

MNPEF

Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



O USO DO MOTOR ELÉTRICO PARA O ENSINO DO ELETROMAGNETISMO

João Alexandre da Silva Santos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação pela Universidade Federal Rural de Pernambuco no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Profa. Dra. Sara Cristina Pinto Rodrigues

Recife – Pernambuco

2019

Sumário

1. Apresentação.....	4
2. Introdução.....	5
2.1. Fluxo de campo.....	5
2.2. Lei de Lenz.....	9
3.3. Lei de Faraday.....	10
3. Metodologia.....	11
3.1. Materiais necessários para a construção do motor elétrico.....	11
3.2. Montagem do motor elétrico simples.....	12
4. Aplicação.....	18
5. Conclusão.....	18
6. Referências bibliográficas.....	18
Apêndice I: Questionário.....	20

Lista de figuras

Figura 2.1 - Espira circula sob a presença de um campo magnético uniforme em três posições distintas.....	5
Figura 2.2 – Ímã no repouso e as linhas de campo.....	7
Figura 2.3 – Ímã se aproximando da espira.....	7
Figura 2.4 – Ímã se afastando da espira.....	8
Figura 2.5 – Rotação de uma espira retangular sob ação de um campo magnético uniforme.....	8
Figura 2.6 – Espira exposta a um campo magnético uniforme.....	9
Figura 2.7 – Sentido da corrente elétrica induzida na espira.....	10
Figura 3.1 – Tábua para suporte.....	12
Figura 3.2 – Fio de 6 mm.....	13
Figura 3.3 – Fio desencapado com uma alça.....	13
Figura 3.4 – Pistola de cola quente e fios presos no suporte.....	14
Figura 3.5 – Cabos de 2,5 mm.....	14
Figura 3.6 – Bobina.....	15
Figura 3.7 – Lixa e fio da bobina sem esmalte.....	15
Figura 3.8 – Bola de festa cortada em suas extremidades.....	16
Figura 3.9 – Bola de festa enrolada na pilha.....	16
Figura 3.10 – Cabos preso no fio	17
Figura 3.11 – Motor elétrico.....	17

1. APRESENTAÇÃO

Este produto educacional é o motor elétrico simples de corrente contínua, apresentado ao programa de pós-graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, vinculado ao Mestrado Nacional Profissional no Ensino de Física.

O produto foi pensado para maximizar o processo de ensino – aprendizagem nas aulas de eletromagnetismo e indução. O aparato experimental é formado por materiais de baixo custo e foi desenvolvido para auxiliar professores de física da rede pública e privada com o objetivo de auxiliar as aulas sobre eletromagnetismo e indução eletromagnética.

O produto acompanha um plano de aula com as orientações necessárias para uso e aplicação nas aulas, mas que pode ser adaptado a realidade de cada instituição. A metodologia, os materiais necessários e como devemos o montar o motor elétrico será mostrado adiante.

2. INTRODUÇÃO

No início do século XIX, dois estimados cientistas e pesquisadores, Michael Faraday e Joseph Henry, questionaram se era possível, através do campo magnético ter a obtenção de corrente elétrica, pois a corrente elétrica é capaz de produzir campo magnético, mas seria possível tal feito? A resposta para essa pergunta foi positiva, porém com uma ressalva, a de que o campo magnético não pode ser constante e sim variável no tempo. Uma nova área dentro do eletromagnetismo estava surgindo e se iniciava o fenômeno da indução eletromagnética.

2.1. Fluxo de campo:

O fluxo de campo magnético (Φ) é definido como a quantidade de linhas de campo que atravessam uma superfície plana (A), associada a um vetor normal (\vec{n}) e a intensidade do fluxo depende do ângulo (θ) do vetor campo magnético e do vetor normal. A Figura 2.1 ilustra esses vetores atuando, simultaneamente, numa espira de área (A).

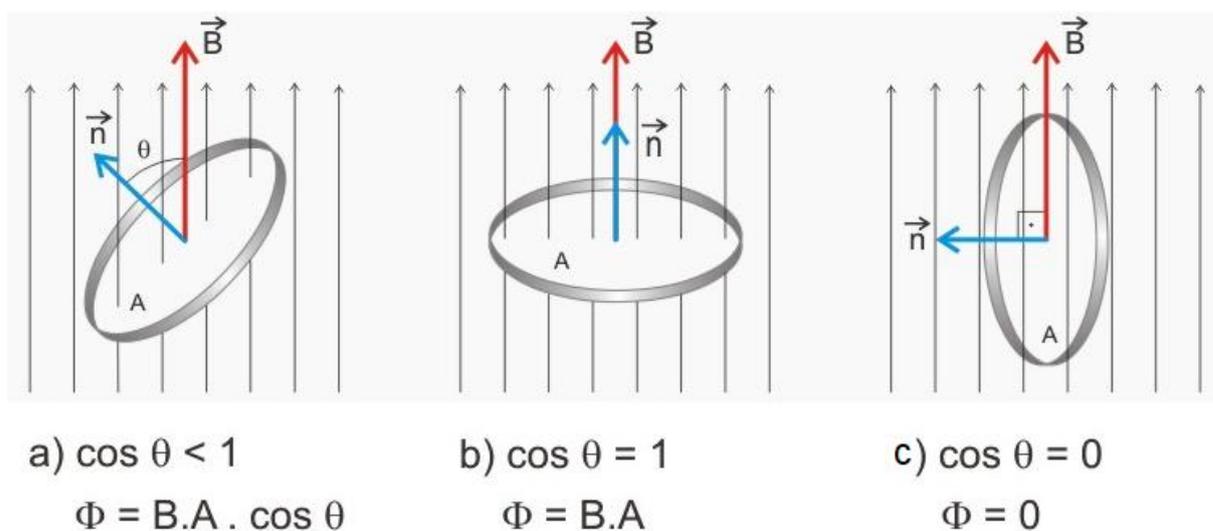


Figura 2.1: Espira circular sob a presença de um campo magnético uniforme em três posições distintas (Sabrinna, 2019).

O fluxo magnético tem maior intensidade quando a superfície é perpendicular à direção do campo magnético e nulo quando a superfície é paralela à direção do campo magnético (Figura 2c). Em condições ideais podemos considerar o campo

magnético uniforme e a superfície plana, então, calcular o fluxo de campo magnético torna -se bastante simples com o uso da expressão:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos\theta. \quad (2.1)$$

Entretanto, se o a superfície não for plana e o campo magnético não uniforme, a expressão do fluxo toma a forma:

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}. \quad (2.2)$$

O entendimento de fluxo de campo magnético é de extrema importância para o entendimento do fenômeno da indução eletromagnética, as leis de Lenz e de Faraday que serão apresentadas mais para frente. Além disso, isto foi fundamental para que Faraday através de sua experimentação em vários arranjos elétricos criasse o conceito de linhas de campo.

Segundo H. Moyses,

Foi para encontrar a lei quantitativa da indução eletromagnética que Faraday introduziu o conceito de linhas de campo e tubos de força, definindo o que hoje corresponde ao fluxo de campo magnético, através de um circuito.

Experimentalmente, Faraday obteve sucesso em três arranjos que seguem abaixo:

Experimento 1: variando o fluxo magnético por meio da variação do campo magnético

Se dispusermos de uma espira ligada a um amperímetro e um ímã e aproximássemos esse ímã na direção da espira e em seguida afastasse o ímã, realizando esse movimento algumas vezes, o amperímetro acusaria uma corrente elétrica que não pode ser contínua e sim induzida pelas linhas de campo do ímã. A aproximação e o afastamento fazem com que o amperímetro registre diferentes correntes elétricas.

A Figura 2.2 indica as linhas de campo atravessando uma espira circular ligada a um amperímetro, mas como o ímã está no repouso, o amperímetro não acusa corrente elétrica, mas ao aproximar o ímã em direção a espira, conforme a Figura 2.3, uma corrente elétrica é induzida na espira. Ao afastar o ímã, a corrente elétrica

continua com a mesma intensidade de antes, entretanto seu sentido passa a ser invertido, como ilustra a Figura 2.4.

Observando as Figuras 2.3 e 2.4, percebemos que existe uma alteração na posição do ponteiro, mas não uma variação na intensidade da corrente elétrica no ponto medido. Essa corrente elétrica que muda de sentido com o movimento do ímã é denominada corrente induzida.

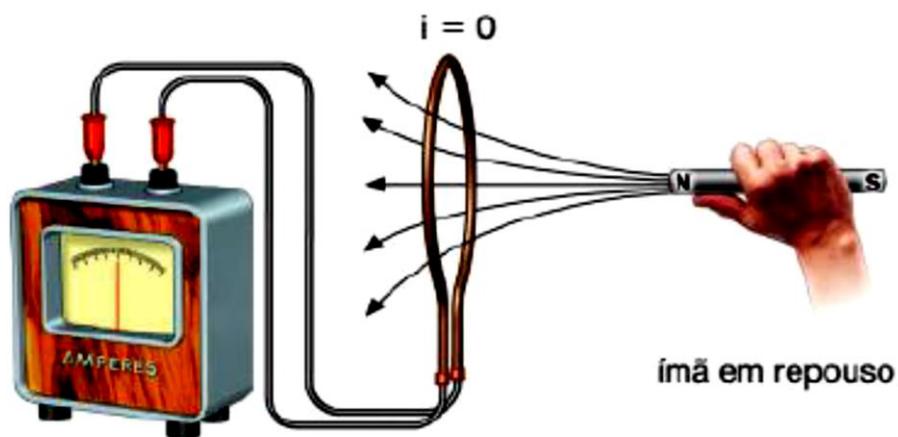


Figura 2.2: Ímã no repouso e as linhas de campo (Bonjorno, 2016).

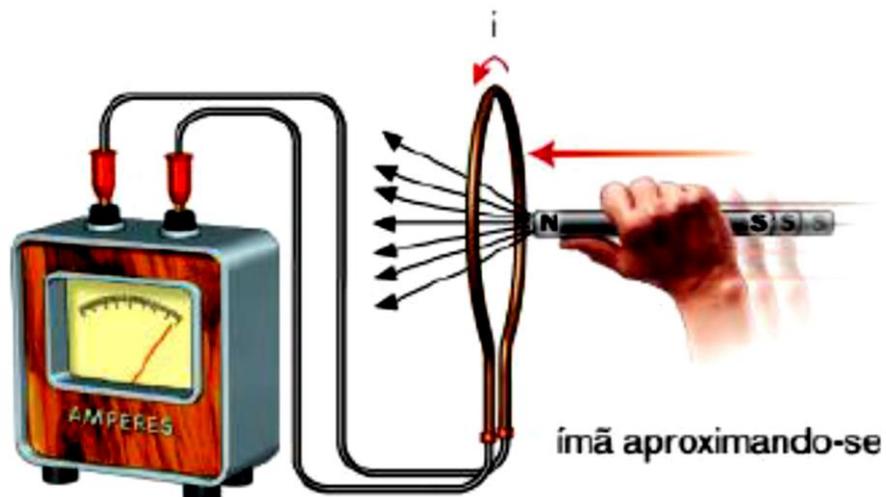


Figura 2.3: Ímã se aproximando da espira (Bonjorno, 2016).

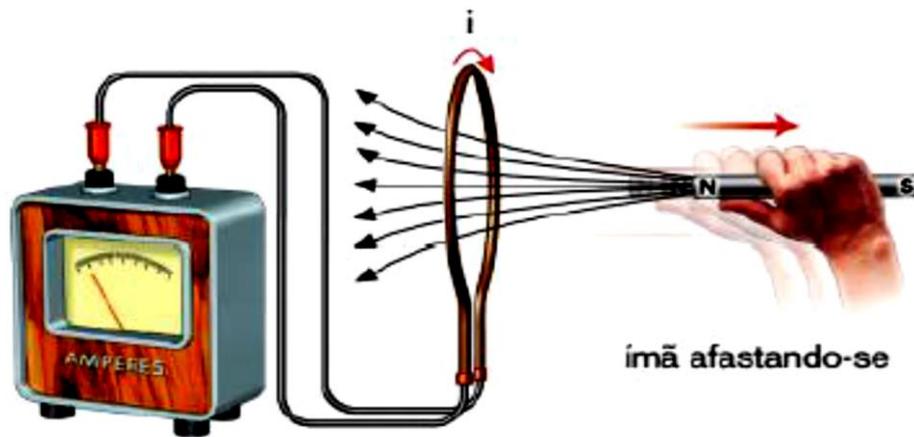


Figura 2.4: Ímã se afastando da espira (Bonjorno, 2016).

Experimento 2: variação do fluxo magnético pela variação do ângulo formado entre o vetor normal (\vec{n}) e o vetor campo magnético (\vec{B})

Se a espira estiver inserida em um campo magnético uniforme e for capaz de rotacionar, uma corrente elétrica será induzida nessa espira. Quanto mais rápido o ângulo variar, maior será a velocidade da espira e, conseqüentemente, maior a intensidade da corrente elétrica induzida. Os geradores elétricos são construídos nesse fundamento. A Figura 2.5 representa a ação do campo magnético e da força magnética gerando torque numa espira retangular.

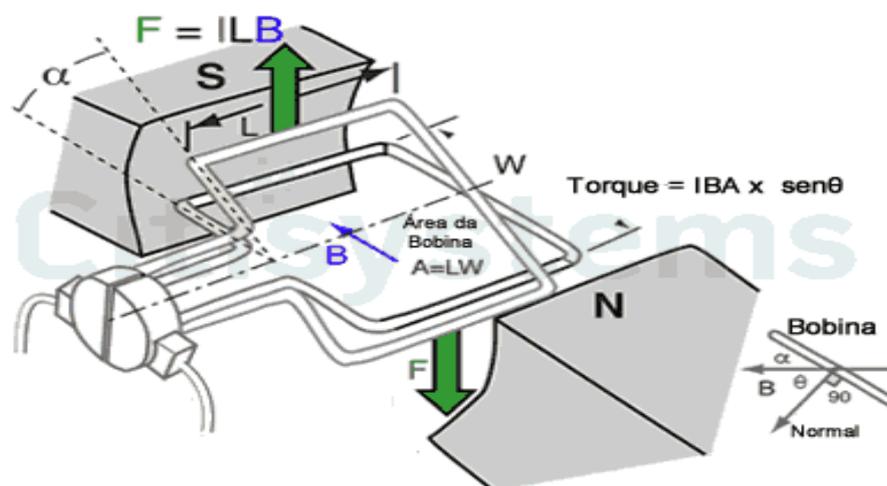


Figura 2.5: Rotação de uma espira retangular sob ação de um campo magnético uniforme (Silveira, 2019).

Experimento 3: variação do fluxo magnético pela variação da área A do circuito

Nesse último experimento, a variação do fluxo do campo magnético é fruto da rotação temporal da espira, assim como a área varrida pela espira na presença do campo magnético. A Figura 2.6 reproduz a variação da área num campo magnético e a corrente que é induzida no amperímetro.

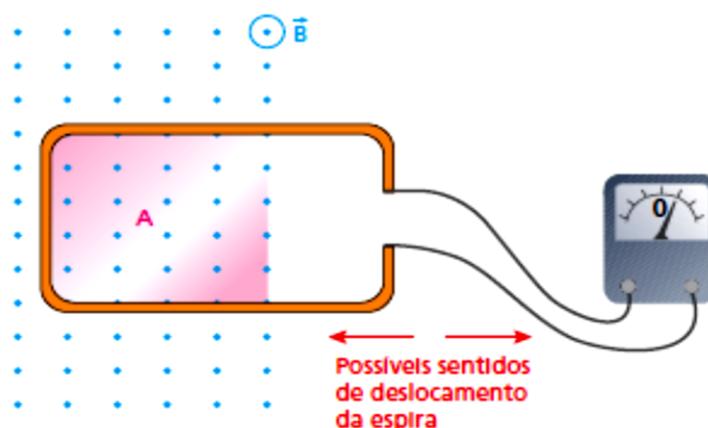


Figura 2.6: Espira exposta a um campo magnético uniforme (Biscoula, 2012).

b) Lei de Lenz

Em todos os três experimentos mencionados anteriormente, a corrente elétrica que aparece ao variar o fluxo do campo magnético ou a área ou o ângulo não é uma corrente elétrica contínua e sim uma corrente elétrica induzida e sendo assim, o seu sentido é variável à medida que o fluxo do campo magnético aumenta ou diminui.

Conforme a Figura 2.7, à medida que o polo norte do ímã se afasta com uma velocidade \vec{V} , a corrente elétrica induzida está no sentido anti-horário da espira e quando o polo norte do ímã se aproxima da espira, o sentido da corrente induzida é horário.

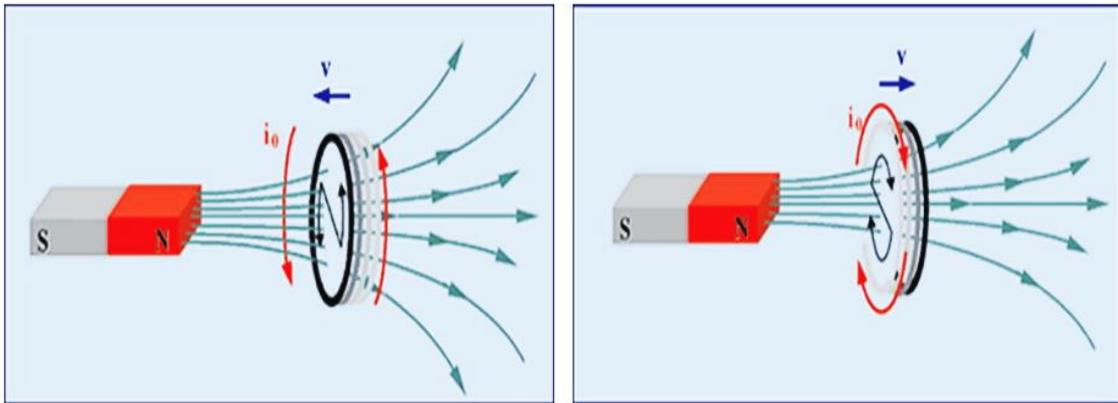


Figura 2.7: Sentido da corrente elétrica induzida na espira (Santos, 2019).

A lei de Lenz, segundo Bonjorno, pode ser definida como:

O sentido da corrente elétrica induzida em um circuito condutor fechado é aquele que dá origem a um fluxo magnético induzido que sempre se opõe a variação do fluxo que lhe deu origem.

Griffiths, por sua vez define a lei de Lenz com um único objetivo, acertar o sentido da corrente elétrica.

É sabido também que, além da corrente induzida, existe uma força eletromotriz induzida (fem) decorrente desta corrente. Sendo assim, o fenômeno da indução eletromagnética está diretamente associado ao fenômeno da conservação de energia.

c) Lei de Faraday

A lei de Faraday é uma lei de fluxo de campo magnético que pode ser escrita na forma:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}. \quad (2.3)$$

Uma análise mais criteriosa na lei de fluxo é que cargas estacionárias não são atingidas pela força magnética e sim pela força elétrica que está associada ao campo elétrico que também é induzido. Faraday, se baseando da observação e experiência, disse que a força eletromotriz é igual a taxa do fluxo, conforme Griffiths, podemos escrever que:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l}. \quad (2.4)$$

Tomando a equação (3.18), e substituindo a equação (3.19) obtemos a lei de Faraday na forma integral.

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\partial}{\partial t} \left(\int_S \vec{B} \cdot d\vec{A} \right) = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l}. \quad (2.5)$$

Aplicando o Teorema de Stokes (3.11) na equação (3.21), temos:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \int_S (\nabla \times \vec{E}) \cdot d\vec{A} = -\frac{\partial}{\partial t} \left(\int_S \vec{B} \cdot d\vec{A} \right). \quad (2.6)$$

A superfície permanecendo constante no decorrer do tempo, temos:

$$\int_S (\nabla \times \vec{E}) \cdot d\vec{A} = -\left(\int_S \left(\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{A} \right) \right) \quad (2.7)$$

E, portanto,

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}. \quad (2.8)$$

3. METODOLOGIA

3.1. Materiais necessários para a construção do motor elétrico:

- Tábua de madeira de 30 cm x 30 cm;
- Um ímã grande em forma de U;
- Uma pilha de tamanho D com 1,5 V;
- Uma lixa ou palha de aço;
- Doze centímetros de fio de 6mm;
- Noventa centímetros de fio de cobre esmaltado, número 24;
- Dez centímetros de cabos de 2,5 mm;
- Bola de festa (bexiga de borracha);
- Estilete ou faca;

- Olhal (alicate);
- Tesoura;
- Pistola de cola quente;
- Cola quente;
- Uma broca de mão ou um parafuso de tamanho médio;

3.2. Montagem do motor elétrico simples:

a) Usando uma broca de mão ou um parafuso, fure a tábua de suporte em dois lugares, distantes 6 centímetros;



Figura 3.1: Tábua para suporte.

b) Corte os 12 cm de o fio rígido em duas partes iguais e com o estilete, tire toda sua capa de borracha;



Figura 3.2: Fio de 6 mm.

c) Usando um alicate, faça uma alça na extremidade de cada fio;



Figura 3.3: Fio rígido desencapado com uma alça.

d) Usando a pistola de cola quente, encha os dois furos com cola e prenda os dois fios rígidos na tabua de madeira;



Figura 3.4: Pistola de cola quente e fios presos no suporte.

e) Corte o fio mole em duas partes iguais e descasque as duas extremidades do fio;

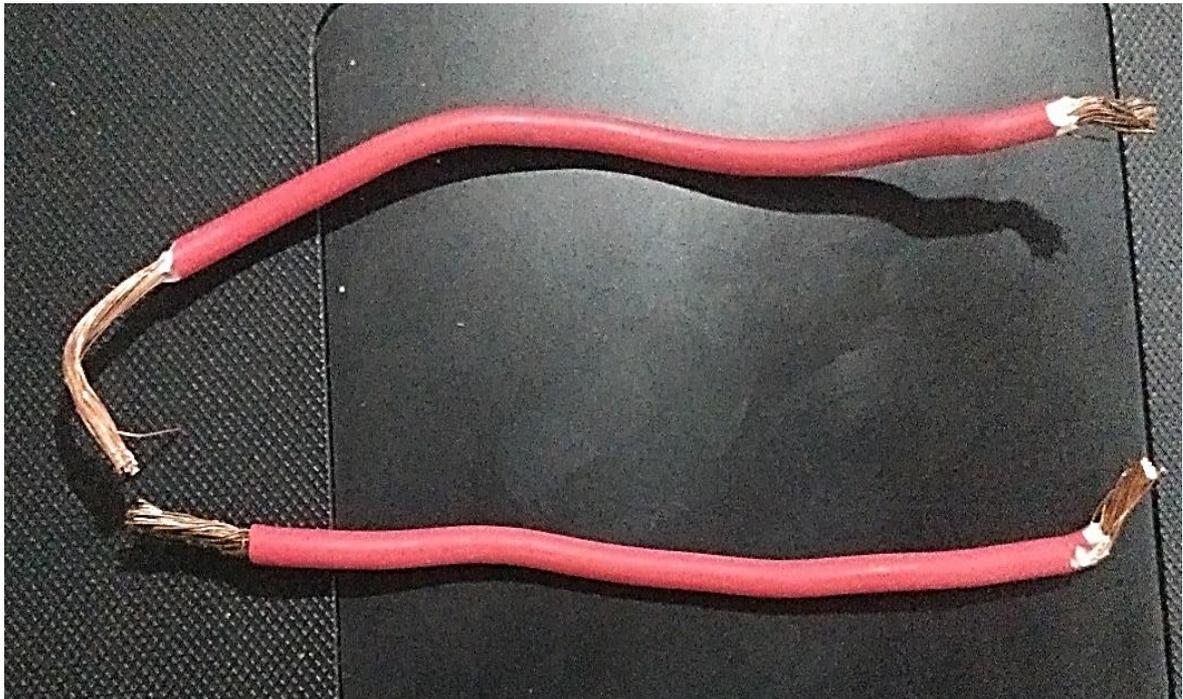


Figura 3.5: Cabo de 2,5mm.

f) Pegue o fio esmaltado e, deixando 5 cm livre do fio, enrole 10 vezes na pilha, e deixe mais 5 cm do fio livre. Corte o restante do fio com o alicate e enrole as duas partes que estão sobrando, deixando 3 cm de cada lado;



Figura 3.6: Bobina.

g) Com a lixa, retire o esmalte de um lado (apenas de um único lado), do fio da espira. Em seguida, faça o mesmo procedimento no outro fio da espira, porém retirando o esmalte dos dois lados do fio;



Figura 3.7: Lixa e fio da bobina sem esmalte.

h) Corte os dois lados da bola de festa, deixando a bexiga com 2 cm de comprimento;



Figura 3.8: Bola de festa cortada em suas extremidades.

i) Enrole a bexiga na pilha, deixando os dois polos da pilha presos;



Figura 3.9: Bola de festa enrolada na pilha.

j) Prenda os cabos na base dos fios rígidos no suporte e coloque nas alças do fio rígido a bobina;

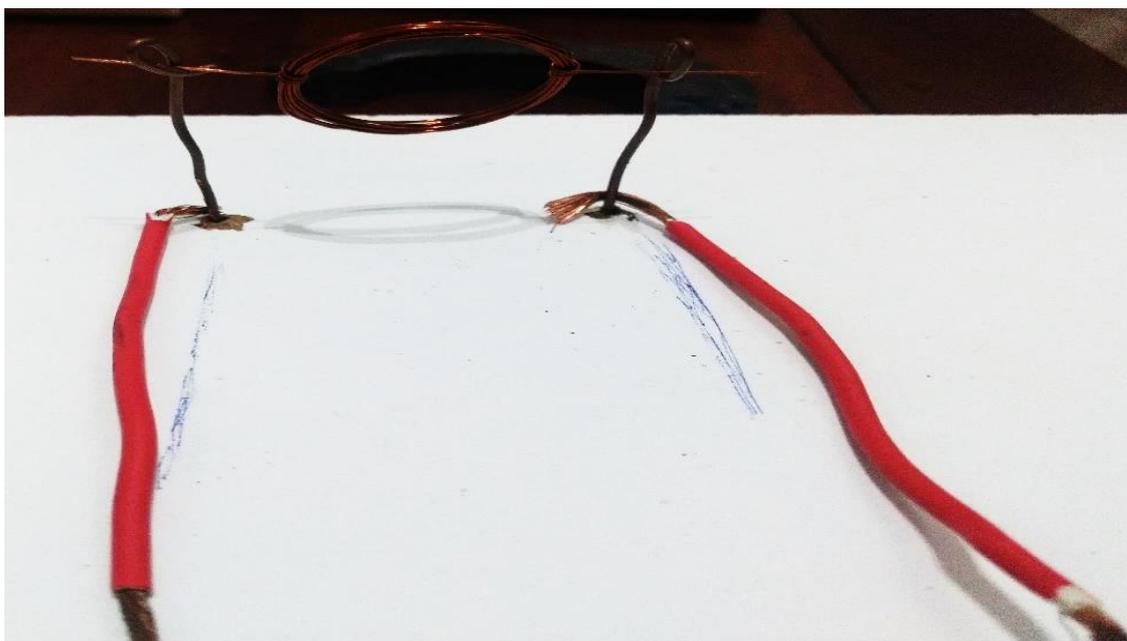


Figura 3.10: Cabos preso no fio.

k) Conecte os dois polos da pilha no fio com a ajuda da bexiga, deixando bem firme e ponha o ímã embaixo da bobina. Para dar a partida no motor, impulsione a bobina para baixo ou para cima com os dedos.



Figura 3.11: Motor elétrico.

4. APLICAÇÃO

Como sugestão, o professor pode usar o pré-teste (apêndice I) como sondagem, para só depois usar o produto educacional para maximizar a aula e o processo de ensino e aprendizagem e usar o teste final que é o pré-teste com três perguntas dissertativas.

5. CONCLUSÃO

O produto educacional desenvolvido é classificado como um aparato experimental de baixo custo e mesmo assim, foi aplicado em uma escola privada com alunos de bom poder aquisitivo. Sendo assim, o produto educacional aplicado na escola privada, pode ser aplicado em escolas públicas sem nenhum problema ou obstáculo no que diz respeito a investimento financeiro. A aula experimental proporcionou aos alunos uma oportunidade de conhecimento, através da interação com o professor e com o aparato experimental.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BISCOULA, Gualter José; DOCA, Ricardo Helou. et al. **Tópicos de Física: Eletricidade, Física Moderna e Análise Dimensional**. Vol.3. São Paulo. Editora Saraiva. Edição 2012.

BONJORNO, José Roberto; RAMOS, Clinton Marcico. et al. **Física Manual do Mestre: Eletromagnetismo e Física Moderna**. Editora FTD. 3^o edição. 2016.

GRIFFITHS, David J. **Eletrodinâmica**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2011

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: Eletromagnetismo**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009 vol. 3.

MANUAL DO MUNDO. Motor V8 eletromagnético. (12m39s). 2017. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=SwwucPdO6ik>>. Acesso em: 07 de maio de 2019.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de física básica: Eletromagnetismo**. São Paulo: E. Blücher, 2002;

SANTOS, Marco Aurélio da Silva. 2019. “A lei de Lenz”; Brasil Escola. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-lei-lenz.htm>>. Acesso: 31 de março de 2019.

SABRINNA. 2019. Física – Cem Arizinho. Disponível: <<http://fisicacemarizinhogpi.blogspot.com>>. Acesso em: 18 de março de 2019.

SILVEIRA, [Cristiano Bertulucci](#). 2019. Disponível: <<https://www.citisystems.com.br/motor-cc/>> Acesso em: 31 de março de 2019.

Apêndice I

Estimado estudante:

Esse questionário faz parte de uma pesquisa sobre ensino e aprendizagem de física. Desde já, gostaria de agradecer sua participação e disposição nessa pesquisa.

Professor: Alexandre Santos (Mestrando MNPEF – UFRPE)

Estudante: _____

Perguntas

1. A definição de gerador elétrico é de um dispositivo capaz de transformar qualquer tipo de energia, em energia elétrica. Sendo assim, qual das afirmativas abaixo é um gerador?

- a) uma bomba d'água
- b) um chuveiro elétrico
- c) uma bateria de carro
- d) uma lâmpada incandescente
- e) um liquidificador

2. Na procura de lâmpadas que ofereçam um bom custo – benefício, um estudante encontrou uma lâmpada que tinha impresso na embalagem a informação: 220 V – 50 W. A respeito dessa informação na embalagem, ela informa, simultaneamente a:

- a) corrente elétrica e tensão
- b) tensão e potência
- c) potência e luminosidade
- d) luminosidade e potência
- e) tensão e luminosidade

3. O movimento ordenado de um portador de carga (elétron ou próton) dentro de um condutor origina uma corrente elétrica. A corrente elétrica é capaz de criar numa região do espaço, um:

- a) campo magnético
- b) campo gravitacional
- c) campo elétrico
- d) um campo elétrico e um campo magnético
- e) um campo gravitacional e um campo magnético

4. Todo ímã possui uma bipolaridade, ou seja, ele apresenta dois polos: norte e sul. Se você dispuser de dois ímãs e colocar dois frente a frente, o que pode acontecer?

- a) os ímãs irão se atrair
- b) os ímãs irão se repelir
- c) os ímãs podem se atrair ou se repelir
- d) nada acontece
- e) eles flutuarão

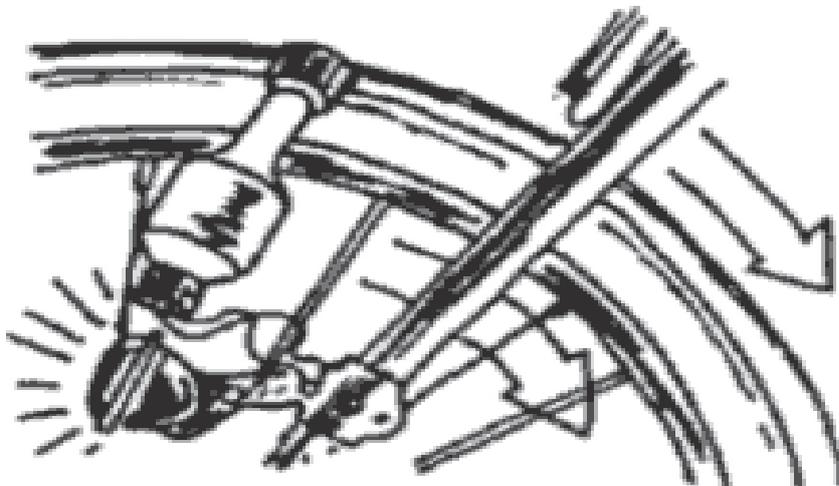
5. Um ímã não atrai:

- a) um prego
- b) uma arruela de ferro
- c) uma panela de ferro
- d) uma caneca de alumínio
- e) um parafuso

6. (Uerj/2015) O princípio físico do funcionamento de alternadores e transformadores, comprovável de modo experimental, refere-se à produção de corrente elétrica por meio da variação de um [campo magnético](#) aplicado a um circuito elétrico. Esse princípio se fundamenta na denominada Lei de:

- a) Newton
- b) Ampère
- c) Faraday
- d) Coulomb

7. (Enem 2ª aplicação) Os dínamos são geradores de energia elétrica utilizados em bicicletas para acender uma pequena lâmpada. Para isso, é necessário que a parte móvel esteja em contato com o pneu da bicicleta e, quando ela entra em movimento, é gerada energia elétrica para acender a lâmpada. Dentro desse gerador, encontram-se um ímã e uma bobina.



Disponível em: <http://www.if.usp.br>. Acesso em: 1 maio 2010.

O princípio de funcionamento desse equipamento é explicado pelo fato de que a:

- a) corrente elétrica no circuito fechado gera um campo magnético nessa região.
- b) bobina imersa no campo magnético em circuito fechado gera uma corrente elétrica.
- c) bobina em atrito com o campo magnético no circuito fechado gera uma corrente elétrica.
- d) corrente elétrica é gerada em circuito fechado por causa da presença do campo magnético.
- e) corrente elétrica é gerada em circuito fechado quando há variação do campo magnético.

8. Você certamente já ouviu sobre o processo de eletrização por indução, mas já ouviu falar sobre indução eletromagnética? Em caso positivo, explique de forma simples.

9. Na sua opinião, onde podemos encontrar motores elétricos?

10. Caso conheça, cite dois exemplos de motores elétricos?
