



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RIO GRANDE - FURG
INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA E FÍSICA (IMEF)
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 21 (MNPEF – FURG)

Oswaldo de Lira Aguiar Júnior

PRODUTO EDUCACIONAL:
APRENDENDO A FÍSICA DO MOTOR
ELÉTRICO NO ENSINO MÉDIO

Rio Grande - RS,

2023

APRENDENDO A FÍSICA DO MOTOR ELÉTRICO NO ENSINO MÉDIO

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: APRENDENDO A FÍSICA DO MOTOR ELÉTRICO NO ENSINO MÉDIO, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 21 – FURG / IMEF, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador(es):

Prof^o Dr Luís Dias Almeida

Prof^o Dr Everaldo Arashiro

Rio Grande – RS,
2023

Ficha Catalográfica

A282p Aguiar Júnior, Osvaldo de Lira.

Produto educacional : aprendendo a física do motor elétrico no ensino médio / Osvaldo de Lira Aguiar Júnior. – Rio Grande, RS : FURG, 2023.

120 f.

Produto Educacional da Dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física, sob a orientação do Dr. Luís Dias Almeida e Dr. Everaldo Arashiro.

Disponível em: <https://ppgmnpef.furg.br/dissertacoes>

1. Eletromagnetismo 2. Ensino de física 3. Corrente elétrica 4. Campo magnético 5. Força magnética I. Almeida, Luís Dias II. Arashiro, Everaldo III. Título.

CDU 537

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001, pelo apoio ao presente trabalho.

À minha esposa Rita de Cássia e a minha filha Cássia Sofia pela compreensão e paciência nesta caminhada, pela amizade sincera e pelo amor verdadeiro.

Aos meus pais Osvaldo de Lira Aguiar e Tereza Lourdes Alberto Torres pelo dom da vida e por me guiarem pelo caminho do estudo, e aos irmãos Osvaldo Filho, Patrick, Raphael, Anderson e suas famílias pela amizade sincera, incentivo e pensamento positivo.

À minha avó Odila (In Memoriam) por seu amor e incentivo verdadeiros durante a minha vida e por acreditar que eu conseguiria chegar a este ponto da minha vida.

Ao coronel César Menezes Maia, capitão Fellipe Lennon Meneses Oliveira, capitão Miguel Arcanjo Vasques Severo, minha profunda gratidão por fazer este sonho se tornar realidade ao apoiarem este projeto.

Aos integrantes do 22º GAC AP, Grupo Uruguaiana, pela paciência, camaradagem e apoio nesta caminhada.

Ao professor Luís Dias Almeida e professor Everaldo Arashiro pelos valiosos ensinamentos científicos, orientação, compreensão, incentivo durante o curso e reflexões proporcionadas nesta trajetória.

Aos professores integrantes do MNPEF do polo 21 - FURG pelos ensinamentos, contribuições na minha formação acadêmica e por esta oportunidade ímpar de participar deste excelente curso e poder transformar a educação no meu país.

Aos professores integrantes do MNPEF do polo 50 – UFRGS, onde comecei minha caminhada rumo a realização deste projeto, pela oportunidade que tive de iniciar meus estudos e pela atenção e apoio que sempre me prestaram.

Aos companheiros de curso, tanto da UFRGS – polo 50, como da FURG – polo 21, pela amizade e companheirismo durante esta caminhada.

Ao professor Jorge Reinaldo da Silveira Fernandes, diretor do Instituto Estadual Elisa Ferrari Valls e ao professor Felipe Couto de Carvalho, vice-diretor do Instituto Estadual Elisa Ferrari Valls, pelo apoio e confiança no presente projeto.

À professora Maiara Buttenbender pela atenção, paciência e boa vontade em sempre poder ajudar este professor nos momentos de dúvida.

Aos alunos da turma 3º B pela paciência, atenção, motivação, camaradagem e pela oportunidade de aplicar este produto educacional. A razão de existir do professor é o aluno.

Aos meus amigos que de alguma forma contribuíram com bons pensamentos ou palavras para a realização deste trabalho e do curso como um todo.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
AULA 1	2
AULA 2	2
AULA 3	7
AULA 4	14
AULA 5	18
AULA 6.....	26
AULA 7.....	32
AULA 8.....	36
AULA 9.....	42
AULA 10.....	48
AULA 11.....	49
AULA 12	53
APÊNDICE I – ROTEIRO DE EXPERIMENTOS.....	61
APÊNDICE II – MATERIAL TEÓRICO FOTOCOPIADO.....	85

**APÊNDICE III – QUESTIONÁRIO PRÉ-ATIVIDADE, QUESTIONÁRIO PÓS –
ATIVIDADE E TESTE DE OPINIÃO.....111**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....118

INTRODUÇÃO

O presente produto educacional faz parte da dissertação “Aprendendo a Física do Motor Elétrico no Ensino Médio” apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e tem por finalidade ser um instrumento a ser usado por outros professores em suas aulas para torná-las diferentes das aulas tradicionais, despertando a curiosidade nos alunos do ensino médio. Além disso, este produto educacional buscou abordar uma unidade didática deste ramo da física, o eletromagnetismo, através de um caderno de experimentos, que buscou fazer com que o aluno relacionasse a teoria, muitas vezes vista como abstrata, dos conceitos de eletromagnetismo com aplicações práticas e através disso construísse o seu próprio conhecimento.

O presente trabalho também buscou se adaptar à realidade de qualquer escola brasileira, visto que para a construção dos experimentos são utilizados materiais de baixo custo como pilhas, fios de cobre esmaltado e ímãs, que podem ser encontrados em lojas de aparelhos eletrônicos, não necessitando de locais e meios mais elaborados como laboratórios de ciências e salas de informática, e sendo que os experimentos podem ser facilmente montados em sala de aula.

O presente trabalho pode ser desenvolvido juntamente com os conteúdos de corrente elétrica, campo magnético e força magnética, mas para isso é ideal que os alunos tenham conhecimentos prévios de alguns conteúdos de eletrostática e eletrodinâmica, tais como carga elétrica, diferença de potencial elétrico, campo elétrico, resistência elétrica, entre outros.

Este produto educacional, em sua parte de fundamentação pedagógica, utilizou a teoria sócio construtivista de Lev Vygotsky, no que diz respeito à interação social entre os alunos e o professor durante a aprendizagem, a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, no que diz respeito aos subsunçores e à predisposição para aprender, e a teoria da aprendizagem por descoberta e do currículo em espiral de Jerome Bruner, no que diz respeito ao aluno buscar o seu próprio aprendizado descobrindo o que está aprendendo e relacionando com conhecimentos prévios provenientes de séries anteriores.

O presente trabalho foi realizado em uma turma de terceira série do ensino médio em 12 aulas de um período de 40 minutos, mas pode ser adaptado a depender da carga horária semanal da turma.

AULA 1

OBJETIVO GERAL:

- Introduzir a proposta educacional de forma a abordar os conteúdos a serem trabalhados no presente projeto.

OBJETIVO ESPECÍFICO:

- Apresentar de forma rápida a história e algumas utilizações cotidianas dos conteúdos a serem trabalhados no presente produto educacional;

DESENVOLVIMENTO:

Sugere-se que o professor apresente o filme de curta duração “A História do Eletromagnetismo”, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=EOrQnkL9IxY> no YouTube, que trata da história e da evolução do eletromagnetismo e da eletricidade de forma a desenvolver a motivação dos alunos para a aprendizagem dos conteúdos que foram ensinados nas aulas subseqüentes.

Ao término do filme, o professor pode distribuir aos alunos o roteiro dos experimentos que foram montados nas aulas posteriores (apêndice 1) e o material teórico fotocopiado com os conteúdos de eletromagnetismo que são trabalhados ao longo da aplicação deste produto educacional (apêndice 2).

AULA 2

OBJETIVO GERAL:

- Realizar o questionário pré-atividade;

OBJETIVO ESPECÍFICO:

- Identificar possíveis defasagens de aprendizagem dos alunos de conceitos anteriores de eletrostática e eletrodinâmica;

DESENVOLVIMENTO:

Inicialmente, com os alunos dispostos individualmente, o professor pode propor o seguinte questionário pré-atividade:

1) O que você entende por corrente elétrica?

- a) é o movimento efetivo dos prótons por um fio condutor.
- b) é o movimento efetivo dos elétrons por um fio condutor.
- c) é uma força que conduz os elétrons através do fio condutor.
- d) é uma força que conduz os prótons através do fio condutor.

2) Qual destas afirmações melhor define campo magnético?

- a) é uma região do espaço em torno de um condutor percorrido por uma corrente ou em torno de um ímã.
- b) é uma região do espaço em torno de um condutor percorrido por uma corrente, apenas.
- c) é uma região do espaço em torno de um ímã, apenas.
- d) é uma região do espaço em torno de um resistor ôhmico.

3) O campo magnético pode ser definido como uma grandeza

- a) vetorial, que é definida por direção e sentido.
- b) escalar, que é definida por módulo, direção e sentido.
- c) vetorial, que é definida por módulo, direção e sentido.
- d) escalar, que é definida por direção e sentido.

4) Você saberia dizer qual substância líquida Michael Faraday utilizou na construção do seu motor elétrico como solução eletrolítica?

- a) água e sal.
- b) água e açúcar.

- c) mercúrio.
- d) cobre fundido.

5) Como são determinados o sentido e a direção da força magnética?

- a) Pela Regra da Mão Direita.
- b) Pela Regra da Exclusão de Pauli.
- c) Pela Regra do Paralelogramo para vetores perpendiculares.
- d) Pela Regra da Soma de Vetores.

6) Um segmento de fio condutor de 2 metros de comprimento está imerso em um campo magnético de 0,5 T, e é atravessado por uma corrente elétrica de 1 A. Sabendo-se que o fio é perpendicular à direção de propagação do campo magnético, qual é o módulo da força magnética no fio?

- a) 1 N.
- b) 2 N.
- c) 3 N.
- d) 4 N.

7) Em qual destes objetos não se utiliza motor elétrico?

- a) bate-deira.
- b) liquidificador.
- c) máquina de lavar roupas.
- d) trem a vapor.

8) Qual destas afirmações melhor define força magnética?

- a) é uma interação gerada por um campo magnético no campo magnético de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo magnético.
- b) é uma interação gerada por um campo magnético no campo elétrico de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo magnético.
- c) é uma interação gerada por um campo elétrico no campo magnético de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo elétrico.
- d) é uma interação gerada por um campo elétrico no campo elétrico de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo elétrico.

9) Como são chamadas as linhas do campo magnético de um ímã e qual o seu sentido?

- a) linhas de magnetização, e o sentido é do polo norte para o polo sul do ímã.
- b) linhas de indução, e o sentido é do polo norte para o polo sul do ímã.
- c) linhas de magnetização, e o sentido é do polo sul para o polo norte do ímã.
- d) linhas de indução, e o sentido é do polo sul para o polo norte do ímã.

O questionário pré-atividade, por se tratar de uma atividade avaliativa em que o professor precisa conhecer possíveis defasagens de aprendizagem em conhecimentos de eletrostática e eletrodinâmica e possíveis conhecimentos prévios de eletromagnetismo, se apresenta como um problema fechado e possui como gabarito as seguintes respostas:

1) O que você entende por corrente elétrica?

- a) é o movimento efetivo dos prótons por um fio condutor.
- b) é o movimento efetivo dos elétrons por um fio condutor.
- c) é uma força que conduz os elétrons através do fio condutor.
- d) é uma força que conduz os prótons através do fio condutor.

2) Qual destas afirmações melhor define campo magnético?

- a) é uma região do espaço em torno de um condutor percorrido por uma corrente ou em torno de um ímã.
- b) é uma região do espaço em torno de um condutor percorrido por uma corrente, apenas.
- c) é uma região do espaço em torno de um ímã, apenas.
- d) é uma região do espaço em torno de um resistor ôhmico.

3) O campo magnético pode ser definido como uma grandeza

- a) vetorial, que é definida por direção e sentido.
- b) escalar, que é definida por módulo, direção e sentido.
- c) vetorial, que é definida por módulo, direção e sentido.
- d) escalar, que é definida por direção e sentido.

4) Você saberia dizer qual substância líquida Michael Faraday utilizou na construção do seu motor elétrico como solução eletrolítica?

- a) água e sal.

b) água e açúcar.

c) mercúrio.

d) cobre fundido.

5) Como são determinados o sentido e a direção da força magnética?

a) Pela Regra da Mão Direita.

b) Pela Regra da Exclusão de Pauli.

c) Pela Regra do Paralelogramo para vetores perpendiculares.

d) Pela Regra da Soma de Vetores.

6) Um segmento de fio condutor de 2 metros de comprimento está imerso em um campo magnético de 0,5 T, e é atravessado por uma corrente elétrica de 1 A. Sabendo-se que o fio é perpendicular à direção de propagação do campo magnético, qual é o módulo da força magnética no fio?

a) 1 N.

b) 2 N.

c) 3 N.

d) 4 N.

7) Em qual destes objetos não se utiliza motor elétrico?

a) bateadeira.

b) liquidificador.

c) máquina de lavar roupas.

d) trem a vapor.

8) Qual destas afirmações melhor define força magnética?

a) é uma interação gerada por um campo magnético no campo magnético de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo magnético.

b) é uma interação gerada por um campo magnético no campo elétrico de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo magnético.

c) é uma interação gerada por um campo elétrico no campo magnético de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo elétrico.

d) é uma interação gerada por um campo elétrico no campo elétrico de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo elétrico.

9) Como são chamadas as linhas do campo magnético de um ímã e qual o seu sentido?

a) linhas de magnetização, e o sentido é do polo norte para o polo sul do ímã.

b) linhas de indução, e o sentido é do polo norte para o polo sul do ímã.

c) linhas de magnetização, e o sentido é do polo sul para o polo norte do ímã.

d) linhas de indução, e o sentido é do polo sul para o polo norte do ímã.

AULA 3

OBJETIVO GERAL:

- Apresentar os conceitos iniciais da teoria envolvida no produto educacional;

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Abordar o conceito de campo magnético; e

- Abordar o conceito de corrente elétrica;

DESENVOLVIMENTO:

Nesta terceira aula, com os alunos divididos em grupos de trabalho de 4 ou 5 alunos em cada grupo, o professor pode abordar o seguinte trecho do material fotocopiado (apêndice 2):

INTRODUÇÃO – MODELO ATÔMICO

Os diversos objetos que nos rodeiam são formados por moléculas que são grupos de átomos combinados entre si. Apesar de átomo significar “indivisível” em grego, ele é constituído por prótons, nêutrons e elétrons (e mais algumas outras partículas). Com o passar dos séculos, os cientistas tentando explicar diversos fenômenos que ocorrem na natureza,

chegou ao modelo atômico de Rutherford – Bohr, no qual os prótons que possuem carga elétrica positiva e os neutros que não possuem carga elétrica encontram-se no núcleo atômico, e os elétrons que possuem carga elétrica negativa estão girando ao redor do núcleo atômico na eletrosfera. Diversos experimentos mostraram que a massa de um nêutron é equivalente à massa de um próton, que por sua vez é aproximadamente 1.840 vezes maior que a massa do elétron. Uma ilustração do modelo atômico de Rutherford-Bohr pode ser observada na figura 1 - Modelo atômico de Rutherford – Bohr abaixo.

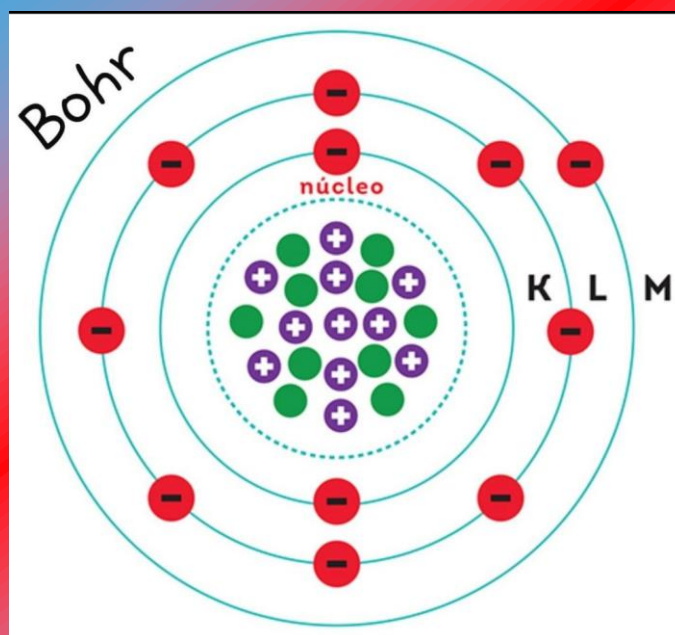


Figura 1 - Modelo atômico de Rutherford – Bohr.

Disponível em: <https://conhecimentocientifico.com/modelos-atomicos-2/>.

Pelo fato dos elétrons se encontrarem na eletrosfera, muito distantes do núcleo atômico, e possuírem massa muito pequena, estão mais propensos que os prótons a se soltarem do átomo e se unirem a outros átomos. Isso ocorre, principalmente, com os elétrons das camadas mais externas.

LIGAÇÃO METÁLICA

As **ligações metálicas** são tipos de ligações químicas que ocorrem entre metais. Elas formam uma estrutura cristalina chamadas de “ligas metálicas” (união de dois ou mais metais). Nas estruturas cristalinas formadas por ligações metálicas ocorre o fenômeno no qual

elétrons das camadas de valência dos metais constituintes desses átomos se soltam para se ligar a outros átomos, e assim sucessivamente, e a este fenômeno denomina-se “nuvem de elétrons”. O modelo de ligação metálica e a “nuvem de elétrons” podem ser observadas na figura 2 - Liga metálica.

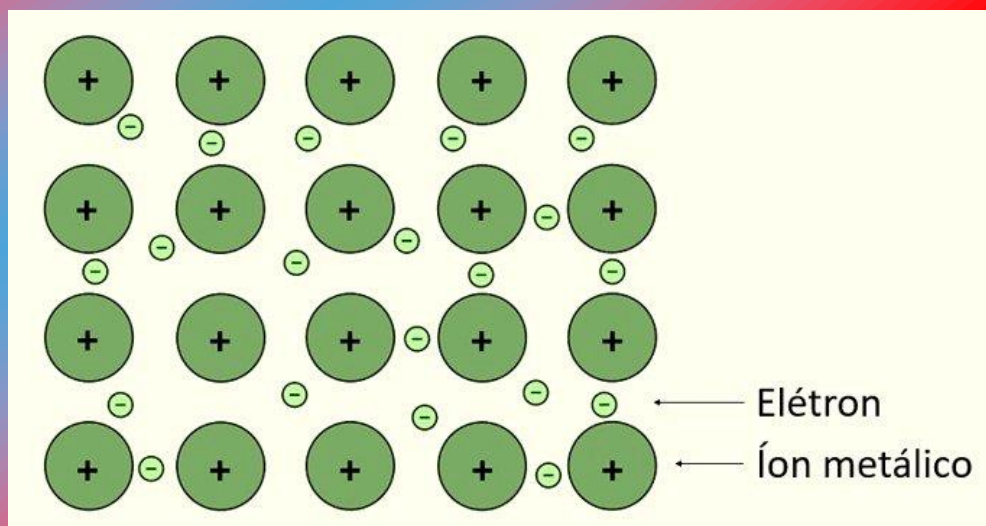


Figura 2 - Liga metálica.

Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/ligacoes-quimicas/>.

DIFERENÇA DE POTENCIAL

Diferença de potencial elétrico é o trabalho realizado pela força potencial elétrica para deslocar uma carga elétrica entre dois pontos distintos de um condutor elétrico. Uma ilustração da definição de diferença de potencial elétrico pode ser observada na figura 3 - Diferença de potencial elétrico.

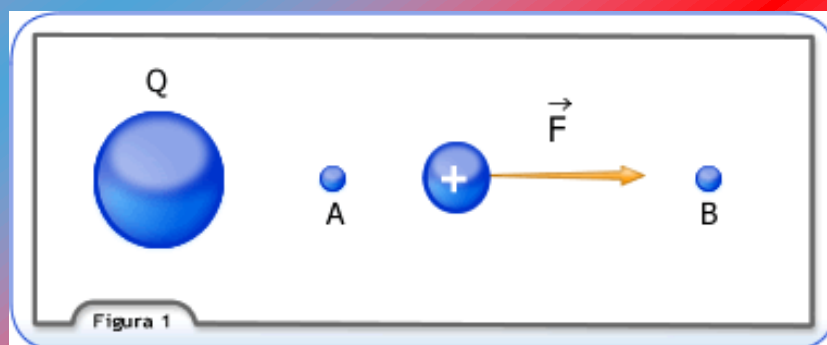


Figura 3 - Diferença de potencial elétrico.

Disponível em: http://uab.ifsul.edu.br/tsiad/conteudo/modulo1/fis/fis_ub/at1/01.html.

CORRENTE ELÉTRICA

A **corrente elétrica** é o movimento efetivo dos elétrons através de um condutor metálico, quando os terminais desse condutor são submetidos a uma diferença de potencial (trabalho realizado pela energia potencial elétrica), em que o potencial elétrico do ponto B é maior que o potencial elétrico do ponto A, oriunda de um gerador. A definição de corrente elétrica pode ser observada na figura 4 - Definição de corrente elétrica.

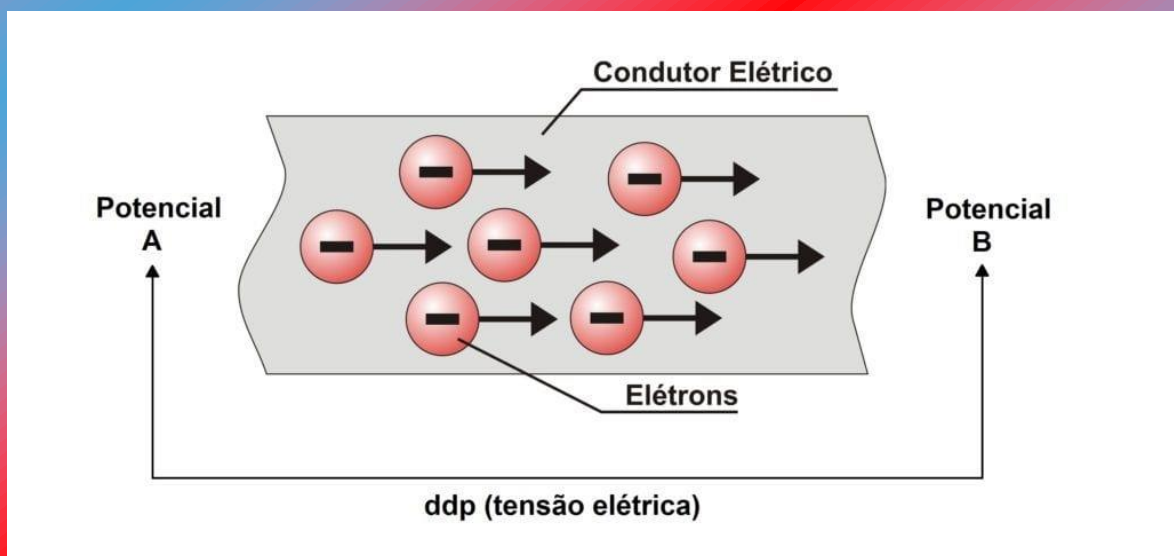


Figura 4 - Definição de corrente elétrica

Fonte: <https://conhecimentocientifico.com/corrente-eletrica/>.

A corrente elétrica também pode ser definida como a quantidade de carga que atravessa a secção transversal de um fio condutor em um determinado intervalo de tempo. A unidade de corrente elétrica no Sistema Internacional de Unidades é o Ampére.

Quando se fala em 1 Ampére, significa que 1 Coulomb de carga atravessa a secção transversal do fio em 1 segundo. Matematicamente, a corrente elétrica é definida por:

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

onde ΔQ é a quantidade de carga que atravessa a secção transversal do fio em um determinado intervalo de tempo Δt . A quantidade de carga é definida matematicamente como $\Delta Q = n \cdot e$, em que n é a quantidade de elétrons e e é a carga elementar do elétron: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

A corrente elétrica pode ser dividida em dois tipos: corrente contínua e corrente alternada.

A **corrente contínua** é aquela que possui sentido, direção e intensidade constantes no tempo. A corrente contínua pode ser gerada por uma pilha ou bateria, por exemplo.

A **corrente alternada** é toda a corrente que muda periodicamente a intensidade e o sentido. A corrente alternada pode ser encontrada nas tomadas das casas com DDPs de 110 V e 220 V, a depender da região do país e com frequência de 60 Hz.

A representação esquemática de corrente contínua e da corrente alternada pode ser observada na figura 5 - Corrente contínua e corrente alternada.

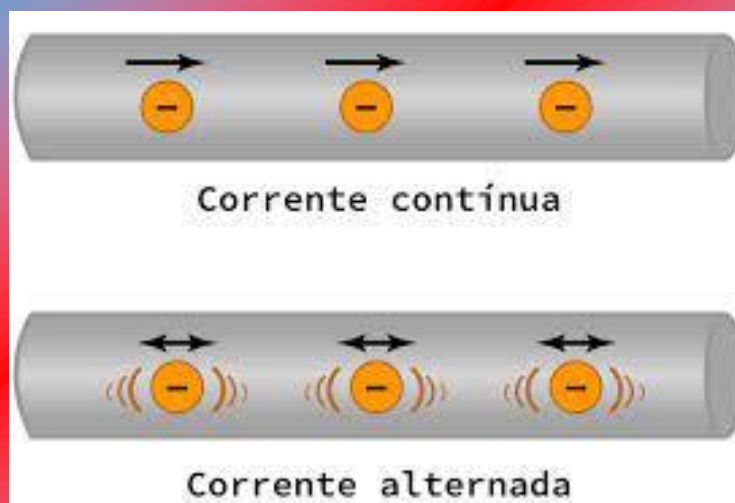


Figura 5 - Corrente contínua e corrente alternada.

Fonte: <https://realizeeducacao.com.br/wiki/corrente-eletrica/>.

A corrente elétrica ainda possui o sentido natural dos elétrons do pólo negativo para o positivo do gerador e o **sentido convencional** dos elétrons, usado no estudo da física, **do pólo positivo para o pólo negativo do gerador**. A representação esquemática do sentido convencional e do sentido real da corrente elétrica pode ser observada na figura 6 - Sentido convencional e sentido real da corrente elétrica.

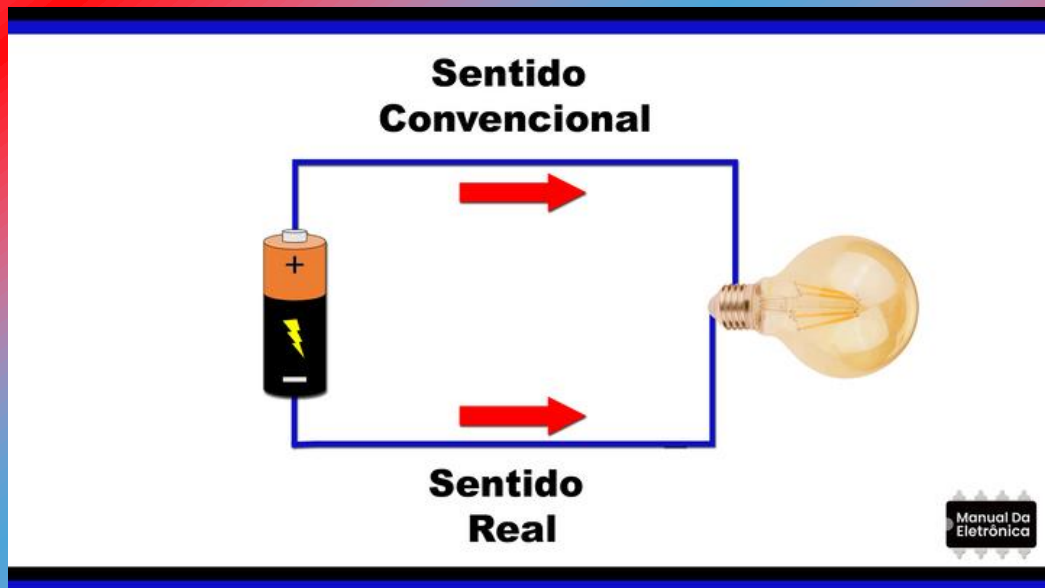


Figura 6 - Sentido convencional e sentido real da corrente elétrica.

Fonte: <https://www.manualdaeletronica.com.br/o-que-e-corrente-eletrica-formulas-caracteristicas/>.

Após isso, o professor, juntamente com os alunos, resolve os seguintes exercícios do material fotocopiado (apêndice 2):

1) Uma secção transversal de um condutor é atravessada por um fluxo contínuo de cargas de 6 C por minuto, o que equivale a uma corrente elétrica em ampéres de:

- a) 60
- b) 6
- c) 1
- d) 0,1
- e) 0,6

RESPOSTA: LETRA D

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{6 \text{ C}}{60 \text{ s}} = 0,1 \text{ A}$$

2) Em uma secção transversal de um fio condutor passa uma carga de 10 C a cada 2 s. Qual a intensidade de corrente neste fio?

- a) 5 A
- b) 20 A
- c) 200 A

d) 20 mA

e) 0,2 A

RESPOSTA: LETRA A

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{10 \text{ C}}{2 \text{ s}} = 5 \text{ A}$$

3) A carga elétrica de um elétron é igual a $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Em 10 segundos, $1,0 \cdot 10^{20}$ elétrons passam pela secção transversal de um condutor. A corrente elétrica média nesse condutor, em ampéres, é igual a

a) 1,6

b) $1,6 \cdot 10$

c) $1,6 \cdot 10^{20}$

d) $1,6 \cdot 10^{19}$

e) $1,6 \cdot 10^{-19}$

RESPOSTA: LETRA A

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{n \cdot e}{\Delta t} = \frac{(1,0 \cdot 10^{20}) \cdot (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})}{10 \text{ s}} = 1,6 \text{ A}$$

O professor pode, ainda, iniciar uma pequena explanação sobre campo magnético, abordando o seguinte trecho do material fotocopiado (apêndice 2):

CAMPO MAGNÉTICO

O campo magnético é toda a região do espaço em torno de um condutor percorrido por uma corrente elétrica ou em torno de um ímã, neste caso devido a particulares movimentos que os elétrons executam no interior dos átomos constituintes deste ímã.

CAMPO MAGNÉTICO DE UM IMÃ

O campo magnético de um ímã é determinado experimentalmente, e por convenção as **linhas de indução** saem do pólo norte do ímã e vão para o pólo sul do ímã. As linhas de indução e os pólos de um ímã em forma de barra podem ser visualizados na figura 7 - Linhas de indução de um ímã.

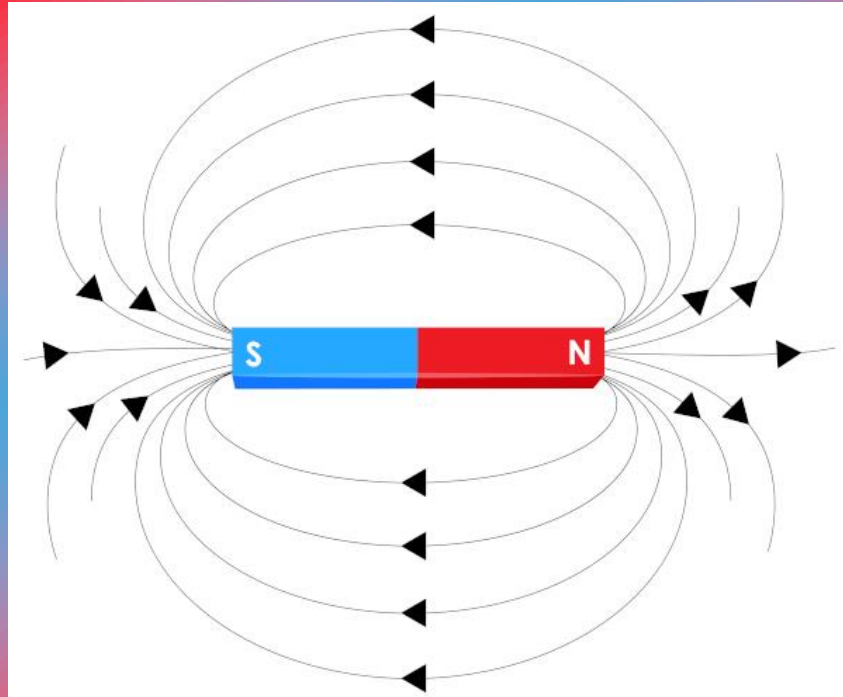


Figura 7 - Linhas de indução de um ímã.

Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/campo-magnetico.htm>.

O princípio da inseparabilidade dos pólos de um ímã é o fenômeno no qual ao se dividir um ímã, dois novos ímãs menores serão criados, ambos com pólos norte e sul. Outro fenômeno importante a ser observado nos ímãs é que pólos de mesmo nome se repelem e pólos de nomes distintos se atraem.

AULA 4

OBJETIVO GERAL:

- Construir o experimento “limalhas de ferro” e relacioná-lo ao conceito de campo magnético.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Abordar o conceito de campo magnético; e
- Abordar o conceito de linhas de indução como parte do campo magnético de um ímã.

DESENVOLVIMENTO:

Nesta quarta aula com os alunos divididos em grupos de trabalho de 4 ou 5 alunos em cada grupo, sugere-se que o professor volte a falar sobre campo magnético e proponha o experimento 1 – “limalhas de ferro” do roteiro de experimentos (apêndice 1):

ROTEIRO DO EXPERIMENTO 1- LIMALHAS DE FERRO

MATERIAIS UTILIZADOS

- recipiente transparente de plástico;
- limalhas de ferro;
- óleo mineral;
- 1 (um) imã; e
- 1 (uma) bandeja transparente (presente na figura “Linhas de indução de um imã.”)

Alguns dos materiais utilizados para a execução do experimento “Limalhas de ferro” podem ser observados na figura 1.1 - Materiais para o experimento “Limalhas de Ferro”.



Figura 1.1 - Materiais para o experimento “Limalhas de Ferro”.

Fonte: o autor.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Coloca-se limalha de ferro dentro do recipiente transparente de plástico e em seguida coloca-se óleo mineral, e utilizando um ímã, verifica-se as linhas de indução que formam nas limalhas de ferro ao se aproximar o ímã, conforme a figura 1.2 - Experimento “Limalhas de Ferro” abaixo.



Figura 1.2 - Experimento “Limalhas de Ferro”.

Fonte: o autor.

OBJETIVOS DO EXPERIMENTO

O presente experimento tem como objetivos fazer com que os alunos verifiquem experimentalmente a existência de linhas de indução provenientes do campo magnético do ímã e relacionar a teoria estudada com a prática do experimento.

EXERCÍCIOS

1) Qual o fenômeno observado ao se aproximar o ímã do recipiente que contém as limalhas de ferro e o óleo mineral?

RESPOSTA: As limalhas de ferro se “arrepriavam” formando linhas de indução na presença do campo magnético do ímã.

2) Qual é a direção e o sentido das linhas de indução deste ímã natural?

RESPOSTA: Direção: longitudinal ao ímã; e sentido: do pólo norte indo para o pólo sul do ímã.

3) Se ao invés de limalhas de ferro, fossem colocadas limalhas de plástico, tal fenômeno seria observado? Porquê?

RESPOSTA: O plástico não se moveria do lugar, ao contrário do que acontece com as limalhas de ferro, por não ser um material ferromagnético a temperatura e pressão ambientes, ou seja, seu comportamento não pode ser influenciado pelo campo magnético do ímã nesta situação.

O professor pode retomar a explicação aos alunos que todo o ímã tem dois pólos (pólo norte e pólo sul), e que são inseparáveis mesmo quebrando o ímã, e que o campo magnético do ímã pode ser definido por linhas de indução que parte, do pólo norte em direção ao pólo sul e deve ilustrar o conceito de linhas de indução de um ímã através da demonstração com limalhas de ferro, uma bandeja transparente e um ímã, conforme pode ser observado na figura 1.3 - “Linhas de indução de um ímã” abaixo.

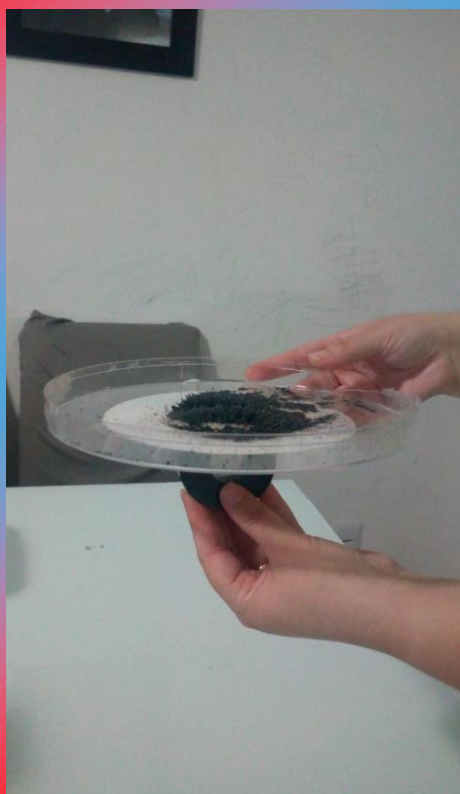


Figura 1.3 - Linhas de indução de um ímã.

Fonte: o autor.

Após isso, o professor pode explicar aos alunos que pólos de mesmo nome se repelem e pólos de nomes opostos se atraem, e os alunos poderão verificar esse princípio através da seguinte demonstração com dois ímãs, conforme pode ser observado na figura 1.4 – Dois ímãs.



Figura 1.4 - Dois ímãs.

Fonte: o autor.

AULA 5

OBJETIVO GERAL:

- Construir o experimento “eletroímã” e aprofundar o conceito de campo magnético para diversas situações.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Abordar o conceito de campo magnético de um fio reto condutor de corrente elétrica;
- Abordar o conceito de campo magnético de uma espira circular percorrida por uma corrente elétrica; e

- Abordar o conceito de campo magnético de um solenóide percorrido por uma corrente elétrica;

DESENVOLVIMENTO:

Nesta terceira aula, com os alunos divididos em grupos de trabalho de 4 ou 5 alunos em cada grupo, sugere-se que o professor aborde o seguinte trecho do material fotocopiado (apêndice 2):

CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR UM FIO RETO CONDUTOR

O campo magnético de um condutor reto percorrido por uma corrente i em relação a um plano vertical em relação a uma secção reta do fio forma **circunferências concêntricas** ao redor desse fio condutor, ou seja, as linhas de indução do seu campo magnético são circunferências concêntricas situadas em planos perpendiculares ao fio condutor. A representação das linhas de indução que representam o campo magnético de um fio condutor percorrido por uma corrente elétrica pode ser observada na figura 8 - Campo magnético de um fio condutor percorrido por corrente elétrica.

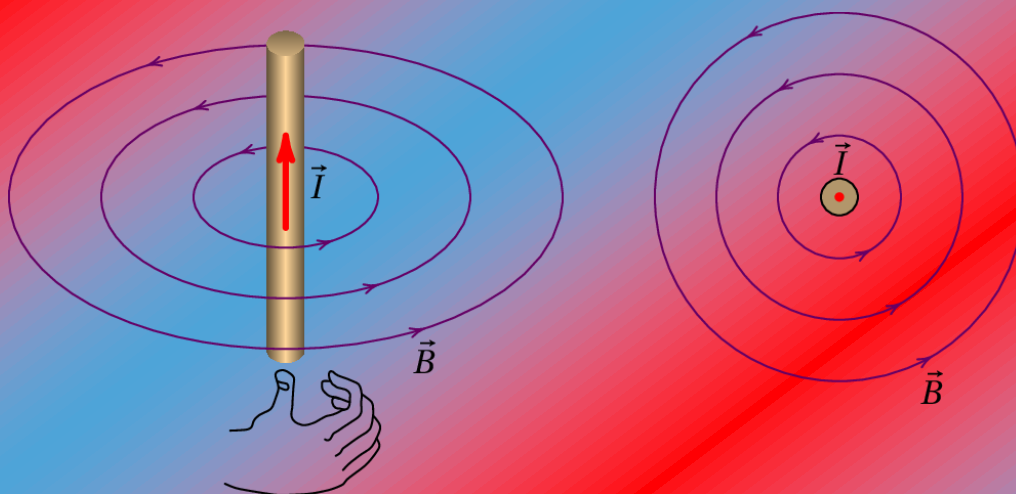


Figura 8 - Campo magnético de um fio condutor percorrido por corrente elétrica.

Fonte: https://villate.org/electricidade/campo_magnetico.html.

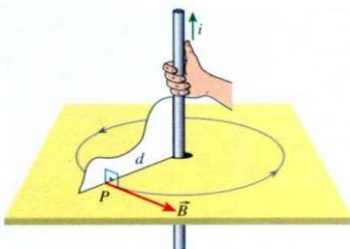
O vetor campo magnético de um fio reto percorrido por uma corrente elétrica em relação a um ponto P localizado a uma distância d num plano perpendicular ao fio condutor possui as seguintes características:

- **Intensidade:** definida por $B = \frac{\mu i}{2 \pi d}$
- **Direção:** tangente a linha de indução que passa pelo ponto P.

Um slide com as características e uma representação gráfica das características e das linhas de indução do campo magnético gerado por uma corrente elétrica pode ser observado na figura 9 - Campo magnético gerado por corrente elétrica.

Campo magnético gerado por corrente elétrica

Fio retilíneo e longo:



$$B = \frac{\mu \cdot i}{2\pi d}$$

Onde:
B: módulo do vetor campo magnético (T-Tesla)
i: corrente elétrica (A)
d: distância perpendicular entre o fio condutor e o ponto P onde se encontra o vetor campo magnético (m)
μ: permeabilidade magnética do meio

No vácuo:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \quad (\text{SI})$$

Profº Carlos Alberto <http://www.fisicacomcarlos.blogspot.com>

Figura 9 - Campo magnético gerado por corrente elétrica.

Fonte: <https://docplayer.com.br/13023925-Magnetismo-campo-magnetico.html>.

- **Sentido** (complementando as características do campo magnético gerado por uma corrente elétrica): determinado pela regra da mão direita, com os quatro dedos perfazendo uma circunferência em torno do condutor, conforme mostra a figura 10 - Regra da mão direita – campo magnético.

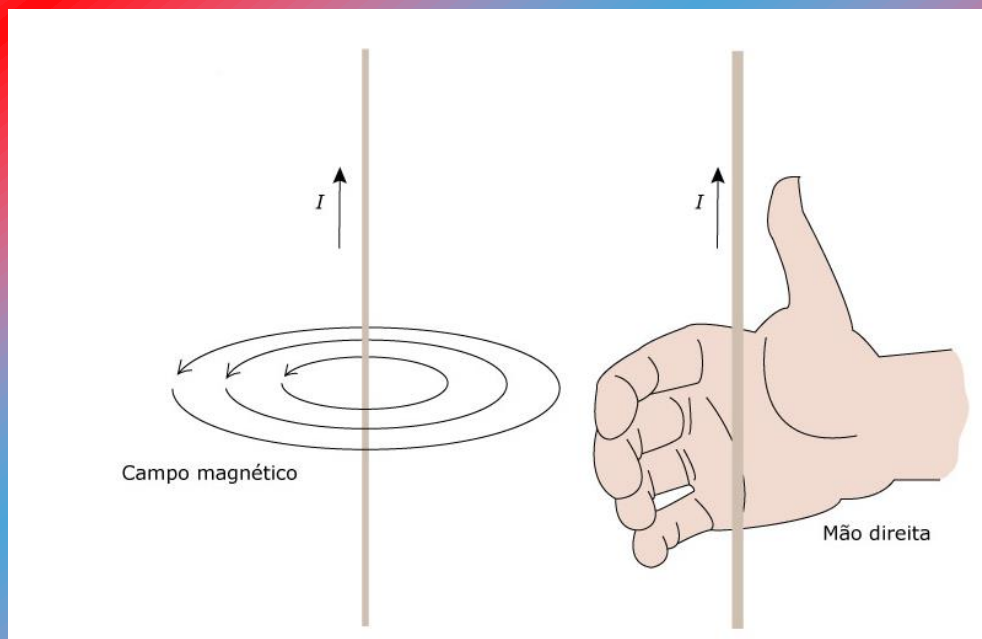


Figura 10 - Regra da mão direita – campo magnético.

Fonte: <https://infoenem.com.br/estudando-a-lei-do-ampere-e-a-regra-da-mao-direita/>.

CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR UMA ESPIRA CIRCULAR

O vetor campo magnético gerado por uma espira circular de raio r e percorrida por uma corrente elétrica i é paralelo ao eixo que passa pelo centro da espira, e é determinado da seguinte forma:

- **Intensidade:** $B = \frac{\mu i}{2r}$, onde μ é a permeabilidade magnética do meio, i é a corrente elétrica que atravessa o condutor e r é o raio da espira.
- **Direção:** paralela ao eixo que passa pelo centro da espira.
- **Sentido:** determinado pela regra da mão direita, com os quatro dedos perfazendo uma circunferência em torno do condutor.

A representação gráfica do campo magnético gerado por uma espira circular pode ser observada na figura 11 - Campo magnético gerado por uma espira.

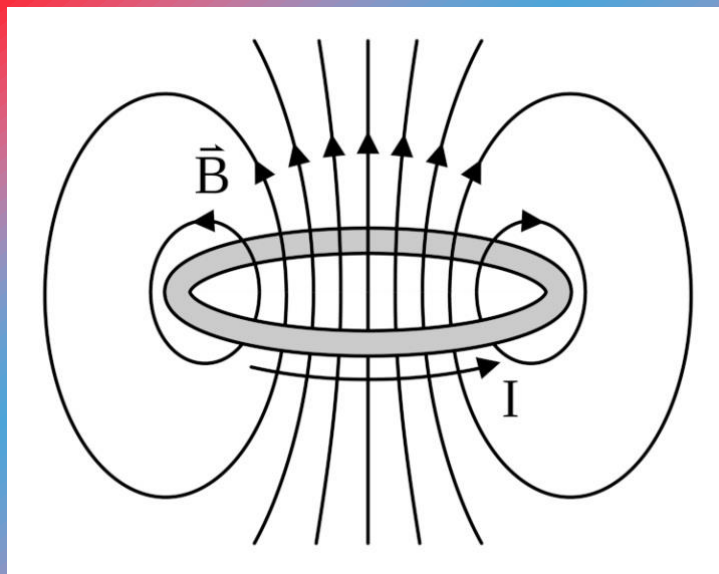


Figura 11 - Campo magnético gerado por uma espira.

Fonte: <https://www.preparaenem.com/fisica/campo-magnetico.htm>.

CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR UM SOLENÓIDE

O vetor campo magnético gerado por um solenóide é paralelo ao eixo do solenóide, sendo constante em seu interior, diminuindo a partir de suas extremidades e sendo desprezível na região externa ao enrolamento. Na região interna, a intensidade do campo magnético B de um solenóide é definida por:

$$B = \frac{\mu N i}{L}$$

onde L é o comprimento do solenóide, i é a corrente que atravessa o solenóide, N é o número de espiras que o solenóide possui e μ é a permeabilidade magnética do meio.

A direção do vetor campo magnético é a direção do eixo do solenóide e o sentido é determinado pela regra da mão direita. O esquema das linhas de indução do campo magnético de um solenóide pode ser observado na figura 12 - Campo magnético de um solenóide.

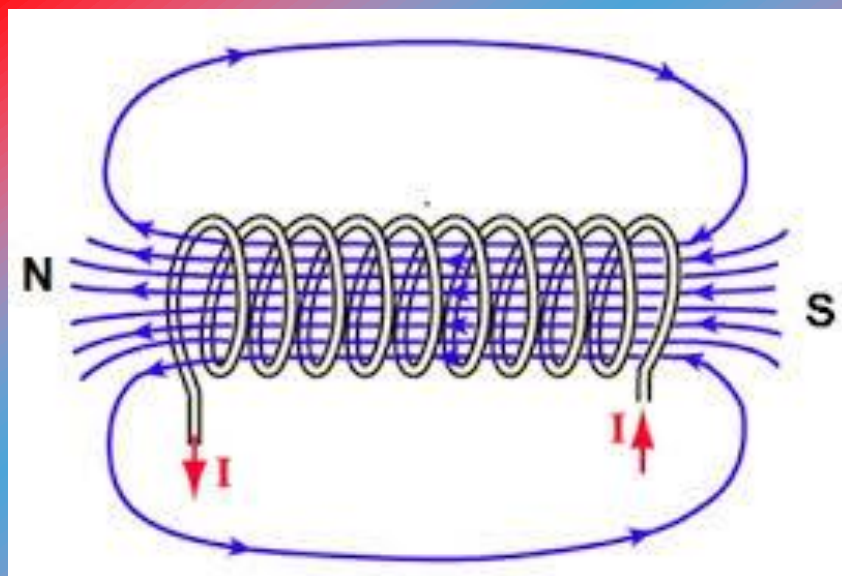


Figura 12 - Campo magnético de um solenóide.

Fonte: <http://www.eletronica24h.net.br/aulaca003.html>.

CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME

O **campo magnético uniforme** é aquele no qual em todos os pontos, o vetor campo magnético \vec{B} possui a mesma intensidade, a mesma direção e o mesmo sentido.

A partir da teoria inicial, os alunos podem montar o experimento 2 – Eletroímã (apêndice 1):

ROTEIRO DO EXPERIMENTO 2 - ELETROIMÃ

MATERIAIS UTILIZADOS

- 1 (um) prego de ferro;
- fio de cobre esmaltado;
- 4 pilhas AA de 1,5 V cada;
- 2 (dois) fios com “jacarés” nas pontas; e
- 1 (um) suporte para associar as 4 pilhas AA de 1,5 V cada em série;
- 1 (uma) moeda de níquel; e
- 1 lápis escolar de madeira.

Os materiais utilizados na construção do experimento 2 – eletroímã (exceto o lápis escolar de madeira e a moeda de níquel) podem ser visualizados na figura 2.1 - Materiais para o experimento “Eletroímã” abaixo.

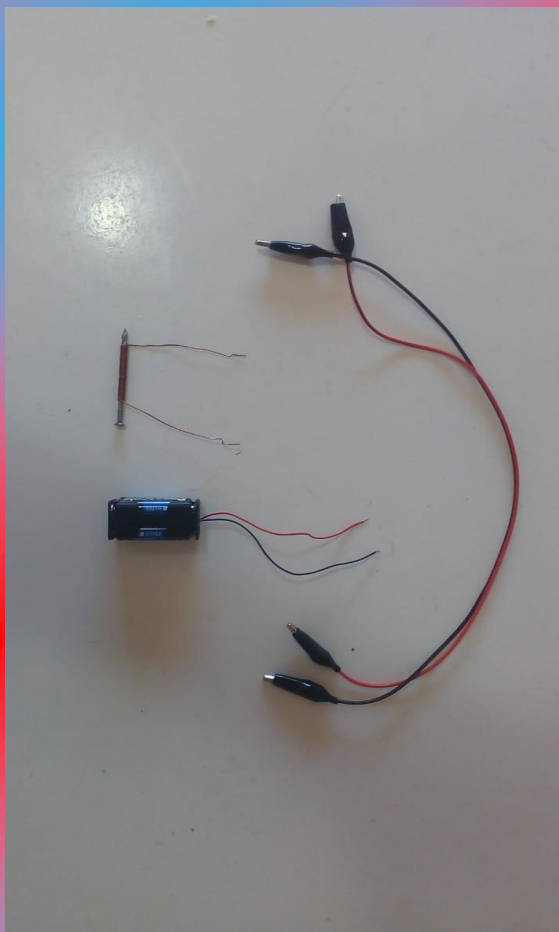


Figura 2.1 - Materiais para o experimento “Eletroímã”.

Fonte: o autor.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Primeiramente, enrola-se o prego de ferro no fio esmaltado de forma a construir um solenóide com o prego dentro e retira-se o esmalte das pontas do fio esmaltado com o estilete. Após isso, associa-se as quatro pilhas AA de 1,5 V em série no suporte e liga-se os dois conjuntos através dos dois fios com “jacarés” nas pontas. O experimento “eletroímã” montado pode ser visualizado na figura 2.2 - Experimento “Eletroímã”. Por fim, aproxima-se algum objeto metálico (de preferência ferromagnético, como uma moeda de níquel), e verifica-se que o prego irá atrair o objeto.

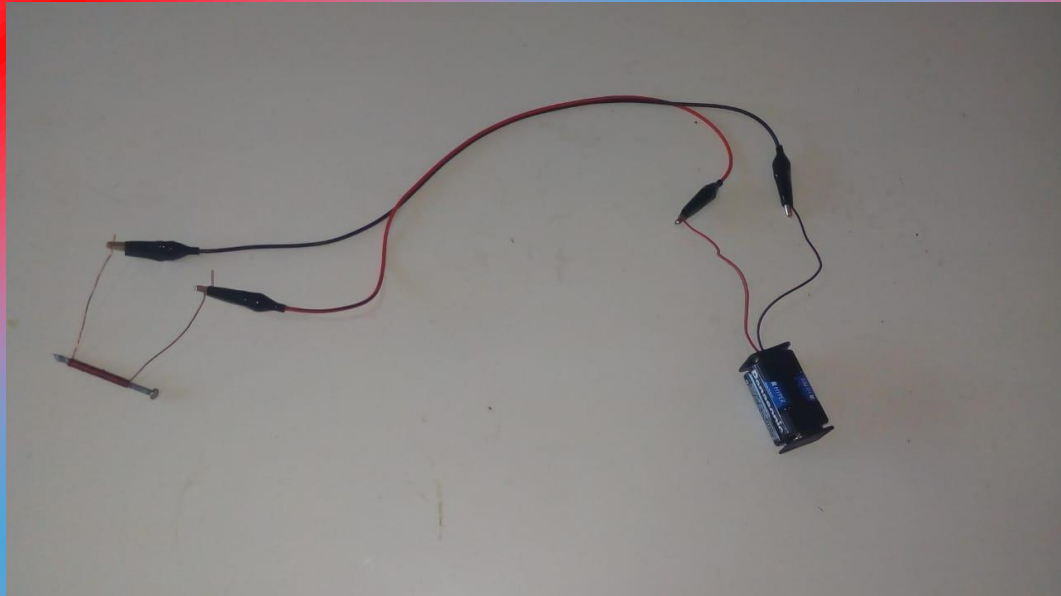


Figura 2.2 - Experimento “Eletroímã”.

Fonte: o autor.

OBJETIVOS DO EXPERIMENTO

O experimento do eletroímã tem como objetivos demonstrar aos alunos que uma corrente elétrica gera um campo magnético ao seu redor, que nesse caso é ampliado pelo solenóide, e relacionar a teoria estudada com a prática do experimento.

EXERCÍCIOS

1) Qual é o fenômeno observado ao se aproximar uma moeda de níquel do solenóide formado pelo prego e o fio esmaltado?

RESPOSTA: A moeda é atraída pelo solenóide.

2) Se um dos fios for desconectado do sistema, o eletroímã continuará a atrair a moeda? Porquê?

RESPOSTA: O eletroímã não continuará a atrair a moeda, porque não haverá passagem de corrente elétrica pelo circuito.

3) Se ao invés de uma moeda de níquel, fosse colocada um lápis escolar, tal fenômeno seria observado? Porquê?

RESPOSTA: Tal fenômeno não seria observado, pois o lápis escolar é feito de madeira, um material que não é sensível ao campo magnético do ímã.

4) Porque acontece tal fenômeno?

RESPOSTA: Tal fenômeno acontece porque a corrente ao passar pelo solenóide gera um campo magnético ao seu redor que é capaz de atrair objetos feitos de metal.

AULA 6

OBJETIVO GERAL:

- Estudar o conceito físico de força magnética;

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Abordar o conceito de força magnética;

- Descrever o conceito de força magnética como uma grandeza vetorial; e

- Estudar a regra da mão direita para definir o sentido e a direção do vetor força magnética;

DESENVOLVIMENTO:

No início da sexta aula, com os alunos divididos em grupos de trabalho de 4 ou 5 alunos em cada grupo, os alunos devem resolver os exercícios do material teórico fotocopiado (apêndice 2) referentes ao conteúdo campo magnético:

1) Quando uma corrente elétrica percorre um condutor, gera em torno dele:

a) um campo magnético.

b) um campo elétrico.

c) um campo gravitacional.

d) dois campos: um magnético e outro gravitacional.

RESPOSTA: LETRA A

2) A materialização das linhas de indução de um imã, através da limalha de ferro, forma um desenho que representa o(a) _____ do imã.

- a) campo magnético.
- b) espectro magnético.
- c) configuração magnética.
- d) zona polarizada.

RESPOSTA: LETRA A

3) Partindo-se um imã em dois pedaços:

- a) um se transforma em pólo norte e outro em pólo sul.
- b) ambos perdem as propriedades magnéticas.
- c) os dois transformam-se em pólos magnéticos idênticos.
- d) formam-se dois novos imãs completos.

RESPOSTA: LETRA D

4) Aproximando-se o pólo norte de um imã do pólo norte de outro imã:

- a) eles se atraem.
- b) nada acontece.
- c) eles se unem.
- d) eles se repelem.

RESPOSTA: LETRA D

5) Aproxima-se um prego de aço, não imantado, de um imã permanente. Nessas condições, pode-se afirmar corretamente que o prego será

- a) repellido por qualquer um dos pólos do imã.
- b) atraído por qualquer um dos pólos do imã.
- c) atraído somente pelo pólo norte do imã.
- d) atraído somente pelo pólo sul do imã.

RESPOSTA: LETRA B

Após isso, sugere-se que o professor aborde o seguinte trecho do material fotocopiado (apêndice 2):

FORÇA MAGNÉTICA

As forças magnéticas são interações que agem no campo magnético gerado por uma carga elétrica em movimento. Essas interações são geradas por um outro campo magnético no qual esta carga elétrica está submetida. O esquema das interações que atuam no campo magnético gerado por cargas elétricas em movimento pode ser observado na figura 13 - Interação de campos magnéticos.

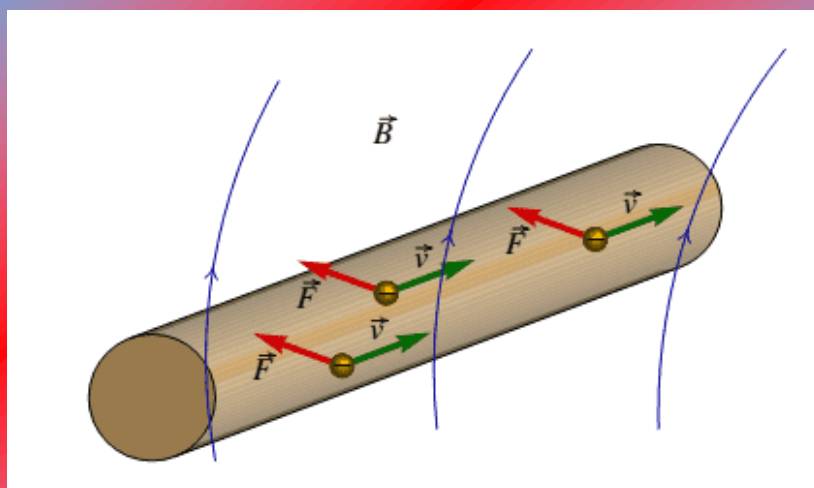


Figura 13 - Interação de campos magnéticos.

Fonte: <https://querobolsa.com.br/enem/fisica/forca-magnetica>.

Se a carga elétrica q se deslocar com uma velocidade v em direção paralela ao campo magnético \vec{B} , ela não ficará sujeita a nenhuma força, logo:

$$F_m = 0 \text{ N}$$

O esquema em que uma carga elétrica se desloca paralelamente a um campo magnético pode ser observado na figura 14 - Carga elétrica se deslocando em direção paralela ao campo.

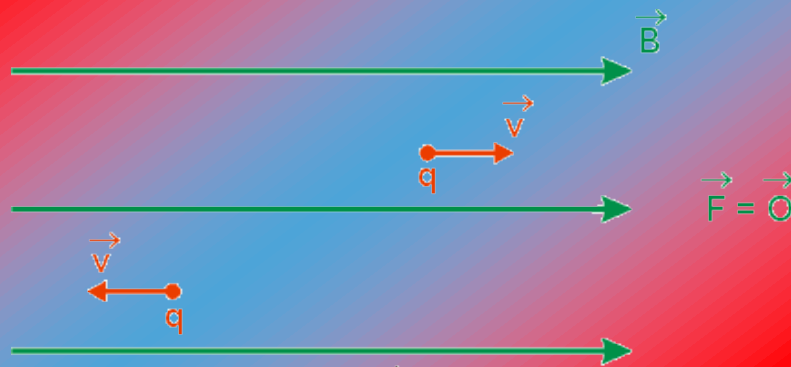


Fig. 1 - Quando \vec{v} e \vec{B} têm a mesma direção, não há força magnética.

Todos os direitos reservados.

Figura 14 - Carga elétrica se deslocando em direção paralela ao campo.

Fonte: https://www.educabras.com/enem/materia/fisica/corrente_eletrica/aulas/forca_magnetica.

Se a carga elétrica q se deslocar com uma velocidade v em uma direção perpendicular ou oblíqua ao campo magnético \vec{B} , o sentido e a direção da força magnética serão determinados pela regra da mão direita, e a sua intensidade será definida por:

$$F_m = B |q| v \text{ sen } \theta$$

O esquema de uma carga elétrica se deslocando perpendicularmente em relação a direção de um campo magnético pode ser observado na figura 15 - Deslocamento perpendicular ou oblíquo da carga elétrica.

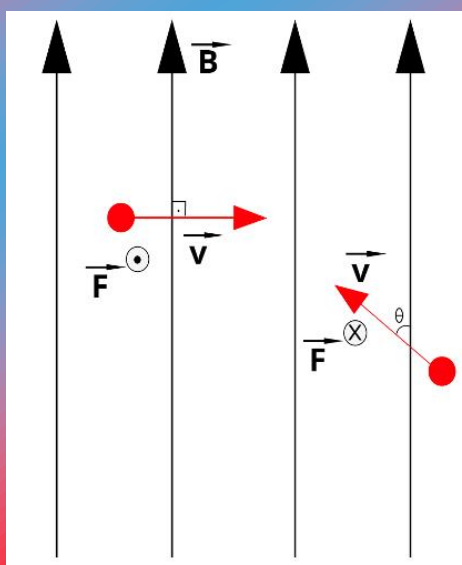


Figura 15 - Deslocamento perpendicular ou oblíquo da carga elétrica.

Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-forca-magnetica.htm>.

A representação esquemática da regra da mão direita pode ser vista na figura 16 - Regra da mão direita.

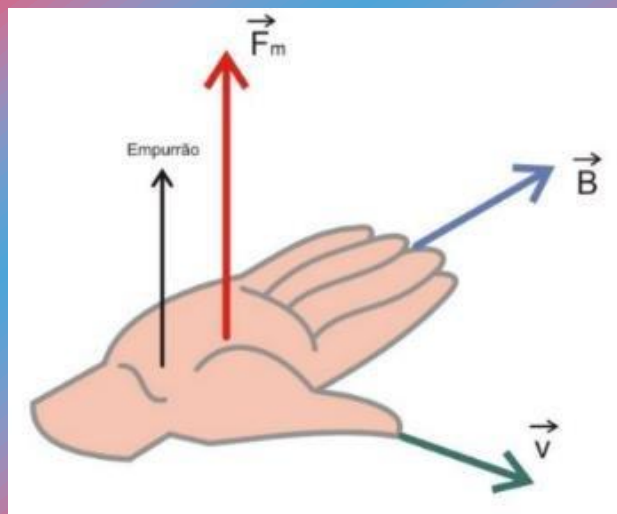


Figura 16 - Regra da mão direita.

Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Regra-da-mao-direita-para-a-forca-magnetica-que-atua-em-uma-carga-Fonte_fig2_334779438.

Partindo da fórmula que define a força magnética exercida por um campo magnético em uma carga q :

$$F_m = B |q| v \sen \theta$$

Pode-se admitir um fio de comprimento L que esteja conduzindo uma corrente elétrica i , conforme a figura 17 - Força magnética em um fio condutor:

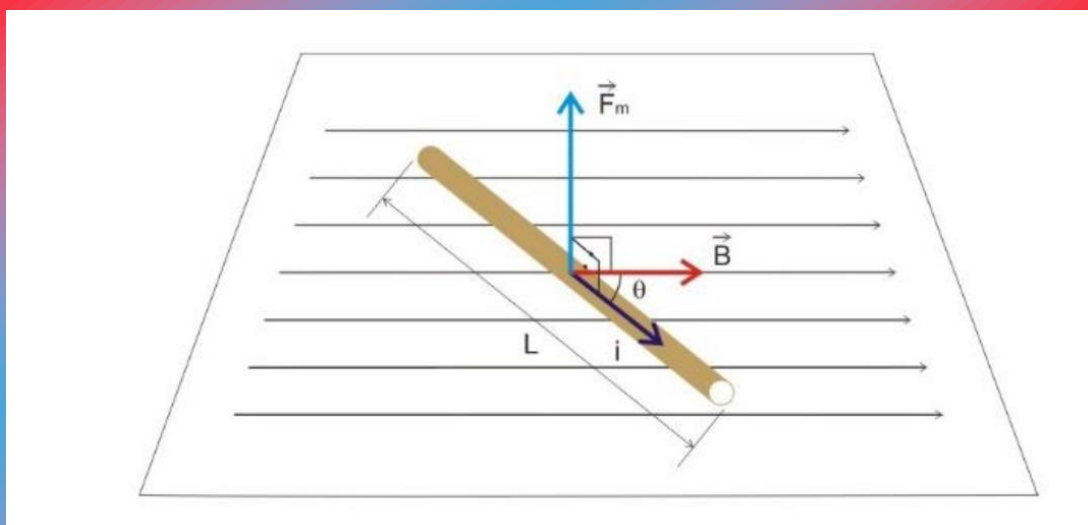


Figura 17 - Força magnética em um fio condutor.

Fonte: <https://www.ufrgs.br/colégiodeaplicacao/wp-content/uploads/2020/11/Semana-33-Fisica-300.pdf>.

Como a velocidade com que a carga q atravessa o fio de comprimento L é definida pelo quociente entre a variação de espaço percorrido e a variação de tempo para percorrer este espaço $v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{L}{\Delta t}$, em que o espaço percorrido é igual ao comprimento do fio, tem-se:

$$F_m = B |q| \frac{L}{\Delta t} \text{ sen } \theta$$

Como a corrente elétrica é a variação de carga que atravessa a seção transversal do fio condutor em um determinado intervalo de tempo $i = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{|q|}{\Delta t}$, tem-se:

$$F_m = B \frac{|q|}{\Delta t} L \text{ sen } \theta$$

Essa fórmula é equivalente a:

$$F_m = B i L \text{ sen } \theta$$

Que é a fórmula que define o módulo da força magnética em um fio condutor em função do campo magnético a que está submetido, da corrente que transporta, do próprio comprimento L do fio e do ângulo que o fio condutor forma com o campo magnético que interage com a sua carga em movimento.

Após isso, o professor, juntamente com os alunos, podem resolver os seguintes exercícios do material fotocopiado (apêndice 2):

1) Calcule a força magnética a que é submetido um fio de 3 metros de comprimento imerso em um campo magnético perpendicular a esse fio de intensidade 2 T, sendo este fio atravessado por uma corrente elétrica de 5 A.

- a) 10 N.
- b) 20 N.
- c) 30 N.
- d) 40 N.

RESPOSTA: LETRA C

$$F_m = B i L \text{ sen } \theta$$

$$F_m = (2 T) \cdot (5 A) \cdot (3 m) \cdot \text{sen } 90^\circ$$

$$F_m = 30 N$$

2) Um segmento de fio condutor de 4 metros de comprimento está imerso em um campo magnético de 0,5 T, e é atravessado por uma corrente elétrica de 2 A. Sabendo-se que o fio é

perpendicular à direção de propagação do campo magnético, qual é o módulo da força magnética no fio?

- a) 1 N.
- b) 2 N.
- c) 3 N.
- d) 4 N.

RESPOSTA: LETRA D

$$F_m = B i L \sen \theta$$

$$F_m = (0,5 T) \cdot (2 A) \cdot (4 m) \cdot \sen 90^\circ$$

$$F_m = 4 N$$

3) O que é força magnética?

- a) é uma interação gerada por um campo elétrico no campo magnético de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo elétrico.
- b) é uma interação gerada por um campo elétrico no campo elétrico de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo elétrico.
- c) é uma interação gerada por um campo magnético no campo magnético de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo magnético.
- d) é uma interação gerada por um campo magnético no campo elétrico de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo magnético.

RESPOSTA: LETRA C

AULA 7

OBJETIVO GERAL:

- Estudar o conceito físico de força magnética através do experimento “motor homopolar”.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Revisar os conceitos de corrente elétrica e campo magnético presentes no experimento; e
- Verificar a aplicação da força magnética no experimento.

DESENVOLVIMENTO:

Nesta sétima aula com os alunos divididos em grupos de trabalho de 4 ou 5 alunos em cada grupo, o professor pode voltar a falar sobre campo magnético e propor o experimento 4 – “motor homopolar” do roteiro de experimentos (apêndice 1):

ROTEIRO DO EXPERIMENTO 4 – MOTOR HOMOPOLAR

MATERIAIS UTILIZADOS

- 3 (três) ímãs de neodímio;
- fio de cobre esmaltado;
- 1 (uma) pilha modelo AA;
- fita isolante;
- tesoura; e
- estilete.

Os materiais utilizados na construção do motor homopolar (com exceção do estilete) podem ser vistos na figura 4.1 - Materiais para o experimento “Motor Homopolar” abaixo.



Figura 4.1 - Materiais para o experimento “Motor Homopolar”

Fonte: o autor.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Primeiramente enrola-se 15 centímetros do fio de cobre esmaltado no formato que aparece na figura 4.2 - Montagem do “Motor Homopolar” – parte 1, e as duas pontas que formarão os terminais do receptor deverão ter o esmalte retirado com o estilete.

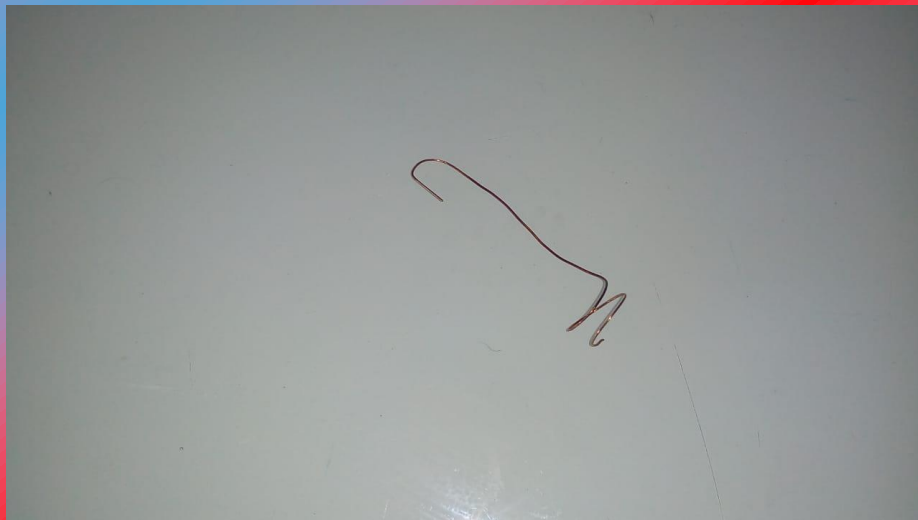


Figura 4.2 - Montagem do experimento “Motor Homopolar” – parte 1.

Fonte: o autor.

Após isso, une-se o pólo negativo da pilha AA aos três ímãs de neodímio e o pólo positivo da pilha AA é enrolado com um pequeno pedaço de fita isolante, como mostra a figura 4.3 - Montagem do “Motor Homopolar” – parte 2, de forma a não permitir que o receptor se solte sozinho da pilha ao girar.



Figura 4.3 - Montagem do experimento “Motor Homopolar” – parte 2.

Fonte: o autor.

36

Finalmente, o fio enrolado é unido à base do motor como mostra a figura 4.4 - Experimento “Motor Homopolar”.

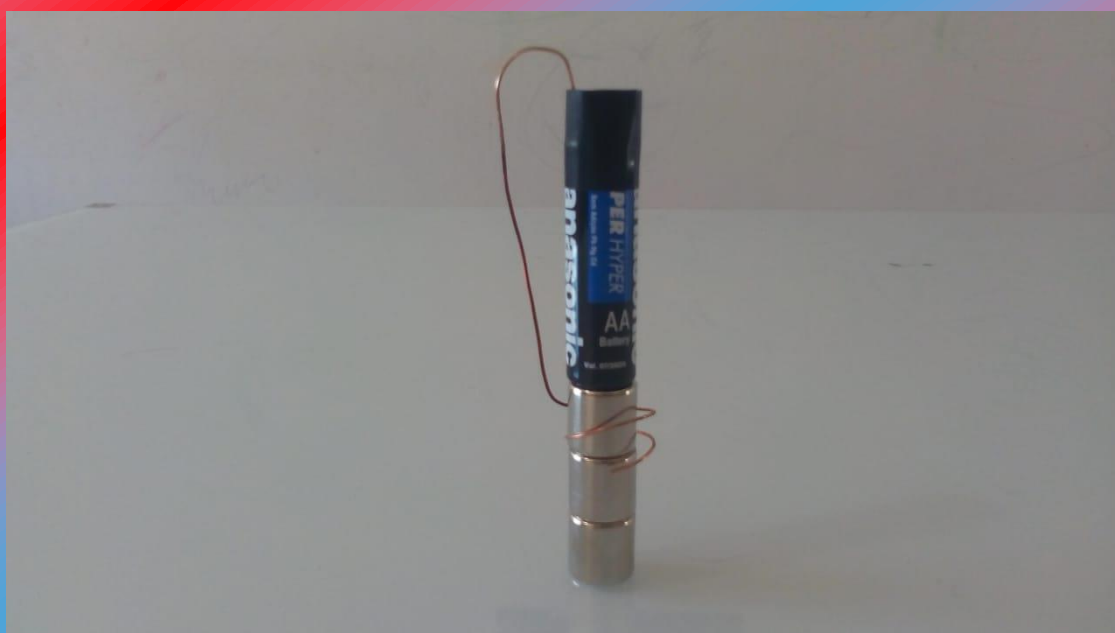


Figura 4.4 - Experimento “Motor Homopolar”.

Fonte: o autor.

35

OBJETIVOS DO EXPERIMENTO

O experimento do Motor Homopolar tem como objetivos fazer com que os alunos relacionem o funcionamento do motor elétrico com o funcionamento de diversos eletrodomésticos (como batedeiras, máquinas de lavar, liquidificadores, entre outros) presentes em seu cotidiano; fazer com que os alunos observem a interação entre o campo magnético do ímã e o campo magnético gerado por uma corrente elétrica que atravessa o condutor; e relacionar a teoria estudada sobre campo magnético e força magnética com o experimento prático.

EXERCÍCIOS

1) Quais são os fatores que definem o movimento da haste em espiral?

RESPOSTA: Campo magnético do ímã, campo magnético da corrente elétrica e força magnética.

2) O presente experimento pode ser observado em algumas situações de seu cotidiano. Cite algumas dessas aplicações?

RESPOSTA: Batedeiras, liquidificadores, máquinas de lavar, entre outros eletrodomésticos que utilizam motores elétricos.

AULA 8

OBJETIVO GERAL:

- Estudar o conceito físico de força magnética através do experimento “balanço eletromagnético”.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Estudar, na prática, a regra da mão direita para definir o sentido e a direção do vetor força magnética; e

- Revisar os conceitos de corrente elétrica e campo magnético presentes no experimento; e
- Verificar a aplicação da força magnética no experimento.

DESENVOLVIMENTO:

Nesta oitava aula com os alunos divididos em grupos de trabalho de 4 ou 5 alunos em cada grupo, o professor pode voltar a falar sobre campo magnético e propor o experimento 3 – “balanço eletromagnético” do roteiro de experimentos (apêndice 1):

ROTEIRO DO EXPERIMENTO 3 – BALANÇO ELETROMAGNÉTICO

MATERIAIS UTILIZADOS:

- 3 (três) caixas de pasta de dente (ou de formato semelhante);
- fio de cobre esmaltado;
- 4 pilhas AA de 1,5 V cada;
- 2 fios com “jacarés” nas pontas;
- 1 (um) imã;
- 1 (um) suporte para associar as 4 pilhas AA de 1,5 V cada em série;
- cola; e
- estilete;

Os materiais utilizados na construção do experimento 3 – balanço eletromagnético (exceto estilete e cola) podem ser visualizados na figura 3.1 - Materiais para o experimento “Balanço Eletromagnético” abaixo.

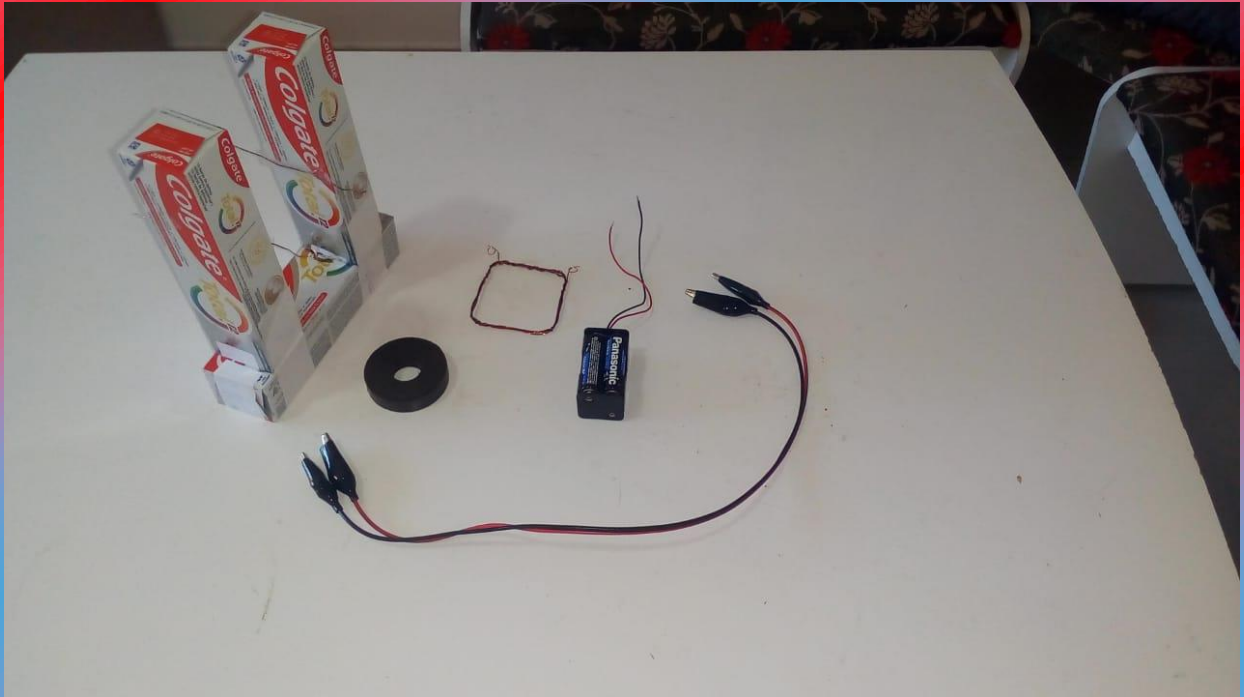


Figura 3.1 - Materiais para o experimento “Balanço Eletromagnético”.

Fonte: o autor.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Primeiramente, o suporte em formato de U é construído unindo as três caixas de pasta de dente (como mostrado na figura 3.3 - Montagem do experimento “Balanço Eletromagnético” – parte 2), após isso, coloca-se as quatro pilhas AA de 1,5 V no suporte de forma que fiquem associadas em série formando uma bateria de 6 V e os terminais do suporte são conectados aos dois fios com “jacarés” nas pontas. Esta fase da montagem do experimento pode ser vista na figura 3.2 - Montagem do experimento “Balanço Eletromagnético” – parte 1.

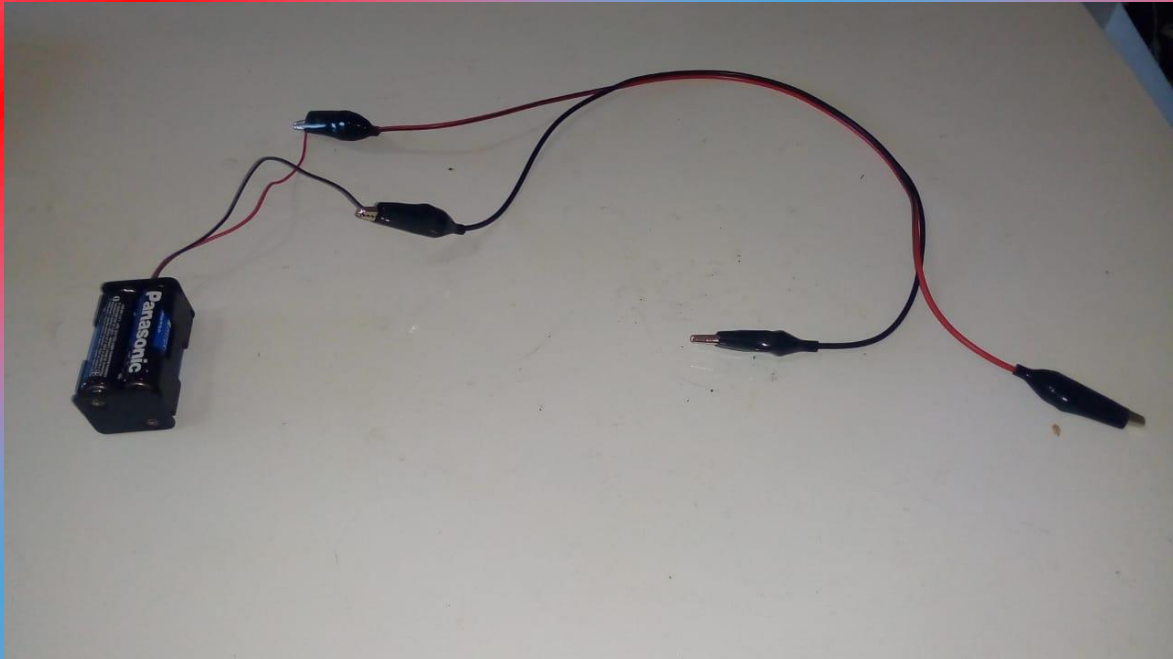


Figura 3.2 - Montagem do experimento “Balanço Eletromagnético” – parte 1.

Fonte: o autor.

O próximo passo é dobrar o fio esmaltado de forma a construir uma espira quadrada (como mostrado na figura 3.3 - Montagem do experimento “Balanço Eletromagnético” – parte 2), deixando dois terminais que deverão ter o esmalte retirado com o estilete. Enquanto isso, são construídos dois suportes com dois pedaços de 8 a 10 centímetros de fio esmaltado, nos quais são retirados os esmaltes das duas pontas dos dois fios com um estilete.

Por fim, o sistema é montado (como mostrado na Figura 3.4 - Experimento “Balanço Eletromagnético”), e o ímã é colocado no centro do suporte em U e inicia-se o experimento com a corrente elétrica em um sentido, e após isso inverte-se o sentido da corrente elétrica, trocando os fios dos terminais, e com isso verifica-se a atração e repulsão da espira em relação ao campo magnético do ímã.



Figura 3.3 - Montagem do experimento “Balanço Eletromagnético” – parte 2.

Fonte: o autor.

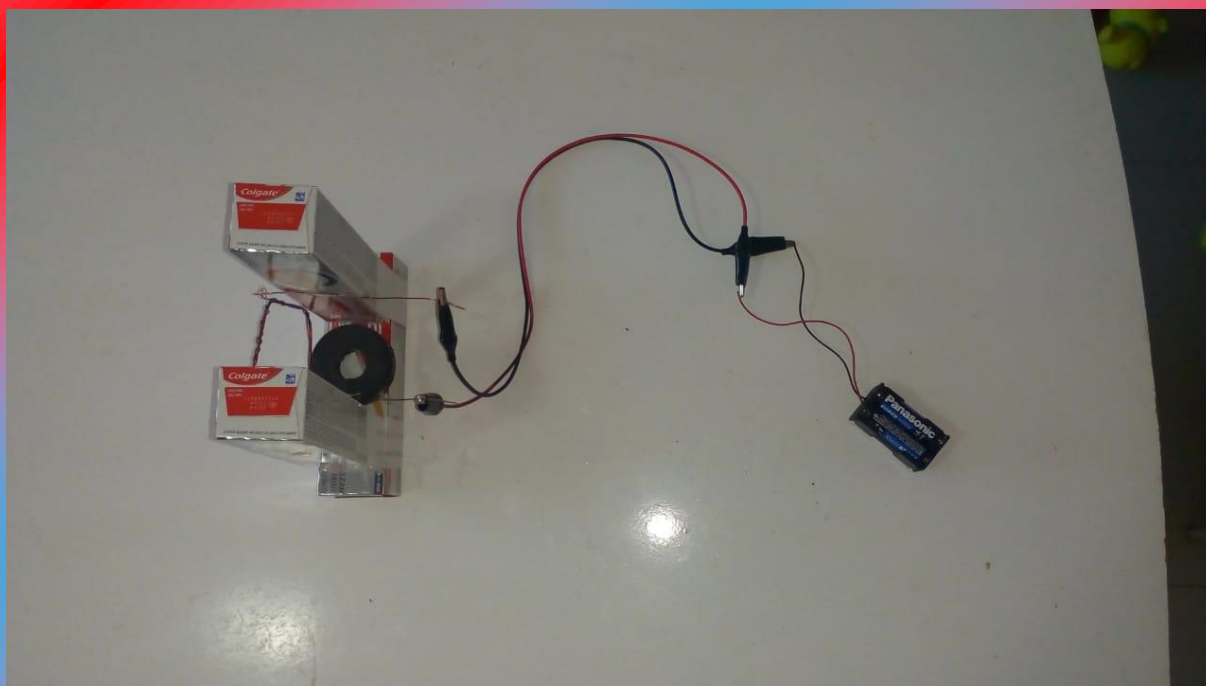


Figura 3.4 - Experimento “Balanço Eletromagnético”.

Fonte: o autor.

OBJETIVOS DO EXPERIMENTO

O experimento do balanço eletromagnético tem como objetivos fazer com que o aluno observe a interação entre o campo magnético do ímã e o campo magnético gerado por uma corrente elétrica que atravessa o condutor, no caso a espira feita do fio de cobre esmaltado; verificar o entendimento por parte dos alunos da regra da mão direita, que é a regra utilizada para definir a direção e o sentido do vetor força magnética; e relacionar a teoria estudada sobre campo magnético e força magnética com o experimento prático.

EXERCÍCIOS

1) Porque acontece a atração e a repulsão da espira em relação ao ímã?

RESPOSTA: A atração e a repulsão da espira em relação ao ímã ocorre devido à interação do campo magnético do ímã com o campo magnético da corrente elétrica que atravessa a espira.

2) Como pode ser definida a força magnética, em termos de direção e sentido, exercida pelo ímã na espira?

RESPOSTA: A força magnética, em termos de direção e sentido, exercida pelo ímã na espira pode ser definida pela regra da mão direita.

3) Porque não ocorre este fenômeno se um dos “jacarés” for desconectado do sistema?

RESPOSTA: O fenômeno não vai ocorrer se um dos “jacarés” for desconectado do sistema, pois não vai passar corrente elétrica pelo circuito, o que não gerará campo magnético de corrente e não haverá a interação com o campo magnético do ímã.

4) Quando o balanço é atraído pelo ímã, qual é o sentido e a direção da corrente elétrica?

RESPOSTA: Quando a espira for atraída pelo ímã, a direção da força magnética será horizontal, e o sentido da força magnética será definida pela regra da mão direita a depender do sentido da corrente elétrica adotada, em relação à posição do ímã.

AULA 9

OBJETIVO GERAL:

- Revisar os conceitos físicos de corrente elétrica, campo magnético e força magnética através da demonstração do funcionamento do “motor de Faraday”.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Revisar os conceitos de corrente elétrica, campo magnético e força magnética;
- Relacionar o experimento em questão com aparelhos eletrodomésticos do cotidiano;

DESENVOLVIMENTO:

Nesta aula, com os alunos divididos em grupos de trabalho de 4 ou 5 alunos em cada grupo, o professor deve revisar os conceitos de corrente elétrica, campo magnético e força magnética com os alunos através de uma pequena discussão, e iniciar um questionamento sobre onde no cotidiano dos alunos esses conceitos físicos poderiam ser encontrados, e onde ou em que época pode ter aparecido o primeiro motor elétrico de que se têm notícia. Após isso, o professor pesquisador pode explicar que o primeiro motor elétrico de que se têm notícia foi inventado por Michael Faraday, que era um cientista que trabalhava principalmente com física experimental, ou seja, experimentos.

Após isso, o professor deve reunir os alunos presentes em forma de um círculo e fazer a demonstração adaptada de funcionamento do motor de Faraday, no qual a haste deve girar umas três ou quatro vezes ao redor do ímã de neodímio, e deve explicar que esse fenômeno ocorre devido a mistura de água com açúcar ser semicondutora de eletricidade e possuir resistividade $4,4 \cdot 10^{-2} \Omega \cdot m$ (dado retirado de GRIFFITHS, 2010, pág 198), e o mercúrio (metal líquido utilizado por Faraday em seu motor) ser condutor de eletricidade e possuir resistividade $9,58 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot m$ (dado retirado de GRIFFITHS, 2010, pág 198), facilitando a passagem de corrente elétrica e o funcionamento perfeito da haste do motor de Faraday.

ROTEIRO DO EXPERIMENTO 5 – MOTOR DE FARADAY

MATERIAIS UTILIZADOS

- fio de cobre esmaltado;
- 2 (duas) caixas de pasta de dente vazias;
- 1 fonte de 2,5 A que converte corrente alternada em corrente contínua;
- 2 fios com “jacarés” nas pontas;
- 1 (um) ímã de neodímio;
- 1 (um) recipiente plástico;
- água;
- sal;
- fita durex;
- cola;
- estilete;
- tesoura; e
- açúcar.

Os materiais para a confecção do experimento “Motor de Faraday” (com exceção do açúcar e do estilete) podem ser observados na figura 5.1 - Materiais para o experimento “Motor de Faraday” abaixo.

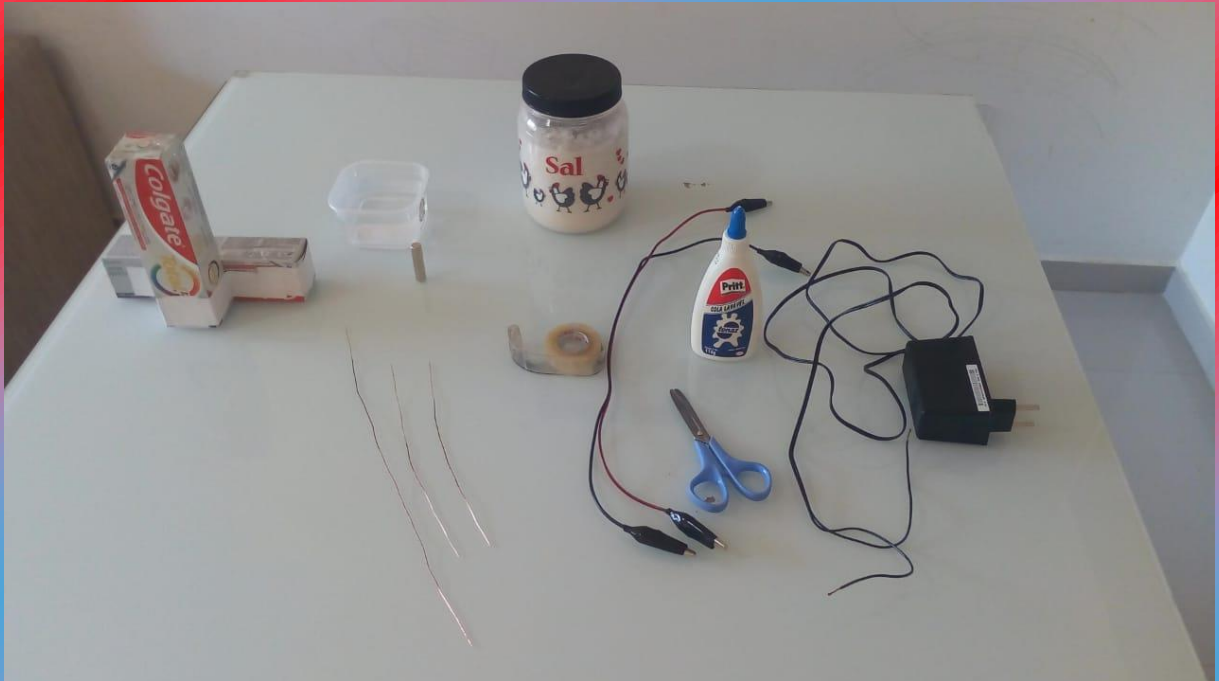


Figura 5.1 - Materiais para o experimento “Motor de Faraday”.

Fonte: o autor.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Primeiramente, a base do experimento é montada, unindo-se as duas caixas de pasta de dentes com a cola, como mostra a figura 5.2 - Montagem do “Motor de Faraday” – parte 1.



Figura 5.2 - Montagem do “Motor de Faraday” – parte 1.

Fonte: o autor.

Após isso, coloca-se água e sal (para facilitar a circulação de corrente elétrica) no recipiente plástico, e mergulha-se o ímã na solução, como mostra a figura 5.3 - Montagem do “Motor de Faraday” – parte 2.



Figura 5.3 - Montagem do “Motor de Faraday” – parte 2.

Fonte: o autor.

Na fase seguinte, os três fios de cobre esmaltado (um medindo aproximadamente 20 centímetros e os outros dois aproximadamente 10 centímetros) devem ser cortados e ter o esmalte das duas pontas retirado com o estilete. Após isso, amarram-se os fios de cobre esmaltado na base em forma de T, construindo a armação ilustrada na figura 5.4 - Montagem do “Motor de Faraday” – parte 3.

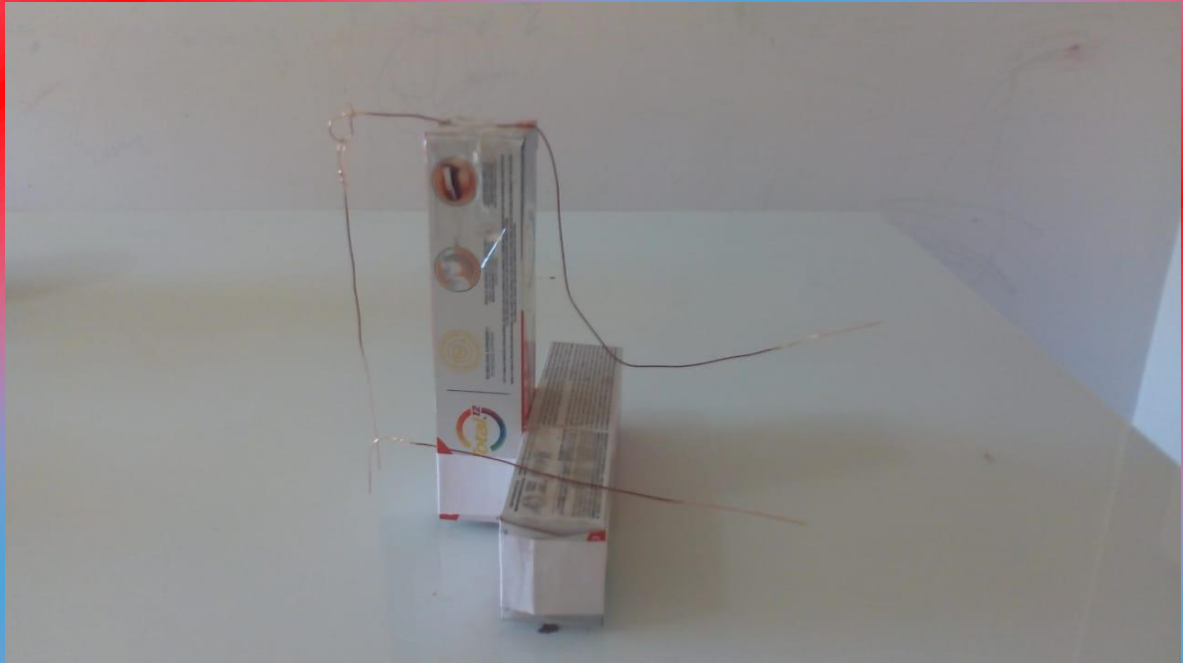


Figura 5.4 - Montagem do “Motor de Faraday” – parte 3.

Fonte: o autor.

Após isso, os 2 fios com “jacarés” nas pontas são unidos ao sistema como mostra a figura 5.5 - Montagem do “Motor de Faraday” – parte 4.

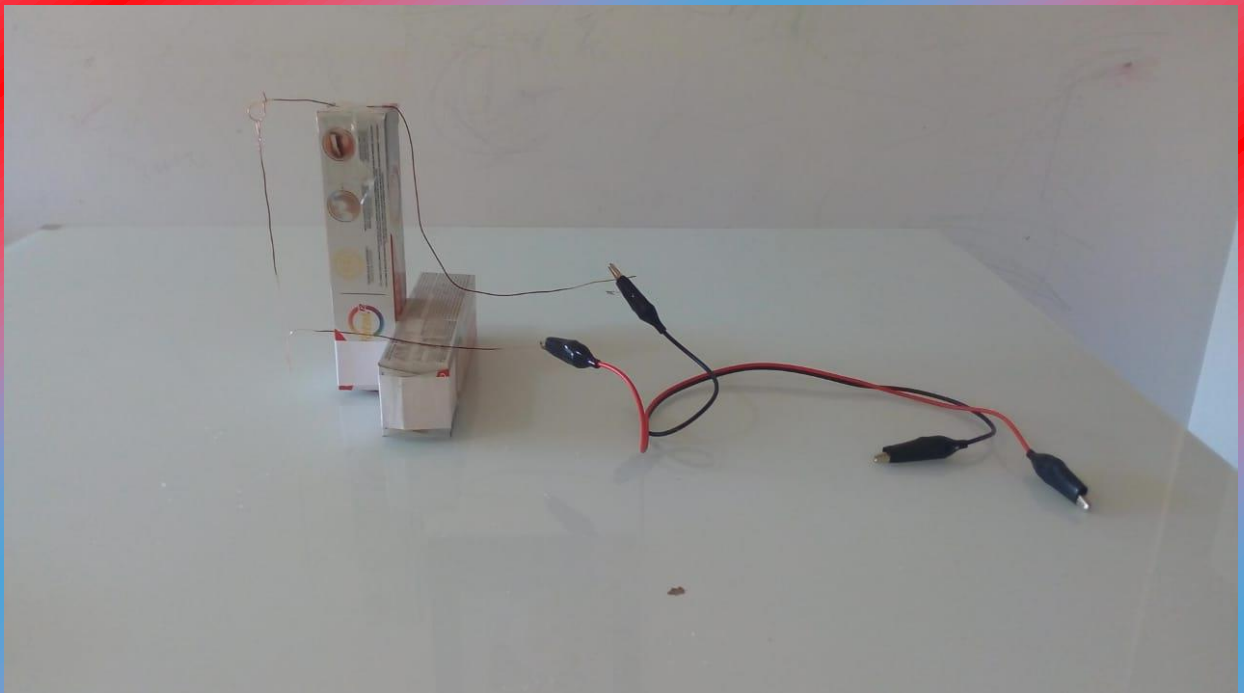


Figura 5.5 - Montagem do “Motor de Faraday” – parte 4.

Fonte: o autor.

Finalmente o sistema é montado unindo-se a fonte conversora de 2,5 A e o recipiente com a mistura de água e sal, como mostrado na figura 5.6 - Experimento “Motor de Faraday”.

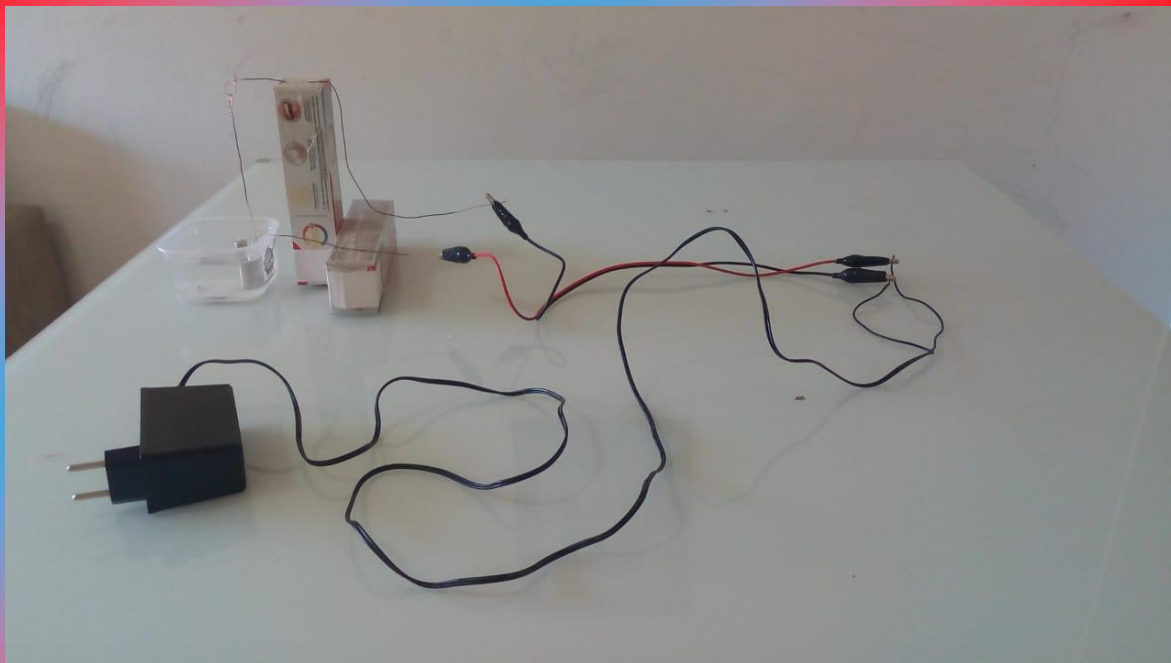


Figura 5.6 - Experimento “Motor de Faraday”.

Fonte: o autor

OBJETIVOS DO EXPERIMENTO

O experimento do Motor de Faraday tem como objetivos fazer com que os alunos revivam os mesmos passos de Michael Faraday na construção do primeiro motor elétrico da história; fazer com que os alunos relacionem a teoria dos conceitos de eletromagnetismo e eletricidade com a prática do fenômeno físico; e relacionar o movimento da haste com o conceito de força magnética, verificando o sentido e a direção do movimento através da regra da mão direita.

EXERCÍCIOS

1) Se a solução posta no recipiente plástico fosse de água e açúcar, haveria o movimento da haste? Porquê?

RESPOSTA: Se a solução posta no recipiente plástico fosse de água e açúcar não haveria o movimento da haste, pois a solução de água e açúcar não conduz eletricidade.

2) Se os “jacarés” dos fios vermelho e preto fossem invertidos no terminal do suporte do motor de Faraday, o que aconteceria com o movimento da haste?

RESPOSTA: Se os “jacarés” dos fios vermelho e preto fossem invertidos no terminal do suporte do motor de Faraday, o movimento haste seria no sentido inverso.

3) Porque se for retirada uma das pontas do jacaré do terminal do suporte do motor de Faraday, o movimento da haste é paralisado?

RESPOSTA: O movimento da haste vai ficar paralisado se um dos “jacarés” for desconectado do sistema, pois não vai passar corrente elétrica pelo circuito, o que não gerará campo magnético de corrente e não haverá a interação com o campo magnético do ímã.

4) Quais são os fatores que definem o movimento da haste?

RESPOSTA: Campo magnético do ímã, campo magnético da corrente elétrica e força magnética.

AULA 10

OBJETIVO GERAL:

- Relacionar os conteúdos aprendidos com aparelhos tecnológicos do cotidiano.

OBJETIVO ESPECÍFICO:

- Abordar, através do filme e de um diálogo com os alunos, os conceitos aprendidos em sala de aula e relacioná-los com situações tecnológicas do cotidiano, como o carro elétrico.

DESENVOLVIMENTO:

Nesta décima aula, sugere-se que o professor apresente o filme de curta duração “Como funciona um carro elétrico?” disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=-j50dgnR8eA> no YouTube, que trata sobre o funcionamento de carros elétricos de forma a fazer com que os alunos relacionem os conceitos físicos estudados em sala de aula com um assunto bastante divulgado nas mídias sociais e na televisão durante a atualidade, que é a

utilização de carros movidos a baterias carregáveis e que convertem energia elétrica em energia mecânica como caminho para um futuro sustentável.

AULA 11

OBJETIVO GERAL:

- Construir o experimento “motor elétrico”.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Revisar os conceitos de corrente elétrica, campo magnético e força magnética;
- Relacionar o experimento em questão com aparelhos eletrodomésticos do cotidiano;

DESENVOLVIMENTO:

Nesta penúltima aula, com os alunos divididos em grupos de trabalho de 4 ou 5 alunos em cada grupo, o professor pode voltar a falar sobre campo magnético e propor o experimento 6 – “motor elétrico” do roteiro de experimentos (apêndice 1):

ROTEIRO DO EXPERIMENTO 6 – MOTOR ELÉTRICO

MATERIAIS UTILIZADOS

- 1 (uma) pilha tipo de D de 1,5 V;
- fio de cobre esmaltado;
- 2 (dois) alfinetes de “fralda de bebê”;
- 2 (dois) elásticos;
- 1 (uma) bexiga de aniversário;
- tesoura;
- estilete; e
- 1 (um) ímã em formato de círculo.

Os materiais utilizados na construção do motor elétrico podem ser observados na figura 6.1 - Materiais para o experimento “Motor Elétrico” abaixo.



Figura 6.1 - Materiais para o experimento “Motor Elétrico”.

Fonte: o autor.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Primeiramente, corta-se uma seção da bexiga de aniversário e enrola-se longitudinalmente na pilha, e enrola-se os dois elásticos transversalmente na pilha como mostrado na figura 6.2 - Montagem do “Motor Elétrico” – parte 1.



Figura 6.2 - Montagem do “Motor Eléctrico” – parte 1.

Fonte: o autor.

Após isso, enrola-se o fio de cobre esmaltado de forma a montar uma espira deixando duas pontas opostas de aproximadamente 5 centímetros, que terão o esmalte retirado com o estilete para facilitar a passagem de corrente eléctrica como mostrado na figura 6.3 - Montagem do “Motor Eléctrico” – parte 2.



Figura 6.3 - Montagem do “Motor Eléctrico” – parte 2.

Fonte: o autor.

Nesta fase, os alfinetes são colocados em cada pólo da pilha embaixo da bexiga (que foi colocada para fixação desses alfinetes nos pólos da pilha) e o ímã é colocado por cima da pilha como mostra a figura 6.4 - Montagem do “Motor Elétrico” – parte 3.



Figura 6.4 - Montagem do “Motor Elétrico” – parte 3.

Fonte: o autor.

Por fim, o sistema é montado colocando-se a espira entre os dois alfinetes, como mostra a figura 6.5 - Experimento “Motor Elétrico”.



Figura 6.5 - Experimento “Motor Elétrico”.

Fonte: o autor.

OBJETIVOS DO EXPERIMENTO

O experimento do Motor Elétrico tem como objetivos fazer com que os alunos relacionem o funcionamento do motor elétrico com o funcionamento de diversos eletrodomésticos (como batedeiras, máquinas de lavar, liquidificadores, entre outros) presentes em seu cotidiano; verificar novamente a interação entre o campo magnético do ímã e o campo magnético gerado por uma corrente elétrica que percorre a espira; relacionar o movimento da espira ao conceito de força magnética; e revisar a regra da mão direita para determinar o sentido e a direção da força magnética que determina o movimento da espira.

EXERCÍCIOS

1) Quais conceitos já estudados de eletromagnetismo podem ser observados no experimento?

RESPOSTA: Campo magnético, corrente elétrica e força magnética.

2) O presente experimento pode ser observado em algumas situações de seu cotidiano. Cite algumas dessas aplicações?

RESPOSTA: Batedeiras, liquidificadores, máquinas de lavar, entre outros eletrodomésticos que utilizam motores elétricos.

3) Descreva com suas palavras porque a espira gira?

RESPOSTA: A espira gira devido à interação (força magnética) gerada pelo campo magnético do ímã com o campo magnético da corrente elétrica que atravessa a espira e que ao contorná-la, acaba por inverter o sentido da corrente elétrica e com isso inverte o sentido e a direção da força magnética (definidos pela regra da mão direita) gerando o giro da espira.

AULA 12

OBJETIVO GERAL:

- Avaliar a aprendizagem dos alunos referente aos conteúdos desenvolvidos no presente produto educacional e a eficácia no desenvolvimento do interesse dos alunos pela experimentação.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar o questionário pós-atividade de forma a avaliar pontos positivos e oportunidades de melhorias do presente projeto;
- Realizar o teste de opinião de forma a coletar dados referentes à eficácia deste produto educacional em despertar o interesse dos alunos na disciplina de física e na experimentação; e

DESENVOLVIMENTO:

No início da última aula deste projeto, com os alunos dispostos individualmente, o professor deve propor o questionário pós-atividade.

1) O que é corrente elétrica?

- a) é uma força que conduz os elétrons através do fio condutor.
- b) é uma força que conduz os prótons através do fio condutor.
- c) é o movimento efetivo dos prótons por um fio condutor.
- d) é o movimento efetivo dos elétrons por um fio condutor.

2) O que é campo magnético?

- a) é uma região do espaço em torno de um condutor percorrido por uma corrente, apenas.
- b) é uma região do espaço em torno de um ímã, apenas.
- c) é uma região do espaço em torno de um condutor percorrido por uma corrente ou em torno de um ímã.
- d) é uma região do espaço em torno de um resistor ôhmico.

3) O que é força magnética?

- a) é uma interação gerada por um campo elétrico no campo magnético de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo elétrico.
- b) é uma interação gerada por um campo elétrico no campo elétrico de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo elétrico.

c) é uma interação gerada por um campo magnético no campo magnético de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo magnético.

d) é uma interação gerada por um campo magnético no campo elétrico de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo magnético.

4) Calcule a força magnética a que é submetido um fio de 2 metros de comprimento imerso em um campo magnético perpendicular a esse fio de intensidade 2 T, sendo este fio atravessado por uma corrente elétrica de 5 A.

a) 10 N.

b) 20 N.

c) 30 N.

d) 40 N.

5) O que é o Princípio da Inseparabilidade dos Polos de um Ímã?

a) é o princípio no qual se o ímã for partido em duas ou mais partes, continuará com suas propriedades magnéticas.

b) é o princípio no qual se o ímã for partido em duas ou mais partes, continuará com suas propriedades elétricas.

c) é o princípio no qual se o ímã for partido em duas ou mais partes, não continuará com suas propriedades magnéticas.

d) é o princípio no qual se o ímã for partido em duas ou mais partes, não continuará com suas propriedades elétricas.

6) O que é a Regra da Mão Direita?

a) é a regra que define o sentido e a direção da força magnética.

b) é a regra que define o módulo da força magnética.

c) é a regra que define o sentido e a direção da força elétrica.

d) é a regra que define apenas a direção da força magnética.

7) O que diz o Princípio Atração e Repulsão dos Polos de um Ímã?

a) polos de nomes iguais se repelem e polos de nomes diferentes se atraem.

b) polos de nomes iguais se atraem e polos de nomes diferentes se repelem.

c) polos de nomes iguais se repelem e polos de nomes diferentes se repelem.

d) polos de nomes iguais se atraem e polos de nomes diferentes se atraem.

8) Em qual desses aparelhos não se encontra o motor elétrico?

- a) liquidificador.
- b) chuveiro elétrico.
- c) automóvel.
- d) máquina de lavar roupas.

9) O que é um motor elétrico?

- a) é qualquer dispositivo que transforma energia elétrica em energia elétrica.
- b) é qualquer dispositivo que transforma energia mecânica em energia elétrica.
- c) é qualquer dispositivo que transforma energia elétrica em energia mecânica.
- d) é qualquer dispositivo que transforma energia mecânica em energia mecânica.

O questionário pós-atividade, assim como o questionário pré-atividade, e também por se tratar de uma atividade avaliativa de verificação da aprendizagem dos alunos em relação aos conteúdos e do projeto do produto educacional em relação a sua eficácia, se apresenta como um problema fechado e possui como gabarito as seguintes respostas:

1) O que é corrente elétrica?

- a) é uma força que conduz os elétrons através do fio condutor.
- b) é uma força que conduz os prótons através do fio condutor.
- c) é o movimento efetivo dos prótons por um fio condutor.
- d) é o movimento efetivo dos elétrons por um fio condutor.

2) O que é campo magnético?

- a) é uma região do espaço em torno de um condutor percorrido por uma corrente, apenas.
- b) é uma região do espaço em torno de um ímã, apenas.
- c) é uma região do espaço em torno de um condutor percorrido por uma corrente ou em torno de um ímã.
- d) é uma região do espaço em torno de um resistor ôhmico.

3) O que é força magnética?

a) é uma interação gerada por um campo elétrico no campo magnético de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo elétrico.

b) é uma interação gerada por um campo elétrico no campo elétrico de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo elétrico.

c) é uma interação gerada por um campo magnético no campo magnético de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo magnético.

d) é uma interação gerada por um campo magnético no campo elétrico de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo magnético.

4) Calcule a força magnética a que é submetido um fio de 2 metros de comprimento imerso em um campo magnético perpendicular a esse fio de intensidade 2 T, sendo este fio atravessado por uma corrente elétrica de 5 A.

a) 10 N.

b) 20 N.

c) 30 N.

d) 40 N.

5) O que é o Princípio da Inseparabilidade dos Polos de um Ímã?

a) é o princípio no qual se o ímã for partido em duas ou mais partes, continuará com suas propriedades magnéticas.

b) é o princípio no qual se o ímã for partido em duas ou mais partes, continuará com suas propriedades elétricas.

c) é o princípio no qual se o ímã for partido em duas ou mais partes, não continuará com suas propriedades magnéticas.

d) é o princípio no qual se o ímã for partido em duas ou mais partes, não continuará com suas propriedades elétricas.

6) O que é a Regra da Mão Direita?

a) é a regra que define o sentido e a direção da força magnética.

b) é a regra que define o módulo da força magnética.

c) é a regra que define o sentido e a direção da força elétrica.

d) é a regra que define apenas a direção da força magnética.

7) O que diz o Princípio Atração e Repulsão dos Polos de um Ímã?

- a) polos de nomes iguais se repelem e polos de nomes diferentes se atraem.
- b) polos de nomes iguais se atraem e polos de nomes diferentes se repelem.
- c) polos de nomes iguais se repelem e polos de nomes diferentes se repelem.
- d) polos de nomes iguais se atraem e polos de nomes diferentes se atraem.

8) Em qual desses aparelhos não se encontra o motor elétrico?

- a) liquidificador.
- b) chuveiro elétrico.
- c) automóvel.
- d) máquina de lavar roupas.

9) O que é um motor elétrico?

- a) é qualquer dispositivo que transforma energia elétrica em energia elétrica.
- b) é qualquer dispositivo que transforma energia mecânica em energia elétrica.
- c) é qualquer dispositivo que transforma energia elétrica em energia mecânica.
- d) é qualquer dispositivo que transforma energia mecânica em energia mecânica.

Nesta aula, também deve ser proposto o teste de opinião que tem como objetivo coletar dados sobre a opinião dos alunos da turma em relação à disciplina de física e ao conteúdo de eletromagnetismo em relação à utilização de aulas tradicionais expositivas e as aulas propostas no produto educacional com a confecção de experimentos com materiais de baixo custo.

1) Em relação à física, como um todo, como você sentia antes da atividade?

- a) sentia muita dificuldade.
- b) sentia dificuldade moderada.
- c) sentia pouca dificuldade.
- d) tinha facilidade com a disciplina.

2) Em relação ao eletromagnetismo, como você sentia antes da atividade?

- a) sentia muita dificuldade.
- b) sentia dificuldade moderada.

- c) ainda não tinha visto esse conteúdo.
- d) tinha facilidade com o conteúdo.

3) Como você avalia o seu desenvolvimento na disciplina de física ao longo da atividade?

- a) não houve desenvolvimento na disciplina.
- b) o desenvolvimento foi abaixo do esperado na disciplina.
- c) o desenvolvimento foi acima do esperado na disciplina.
- d) houve desenvolvimento, porém continuo com dificuldades na disciplina como um todo.

4) Em relação aos conceitos de eletromagnetismo, como você avalia a sua evolução durante a atividade?

- a) Houve evolução tendo em vista que nunca tive contato com este conteúdo.
- b) Não houve evolução, mesmo eu nunca tendo contato com este conteúdo antes.
- c) Houve uma pequena evolução em relação aos conceitos anteriores.
- d) Houve uma evolução considerável no conteúdo.

5) Em relação à física, como um todo, como você se sente após a atividade?

- a) não houve desenvolvimento na disciplina.
- b) o desenvolvimento foi abaixo do esperado na disciplina.
- c) o desenvolvimento foi acima do esperado na disciplina.
- d) houve desenvolvimento, porém continuo com dificuldades na disciplina como um todo.

6) Em relação ao eletromagnetismo, como você se sente após a atividade?

- a) Não houve melhora, pois não compreendi os conceitos por trás da atividade.
- b) Houve pequena melhora, mesmo tendo dificuldades para entender os conceitos por trás da atividade.
- c) Houve razoável melhora neste conteúdo, pois consegui entender os conceitos por trás da atividade.
- d) Houve melhora, pois compreendi os conceitos por trás da atividade.

7) A partir da atividade, como você avalia a evolução do seu entendimento sobre o funcionamento de motores elétricos?

- a) Não entendi como funcionam.

- b) Tive um entendimento razoável do seu funcionamento.
- c) Tive um entendimento razoável, e vou pesquisar em outras fontes, pois gostei do tema.
- d) Consegui entender perfeitamente (na teoria) o funcionamento dos motores elétricos.

Neste teste de opinião as respostas foram pessoais.

APÊNDICE I

ROTEIRO DE EXPERIMENTOS

PROFESSOR: OSVALDO DE LIRA AGUIAR JÚNIOR

Rio Grande – RS,
2023

ROTEIRO DO EXPERIMENTO 1- LIMALHAS DE FERRO

MATERIAIS UTILIZADOS

- recipiente transparente de plástico;
- limalhas de ferro;
- óleo mineral; e
- 1 (um) imã.
- 1 bandeja transparente (na figura 1.3 - “Linhas de indução de um imã”)

Alguns dos materiais utilizados para a execução do experimento “Limalhas de ferro” podem ser observados na figura 1.1 - Materiais para o experimento “Limalhas de Ferro”.



Figura 1.1 - Materiais para o experimento “Limalhas de Ferro”.

Fonte: o autor.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Coloca-se limalha de ferro dentro do recipiente transparente de plástico e em seguida coloca-se óleo mineral, e utilizando um imã, verifica-se as linhas de indução que formam nas

limalhas de ferro ao se aproximar o imã, conforme a figura 1.2 - Experimento “Limalhas de Ferro” abaixo.



Figura 1.2 - Experimento “Limalhas de Ferro”.

Fonte: o autor.

Após isso, colocam-se as limalhas de ferro sobre a bandeja transparente e o imã por baixo da bandeja, encostando nela e verifica-se a direção das linhas de indução ao redor do eixo do imã como na figura 1.3 - “Linhas de indução de um imã”.



Figura 1.3 - Linhas de indução de um ímã.

Fonte: o autor.

OBJETIVOS DO EXPERIMENTO

O presente experimento tem como objetivos fazer com que os alunos verifiquem experimentalmente a existência de linhas de indução provenientes do campo magnético do ímã e relacionar a teoria estudada com a prática do experimento.

EXERCÍCIOS

- 1) Qual o fenômeno observado ao se aproximar o ímã do recipiente que contém as limalhas de ferro e o óleo mineral?
- 2) Qual é a direção e o sentido das linhas de indução deste ímã natural?

3) Se ao invés de limalhas de ferro, fossem colocadas limalhas de plástico, tal fenômeno seria observado? Porquê?

ROTEIRO DO EXPERIMENTO 2 - ELETROIMÃ

MATERIAIS UTILIZADOS

- 1 (um) prego de ferro;
- fio de cobre esmaltado;
- 4 pilhas AA de 1,5 V cada;
- 2 (dois) fios com “jacarés” nas pontas;
- 1 (um) suporte para associar as 4 pilhas AA de 1,5 V cada em série;
- 1 (uma) moeda de níquel; e
- 1 lápis escolar de madeira.

Os materiais utilizados na construção do experimento 2 – eletroímã (exceto o lápis escolar de madeira e a moeda de níquel) podem ser visualizados na figura 2.1 - Materiais para o experimento “Eletroímã” abaixo.

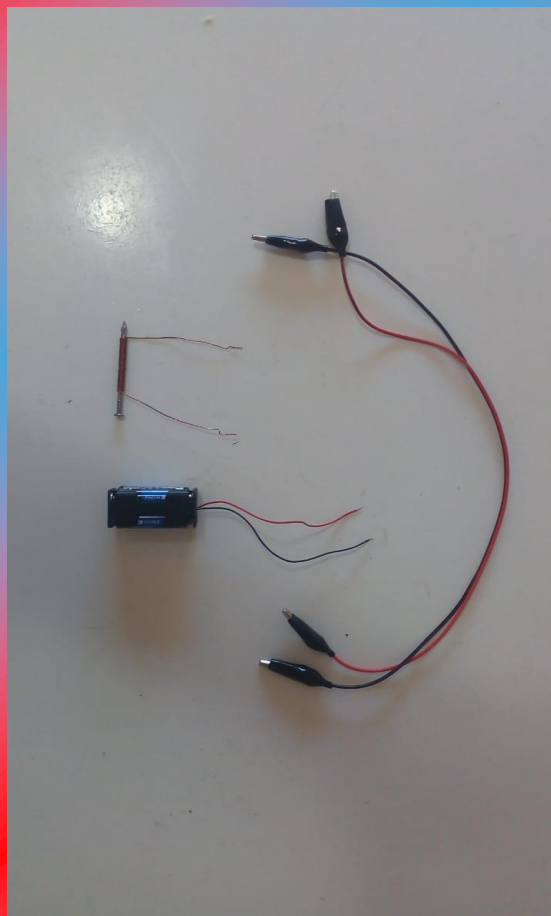


Figura 2.1 - Materiais para o experimento “Eletroímã”.

Fonte: o autor.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Primeiramente, enrola-se o prego de ferro no fio esmaltado de forma a construir um solenóide com o prego dentro e retira-se o esmalte das pontas do fio esmaltado com o estilete. Após isso, associa-se as quatro pilhas AA de 1,5 V em série no suporte e liga-se os dois conjuntos através dos dois fios com “jacarés” nas pontas. O experimento “eletroímã” montado pode ser visualizado na figura 2.2 - Experimento “Eletroímã”. Por fim, aproxima-se algum objeto metálico (de preferência ferromagnético, como uma moeda de níquel), e verifica-se que o prego irá atrair o objeto.



Figura 2.2 - Experimento “Eletroímã”.

Fonte: o autor.

OBJETIVOS DO EXPERIMENTO

O experimento do eletroímã tem como objetivos demonstrar aos alunos que uma corrente elétrica gera um campo magnético ao seu redor, que nesse caso é ampliado pelo solenóide, e relacionar a teoria estudada com a prática do experimento.

EXERCÍCIOS

- 1) Qual é o fenômeno observado ao se aproximar uma moeda de níquel do solenóide formado pelo prego e o fio esmaltado?
- 2) Se um dos fios for desconectado do sistema, o eletroímã continuará a atrair a moeda? Porquê?
- 3) Se ao invés de uma moeda de níquel, fosse colocada um lápis escolar, tal fenômeno seria observado? Porquê?

4) Porque acontece tal fenômeno?

ROTEIRO DO EXPERIMENTO 3 – BALANÇO ELETROMAGNÉTICO

MATERIAIS UTILIZADOS

- 3 (três) caixas de pasta de dente (ou de formato semelhante);
- fio de cobre esmaltado;
- 4 pilhas AA de 1,5 V cada;
- 2 fios com “jacarés” nas pontas;
- 1 (um) imã;
- 1 (um) suporte para associar as 4 pilhas AA de 1,5 V cada em série;

- cola; e
- estilete;

Os materiais utilizados na construção do experimento 3 – balanço eletromagnético (exceto estilete e cola) podem ser visualizados na figura 3.1 - Materiais para o experimento “Balanço Eletromagnético” abaixo.

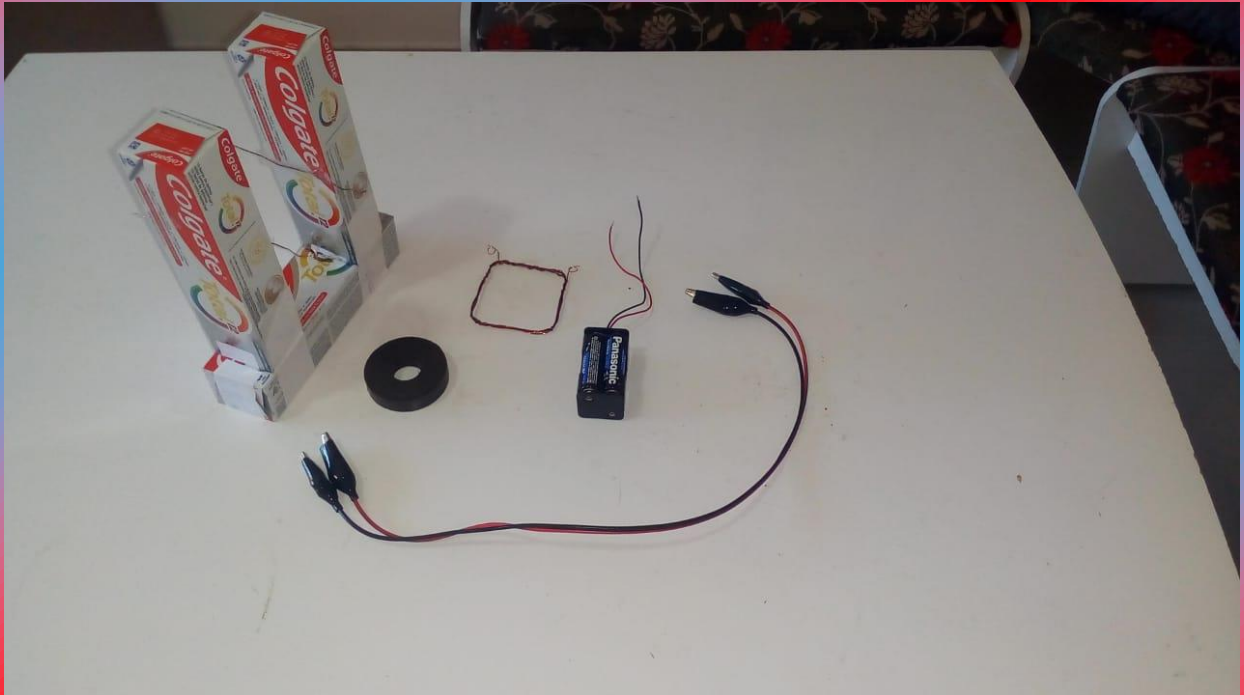


Figura 3.1 - Materiais para o experimento “Balanço Eletromagnético”.

Fonte: o autor.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Primeiramente, o suporte em formato de U é construído unindo as três caixas de pasta de dente (como mostrado na figura 3.3 - Montagem do experimento “Balanço Eletromagnético” – parte 2), após isso, coloca-se as quatro pilhas AA de 1,5 V no suporte de forma que fiquem associadas em série formando uma bateria de 6 V e os terminais do suporte são conectados aos dois fios com “jacarés” nas pontas. Esta fase da montagem do experimento pode ser vista na figura 3.2 - Montagem do experimento “Balanço Eletromagnético” – parte 1.

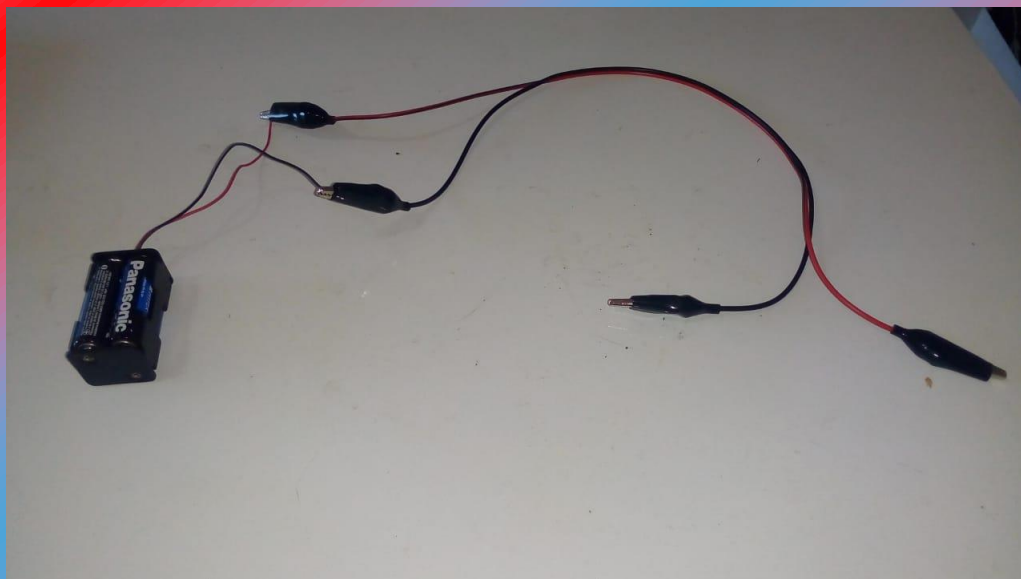


Figura 3.2 - Montagem do experimento “Balanço Eletromagnético” – parte 1.

Fonte: o autor.

O próximo passo é dobrar o fio esmaltado de forma a construir uma espira quadrada (como mostrado na figura 3.3 - Montagem do experimento “Balanço Eletromagnético” – parte 2), deixando dois terminais que deverão ter o esmalte retirado com o estilete. Enquanto isso são construídos dois suportes com dois pedaços de 8 a 10 centímetros de fio esmaltado, nos quais são retirados os esmaltes das duas pontas dos dois fios com um estilete.

Por fim, o sistema é montado (como mostrado na Figura 3.4 - Experimento “Balanço Eletromagnético”), e o ímã é colocado no centro do suporte em U e inicia-se o experimento com a corrente elétrica em um sentido, e após isso inverte-se o sentido da corrente elétrica, trocando os fios dos terminais, e com isso verifica-se a atração e repulsão da espira em relação ao campo magnético do ímã.



Figura 3.3 - Montagem do experimento “Balanço Eletromagnético” – parte 2.

Fonte: o autor.

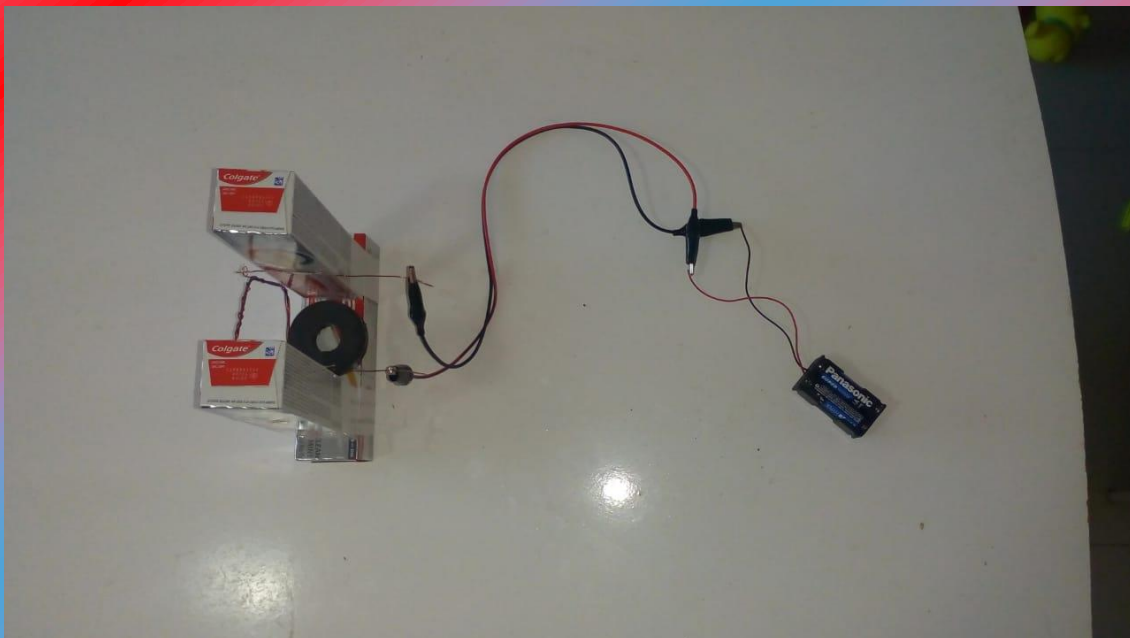


Figura 3.4 - Experimento “Balanço Eletromagnético”.

Fonte: o autor.

OBJETIVOS DO EXPERIMENTO

O experimento do balanço eletromagnético tem como objetivos fazer com que o aluno observe a interação entre o campo magnético do ímã e o campo magnético gerado por uma corrente elétrica que atravessa o condutor, no caso a espira feita do fio de cobre esmaltado; verificar o entendimento por parte dos alunos da regra da mão direita, que é a regra utilizada para definir a direção e o sentido do vetor força magnética; e relacionar a teoria estudada sobre campo magnético e força magnética com o experimento prático.

EXERCÍCIOS

- 1) Porque acontece a atração e a repulsão da espira em relação ao ímã?
- 2) Como pode ser definida a força magnética, em termos de direção e sentido, exercida pelo ímã na espira?
- 3) Porque não ocorre este fenômeno se um dos “jacarés” for desconectado do sistema?
- 4) Quando o balanço é atraído pelo ímã, qual é o sentido e a direção da corrente elétrica?

ROTEIRO DO EXPERIMENTO 4 – MOTOR HOMOPOLAR

MATERIAIS UTILIZADOS

- 3 (três) ímãs de neodímio;
- fio de cobre esmaltado;
- 1 (uma) pilha modelo AA;
- fita isolante;
- tesoura; e
- estilete.

Os materiais utilizados na construção do motor homopolar (com exceção do estilete) podem ser vistos na figura 4.1 - Materiais para o experimento “Motor Homopolar” abaixo.



Figura 4.1 - Materiais para o experimento “Motor Homopolar”

Fonte: o autor.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Primeiramente enrola-se 15 centímetros do fio de cobre esmaltado no formato que aparece na figura 4.2 - Montagem do “Motor Homopolar” – parte 1, e as duas pontas que formarão os terminais do receptor deverão ter o esmalte retirado com o estilete.

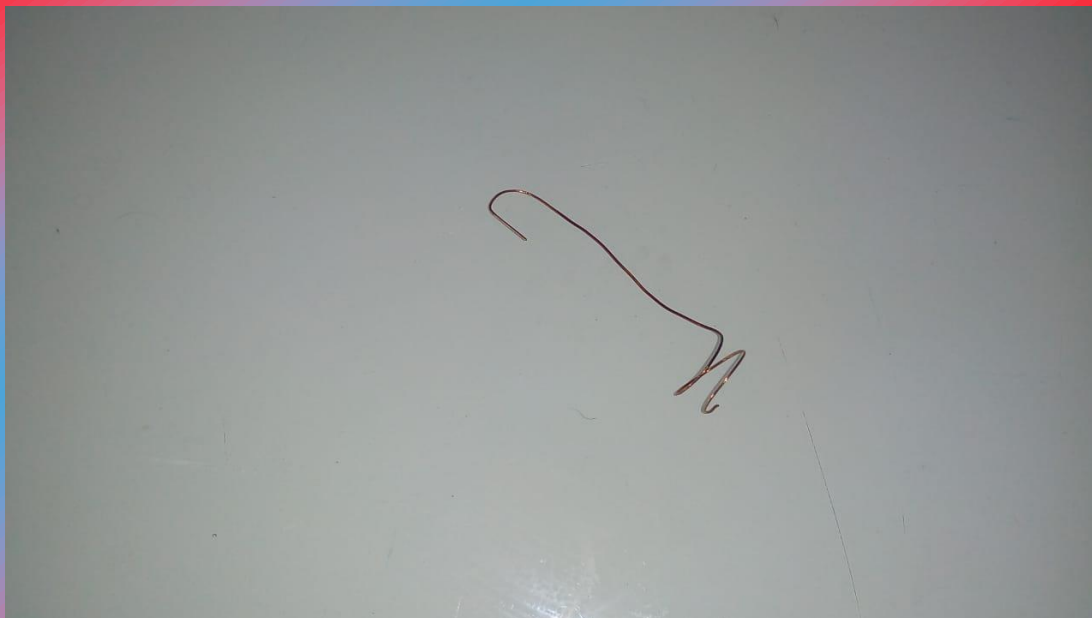


Figura 4.2 - Montagem do experimento “Motor Homopolar” – parte 1.

Fonte: o autor.

Após isso, une-se o pólo negativo da pilha AA aos três ímãs de neodímio e o pólo positivo da pilha AA é enrolado com um pequeno pedaço de fita isolante, como mostra a figura 4.3 - Montagem do “Motor Homopolar” – parte 2, de forma a não permitir que o receptor se solte sozinho da pilha ao girar.



Figura 4.3 - Montagem do experimento “Motor Homopolar” – parte 2.

Fonte: o autor.

Finalmente, o fio enrolado é unido à base do motor como mostra a figura 4.4 - Experimento “Motor Homopolar”.

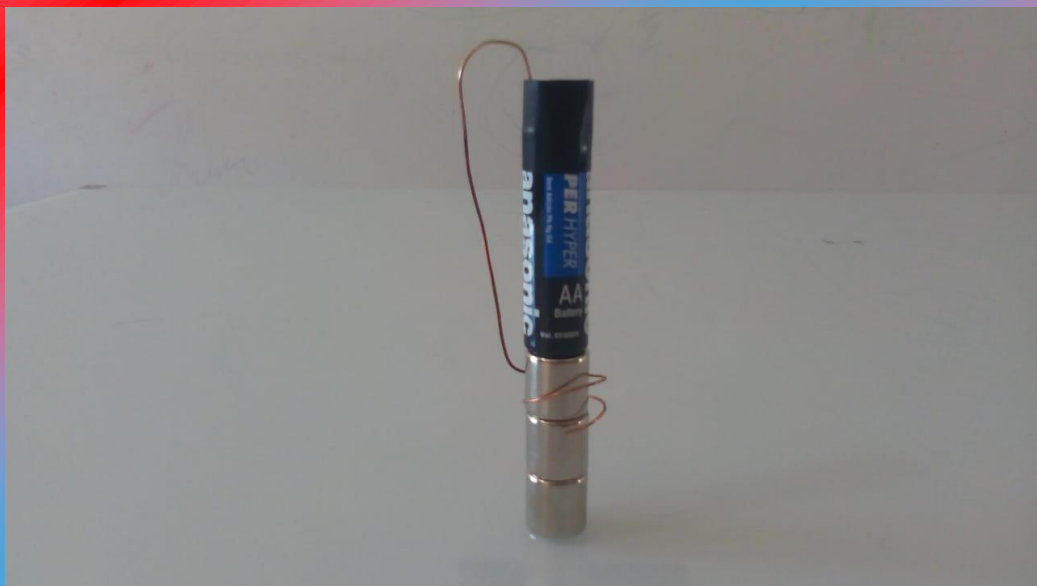


Figura 4.4 - Experimento “Motor Homopolar”.

Fonte: o autor.

OBJETIVOS DO EXPERIMENTO

O experimento do Motor Homopolar tem como objetivos fazer com que os alunos relacionem o funcionamento do motor elétrico com o funcionamento de diversos eletrodomésticos (como batedeiras, máquinas de lavar, liquidificadores, entre outros) presentes em seu cotidiano; fazer com que os alunos observem a interação entre o campo magnético do ímã e o campo magnético gerado por uma corrente elétrica que atravessa o condutor; e relacionar a teoria estudada sobre campo magnético e força magnética com o experimento prático.

EXERCÍCIOS

- 1) Quais são os fatores que definem o movimento da haste em espiral?
- 2) O presente experimento pode ser observado em algumas situações de seu cotidiano. Cite algumas dessas aplicações?

ROTEIRO DO EXPERIMENTO 5 – MOTOR DE FARADAY

MATERIAIS UTILIZADOS

- fio de cobre esmaltado;
- 2 (duas) caixas de pasta de dente vazias;
- 1 fonte de 2,5 A que converte corrente alternada em corrente contínua;
- 2 fios com “jacarés” nas pontas;
- 1 (um) ímã de neodímio;
- 1 (um) recipiente plástico;
- água;
- sal;
- fita durex;
- cola;
- estilete;
- tesoura; e
- açúcar.

Os materiais para a confecção do experimento “Motor de Faraday” (com exceção do açúcar e do estilete) podem ser observados na figura 5.1 - Materiais para o experimento “Motor de Faraday” abaixo.

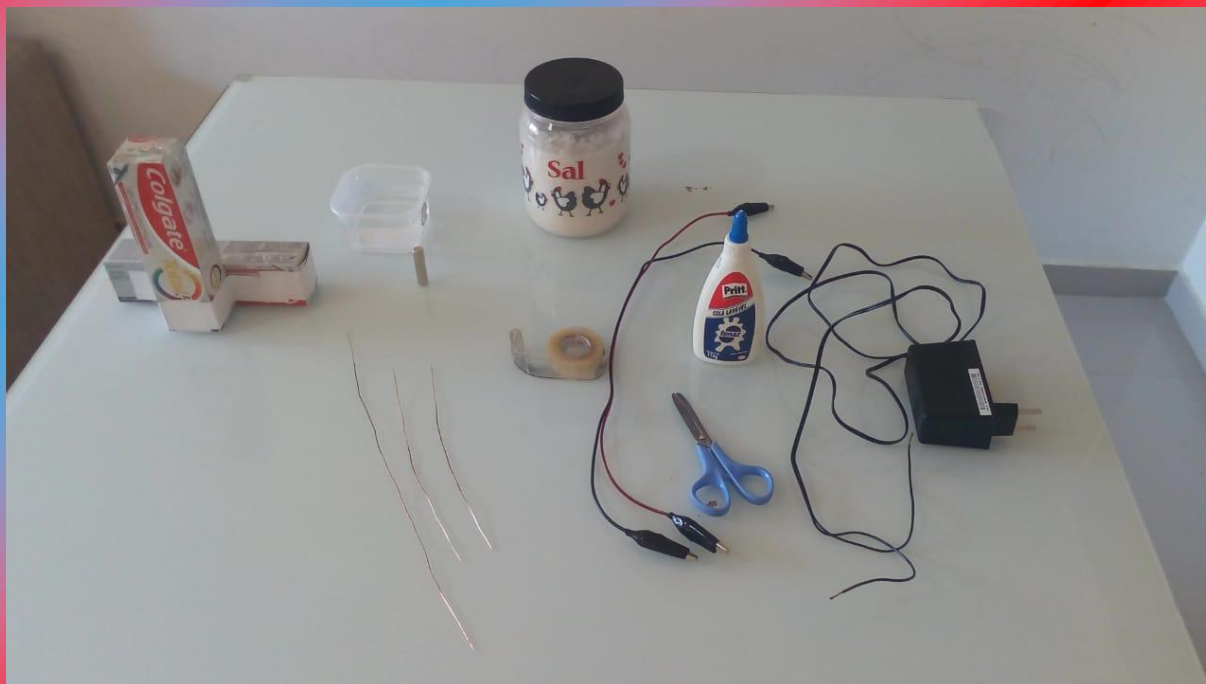


Figura 5.1 - Materiais para o experimento “Motor de Faraday”.

Fonte: o autor.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Primeiramente, a base do experimento é montada, unindo-se as duas caixas de pasta de dentes com a cola, como mostra a figura 5.2 - Montagem do “Motor de Faraday” – parte 1.



Figura 5.2 - Montagem do “Motor de Faraday” – parte 1.

Fonte: o autor.

Após isso, coloca-se água e sal (para facilitar a circulação de corrente elétrica) no recipiente plástico, e mergulha-se o ímã na solução, como mostra a figura 5.3 - Montagem do “Motor de Faraday” – parte 2.



Figura 5.3 - Montagem do “Motor de Faraday” – parte 2.

Fonte: o autor.

Na fase seguinte, os três fios de cobre esmaltado (um medindo aproximadamente 20 centímetros e os outros dois aproximadamente 10 centímetros) devem ser cortados e ter o esmalte das duas pontas retirado com o estilete. Após isso, amarram-se os fios de cobre esmaltado na base em forma de T, construindo a armação ilustrada na figura 5.4 - Montagem do “Motor de Faraday” – parte 3.

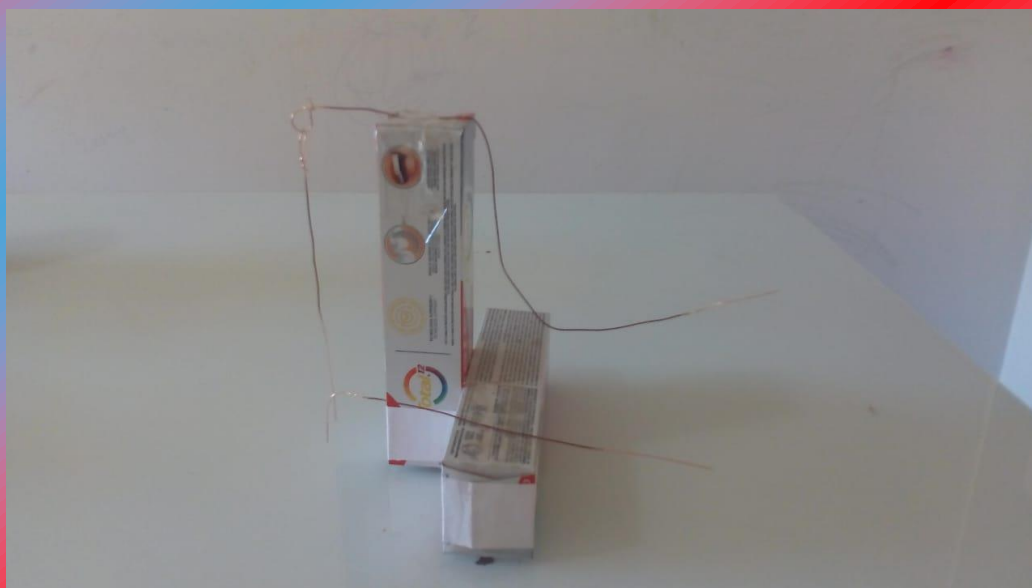


Figura 5.4 - Montagem do “Motor de Faraday” – parte 3.

Fonte: o autor.

Após isso, os 2 fios com “jacarés” nas pontas são unidos ao sistema como mostra a figura 5.5 - Montagem do “Motor de Faraday” – parte 4.

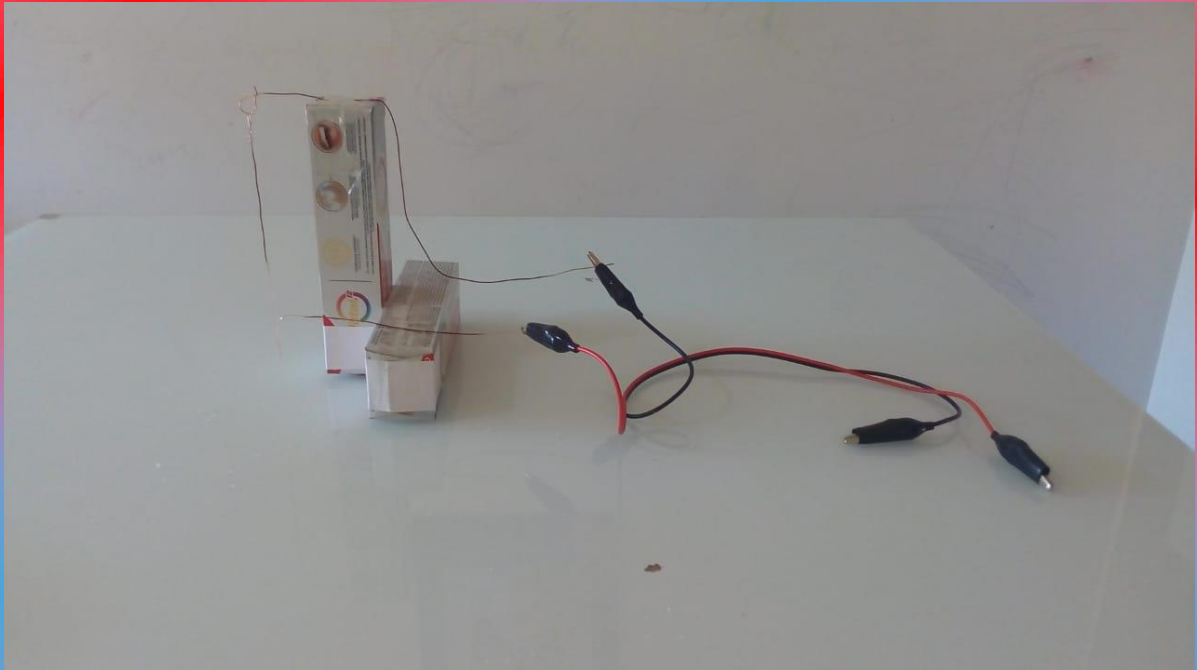


Figura 5.5 - Montagem do “Motor de Faraday” – parte 4.

Fonte: o autor.

Finalmente o sistema é montado unindo-se a fonte conversora de 2,5 A e o recipiente com a mistura de água e sal, como mostrado na figura 5.6 - Experimento “Motor de Faraday”.

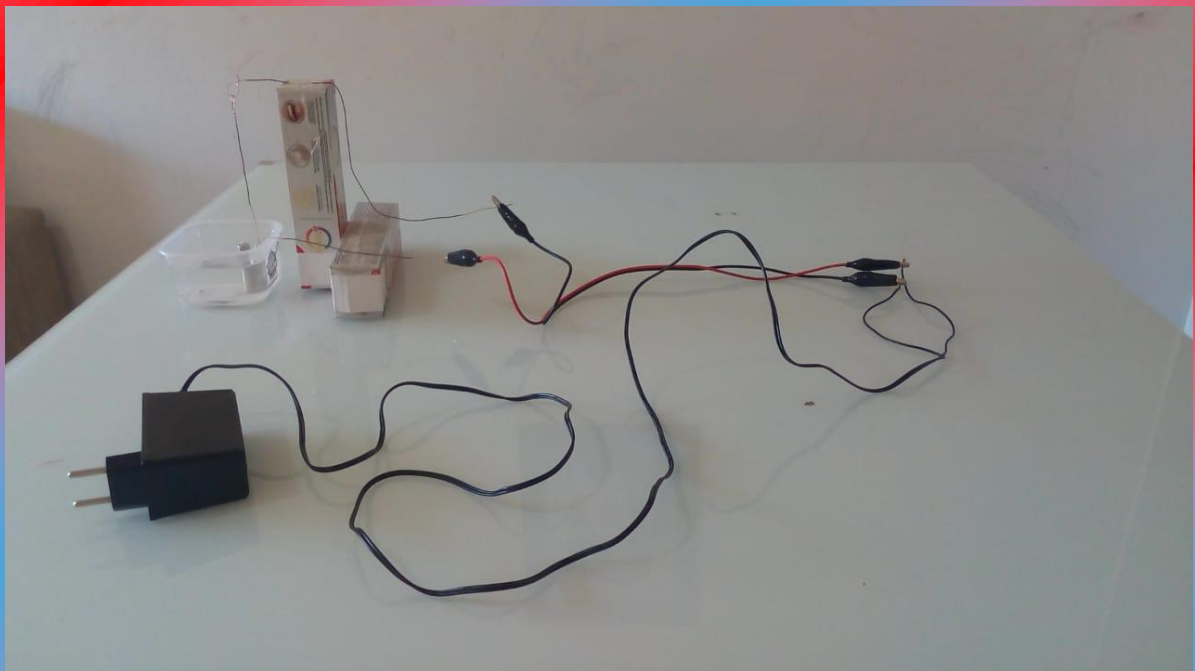


Figura 5.6 - Experimento “Motor de Faraday”.

Fonte: o autor.

OBJETIVOS DO EXPERIMENTO

O experimento do Motor de Faraday tem como objetivos fazer com que os alunos revivam os mesmos passos de Michael Faraday na construção do primeiro motor elétrico da história; fazer com que os alunos relacionem a teoria dos conceitos de eletromagnetismo e eletricidade com a prática do fenômeno físico; e relacionar o movimento da haste com o conceito de força magnética, verificando o sentido e a direção do movimento através da regra da mão direita.

EXERCÍCIOS

- 1) Se a solução posta no recipiente plástico fosse de água e açúcar, haveria o movimento da haste? Porquê?
- 2) Se os “jacarés” dos fios vermelho e preto fossem invertidos no terminal do suporte do motor de Faraday, o que aconteceria com o movimento da haste?
- 3) Porque se for retirada uma das pontas do jacaré do terminal do suporte do motor de Faraday, o movimento da haste é paralisado?
- 4) Quais são os fatores que definem o movimento da haste?

ROTEIRO DO EXPERIMENTO 6 – MOTOR ELÉTRICO

MATERIAIS UTILIZADOS

- 1 (uma) pilha tipo de D de 1,5 V;
- fio de cobre esmaltado;
- 2 (dois) alfinetes de “fralda de bebê”;
- 2 (dois) elásticos;
- 1 (uma) bexiga de aniversário;
- tesoura;
- estilete; e
- 1 (um) imã em formato de círculo.

Os materiais utilizados na construção do motor elétrico podem ser observados na figura 6.1 - Materiais para o experimento “Motor Elétrico” abaixo.



Figura 6.1 - Materiais para o experimento “Motor Elétrico”.

Fonte: o autor.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Primeiramente, corta-se uma seção da bexiga de aniversário e enrola-se longitudinalmente na pilha, e enrola-se os dois elásticos transversalmente na pilha como mostrado na figura 6.2 - Montagem do “Motor Elétrico” – parte 1.



Figura 6.2 - Montagem do “Motor Elétrico” – parte 1.

Fonte: o autor.

Após isso, enrola-se o fio de cobre esmaltado de forma a montar uma espira deixando duas pontas opostas de aproximadamente 5 centímetros, que terão o esmalte retirado com o estilete para facilitar a passagem de corrente elétrica como mostrado na figura 6.3 - Montagem do “Motor Elétrico” – parte 2.



Figura 6.3 - Montagem do “Motor Elétrico” – parte 2.

Fonte: o autor.

Nesta fase, os alfinetes são colocados em cada pólo da pilha embaixo da bexiga (que foi colocada para fixação desses alfinetes nos pólos da pilha) e o ímã é colocado por cima da pilha como mostra a figura 6.4 - Montagem do “Motor Elétrico” – parte 3.

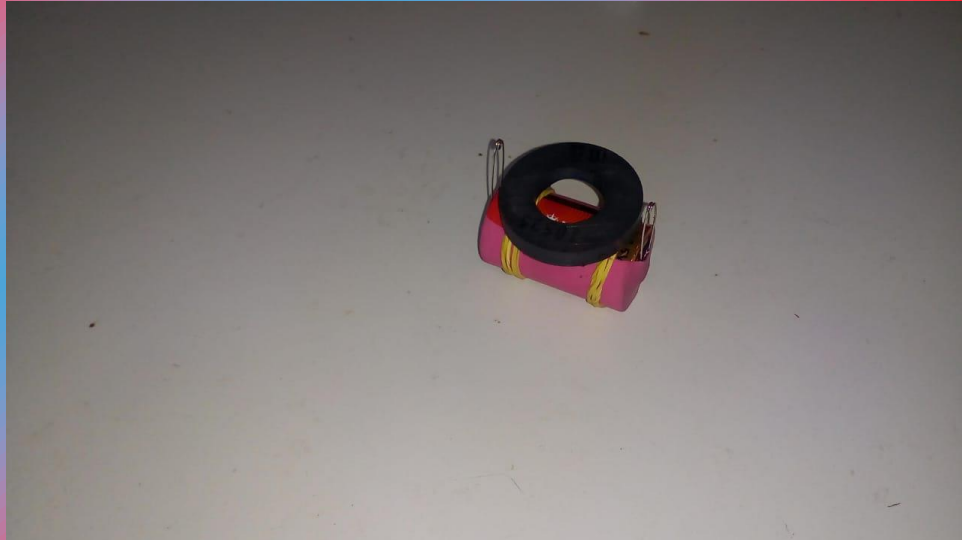


Figura 6.4 - Montagem do “Motor Elétrico” – parte 3.

Fonte: o autor.

Por fim, o sistema é montado colocando-se a espira entre os dois alfinetes, como mostra a figura 6.5 - Experimento “Motor Elétrico”.



Figura 6.5 - Experimento “Motor Elétrico”.

Fonte: o autor.

OBJETIVOS DO EXPERIMENTO

O experimento do Motor Elétrico tem como objetivos fazer com que os alunos relacionem o funcionamento do motor elétrico com o funcionamento de diversos eletrodomésticos (como batedeiras, máquinas de lavar, liquidificadores, entre outros) presentes em seu cotidiano; verificar novamente a interação entre o campo magnético do ímã e o campo magnético gerado por uma corrente elétrica que percorre a espira; relacionar o movimento da espira ao conceito de força magnética; e revisar a regra da mão direita para determinar o sentido e a direção da força magnética que determina o movimento da espira.

EXERCÍCIOS

- 1) Quais conceitos já estudados de eletromagnetismo podem ser observados no experimento?
- 2) O presente experimento pode ser observado em algumas situações de seu cotidiano. Cite algumas dessas aplicações?
- 3) Descreva com suas palavras porque a espira gira?

APÊNDICE II

PROFESSOR: OSVALDO DE LIRA AGUIAR JÚNIOR

Rio Grande – RS,

2023

INTRODUÇÃO – MODELO ATÔMICO

Os diversos objetos que nos rodeiam são formados por moléculas que são grupos de átomos combinados entre si. Apesar de átomo significar “indivisível” em grego, ele é constituído por prótons, nêutrons e elétrons (e mais algumas outras partículas). Com o passar dos séculos, os cientistas tentando explicar diversos fenômenos que ocorrem na natureza, chegou ao modelo atômico de Rutherford – Bohr, no qual os prótons que possuem carga elétrica positiva e os neutros que não possuem carga elétrica encontram-se no núcleo atômico, e os elétrons que possuem carga elétrica negativa estão girando ao redor do núcleo atômico na eletrosfera. Diversos experimentos mostraram que a massa de um nêutron é equivalente à massa de um próton, que por sua vez é aproximadamente é 1.840 vezes maior que a massa do elétron. Uma ilustração do modelo atômico de Rutherford-Bohr pode ser observada na figura 1 - Modelo atômico de Rutherford – Bohr abaixo.

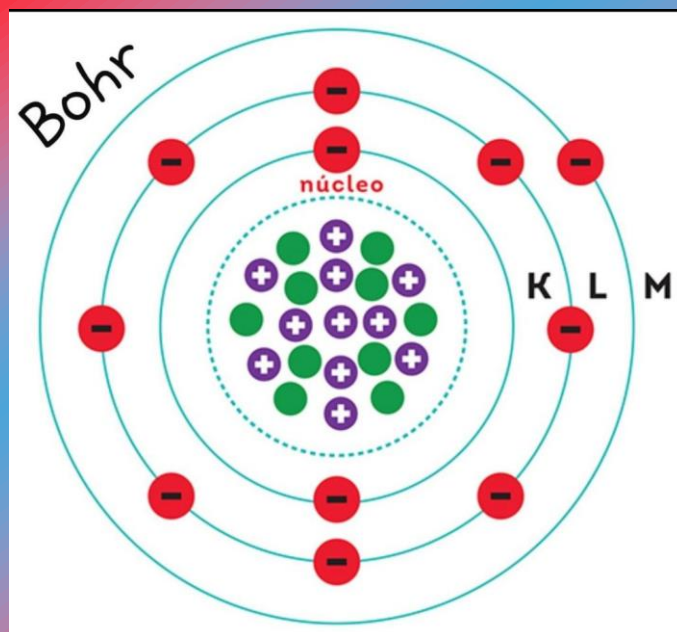


Figura 1 - Modelo atômico de Rutherford – Bohr.

Disponível em: <https://conhecimentocientifico.com/modelos-atomicos-2/>.

Pelo fato dos elétrons se encontrarem na eletrosfera, muito distantes do núcleo atômico, e possuírem massa muito pequena, estão mais propensos que os prótons a se soltarem do átomo e se unirem a outros átomos. Isso ocorre, principalmente, com os elétrons das camadas mais externas.

LIGAÇÃO METÁLICA

As ligações metálicas são tipos de ligações químicas que ocorrem entre metais. Elas formam uma estrutura cristalina chamadas de “ligas metálicas” (união de dois ou mais metais). Nas estruturas cristalinas formadas por ligações metálicas ocorre o fenômeno no qual elétrons das camadas de valência dos metais constituintes desses átomos se soltam para se ligar a outros átomos, e assim sucessivamente, e a este fenômeno denomina-se “nuvem de elétrons”. O modelo de ligação metálica e a “nuvem de elétrons” podem ser observadas na figura 2 - Liga metálica.

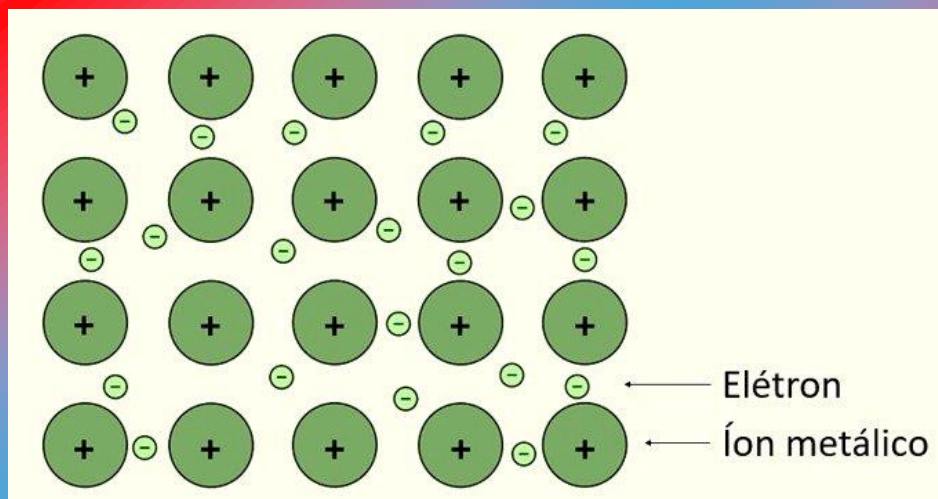


Figura 2 - Liga metálica.

Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/ligacoes-quimicas/>.

DIFERENÇA DE POTENCIAL

Diferença de potencial elétrico é o trabalho realizado pela força potencial elétrica para deslocar uma carga elétrica entre dois pontos distintos de um condutor elétrico. Uma ilustração da definição de diferença de potencial elétrico pode ser observada na figura 3 - Diferença de potencial elétrico.

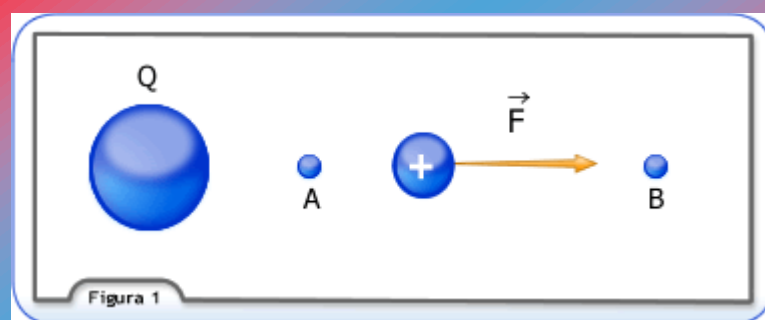


Figura 3 - Diferença de potencial elétrico.

Disponível em: http://uab.ifsul.edu.br/tsiad/conteudo/modulo1/fis/fis_ub/at1/01.html.

CORRENTE ELÉTRICA

A **corrente elétrica** é o movimento efetivo dos elétrons através de um condutor metálico, quando os terminais desse condutor são submetidos a uma diferença de potencial (trabalho realizado pela energia potencial elétrica), em que o potencial elétrico do ponto B é

maior que o potencial elétrico do ponto A, oriunda de um gerador. A definição de corrente elétrica pode ser observada na figura 4 - Definição de corrente elétrica.

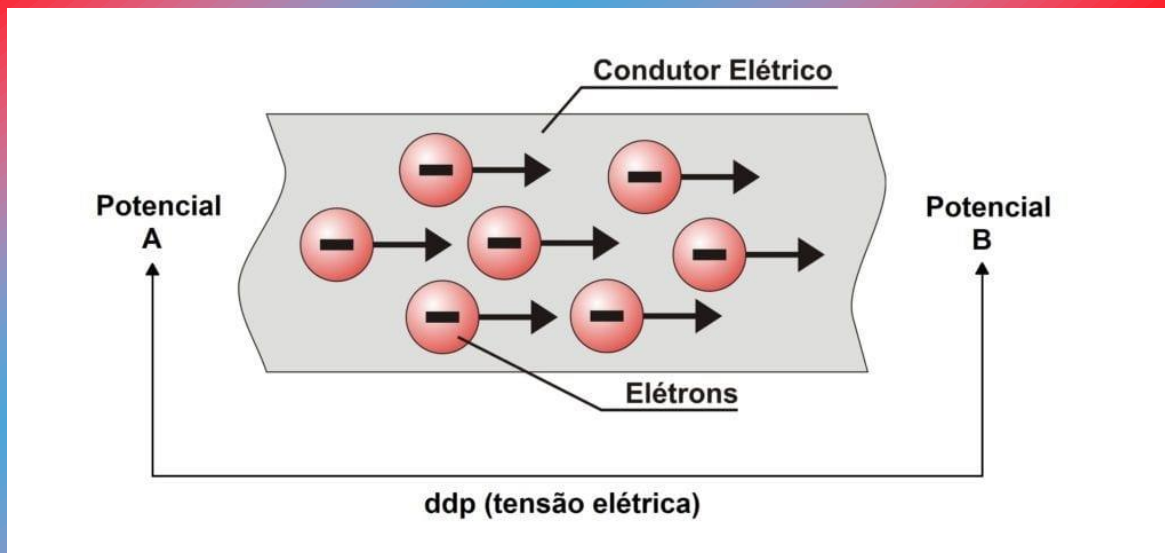


Figura 4 - Definição de corrente elétrica

Fonte: <https://conhecimentocientifico.com/corrente-eletrica/>.

A corrente elétrica também pode ser definida como a quantidade de carga que atravessa a secção transversal de um fio condutor em um determinado intervalo de tempo. A unidade de corrente elétrica no Sistema Internacional de Unidades é o Ampére. Quando se fala em 1 Ampére, significa que 1 Coulomb de carga atravessa a secção transversal do fio em 1 segundo. Matematicamente, a corrente elétrica é definida por:

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

onde ΔQ é a quantidade de carga que atravessa a secção transversal do fio em um determinado intervalo de tempo Δt . A quantidade de carga é definida matematicamente como $\Delta Q = n \cdot e$, em que n é a quantidade de elétrons e e é a carga elementar do elétron: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$.

A corrente elétrica pode ser dividida em dois tipos: corrente contínua e corrente alternada.

A **corrente contínua** é aquela que possui sentido, direção e intensidade constantes no tempo. A corrente contínua pode ser gerada por uma pilha ou bateria, por exemplo.

A **corrente alternada** é toda a corrente que muda periodicamente a intensidade e o sentido. A corrente alternada pode ser encontrada nas tomadas das casas com DDPs de 110 V e 220 V, a depender da região do país e com frequência de 60 Hz.

A representação esquemática de corrente contínua e da corrente alternada pode ser observada na figura 5 - Corrente contínua e corrente alternada.

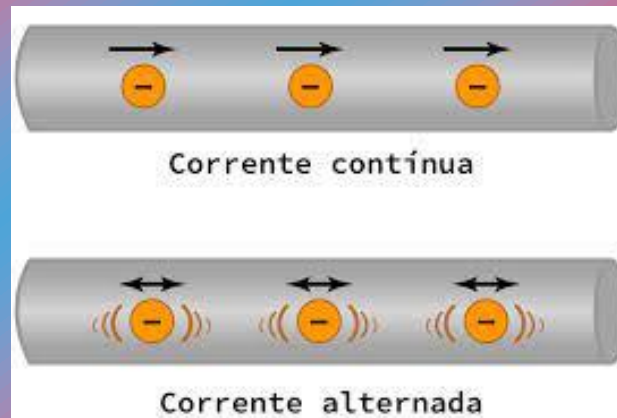


Figura 5 - Corrente contínua e corrente alternada.

Fonte: <https://realizeeducacao.com.br/wiki/corrente-eletrica/>.

A corrente elétrica ainda possui o sentido natural dos elétrons do pólo negativo para o positivo do gerador e o **sentido convencional** dos elétrons, usado no estudo da física, **do pólo positivo para o pólo negativo do gerador**. A representação esquemática do sentido convencional e do sentido real da corrente elétrica pode ser observada na figura 6 - Sentido convencional e sentido real da corrente elétrica.

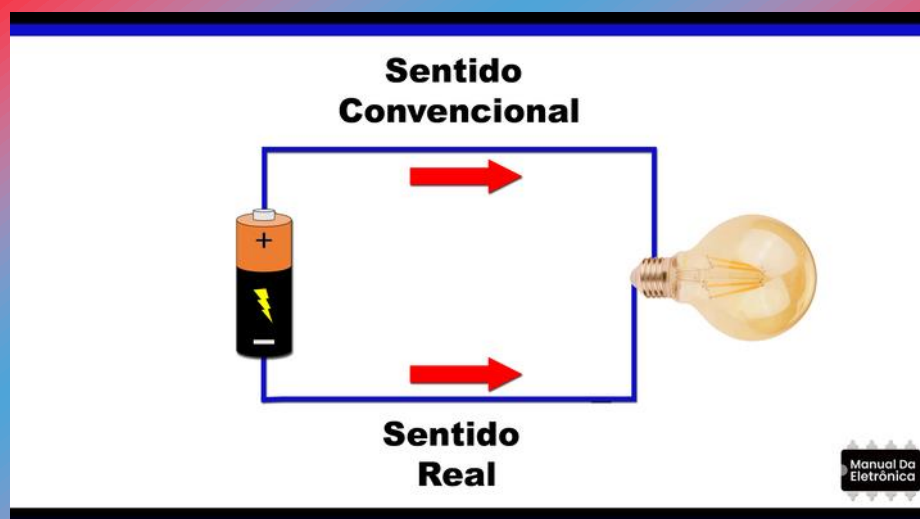


Figura 6 - Sentido convencional e sentido real da corrente elétrica.

Fonte: <https://www.manualdaeletronica.com.br/o-que-e-corrente-eletrica-formulas-caracteristicas/>.

EXERCÍCIOS

- 1) Uma secção transversal de um condutor é atravessada por um fluxo contínuo de cargas de 6 C por minuto, o que equivale a uma corrente elétrica em ampéres de:
- a) 60
 - b) 6
 - c) 1
 - d) 0,1
 - e) 0,6
- 2) Em uma secção transversal de um fio condutor passa uma carga de 10 C a cada 2 s. Qual a intensidade de corrente neste fio?
- a) 5 A
 - b) 20 A
 - c) 200 A
 - d) 20 mA
 - e) 0,2 A
- 3) A carga elétrica de um elétron é igual a $1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Em 10 segundos, $1,0 \cdot 10^{20}$ elétrons passam pela secção transversal de um condutor. A corrente elétrica média nesse condutor, em ampéres, é igual a
- a) 1,6
 - b) $1,6 \cdot 10$
 - c) $1,6 \cdot 10^{20}$
 - d) $1,6 \cdot 10^{19}$
 - e) $1,6 \cdot 10^{-19}$

CAMPO MAGNÉTICO

O campo magnético é toda a região do espaço em torno de um condutor percorrido por uma corrente elétrica ou em torno de um ímã, neste caso devido a particulares movimentos que os elétrons executam no interior dos átomos constituintes deste ímã.

CAMPO MAGNÉTICO DE UM IMÃ

O campo magnético de um ímã é determinado experimentalmente, e por convenção as **linhas de indução** saem do pólo norte do ímã e vão para o pólo sul do ímã. As linhas de indução e os pólos de um ímã em forma de barra podem ser visualizados na figura 7 - Linhas de indução de um ímã.

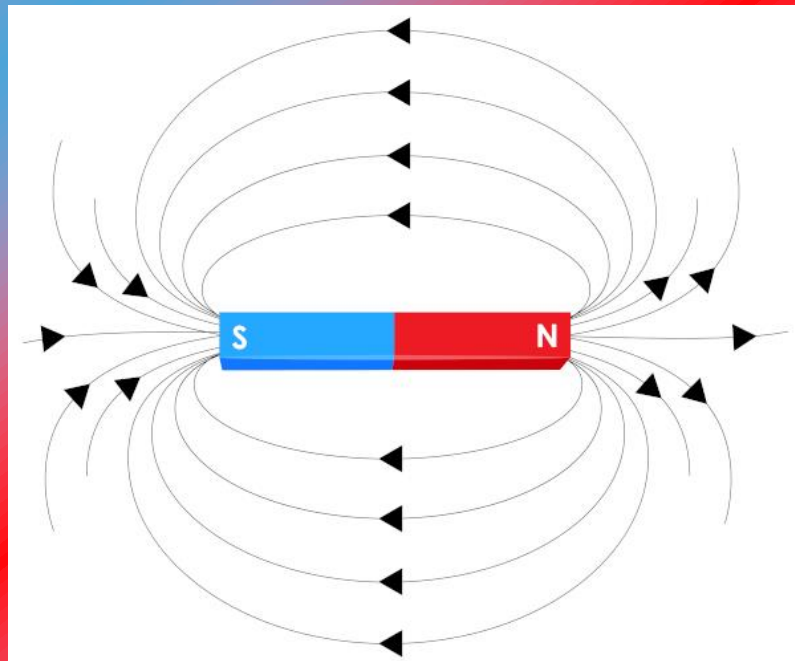


Figura 7 - Linhas de indução de um ímã.

Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/campo-magnetico.htm>.

O princípio da inseparabilidade dos pólos de um ímã é o fenômeno no qual ao se dividir um ímã, dois novos ímãs menores serão criados, ambos com pólos norte e sul. Outro fenômeno importante a ser observado nos ímãs é que pólos de mesmo nome se repelem e pólos de nomes distintos se atraem.

CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR UM FIO RETO CONDUTOR

O campo magnético de um condutor reto percorrido por uma corrente i em relação a um plano vertical em relação a uma secção reta do fio forma **circunferências concêntricas** ao redor desse fio condutor, ou seja, as linhas de indução do seu campo magnético são circunferências concêntricas situadas em planos perpendiculares ao fio condutor. A

representação das linhas de indução que representam o campo magnético de um fio condutor percorrido por uma corrente elétrica pode ser observada na figura 8 - Campo magnético de um fio condutor percorrido por corrente elétrica.

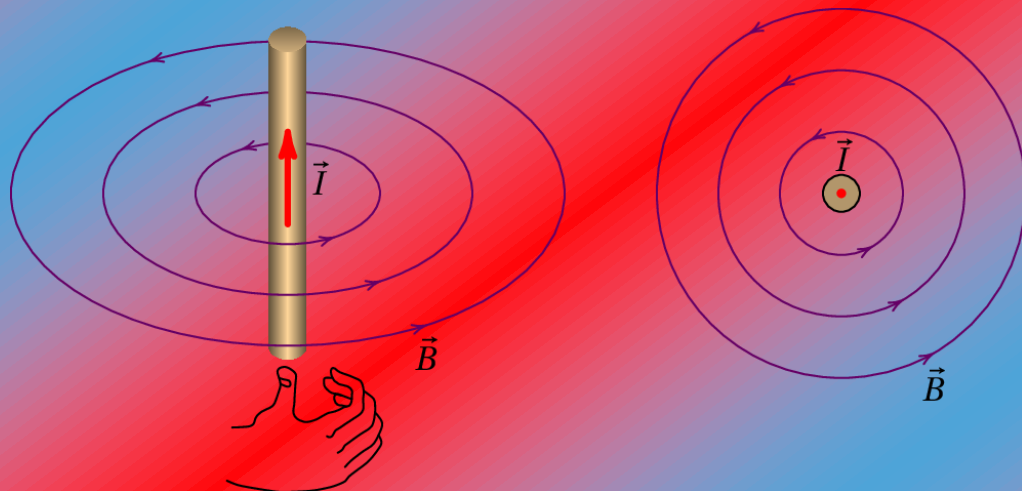


Figura 8 - Campo magnético de um fio condutor percorrido por corrente elétrica.

Fonte: https://villate.org/electricidade/campo_magnetico.html.

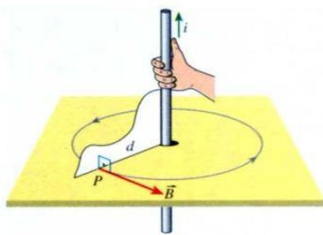
O vetor campo magnético de um fio reto percorrido por uma corrente elétrica em relação a um ponto P localizado a uma distância d num plano perpendicular ao fio condutor possui as seguintes características:

- **Intensidade:** definida por $B = \frac{\mu i}{2 \pi d}$
- **Direção:** tangente a linha de indução que passa pelo ponto P.

Um slide com as características e uma representação gráfica das características e das linhas de indução do campo magnético gerado por uma corrente elétrica pode ser observado na figura 9 - Campo magnético gerado por corrente elétrica.

Campo magnético gerado por corrente elétrica

Fio retilíneo e longo:



$$B = \frac{\mu \cdot i}{2\pi d}$$

Onde:

B : módulo do vetor campo magnético (T-Tesla)

i : corrente elétrica (A)

d : distância perpendicular entre o fio condutor e o ponto P onde se encontra o vetor campo magnético (m)

μ : permeabilidade magnética do meio

No vácuo:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ (SI)}$$

Profº Carlos Alberto

<http://www.fisicacomcarlos.blogspot.com>

Figura 9 - Campo Magnético gerado por Corrente Elétrica.

Fonte: <https://docplayer.com.br/13023925-Magnetismo-campo-magnetico.html>.

- **Sentido** (complementando as características do campo magnético gerado por uma corrente elétrica): determinado pela regra da mão direita, com os quatro dedos perfazendo uma circunferência em torno do condutor, conforme mostra a figura 10 - Regra da mão direita – campo magnético.

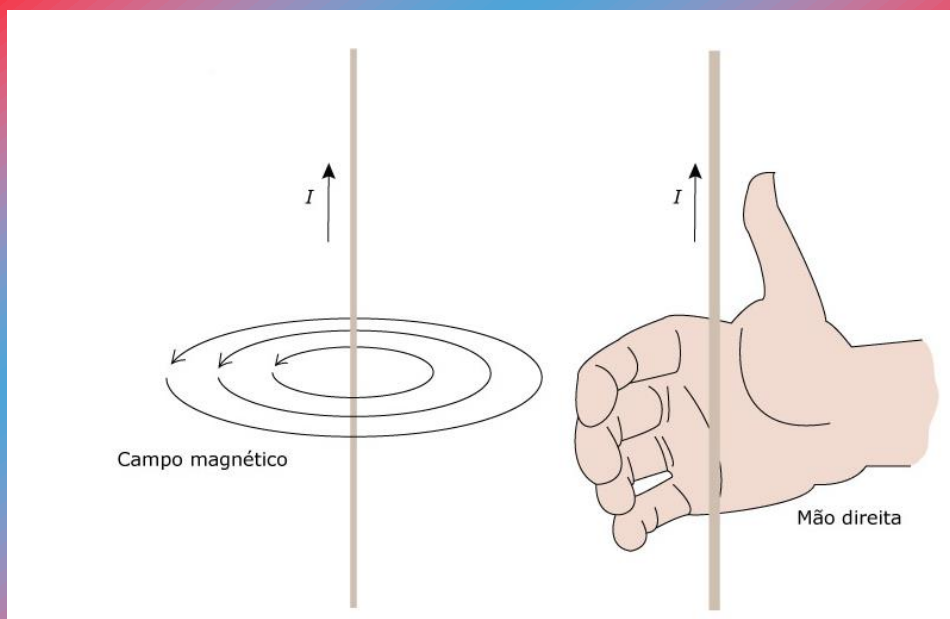


Figura 10 - Regra da mão direita – campo magnético.

Fonte: <https://infbenem.com.br/estudando-a-lei-do-ampere-e-a-regra-da-mao-direita/>.

CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR UMA ESPIRA CIRCULAR

O vetor campo magnético gerado por uma espira circular de raio r e percorrida por uma corrente elétrica i é paralelo ao eixo que passa pelo centro da espira, e é determinado da seguinte forma:

- **Intensidade:** $B = \frac{\mu i}{2r}$, onde μ é a permeabilidade magnética do meio, i é a corrente elétrica que atravessa o condutor e r é o raio da espira.
- **Direção:** paralela ao eixo que passa pelo centro da espira.
- **Sentido:** determinado pela regra da mão direita, com os quatro dedos perfazendo uma circunferência em torno do condutor.

A representação gráfica do campo magnético gerado por uma espira circular pode ser observada na figura 11 - Campo magnético gerado por uma espira.

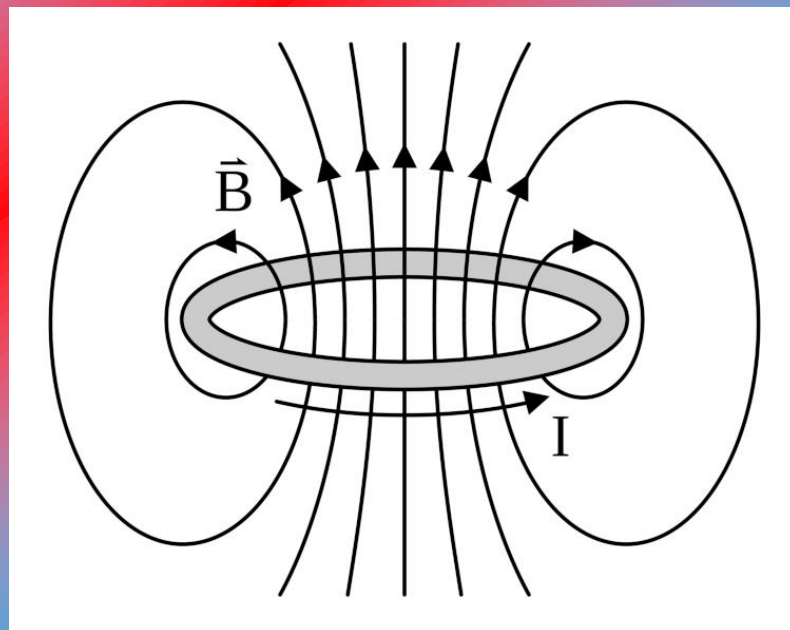


Figura 11 - Campo magnético gerado por uma espira.

Fonte: <https://www.preparaenem.com/fisica/campo-magnetico.htm>.

CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR UM SOLENÓIDE

O vetor campo magnético gerado por um solenóide é paralelo ao eixo do solenóide, sendo constante em seu interior, diminuindo a partir de suas extremidades e sendo desprezível

na região externa ao enrolamento. Na região interna, a intensidade do campo magnético B de um solenóide é definida por:

$$B = \frac{\mu N i}{L}$$

onde L é o comprimento do solenóide, i é a corrente que atravessa o solenóide, N é o número de espiras que o solenóide possui e μ é a permeabilidade magnética do meio.

A direção do vetor campo magnético é a direção do eixo do solenóide e o sentido é determinado pela regra da mão direita. O esquema das linhas de indução do campo magnético de um solenóide pode ser observado na figura 12 - Campo magnético de um solenóide.

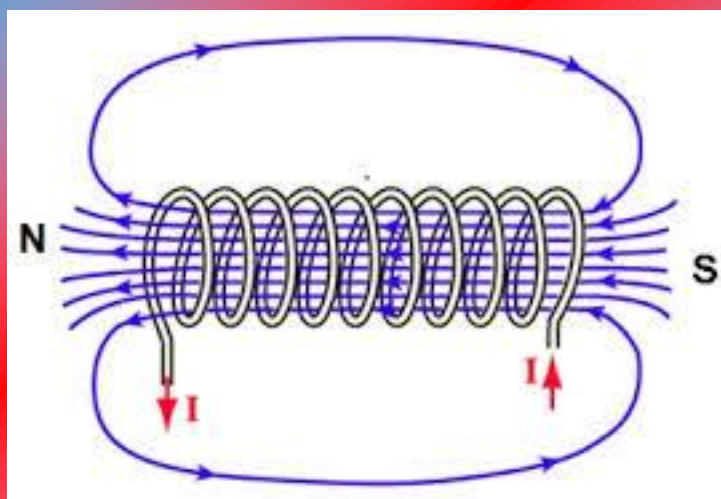


Figura 12 - Campo magnético de um solenóide.

Fonte: <http://www.eletronica24h.net.br/aulaca003.html>.

CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME

O **campo magnético uniforme** é aquele no qual em todos os pontos, o vetor campo magnético \vec{B} possui a mesma intensidade, a mesma direção e o mesmo sentido.

EXERCÍCIOS

- 1) Quando uma corrente elétrica percorre um condutor, gera em torno dele:
 - a) um campo magnético.
 - b) um campo elétrico.
 - c) um campo gravitacional.

d) dois campos: um magnético e outro gravitacional.

2) A materialização das linhas de indução de um ímã, através da limalha de ferro, forma um desenho que representa o(a) _____ do ímã.

a) campo magnético.

b) espectro magnético.

c) configuração magnética.

d) zona polarizada.

3) Partindo-se um ímã em dois pedaços:

a) um se transforma em pólo norte e outro em pólo sul.

b) ambos perdem as propriedades magnéticas.

c) os dois transformam-se em pólos magnéticos idênticos.

d) formam-se dois novos ímãs completos.

4) Aproximando-se o pólo norte de um ímã do pólo norte de outro ímã:

a) eles se atraem.

b) nada acontece.

c) eles se unem.

d) eles se repelem.

5) Aproxima-se um prego de aço, não imantado, de um ímã permanente. Nessas condições, pode-se afirmar corretamente que o prego será

a) repellido por qualquer um dos pólos do ímã.

b) atraído por qualquer um dos pólos do ímã.

c) atraído somente pelo pólo norte do ímã.

d) atraído somente pelo pólo sul do ímã.

FORÇA MAGNÉTICA

As forças magnéticas são interações que agem no campo magnético gerado por uma carga elétrica em movimento. Essas interações são geradas por um outro campo magnético no qual esta carga elétrica está submetida. O esquema das interações que atuam no campo

magnético gerado por cargas elétricas em movimento pode ser observado na figura 13 - Interação de campos magnéticos.

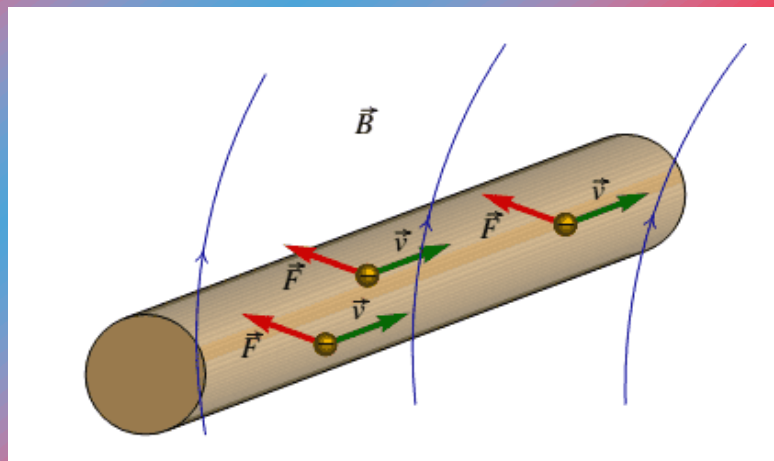


Figura 13 - Interação de campos magnéticos.

Fonte: <https://querobolsa.com.br/enem/fisica/forca-magnetica>.

Se a carga elétrica q se deslocar com uma velocidade v em direção paralela ao campo magnético \vec{B} , ela não ficará sujeita a nenhuma força, logo:

$$F_m = 0 \text{ N}$$

O esquema em que uma carga elétrica se desloca paralelamente a um campo magnético pode ser observado na figura 14 - Carga elétrica se deslocando em direção paralela ao campo.

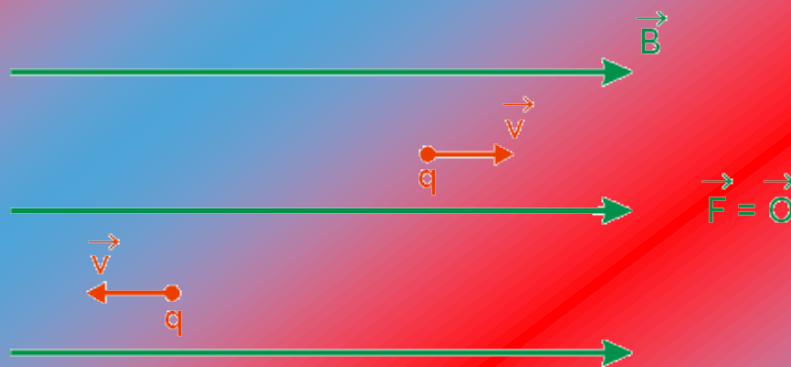


Fig. 1 - Quando \vec{v} e \vec{B} têm a mesma direção, não há força magnética.

Todos os direitos reservados.

Figura 14 - Carga elétrica se deslocando em direção paralela ao campo.

Fonte: https://www.educabras.com/enem/materia/fisica/corrente_eletrica/aulas/forca_magnetica.

Se a carga elétrica q se deslocar com uma velocidade v em uma direção perpendicular ou oblíqua ao campo magnético \vec{B} , o sentido e a direção da força magnética serão determinados pela regra da mão direita, e a sua intensidade será definida por:

$$F_m = B |q| v \text{ sen } \theta$$

O esquema de uma carga elétrica se deslocando perpendicularmente em relação a direção de um campo magnético pode ser observado na figura 15 - Deslocamento perpendicular ou oblíquo da carga elétrica.

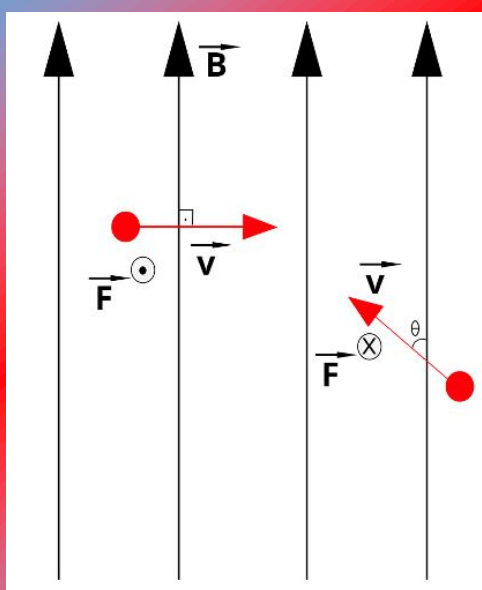


Figura 15 - Deslocamento perpendicular ou oblíquo da carga elétrica.

Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-forca-magnetica.htm>.

A representação esquemática da regra da mão direita pode ser vista na figura 16 - Regra da mão direita.

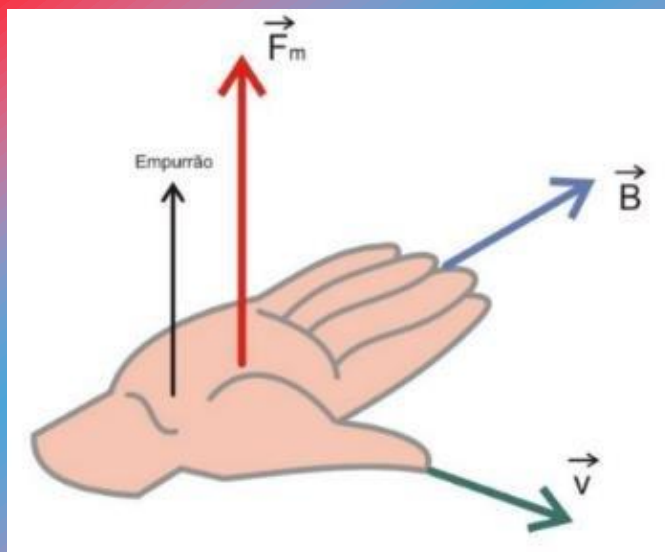


Figura 16 - Regra da mão direita

Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Regra-da-mao-direita-para-a-forca-magnetica-que-atua-em-uma-carga-Fonte_fig2_334779438.

Partindo da fórmula que define a força magnética exercida por um campo magnético em uma carga q :

$$F_m = B |q| v \sin \theta$$

Pode-se admitir um fio de comprimento L que esteja conduzindo uma corrente elétrica i , conforme a figura 17 - Força magnética em um fio condutor:

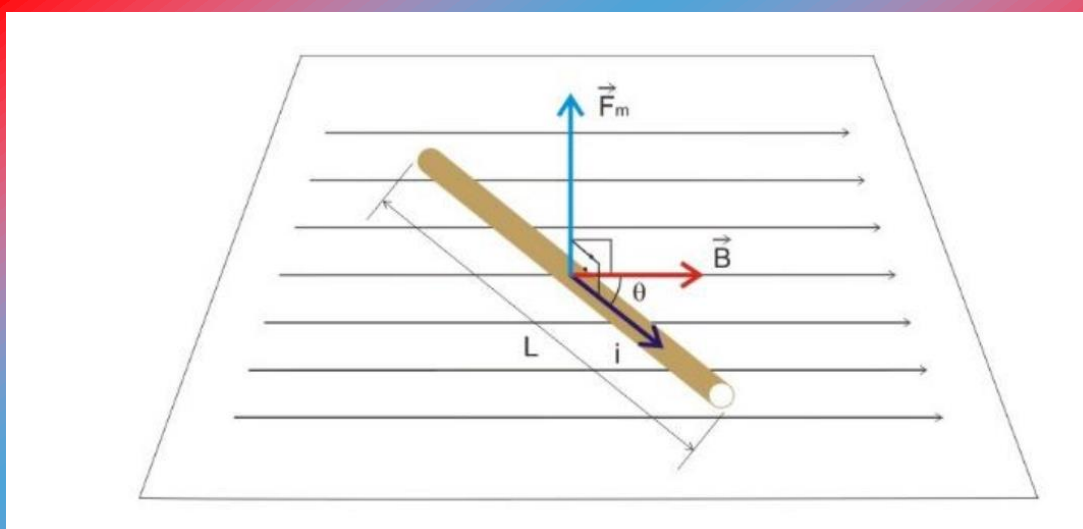


Figura 17 - Força magnética em um fio condutor.

Fonte: <https://www.ufrgs.br/colegiodeaplicacao/wp-content/uploads/2020/11/Semana-33-Fi%CC%81sica-300.pdf>.

Como a velocidade com que a carga q atravessa o fio de comprimento L é definida pelo quociente entre a variação de espaço percorrido e a variação de tempo para percorrer este espaço $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{L}{\Delta t}$, em que o espaço percorrido é igual ao comprimento do fio, tem-se:

$$F_m = B |q| \frac{L}{\Delta t} \text{ sen } \theta$$

Como a corrente elétrica é a variação de carga que atravessa a seção transversal do fio condutor em um determinado intervalo de tempo $i = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{|q|}{\Delta t}$, tem-se:

$$F_m = B \frac{|q|}{\Delta t} L \text{ sen } \theta$$

Essa fórmula é equivalente a:

$$F_m = B i L \text{ sen } \theta$$

Que é a fórmula que define o módulo da força magnética em um fio condutor em função do campo magnético a que está submetido, da corrente que transporta, do próprio comprimento L do fio e do ângulo que o fio condutor forma com o campo magnético que interage com a sua carga em movimento.

EXERCÍCIOS

1) Calcule a força magnética a que é submetido um fio de 3 metros de comprimento imerso em um campo magnético perpendicular a esse fio de intensidade 2 T, sendo este fio atravessado por uma corrente elétrica de 5 A.

- a) 10 N.
- b) 20 N.
- c) 30 N.
- d) 40 N.

2) Um segmento de fio condutor de 4 metros de comprimento está imerso em um campo magnético de 0,5 T, e é atravessado por uma corrente elétrica de 2 A. Sabendo-se que o fio é perpendicular à direção de propagação do campo magnético, qual é o módulo da força magnética no fio?

- a) 1 N.
- b) 2 N.
- c) 3 N.

d) 4 N.

3) O que é força magnética?

a) é uma interação gerada por um campo elétrico no campo magnético de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo elétrico.

b) é uma interação gerada por um campo elétrico no campo elétrico de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo elétrico.

c) é uma interação gerada por um campo magnético no campo magnético de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo magnético.

d) é uma interação gerada por um campo magnético no campo elétrico de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo magnético.

GERADORES ELÉTRICOS

Geradores elétricos são aparelhos que realizam a transformação de uma forma qualquer de energia em energia elétrica. Um gerador elétrico possui dois terminais que são chamados de pólos, o pólo negativo que corresponde ao terminal de menor potencial elétrico, e o pólo positivo que corresponde ao terminal de maior potencial elétrico.

Segundo Ramalho (1988): “Um gerador tem por função receber as cargas que constituem a corrente em seu potencial mais baixo (pólo negativo) e entregá-las em seu potencial mais alto (pólo positivo), fornecendo energia elétrica ao circuito.”

A pilha seca e a bateria, que podem ser observadas na figura 18 - Bateria e pilha, são exemplos de geradores que transformam energia química em energia elétrica.



Figura 18 - Bateria e Pilha.

Disponível em: <https://vamosestudarfisica.com/geradores-de-tensao-para-que-serve/>.

Os geradores mecânicos de usinas hidrelétricas são exemplos de geradores que transformam energia cinética das quedas d'água em energia elétrica. O esquema de funcionamento de uma usina hidrelétrica pode ser observado na figura 19 - Usina hidrelétrica.

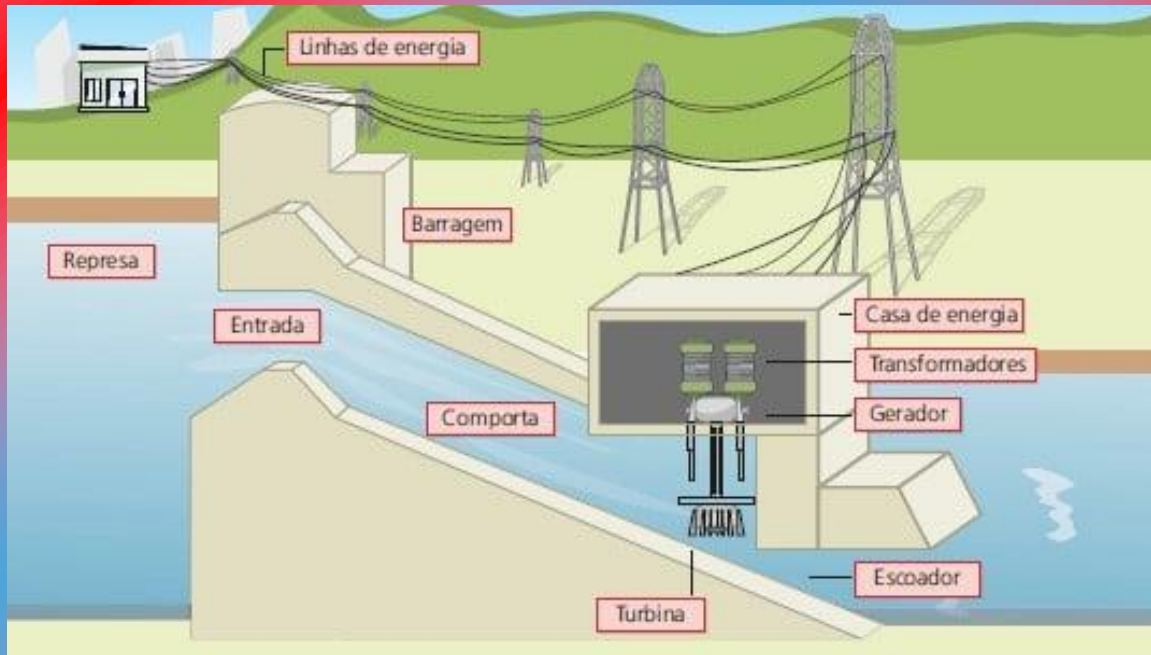


Figura 19 - Usina hidrelétrica.

Disponível em: <https://cursoemgratuito.com.br/gerador-eletrico/>.

RECEPTORES ELÉTRICOS

Receptores elétricos são mecanismos que transformam energia elétrica em outras formas de energia, que não sejam exclusivamente a energia térmica (como no caso dos resistores de chuveiros elétricos e lâmpadas incandescentes).

Segundo Ramalho (1988): “Um receptor tem por função receber a corrente em seu potencial mais alto (pólo positivo) e entregá-la em seu potencial mais baixo (pólo negativo) retirando energia elétrica do circuito.”

Motores elétricos como o do liquidificador, o da batedeira, o da furadeira e o da máquina de lavar são exemplos de receptores, pois convertem energia elétrica em energia mecânica. Uma imagem de uma batedeira pode ser observada na figura 20 – Batedeira.

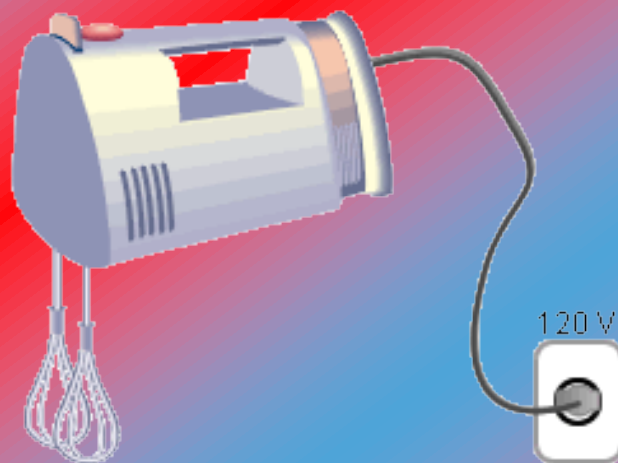


Figura 20 - Batedeira.

Disponível em: https://www.educabras.com/ensino_medio/materia/fisica/corrente_eletrica/aulas/receptores_eletricos.

Uma imagem de um liquidificador pode ser observada na figura 21 – Liquidificador.



Figura 21 - Liquidificador.

Disponível em: https://www.educabras.com/ensino_medio/materia/fisica/corrente_eletrica/aulas/receptores_eletricos.

Acumuladores formados por placas de chumbo dentro de um eletrólito (ácido sulfúrico) transformam energia elétrica em energia química. A imagem detalhada de um acumulador de chumbo (bateria) pode ser observada na figura 22 - Acumulador de chumbo – bateria.

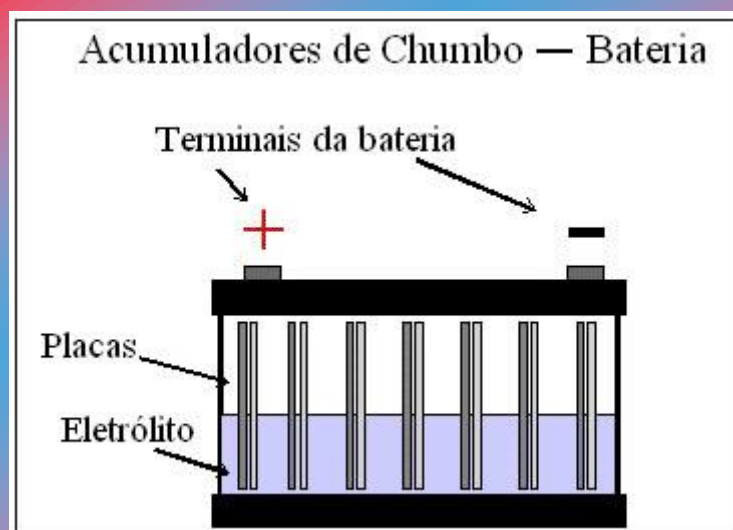


Figura 22 - Acumulador de chumbo – bateria.

Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/acumuladores-chumbo.htm>.

APLICAÇÕES PRÁTICAS DA ELETRODINÂMICA E DO ELETROMAGNETISMO.

1. ELETROÍMÃ

O eletroímã é um mecanismo composto por um material ferromagnético (ferro, por exemplo), no qual é enrolado um condutor ao seu redor de forma a constituir um solenóide, e através deste solenóide passa corrente elétrica que induz uma imantação temporária no material ferromagnético, que perde a imantação ao cessar o fluxo de corrente elétrica. O esquema de um eletroímã montado com uma pilha, fio de cobre e um prego pode ser observado na figura 23 - Eletroímã de pilha.

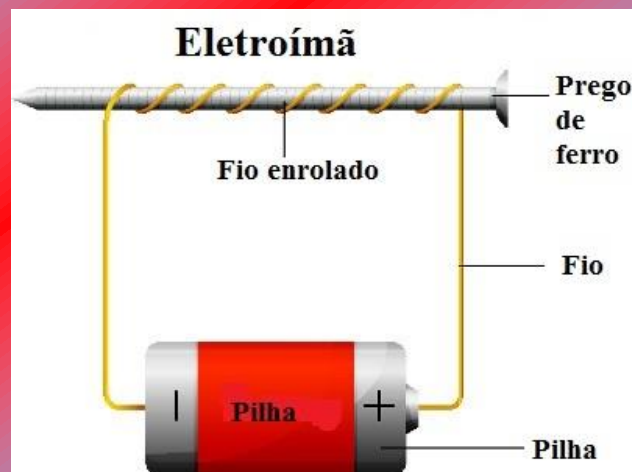


Figura 23 - Eletroímã de pilha

Fonte: <https://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/ensino-eletromagnetismo-construindo-um-eletroima.htm>.

Uma aplicação prática importante do eletromagnetismo no cotidiano é o guindaste eletromagnético utilizado para levantar peças pesadas de ferro, como chapas e vigas na indústria de construção civil e naval, e também para levantar sucata nas oficinas de reciclagem de metal. A utilização de um eletroímã na indústria pode ser vista na figura 24 - Eletroímã usado na indústria.



Figura 24 - Eletroímã usado na indústria.

Fonte: <http://www.ital.com.br/eletroima.html>.

A utilização do eletroímã em oficinas de sucatas para reciclagem pode ser observada na figura 25 - Eletroímã de sucatas.



Figura 25 - Eletroímã de sucatas

Fonte: <https://www.shopad.com.br/ad/eletroima-de-sucatas/2737422240122>.

2. MOTORES ELÉTRICOS

Motores elétricos são receptores que convertem energia elétrica ou química em energia mecânica. Um motor de corrente contínua, como o que será montado em sala de aula, consiste em uma espira de material condutor que é atravessada por uma corrente contínua e que sofre atuação de um campo proveniente de um ímã permanente. A interação entre o campo magnético do ímã e o campo magnético gerado pela corrente contínua que atravessa a espira gerará uma força magnética nos dois lados da espira que a fará girar. O esquema de funcionamento de um motor de corrente contínua pode ser observado na figura 26 - Motor de corrente contínua.

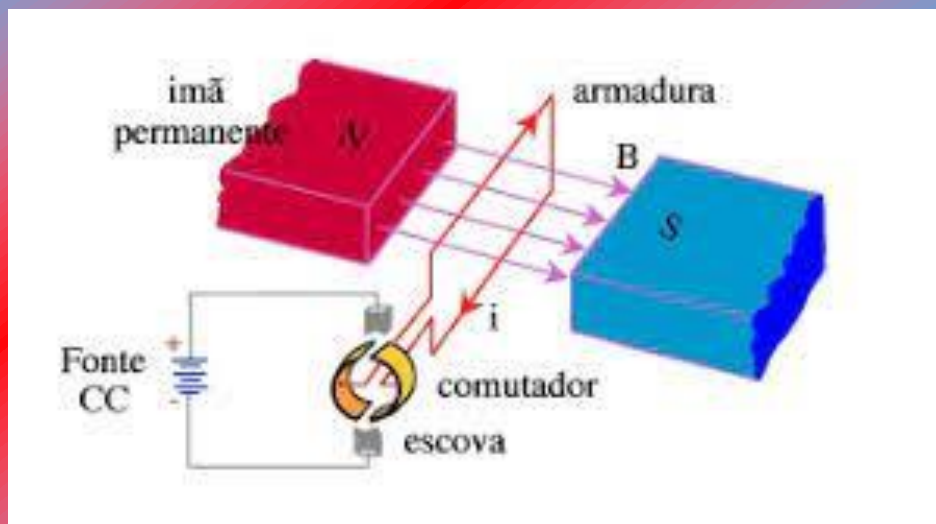


Figura 26 - Motor de corrente contínua.

Disponível em: https://cdn.hackaday.io/files/9127390489568/motor_cc.pdf.

Motores elétricos mais complexos (corrente alternada) como os encontrados em batedeiras, liquidificadores, ventiladores e máquinas de lavar, possuem enrolamentos que são montados sobre um cilindro (rotor) e são dotados de ligações elétricas (comutador e escovas). A ligação destes vários enrolamentos intensifica os binários pela soma de seus efeitos e também possibilita o aproveitamento de cada enrolamento em um dado instante. Quando a posição do momento de rotação é nulo, o sentido da corrente elétrica do enrolamento é invertido pelo comutador, garantindo uma rotação contínua no mesmo sentido. Um motor de

corrente alternada e algumas de suas peças podem ser observados na figura 27 - Motor de corrente alternada.

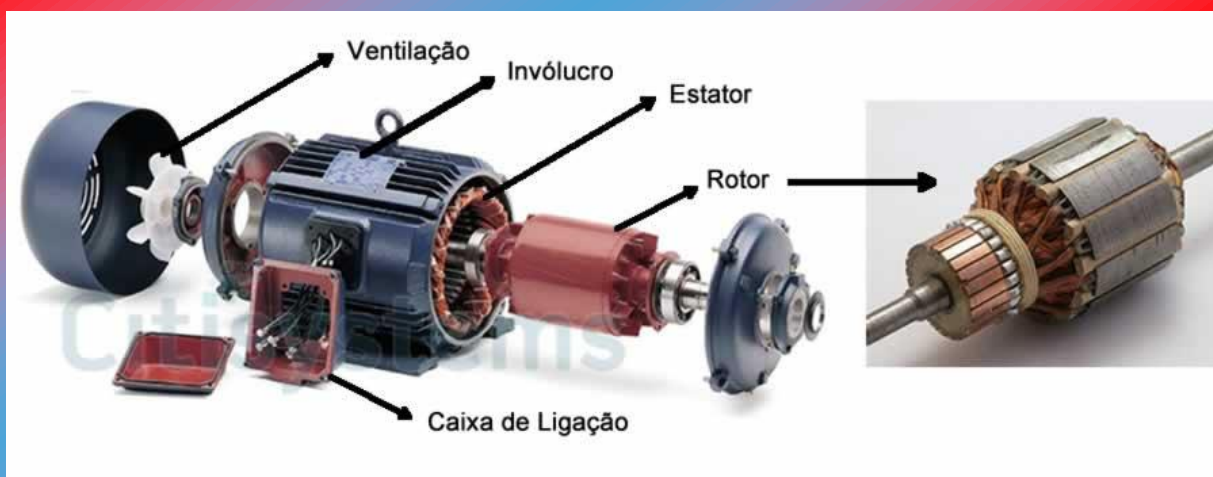


Figura 27 - Motor de Corrente Alternada.

Disponível em: <https://www.citissystems.com.br/motor-eletrico/>.

APÊNDICE III

**QUESTIONÁRIO PRÉ-ATIVIDADE, QUESTIONÁRIO PÓS-
ATIVIDADE E TESTE DE OPINIÃO**

PROFESSOR: OSVALDO DE LIRA AGUIAR JÚNIOR

Rio Grande – RS,
2023

QUESTIONÁRIO PRÉ-ATIVIDADE

1) O que você entende por corrente elétrica?

- a) é o movimento efetivo dos prótons por um fio condutor.
- b) é o movimento efetivo dos elétrons por um fio condutor.
- c) é uma força que conduz os elétrons através do fio condutor.
- d) é uma força que conduz os prótons através do fio condutor.

2) Qual destas afirmações melhor define campo magnético?

- a) é uma região do espaço em torno de um condutor percorrido por uma corrente ou em torno de um ímã.
- b) é uma região do espaço em torno de um condutor percorrido por uma corrente, apenas.
- c) é uma região do espaço em torno de um ímã, apenas.
- d) é uma região do espaço em torno de um resistor ôhmico.

3) O campo magnético pode ser definido como uma grandeza

- a) vetorial, que é definida por direção e sentido.
- b) escalar, que é definida por módulo, direção e sentido.
- c) vetorial, que é definida por módulo, direção e sentido.
- d) escalar, que é definida por direção e sentido.

4) Você saberia dizer qual substância líquida Michael Faraday utilizou na construção do seu motor elétrico como solução eletrolítica?

- a) água e sal.
- b) água e açúcar.
- c) mercúrio.
- d) cobre fundido.

5) Como são determinados o sentido e a direção da força magnética?

- a) Pela Regra da Mão Direita.
- b) Pela Regra da Exclusão de Pauli.
- c) Pela Regra do Paralelogramo para vetores perpendiculares.
- d) Pela Regra da Soma de Vetores.

6) Um segmento de fio condutor de 2 metros de comprimento está imerso em um campo magnético de 0,5 T, e é atravessado por uma corrente elétrica de 1 A. Sabendo-se que o fio é perpendicular à direção de propagação do campo magnético, qual é o módulo da força magnética no fio?

- a) 1 N.
- b) 2 N.
- c) 3 N.
- d) 4 N.

7) Em qual destes objetos não se utiliza motor elétrico?

- a) batedeira.
- b) liquidificador.
- c) máquina de lavar roupas.
- d) trem a vapor.

8) Qual destas afirmações melhor define força magnética?

- a) é uma interação gerada por um campo magnético no campo magnético de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo magnético.
- b) é uma interação gerada por um campo magnético no campo elétrico de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo magnético.
- c) é uma interação gerada por um campo elétrico no campo magnético de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo elétrico.
- d) é uma interação gerada por um campo elétrico no campo elétrico de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo elétrico.

9) Como são chamadas as linhas do campo magnético de um ímã e qual o seu sentido?

- a) linhas de magnetização, e o sentido é do polo norte para o polo sul do ímã.
- b) linhas de indução, e o sentido é do polo norte para o polo sul do ímã.
- c) linhas de magnetização, e o sentido é do polo sul para o polo norte do ímã.
- d) linhas de indução, e o sentido é do polo sul para o polo norte do ímã.

QUESTIONÁRIO PÓS-ATIVIDADE

1) O que é corrente elétrica?

- a) é uma força que conduz os elétrons através do fio condutor.
- b) é uma força que conduz os prótons através do fio condutor.
- c) é o movimento efetivo dos prótons por um fio condutor.
- d) é o movimento efetivo dos elétrons por um fio condutor.

2) O que é campo magnético?

- a) é uma região do espaço em torno de um condutor percorrido por uma corrente, apenas.
- b) é uma região do espaço em torno de um ímã, apenas.
- c) é uma região do espaço em torno de um condutor percorrido por uma corrente ou em torno de um ímã.
- d) é uma região do espaço em torno de um resistor ôhmico.

3) O que é força magnética?

- a) é uma interação gerada por um campo elétrico no campo magnético de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo elétrico.
- b) é uma interação gerada por um campo elétrico no campo elétrico de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo elétrico.
- c) é uma interação gerada por um campo magnético no campo magnético de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo magnético.
- d) é uma interação gerada por um campo magnético no campo elétrico de uma carga elétrica em movimento dentro deste campo magnético.

4) Calcule a força magnética a que é submetido um fio de 2 metros de comprimento imerso em um campo magnético perpendicular a esse fio de intensidade 2 T, sendo este fio atravessado por uma corrente elétrica de 5 A.

- a) 10 N.
- b) 20 N.
- c) 30 N.
- d) 40 N.

5) O que é o Princípio da Inseparabilidade dos Polos de um Ímã?

- a) é o princípio no qual se o ímã for partido em duas ou mais partes, continuará com suas propriedades magnéticas.
- b) é o princípio no qual se o ímã for partido em duas ou mais partes, continuará com suas propriedades elétricas.
- c) é o princípio no qual se o ímã for partido em duas ou mais partes, não continuará com suas propriedades magnéticas.
- d) é o princípio no qual se o ímã for partido em duas ou mais partes, não continuará com suas propriedades elétricas.

6) O que é a Regra da Mão Direita?

- a) é a regra que define o sentido e a direção da força magnética.
- b) é a regra que define o módulo da força magnética.
- c) é a regra que define o sentido e a direção da força elétrica.
- d) é a regra que define apenas a direção da força magnética.

7) O que diz o Princípio Atração e Repulsão dos Polos de um Ímã?

- a) polos de nomes iguais se repelem e polos de nomes diferentes se atraem.
- b) polos de nomes iguais se atraem e polos de nomes diferentes se repelem.
- c) polos de nomes iguais se repelem e polos de nomes diferentes se repelem.
- d) polos de nomes iguais se atraem e polos de nomes diferentes se atraem.

8) Em qual desses aparelhos não se encontra o motor elétrico?

- a) liquidificador.
- b) chuveiro elétrico.
- c) automóvel.
- d) máquina de lavar roupas.

9) O que é um motor elétrico?

- a) é qualquer dispositivo que transforma energia elétrica em energia elétrica.
- b) é qualquer dispositivo que transforma energia mecânica em energia elétrica.
- c) é qualquer dispositivo que transforma energia elétrica em energia mecânica.
- d) é qualquer dispositivo que transforma energia mecânica em energia mecânica.

TESTE DE OPINIÃO

- 1) Em relação à física, como um todo, como você sentia antes da atividade?
 - a) sentia muita dificuldade.
 - b) sentia dificuldade moderada.
 - c) sentia pouca dificuldade.
 - d) tinha facilidade com a disciplina.

- 2) Em relação ao eletromagnetismo, como você sentia antes da atividade?
 - a) sentia muita dificuldade.
 - b) sentia dificuldade moderada.
 - c) ainda não tinha visto esse conteúdo.
 - d) tinha facilidade com o conteúdo.

- 3) Como você avalia o seu desenvolvimento na disciplina de física ao longo da atividade?
 - a) não houve desenvolvimento na disciplina.
 - b) o desenvolvimento foi abaixo do esperado na disciplina.
 - c) o desenvolvimento foi acima do esperado na disciplina.
 - d) houve desenvolvimento, porém continuo com dificuldades na disciplina como um todo.

- 4) Em relação aos conceitos de eletromagnetismo, como você avalia a sua evolução durante a atividade?
 - a) Houve evolução tendo em vista que nunca tive contato com este conteúdo.
 - b) Não houve evolução, mesmo eu nunca tendo contato com este conteúdo antes.
 - c) Houve uma pequena evolução em relação aos conceitos anteriores.
 - d) Houve uma evolução considerável no conteúdo.

- 5) Em relação à física, como um todo, como você se sente após a atividade?
 - a) não houve desenvolvimento na disciplina.
 - b) o desenvolvimento foi abaixo do esperado na disciplina.
 - c) o desenvolvimento foi acima do esperado na disciplina.
 - d) houve desenvolvimento, porém continuo com dificuldades na disciplina como um todo.

6) Em relação ao eletromagnetismo, como você se sente após a atividade?

- a) Não houve melhora, pois não compreendi os conceitos por trás da atividade.
- b) Houve pequena melhora, mesmo tendo dificuldades para entender os conceitos por trás da atividade.
- c) Houve razoável melhora neste conteúdo, pois consegui entender os conceitos por trás da atividade.
- d) Houve melhora, pois compreendi os conceitos por trás da atividade.

7) A partir da atividade, como você avalia a evolução do seu entendimento sobre o funcionamento de motores elétricos?

- a) Não entendi como funcionam.
- b) Tive um entendimento razoável do seu funcionamento.
- c) Tive um entendimento razoável, e vou pesquisar em outras fontes, pois gostei do tema.
- d) Consegui entender perfeitamente (na teoria) o funcionamento dos motores elétricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GUIMARÃES, Luiz Alberto; BOA, Marcelo Fonte. **Física para o 2º Grau: Eletricidade e Ondas**. Editora Harbra. São Paulo: 1997.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; KRANE, Kenneth S. **Física 3**. 5ª Ed. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. São Paulo: 2004.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica – Volume 3: Eletromagnetismo**. 1ª Ed. Editora Blucher. São Paulo: 1997.

PARANÁ, Djalma Nunes da Silva. **Física Volume 3: Eletricidade**. 6ª Ed. Editora Ática. São Paulo: 1998.

RAMALHO JÚNIOR, Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Os Fundamentos da Física 3: Eletricidade**. 5ª Ed. Editora Moderna. São Paulo: 1988.

SILVA, Cláudio Xavier da; FILHO, Benigno Barreto. **Física Aula por Aula Volume 3: Eletromagnetismo, Ondulatória e Física Moderna**. 1ª Ed. Editora FTD. São Paulo: 2010.

