Fenômenos Eletromagnéticos Associados aos Princípios dos Motores Elétricos

Larissa da Silva Matos e Natália da Silva Guimarães

Engenharia de Computação – Universidade Federal do Ceará (UFC)
Av. José de Freitas Queiroz, 5003 - Quixadá, CE, 63902-580 – Brasil

nataliaguimaraes@alu.ufc.br e larissamatos@alu.ufc.br

Abstract. *In this article, the fundamental principles of electromagnetism will be presented to explain the operation of electric motors. With this, a didactic approach on electricity and magnetism will be presented to help understand the theoretical relationship with the experimental activity that simulates the motor effect.*

Resumo. *Neste artigo serão apresentados os princípios fundamentais do eletromagnetismo para explicar o funcionamento dos motores elétricos. Com isso, uma abordagem didática sobre eletricidade e magnetismo será apresentada para ajudar a compreender a relação teórica com a atividade experimental que simula o efeito motor.*

1. Introdução

Sabe-se que os motores elétricos são responsáveis pelo funcionamento de grandes projetos que prestam serviços para a sociedade. Nas hidrelétricas, por exemplo, são usadas grandes turbinas que auxiliam na geração de energia elétrica. Nesse artigo, serão apresentados os conceitos básicos de eletromagnetismo aplicados ao funcionamento dos motores elétricos, mas também a realização de um experimento que produz o efeito motor.

A priori, serão apresentados conceitos importantes como carga elétrica, campos elétricos, a Lei de Gauss, campo magnético, densidade de corrente, entre outros. Em seguida, será explorado o passo a passo para a realização do experimento, bem como uma explicação de como o experimento funciona e os seus resultados finais.

2. Fundamentação Teórica

A fim de facilitar a compreensão sobre a aplicação do eletromagnetismo com o princípio do funcionamento dos motores, será feita uma apresentação sobre os principais assuntos que são necessários para obter uma noção mais abrangente entre a teoria e a prática do efeito motor. Para isso, inicia-se a os conceitos a partir da noção de cargas elétricas até uma contextualização de todos os fundamentos de eletricidade e magnetismo para explorar como um motor elétrico funciona e suas peculiaridades.

2.1. Cargas Elétricas

Carga elétrica se trata da composição do átomo formada por três elementos: prótons, elétrons e nêutrons. A grandeza associada pelo Sistema Internacional de Unidades é o Coulomb (C) em homenagem ao cientista Charles Augustin Coulomb. Com isso, um

corpo pode ser encontrado carregado de forma positiva ou negativa. Essas caracteŕisticas são atribuídas dependendo do material que ele é formado.

De acordo com os princípios da eletrostática, cargas que possuem o mesmo sinal, isto é positivo ou negativo, se repelem enquanto cargas de sinais iguais se atraem. Os materiais existentes na natureza podem ser classificados como condutores, isolantes e semicondutores.

Os materiais condutores são caracterizados por movimentar cargas elétricas com facilidade. Um exemplo famoso é o cobre utilizado nos fios das redes elétricas. Enquanto isso, os isolantes também chamados de não condutores são materiais onde as cargas não se movem. Um exemplo desse material é o plástico amplamente usado para isolar fios. Já os materiais semicondutores possuem características intermediárias entre o condutor e o isolante. O silício bastante utilizado não de componentes como diodos e transistores é um exemplo clássico de semicondutor.



Figura 1 - Diodos semicondutores de silício.

A fim de entender o comportamento das cargas elétricas, o cientista Charles Coulomb percebeu que no princípio da repulsão ou atração de cargas existia uma força que eram exercidas entre as partículas. Desse modo, ele concluiu que existia uma força elétrica de ação mútua entre duas cargas com uma intensidade diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. De forma matemática a equação é dada por:

$$F = K\frac{|Q1||Q2|}{r^2}$$

onde F é a força dada em Newton (N), $Q1$ e $Q2$ os valores das cargas elétricas dada em Coulomb (C) r a distância entre as duas cargas e K que é uma constante eletrostática. No que se refere ao valor das cargas, sabe-se que a relação pode ser dada por:

$$Q = ne$$

onde Q é a quantidade de carga, n o número de cargas, isto é, a quantidade de prótons ou elétrons e e é conhecida como o valor da carga elementar que vale aproximadamente: $e = 1,602 . 10^{-19} C$.

2.2. Campos Elétricos

Pode-se definir um campo elétrico com um campo vetorial que é utilizado para medir a influência que uma carga elétrica tem em um determinado espaço. Quanto mais perto duas cargas estão uma da outra, maior a força elétrica de atração ou repulsão entre elas. Isso acontece devido ao campo elétrico existente naquele local.

Além disso, sabe-se que uma carga elétrica tem seu próprio campo elétrico. Após encontrar a força elétrica F através da Lei de Coulomb, o campo elétrico resultante gerado por cargas pode ser dado por:

$$\overline{E} = \frac{\overline{F}}{q}$$

onde $\overline{E}$ é o campo elétrico dado em $[N/C\ ou\ V/m]$, $\overline{F}$ é a força elétrica da em $[\ N\ -\ Newton]$ e q é a carga elétrica de prova $[C\ -\ Colomb]$. Outra forma de calcular o campo elétrico é quando existe uma carga pontual e no vácuo. Assim, a equação é dada por:

$$\overline{E} = \frac{k_0 Q}{d^2}$$

onde k_0 é a constante eletrostática do vácuo com valor de $8,99.10^9 N.m^2/C^2$ e d se trata da distância do ponto até a carga geradora.

O campo elétrico produzido por uma carga possui direção e sentido. Quando a carga é positiva as linhas de campo apontam para dentro da carga. Se a carga for negativa, as linhas de campo se direcionam para fora da carga.

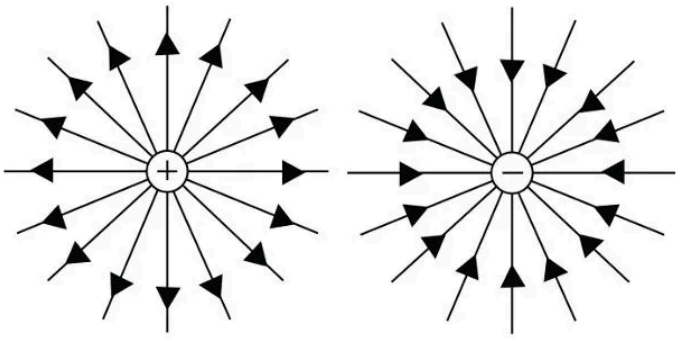


Figura 2 - Linhas de campo numa carga positiva e negativa.

Nesse sentido, pode ser também representada a situação das linhas de campo quando duas cargas estão separadas a uma certa distância e possuem sinais iguais.

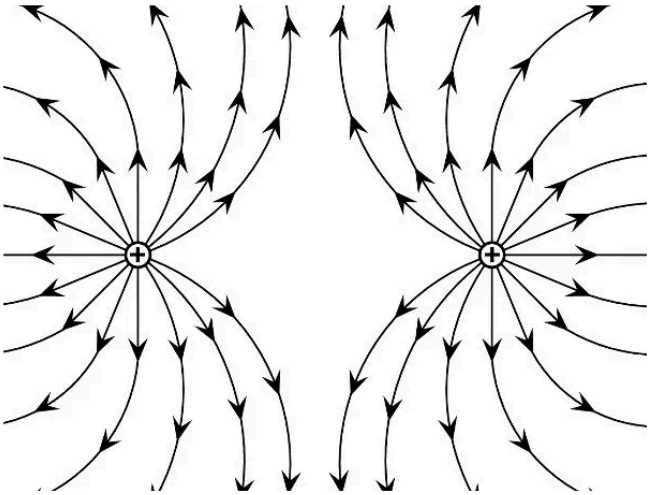


Figura 3 - Linhas de campo de duas cargas positivas.

Já quando duas cargas de sinais opostos são separadas por uma certa distância, as linhas de campo tendem a se encontrar.

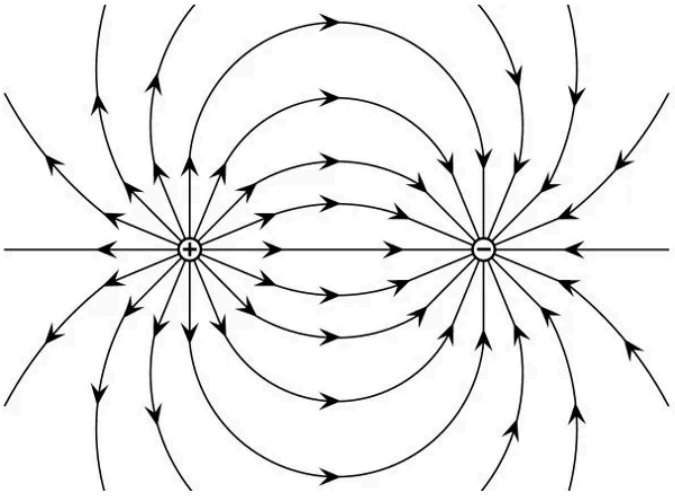


Figura 4 - Linhas de campo para cargas de sinais opostos.

Essa relação onde cargas de sinais opostos estão separadas a uma certa distância é chamada de dipolo elétrico. Para calcular o campo elétrico gerado por esse fenômeno usa-se a seguinte equação:

$$E = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{p}{z^3}$$

onde ε_0 é a constante de permissividade (no vácuo vale $8,85.10^{-12}C^2/Nm^2$), p o momento dipolar elétrico e z é a distância da carga a um ponto.

2.3. Lei de Gauss

Para explicar a Lei de Gauss, suponha várias cargas positivas e negativas gerando um campo elétrico em um certo espaço. Agora, deve-se imaginar a criação de uma

superfície fechada dentro desse espaço que pode inserir ou não cargas elétricas. Esse recorte no espaço é chamado de superfície gaussiana.

A Lei de Gauss faz uma relação entre um fluxo elétrico Φ de um campo elétrico que passa para essa superfície com a carga total envolvida por ela, advindo das cargas elétricas delimitadas pelo espaço reservado. Dessa forma, é possível estabelecer a seguinte relação:

$\varepsilon_0 \Phi_E = q$ ou

$$\varepsilon_0 \oint E.dA = q$$

onde Φ_E é o fluxo, ε_0 é a constante de permissividade no vácuo e q a soma de todas as cargas envolvidas na superfície. Se $q > 0$ o fluxo resultante é para fora, enquanto que se $q < 0$ o fluxo é para dentro.

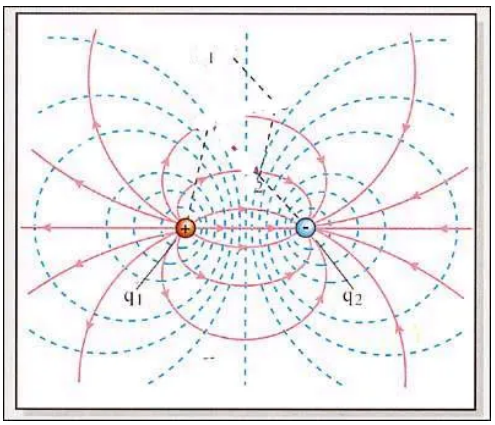


Figura 5 - Resultante do fluxo do campo elétrico.

Por fim, vale ressaltar que uma carga que está externa a superfície gaussiana não é contabilizada em q. Além disso, para uma carga que está dentro da superfície gaussiana, a sua forma ou o local exato onde ela se encontra não importa. O que realmente faz diferença é o sinal da carga resultante no sistema.

2.4. Densidade de Corrente

Pode-se definir corrente elétrica como a movimentação de elétrons livres causado por uma diferença de potencial em um meio condutor. Ela pode ser classificada em dois tipos: corrente contínua e corrente alternada.

Na corrente contínua, os elétrons se movimentam em um único sentido, enquanto que na corrente alternada o movimento dos elétrons é periodicamente invertido por causa da alternância do potencial aplicado.

Ademais, existe também outra classificação que está relacionada ao sentido da corrente. No sentido real, os elétrons se deslocam do polo negativo até o positivo. Já no sentido convencional o fluxo de elétrons ocorre do polo positivo para o negativo.

O cálculo da corrente elétrica pode ser calculada da seguinte forma:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

onde i é a corrente, ΔQ é o módulo da carga elétrica que passa pelo condutor e Δt se trata de um intervalo de tempo. Na forma diferencial, a fórmula para se obter a corrente fica:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

isto é, se trata da derivada da quantidade de carga em relação ao tempo. De acordo com o SI a corrente elétrica é dada em Ampère (A).

Quando o objetivo é conhecer o fluxo de cargas elétricas através da secção de reta de um material condutor até determinado local de um circuito utiliza-se o cálculo da densidade de corrente elétrica $(\bar{J})$ dado por:

$$i = \int \bar{J} \,.\, d\bar{A}$$

onde, $d\bar{A}$ é o vetor área do elemento. De acordo com o SI, a unidade da densidade de corrente é ampére por metro quadrado (A/m^2).

2.5. Campos Magnéticos

Campo magnético se trata de uma região no espaço onde cargas elétricas têm seus movimentos alterados devido a aplicação de uma força magnética. A grandeza do campo magnético é o Testa (T) em homenagem ao cientista Nikola Tesla. Assim como o campo elétrico, o campo magnético é de caráter vetorial. Esse tipo de campo pode ser gerado por ímãs.

As linhas de campo magnético são fechadas e não se cruzam. Nesse viés, quanto mais próximas elas estiverem, maior será a intensidade magnética em um determinado local. O lado onde saem as linhas de campo em um magneto é conhecido como norte magnético e o lado onde as linhas entram é chamado de sul magnético.

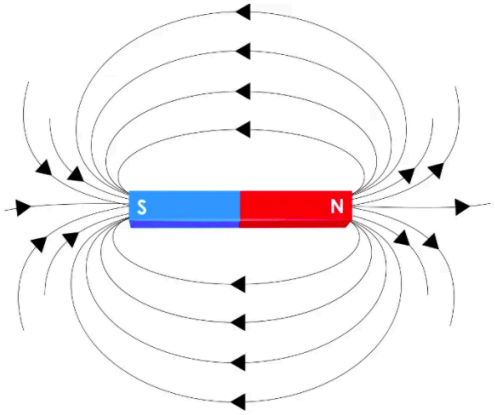


Figura 6 - Ilustração de linhas de campo saindo do polo norte e entrando no polo sul.

Nesse sentido, é possível afirmar que não existem monopolos magnéticos, isto é, todo campo magnético deve ter polo norte e sul.

Um campo magnético pode ser também gerado por uma corrente elétrica. Quando uma corrente atravessa um fio circular reto, um campo magnético é formado ao seu redor. Assim, é possível traçar as linhas de indução como está representada na ilustração a seguir.

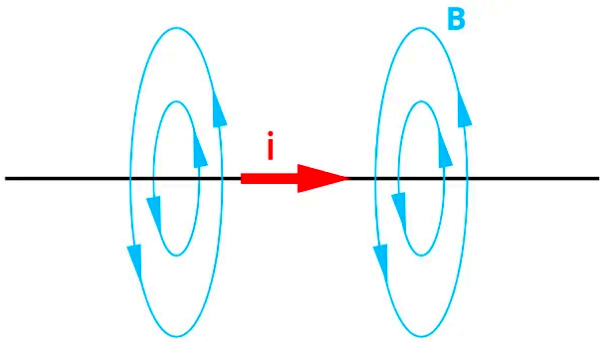


Figura 7 - Campo magnético sobre um fio condutor retilíneo.

Desse modo, o campo magnético ($\overline{B}$) produzido por uma corrente pode ser calculado como:

$$\overline{B} = \frac{\mu_0 i}{2\pi R}$$

onde, μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo $\mu_0 = 4\pi.10^{-7} T.m/A$, i é a corrente elétrica (A) e R a distância do fio em metros (m). Essa é conhecida como a Lei de Ampére.

Agora, quando se quer calcular o campo magnético gerado no interior de uma espira, usa-se a mesma fórmula, porém sem a presença do π no cálculo. Assim:

$$\overline{B} = \frac{\mu_0 i}{2R}$$

Além disso, também é importante saber o valor de uma força existente em um campo magnético. A força magnética é se trata da força de atração ou repulsão exercida por objetos magnéticos, como o ímã, por exemplo. O cálculo para obtenção da força magnética F_B é dado por:

$$\overline{F_B} = |q|.\overline{v}.\overline{B}.sen\theta$$

onde, q é o módulo da carga elétrica, $\overline{v}$ é a velocidade da carga elétrica, $\overline{B}$ o campo magnético e $sen\theta$ o seno do ângulo entre $\overline{v}$ e $\overline{B}$.

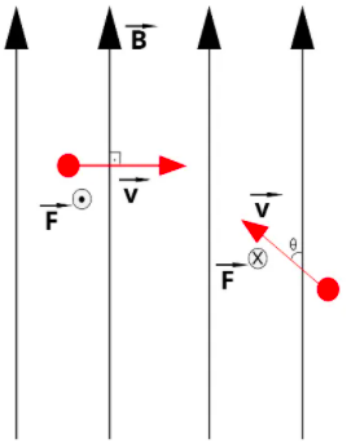


Figura 8 - Formação do ângulo θ entre $\overline{v}$ e $\overline{B}$.

Até aqui, foram apresentados os conceitos de campos elétricos e magnéticos. Dessa forma, é possível apresentar o famoso campo eletromagnético. Basicamente, o seu conceito se resume a um ambiente onde existem tanto cargas elétricas quanto cargas magnéticas. Assim, a movimentação de cargas acontece de forma ondulatória gerando as ondas eletromagnéticas.

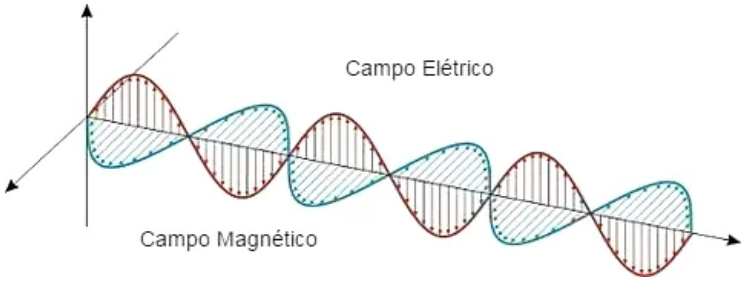


Figura 9 - Ilustração do campo elétrico e magnético perpendiculares entre si.

Sabe-se que a força magnética se trata de um vetor que possui direção e sentido. Para facilitar a compreensão usa-se os princípios da regra da mão direita para encontrar o sentido de $\overline{F_B}$, $\overline{v}$ e $\overline{B}$.

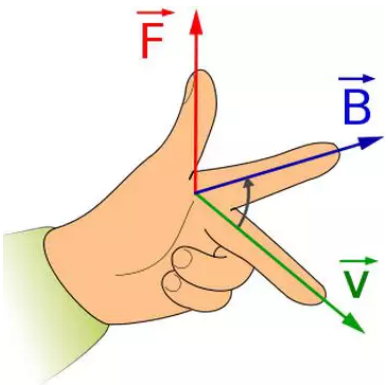


Figura 10 - Representação dos sentidos de $\overline{F_B}$, $\overline{v}$ e $\overline{B}$ usando a regra da mão direita.

2.6. Princípio da Indução

Os princípios da indução eletromagnética foram descobertos pelo experimentalista Michael Faraday e Joseph Henry em 1831. Esse conceito afirma que quando ocorre a variação de um campo magnético perto de um condutor causa o surgimento de uma força eletromotriz induzida. A Lei de Faraday-Lenz explica o aparecimento da força eletromotriz induzida em bobinas inseridas em um campo magnético variável, onde essa variação detém módulo, direção e sentido.

Essa variação do campo magnético aumenta ou diminui a quantidade de linhas de campo que passam pela área de um condutor. Isso é chamado de fluxo magnético (Φ). Essa grandeza é medida em Weber ($Wb\ ou\ T/s$) e depende de três fatores: a intensidade do campo magnético, a área do condutor e o ângulo formado entre as linhas de campo e a direção normal à área do condutor. Matematicamente, a fórmula do fluxo é dada por:

$$\Phi = B.A.cos\theta$$

onde B é o campo magnético, A é a área do condutor (m^2) e θ é o ângulo entre o campo magnético e a direção normal à área.

Além disso, pode-se também é importante introduzir o conceito de força eletromotriz induzida, conhecida como *fem*. Ela se trata de um potencial elétrico dinâmico, onde usa unidade de medida é em Volts (V). Ela é necessária para compensar a variação do fluxo do campo magnético. É o *fem* o responsável por criar uma corrente elétrica induzida. Ela pode ser calculada como:

$$\epsilon = -\frac{d\Phi}{dt}\ \textit{(Lei de Faraday)}$$

onde ε é a força eletromotriz induzida e $d\Phi$ é a variação do fluxo magnético e dt a variação do tempo.

2.7. Leis de Maxwell

As equações de Maxwell foram postuladas através das Lei de Gauss, Lei de Ampère e a Lei de Faraday. A seguir, observa-se a primeira equação usando os princípios da Lei de Gauss.

$$\oint \overline{E}.d\overline{A} = \frac{q_{env}}{\varepsilon_0}$$

Ela relaciona o fluxo elétrico às cargas elétricas envolvidas. Enquanto isso, a segunda equação também usa os princípios da Lei de Gauss porém voltados para o conceito de magnetismo. Ela é dada por:

$$\oint \overline{B}.d\overline{A} = 0$$

Percebe-se que essa equação relaciona o fluxo magnético às cargas magnéticas envolvidas. Já a terceira equação parte dos fundamentos da Lei de Faraday e é dada por:

$$\oint \overline{E}.\overline{ds} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Com isso, pode-se perceber que há uma relação entre um campo elétrico induzido à variação de fluxo magnético.

Por fim, observa-se a última relação encontrada que é:

$$\oint \overline{B}.\overline{ds} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i_{env}$$

Ela relaciona o campo magnético induzido à variação do fluxo elétrico e à corrente.

2.8. Efeito Motor

Antes de explicar sobre o efeito motor, é necessário introduzir o conceito de torque e sua importância no funcionamento dos motores elétricos. O torque nada mais é do que uma grandeza vetorial acoplada às forças que rotacionam um corpo. No caso de um carro, o seu motor é capaz de gerar essa força. Um veículo que gera muita força de torque em baixas rotações fornece agilidade.

Outra grandeza que é bastante usada é a potência que é a energia gerada depois de um intervalo de trabalho. No caso de automóveis, a potência pode ser dada pela multiplicação do torque pela rotação do motor em um período. Sabe-se que o princípio do funcionamento dos motores elétricos está ligado aos conceitos do eletromagnetismo. Dentro do motor existem os polos norte e sul responsáveis por gerar um campo elétrico. Quando uma bateria fornece energia para o rotor, uma corrente elétrica gerada passa pelas bobinas e cria uma força magnética que produz o torque que faz o rotor girar na tentativa de alinhar os polos.

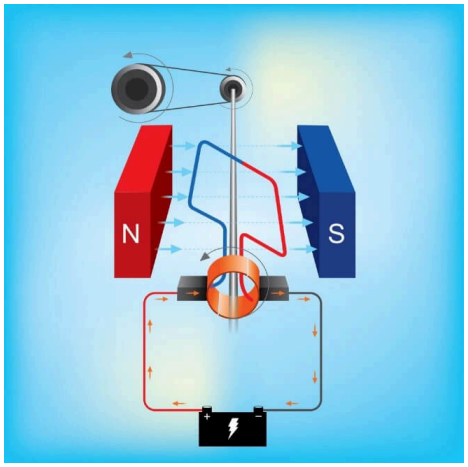


Figura 11 - Esquema simples mostrando o funcionamento de um motor elétrico.

Com isso, o efeito motor se trata da ação de uma força que tende a movimentar o rotor no sentido perpendicular ao campo magnético.

3. Materiais e Métodos

O experimento a ser descrito foi usado para simular o efeito motor. Para isso, utilizou-se os seguintes materiais:

- Pilha de 1,5V;
- Cobre esmaltado;
- Fios;
- Papelão;
- Papel ofício;
- Cola branca;
- Tesoura;
- Alicate de corte;
- Ferro de solda;
- Fio de estanho;
- Cola quente;
- Ímã;
- Estilete.

Primeiramente, foi cortado com uma tesoura um pedaço de papelão de forma retangular com dimensões de 15x9cm. Em seguida, o pedaço de papelão cortado foi revestido com uma folha de papel ofício, apenas para fins estéticos. Esses procedimentos são necessários para obter o suporte do experimento.



Figura 12 - Resultado do recorte e revestimento do suporte.

Depois, foram realizados furos no suporte com a tesoura para permitir a passagem de alguns pedaços de fios.

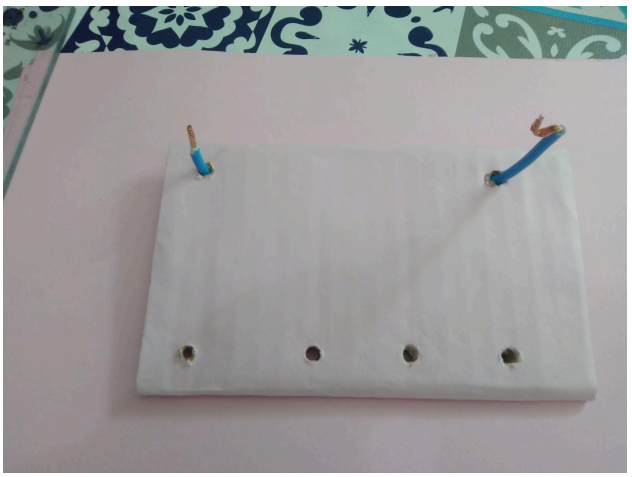


Figura 13 - Furos realizados no suporte para a passagem de fios.

A distância entre os furos onde está inserido o fio é de aproximadamente 11 cm. Já os dois furos que estão entre os furos das pontas tem uma distância de por volta 3,5 cm. Vale ressaltar que eles só são necessários caso queira inserir um botão ou uma chave que abre e fecha o circuito. No caso da montagem realizada neste experimento, foi feita uma espécie de gancho na ponta de um dos lados de um fio menor para enrolar na outra extremidade onde ficará localizado o polo negativo da pilha. O fio maior mostrado na *Figura 13* possui 19 cm enquanto que os dois fios menores possuem 9 cm.



Figura 14 - Esquema do gancho para fechar o circuito quando for utilizá-lo.

Em seguida, foi montado um enrolamento que representa o rotor do sistema. Para isso, usou-se um pedaço de fio de cobre esmaltado. Para montar o rotor é preciso deixar uns 5 cm de fio de cobre sobrando nas pontas e dá umas três voltas com dois dedos das mãos para criar as espiras. Depois, deve-se raspar as pontas do rotor com um estilete para riscar o esmalte do cobre.

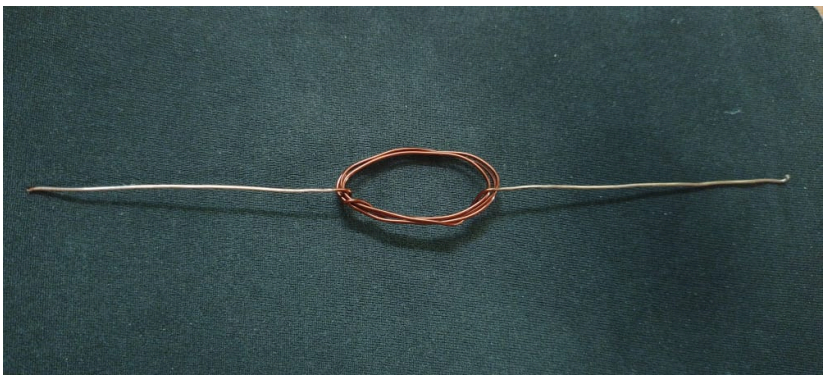


Figura 15 - Imagem do rotor usado no experimento.

Ademais, é preciso passar todos os fios para poder usar cola quente para pregar a pilha no suporte. Percebe-se que é necessário fazer um gancho nas pontas dos fios que estão na frente da pilha para encaixar o rotor.

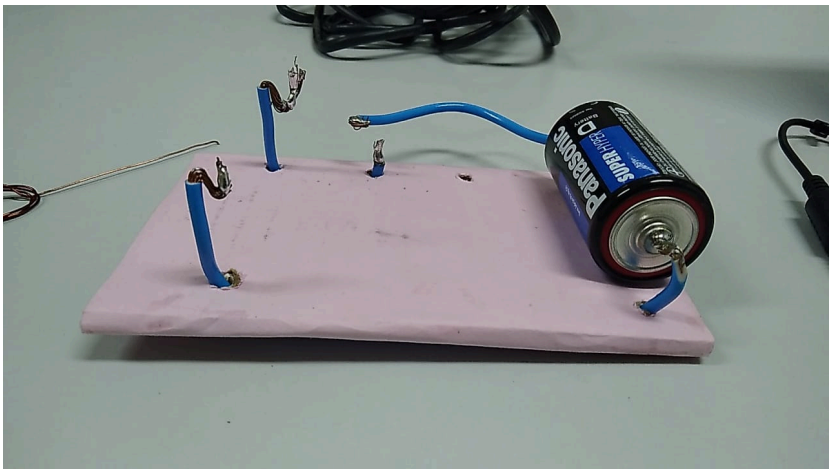


Figura 16 - Fios inseridos no sistema e pilha pregada no suporte.

Agora, usou-se um ferro de solda e estanho para soldar os fios nos polos positivo e negativo da pilha e as pontas dos fios onde ficará pendurado o rotor, com o fito de melhorar a condutividade do circuito. Por fim, foi inserido o ímã no sistema abaixo do rotor que deve está pendurado nos ganchos dos fios. A *Figura 17* mostra o experimento finalizado.

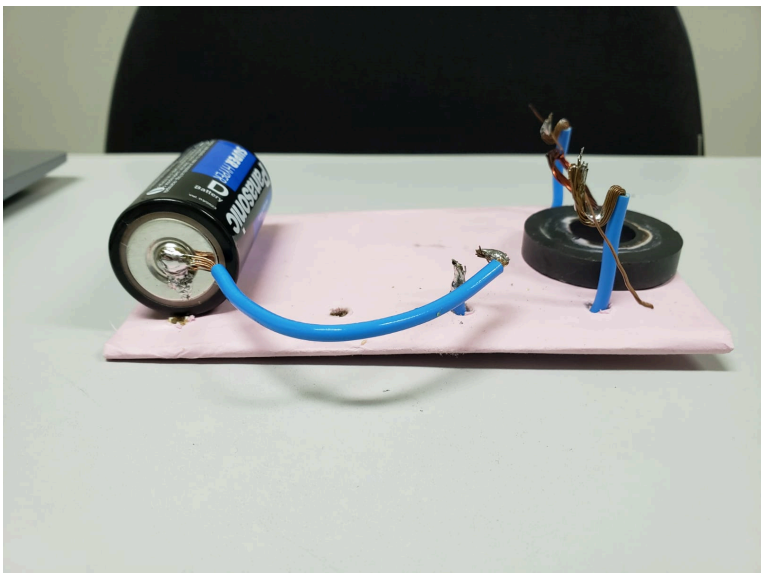


Figura 17 - Resultado final da montagem do experimento.

4. Resultados e Discussões

Após a realização do experimento foi possível observar que os fundamentos básicos do eletromagnetismo são válidos, no que se refere ao funcionamento dos motores elétricos.

O experimento que explora esses princípios funciona da seguinte forma: a pilha fornece uma corrente contínua para o rotor que está num espaço que possui uma força magnética gerada pelo imã. Com isso, cria-se um campo eletromagnético em função do campo magnético $\overline{B}$, a corrente $\overline{i}$ e a força $\overline{F}$.

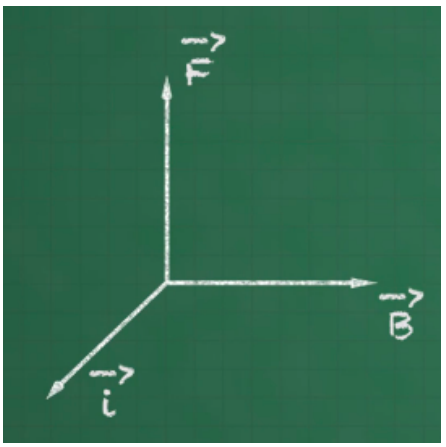


Figura 18 - Representação dos vetores de força, corrente e campo magnético.

O campo magnético é responsável por direcionar o sentido da força magnética criada para fazer o rotor girar para a esquerda ou para a direita. É por esse motivo que quando o ímã é virado para o outro lado, o rotor muda o lado da sua rotação, uma vez que as linhas de campo mudam de sentido. Essa mudança de sentido se deve, como foi mostrado na fundamentação teórica, ao fato das linhas saírem do polo norte e entrarem no polo sul. Assim, quando o ímã é virado o polo norte fica no lugar do polo sul e vice-versa. O movimento realizado pelo rotor compreende uma demonstração do efeito

motor que ocorre em grandes sistemas que utilizam motores elétricos para geração de energia mecânica.

5. Conclusão

Entender o eletromagnetismo através de atividades experimentais dá uma noção sobre onde encontrar aplicações pertencentes a esse ramo de estudo, mas também observar a interdisciplinaridade que existe com outras áreas da física e da química. No que se refere a engenharia, aprender sobre eletromagnetismo facilita a compreensão do comportamento de circuitos elétricos, principalmente quando está sendo realizada a análise de circuitos indutivos e capacitivos.

Voltado aos motores elétricos, uma aplicação prática bastante forte é na robótica. Os motores são usados para movimentar os membros superiores e inferiores de um robô humanoide, mas também em carrinhos seguidores de linha que auxiliam a robótica educacional.

Por fim, com o desenvolvimento deste projeto foi possível adquirir uma maior familiarização com os conteúdos teóricos de eletromagnetismo. Compreender o funcionamento de um motor elétrico deixa nítido que todos os conceitos de eletricidade e magnetismo são úteis e aplicáveis na criação de tecnologias que auxiliam a sociedade.

6. Referências

TEIXEIRA, Mariane Mendes. "O que é carga elétrica?"; Brasil Escola. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-carga-eletrica.htm. Acesso em 10 de julho de 2022.

PEREIRA, Jonathan. "Teoria dos semicondutores e o diodo semicondutor"; Docentes IFRN. Disponível em: https://docente.ifrn.edu.br/jonathanpereira/disciplinas/eletronica-analogica/aula-2-teoria-de-semicondutores. Acesso em 10 de julho de 2022.

HELERBROCK, Rafael. "Lei de Coulomb"; Brasil Escola. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/fisica/lei-coulomb.htm. Acesso em 10 de julho de 2022.

HELERBROCK, Rafael. "Campo elétrico"; Brasil Escola. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/fisica/campo-eletrico.htm. Acesso em 10 de julho de 2022.

DIPOLOS ELÉTRICOS. Responde Ai, 2022. Disponível em: https://www.respondeai.com.br/conteudo/fisica/eletricidade/dipolos-eletricos/322. Acesso em: Acesso em 10 de julho de 2022.

CAVALCANTE, Kleber. Lei de Gauss. Mundo Educação, 2022. Disponível em: https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/lei-gauss.htm. Acesso em 10 de julho de 2022.

HELERBROCK, Rafael. "Corrente elétrica"; Brasil Escola. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/fisica/corrente-eletrica.htm. Acesso em 10 de julho de 2022.

DENSIDADE DE CORRENTE ELÉTRICA. Wikipédia, 2022. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Densidade_de_corrente_el%C3%A9trica. Acesso em 10 de julho de 2022.

HELERBROCK, Rafael. "Campo magnético"; Mundo Educação. Disponível em: https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/campo-magnetico.htm. Acesso em 10 de julho de 2022.

CAMPO MAGNÉTICO. Toda Matéria, 2022. Disponível em: https://www.todamateria.com.br/campo-magnetico/. Acesso em 10 de julho de 2022.

HELERBROCK, Rafael. "O que é força magnética?"; Brasil Escola. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-forca-magnetica.htm. Acesso em 10 de julho de 2022.

INDUÇÃO MAGNÉTICA: O QUE É, RESUMO, EXPERIÊNCIAS E APLICAÇÕES. Stoodi, 2020. Disponível em: https://www.stoodi.com.br/blog/fisica/inducao-eletromagnetica/#:~:text=Indu%C3%A7%C3%A3o%20eletromagn%C3%A9tica%20%C3%A9%20um%20fen%C3%B4meno,fluxo%20que%20atravessa%20tal%20campo. Acesso em 10 de julho de 2022.

HELERBROCK, Rafael. "Indução eletromagnética"; Brasil Escola. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/fisica/a-inducao-eletromagnetica.htm. Acesso em 10 de julho de 2022.

GOUVEIA, Rosimar. Lei de Faraday. Toda Matéria, 2022. Disponível em: https://www.todamateria.com.br/lei-de-faraday/. Acesso em 10 de julho de 2022.

SANTOS, Marco Aurélio da Silva. "Eletricidade: Acionamento de Motores Elétricos"; Brasil Escola. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/fisica/eletricidade-acionamento-motores-eletricos.htm. Acesso em 10 de julho de 2022.

MANAVELLA, Humberto. Motores Elétricos I – conceitos básicos e configurações mais utilizadas em aplicações automotivas. Grupo Oficina Brasil, 2017. Disponível em: https://www.oficinabrasil.com.br/noticia/tecnicas/motores-eletricos-i-conceitos-basicos-e-configuracoes-mais-utilizadas-em-aplicacoes-automotivas. Acesso em 10 de julho de 2022.

HELERBROCK, Rafael. "Torque"; Brasil Escola. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/fisica/torque-uma-forca.htm. Acesso em 10 de julho de 2022.

SCHUNCKE, Alex. O que é uma Usina hidrelétrica e como funciona?; Oficina da Net. Disponível em:

https://www.oficinadanet.com.br/post/10269-usina-hidreletrica. Acesso em 10 de julho de 2022.

COMO FUNCIONA O MOTOR DE UM CARRO ELÉTRICO. Neo Charge, 2022. Disponível em: https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/motor-como-funciona. Acesso em 10 de julho de 2022.

Eletromagnetismo: Visão geral, Imã e Regra da mão direita. Planejativo, 2022. Disponível em: https://app.planejativo.com/ver-aula/319/material-de-apoio/resumo/fisica-3/eletromagnetismo-visao-geral-ima-e-regra-da-mao-direita. Acesso em 10 de julho de 2022.

Força magnética sobre carga elétrica. Usp, 2022. Disponível em: http://wiki.stoa.usp.br/images/4/42/For%C3%A7a_magn%C3%A9tica_sobre_carga_el%C3%A9trica.pdf. Acesso em 10 de julho de 2022.

Eletromagnetismo - Tema 18 - Fenômenos Associados à Relatividade dos Campos - Experimento 1: Motor Elétrico. USP, 2022. Disponível em: https://eaulas.usp.br/portal/video?idItem=6061. Acesso em 10 de julho de 2022.

Halliday, David, 1916-Fundamentos de física, volume 3: eletromagnetismo / Halliday, Resnick, Jearl Walker: tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi-Rio de Janeiro: LTC. 2009.