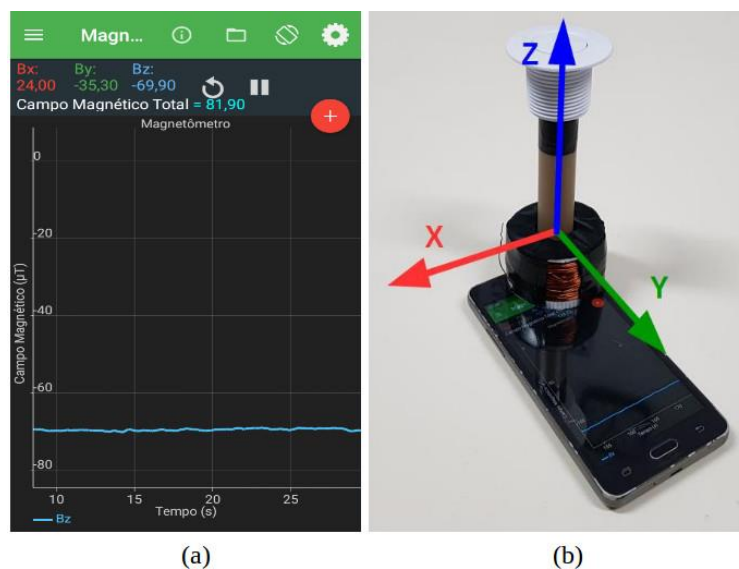
A prática experimental será executada pelo professor, devendo-se ficar atento aos passos que forem seguidos para a obtenção dos dados experimentais. Trata-se, portanto, de um experimento demonstrativo, sendo necessária atenção redobrada do estudante.

Na primeira etapa o objetivo é coletar dois conjuntos de dados experimentais: um a partir do computador, com o software *Audacity*, e outro a partir do *smartphone*, com o

aplicativo *Physics Toolbox Sensor Suite* (PTSS). O software *Audacity* é utilizado para edição de áudio, portanto há muitos recursos comuns a aparelhos de som, conforme pode ser visto pela figura 4, mas que se mostra útil para a coleta de parte dos dados necessários para o experimento. A força eletromotriz induzida na bobina será um sinal elétrico na placa de som do computador, sendo identificado através de um pico na tela do *Audacity*. O aplicativo, por sua vez, PTSS é utilizado para coleta de dados experimentais através de sensores do *smartphone*. Para este experimento é selecionada a função magnetômetro, conforme mostra a figura 5.





**Figura 4:** Tela inicial do *Audacity* (versão 2.1.2-1). A função “gravar” está indicada pela elipse contínua, a função “parar” pela elipse tracejada e a função “taxa do projeto” pelo retângulo. Recomenda-se “taxa de projeto” no valor de 1000 amostras por segundo.

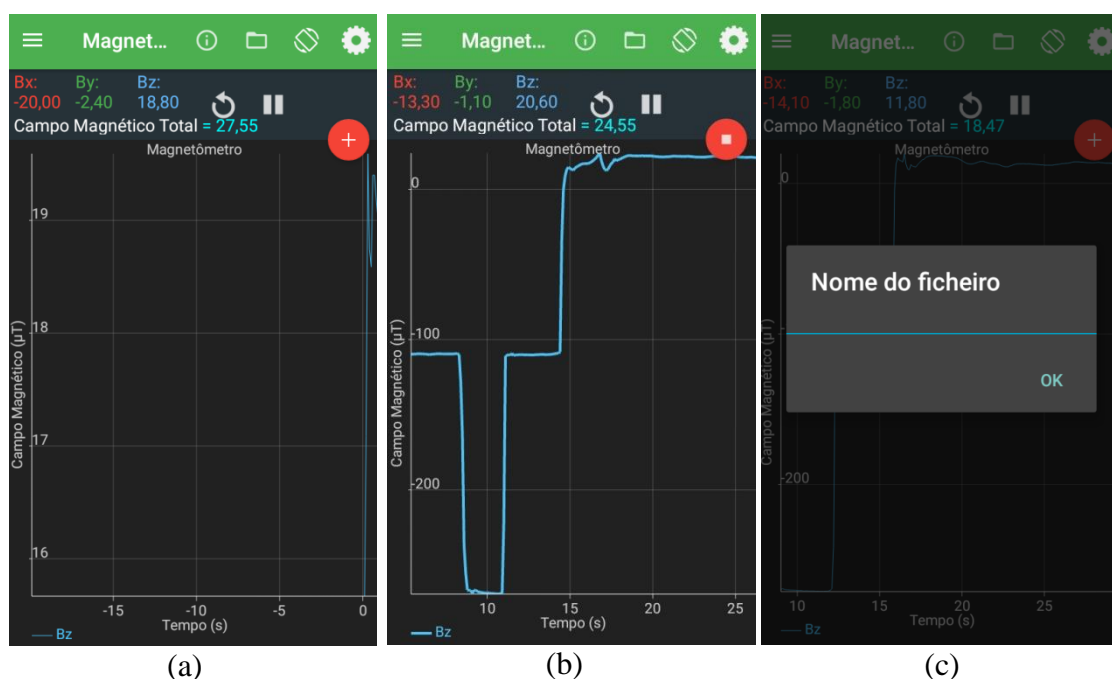


**Figura 5:** (a) Tela inicial do PTSS (versão 1.6.9). A função magnetômetro – utilizada para o experimento - está em execução. A linha azul é um gráfico representando as medidas do campo magnético ao longo do eixo vertical “z”. (b) Sistema de coordenadas tridimensional indicando as direções dos componentes do campo magnético, o PTSS mede o campo ao longo do eixo “z” representado em azul.



Com os dados obtidos a partir do PTSS será possível determinar a máxima taxa de variação de fluxo magnético. Com o *Audacity* será possível obter a força eletromotriz  $\varepsilon$  em unidades arbitrárias (u.a). Os dois valores formarão um par ordenado, sendo necessários quatro pares ordenados para a construção do gráfico final (feito em planilha eletrônica).

### Coletando os dados

A primeira medida será feita liberando o acionador de válvula de tal forma que o pico no *Audacity* fique ligeiramente menor que 1,0 na escala. Simultaneamente, a gravação dos dados no PTSS é iniciada clicando em , no canto superior direito da tela do *smartphone*, conforme mostra a figura 6a. Ao final da medida, os dados podem ser salvos clicando em , conforme mostra a figura 6.b. Ao salvar os dados é necessário exportar o arquivo para o computador, podendo ser feito via cabo USB ou por e-mail, sendo necessário nomear o arquivo conforme mostra a Figura 6.c e, em seguida, clicando em “ok”.



**Figura 6:** Procedimento para iniciar gravação e salvar o arquivo de dados no PTSS. Em (a) tela antes de iniciar a gravação; em (b) dados em gravação numa situação típica do experimento e em (c) tela para nomear e salvar o arquivo de dados.

Para iniciar a gravação no *Audacity* deve-se clicar em , sendo necessário clicar em  ao final da gravação. Assim, é formado um pico relacionado à força eletromotriz da bobina conforme a figura 7.





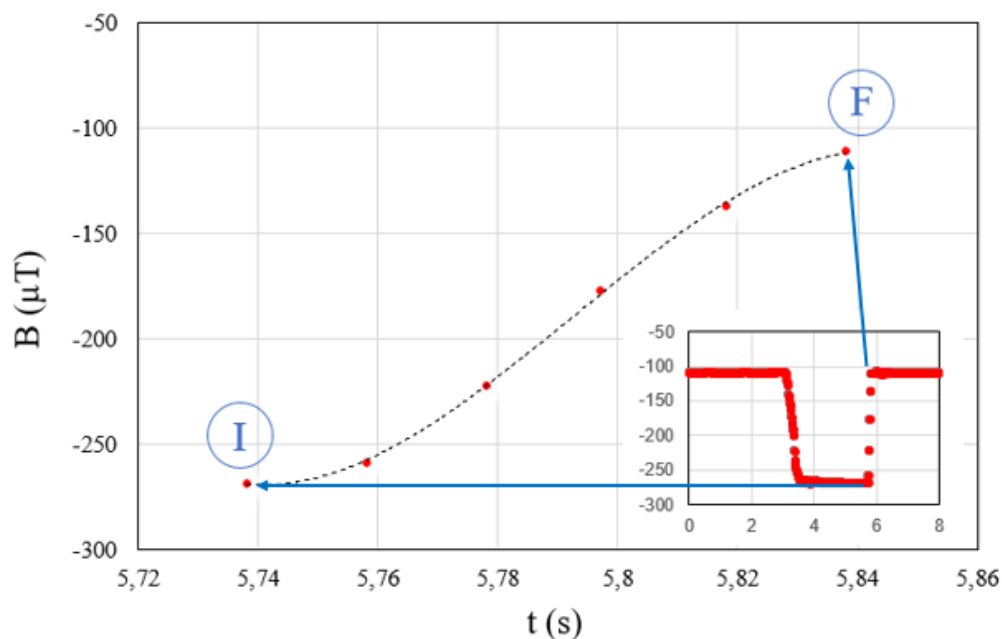
**Figura 7:** Exemplo de medida feita no *Audacity*. O círculo indica o pico que corresponde ao sinal gerado pela bobina e detectado pela placa de som do computador. À direita é mostrada uma ampliação do pico para a identificação do valor correspondente. Nesta medida, o pico foi de 0,59178 u.a.

### Analizando os dados

Ao finalizar a coleta de dados, haverá quatro medidas, onde cada uma será composta por uma medida do pico feita no *Audacity* e um arquivo de dados do PTSS. Estes arquivos deverão ser abertos, um a um, numa planilha eletrônica para análise dos dados. Ao abrir o arquivo, deve-se selecionar as colunas correspondentes ao tempo “Time” e ao campo magnético na direção z “Bz”, conforme mostra a figura 8, onde deverá ser construído um gráfico do tipo dispersão. Para a construção deste gráfico utilizaremos somente o conjunto de pontos que correspondem ao intervalo de tempo no qual o ímã se move, afastando-se da bobina. A figura 9 mostra um exemplo.

	A	B	C	D	E
1	Time			Bz	
2	0,003	-6	-13,1	-108,6	109,55
3	0,016	-6	-13,2	-108,6	109,56
4	0,036	-6,1	-13,2	-108,6	109,57
5	0,056	-6,1	-13,2	-108,6	109,57
6	0,077	-6	-13,2	-108,6	109,56
7	0,096	-6	-13,1	-108,7	109,65
8	0,117	-6,1	-13,2	-108,6	109,57
9	0,137	-6	-13,2	-108,7	109,66
10	0,158	-6	-13,2	-108,6	109,56
11	0,177	-6	-13,1	-108,6	109,55
12	0,197	-6	-13,2	-108,6	109,56
13	0,216	-6	-13,1	-108,6	109,55
14	0,237	-6	-13,1	-108,5	109,45
15	0,258	-6	-13,1	-108,5	109,45
16	0,276	-6	-13,1	-108,5	109,45
17	0,297	-6,1	-13,1	-108,4	109,36
18	0,317	-6,1	-13,1	-108,5	109,46
19	0,337	-6,1	-13,1	-108,4	109,36
20	0,358	-6	-13,1	-108,3	109,25
21	0,376	-6,1	-13,1	-108,3	109,26

**Figura 8:** Planilha com os dados obtidos com o PTSS. A coluna “A” refere-se ao tempo e a coluna “D” refere-se ao campo magnético ao longo do eixo z.



**Figura 9:** Exemplo de gráfico de dispersão obtido com os dados do PTSS mostrando o conjunto de dados de interesse (entre I e F). No canto inferior direito, gráfico mostrando uma quantidade maior de pontos. A curva de tendência está representada pela linha tracejada, sendo um polinômio de terceiro grau.

Conforme se pode notar na figura 9, a linha de tendência deve ser um polinômio de terceiro grau, obtendo-se assim uma função polinomial de terceira ordem, conforme equação (4).

$$B(t) = at^3 + bt^2 + ct + d \quad (4)$$

onde  $t$  é o tempo e  $B(t)$  é o campo magnético em função do tempo.

Para se determinar a taxa de variação do campo magnético em relação ao tempo é necessário derivar a equação (4) em relação a  $t$ . Fazendo isso é obtida a seguinte função:

$$B'(t) = 3at^2 + 2bt + c \quad (5)$$

Na análise do experimento, os coeficientes  $a$  e  $c$  das equações (4) e (5) são necessariamente negativos, em conformidade com a curva do gráfico mostrado na figura 9.

O próximo passo é determinar o valor máximo da taxa de variação do campo magnético em relação ao tempo. Esse valor é importante, pois se relaciona com o valor

do pico obtido no *Audacity*, formando um dos 4 pares ordenados necessários para a conclusão do experimento. O máximo valor da taxa de variação do campo magnético pode ser obtido determinando-se o valor do vértice da parábola ( $y_v$ ) da equação (5), conforme segue:

$$y_v = -\left(\frac{B^2 - 4AC}{4A}\right), \quad (6)$$

onde  $A = -3a$ ,  $B = 2b$  e  $C = -c$ , são os coeficientes da equação 5.

A máxima taxa de variação do fluxo magnético em relação ao tempo  $\left(\frac{d\phi}{dt}\right)$  será o resultado do produto da máxima taxa de variação do campo magnético (valor do  $y_v$ ) pela área média da bobina. Este procedimento deve ser repetido para os outros três arquivos obtidos com o PTSS.

Ao final desta etapa, os quatro pares ordenados (máxima taxa de fluxo magnético e os respectivos valores dos picos identificados no *Audacity*) devem ser organizados conforme mostra a tabela 1, para a construção do gráfico final.

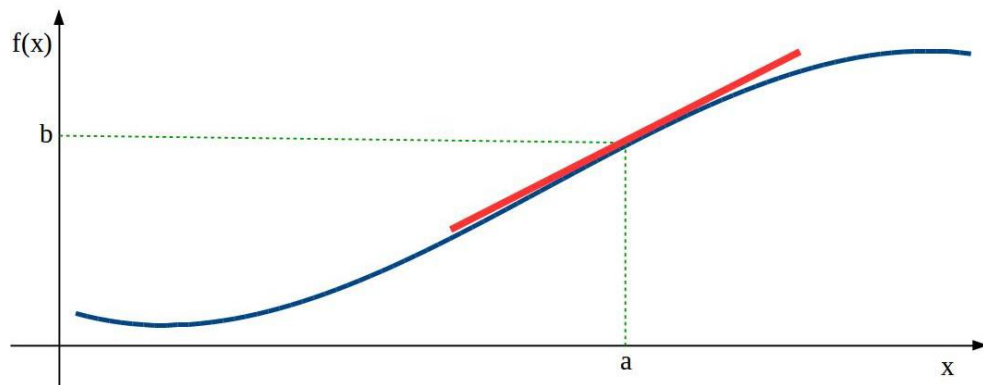
**Tabela 1:** Máxima taxa de fluxo magnético e respectivos picos identificados no *Audacity*.

$\frac{d\phi}{dt} \left(\frac{Wb}{s}\right)$	Picos no Audacity (u.a.)

Com a tabela 1 já preenchida, será construído um gráfico de dispersão usando a planilha eletrônica. Após a construção do gráfico, este deverá ser analisado para verificar que tipo de função melhor representa a distribuição dos pontos experimentais no plano cartesiano.

### Derivada de Função Polinomial

A derivada de uma função polinomial é o valor da inclinação do segmento de reta tangente a um ponto (a,b) dessa função, ou em outras palavras, é a taxa de variação. Como exemplo, considere o gráfico de uma função polinomial de terceira ordem:



**Figura 1:** Gráfico de uma função polinomial de terceira ordem (curva azul). O seguimento de reta vermelha é tangente ao ponto (a,b).

A derivada da função polinomial da figura 1 pode ser obtida através da “regra do tombo”. Nesta regra o expoente é “tombado”, diminuindo em uma unidade o novo expoente. Como exemplo considere uma função polinomial de terceira ordem  $f(x) = ax^3 + bx^2 + cx$ . A sua derivada será  $f'(x) = 3ax^{3-1} + 2bx^{2-1} + 1cx^{1-1}$ , de forma que o resultado final é dado por:

$$f'(x) = 3ax^2 + 2bx + c \tag{A.1}$$

Considerando gráfico da figura 1, a sua função é do tipo  $f(x) = -ax^3 + bx^2 - cx + d$ , sendo a sua derivada, portanto, dada por  $f'(x) = -3ax^2 + 2bx - c$ .

# ANEXO C

## Fluxograma - Aquisição e Análise dos Dados Experimentais

