



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE (UFS)
DEPARTAMENTO DE FÍSICA (DFI)
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 11

PRODUTO EDUCACIONAL

EXPLORANDO OS DOMÍNIOS TEÓRICOS E EXPERIMENTAIS DO
MAGNETISMO DOS MOTORES ELÉTRICOS: UM MÉTODO DE
ENSINO POR ABORDAGEM PARA A EDUCAÇÃO DE JOVENS E
ADULTOS

Jailton dos Santos Filho

Edvaldo Alves de Souza Júnior

São Cristóvão/SE

2025

APRESENTAÇÃO

A primeira tarefa da educação é ensinar a ver.

Nietzsche

Lecionar, verbo bitransitivo. Se pensarmos somente segundo o regido pela gramática da Língua Portuguesa, notamos que a definição de bitransitividade por si só já carrega uma excepcionalidade, pois indica a necessidade de um complemento ao objeto, para dar sentido a oração. Para além da sintaxe, o olhar humano colocado na conjugação do verbo *lecionar* nos faz refletir sobre a profundidade de suas declinações. Analisando-o sob a perspectiva de um dos seus sinônimos, percebemos que ele tem a faculdade de ser escrito de modo a representar uma missão: educar. Esta, tem a capacidade de modelar-se em prol da dignificação do ser que se debruça à aprendizagem. Eis que entra em cena o professor, isto é, o indivíduo que em sua essência única se (re)faz constantemente em um quefazer de significados para seguir aprendendo enquanto ensina.

O termo professor foi uma tentativa de traduzir uma ação: aquele ou aquela que declara em público, ou aquele(a) que afirmou publicamente. Cada professor, ao assumir a responsabilidade por um conteúdo, carrega e declara, publicamente, as vozes daqueles e daquelas que trouxeram elementos necessários para a construção da própria civilização, em qualquer área do conhecimento. Assim, o interessante dessa ação social é que ela carrega consigo a multiplicidade de vozes que ecoaram ao longo dos tempos. No entanto, em sua prática diária, o faz solitariamente frente a um grupo que testa sua verificabilidade e respeitabilidade à medida que constrói segurança naquela voz uníssona que representa outras tantas (FARIA, 2021, p. 4-5).

A tarefa do educador — aquele que tem como propósito de vida a missão de educar —, se realiza quando encontra no educando a ponte entre ensino e aprendizagem como via de mão dupla do ato de lecionar. Ela transcende o espaço tridimensional ocupado por ele enquanto ministra suas aulas, e se efetiva em cada palavra proferida, sobretudo quando ela é dita após ser ouvida daqueles que recebem a instrução. Quando a palavra deseja alcançar a eternidade, ela se apresenta em forma de escritos, e estes transcendem à temporalidade espacial e se tornam imprescindíveis ao processo da educação. Durante a elaboração de um material didático e instrucional o professor tem a responsabilidade de se fazer presente metafisicamente e, para tanto, precisa se revelar em cada ensinamento proferido e perpetuado nas letras redigidas.

O produto educacional que ora ofertamos foi elaborado com o intuito de impulsionar o surgimento de práticas pedagógicas que visem o aprendizado como

parte substancial da docência. Para tanto, foi preciso compreender e respeitar a realidade sociocultural do público-alvo, isto é, professores e alunos, com os quais desejamos compartilhar um pouco da nossa vivência na fronteira científica aqui explorada. Este material terá cumprido seu papel existencial se, e somente se, for usado e aplicado no ambiente escolar, como ferramenta didática que correlaciona o conflito experimental com a conceituação teórica.

Tratamos neste documento de contextualizar algumas definições próprias do magnetismo como noções conciliadoras e fundamentais ao entendimento funcional dos motores elétricos. Apresentamos uma unidade de ensino dividida em seis aulas, agregando aos conteúdos metodológicos, raízes epistemológicas e ontológicas acerca das proposições condizentes com a temática abordada. A fim de inserir o aluno em uma posição de protagonismo, revelando-o como um agente questionador e problematizador frente ao desafio de interpretar e descrever alguns fenômenos de natureza elétrica e magnética, procuramos estabelecer uma linha central de raciocínio, propondo ao final de cada seção, sugestões de pesquisa mediante aplicação de questionários a serem respondidos conforme a absorção da instrução recebida. Tais atividades incluem não apenas a resolução de exercícios, mas também a discussão em conjunto das respostas sugeridas, bem como a investigação em campo, isto é, verificação prática daquilo que foi exposto na sala. Essa pedagogia busca envolver os participantes através do diálogo, uma vez que nessa construção do saber em comunhão, o professor irá analisar o raciocínio do aluno a ponto de estabelecer as bases conceituais para a próxima tarefa. Assim, o elo entre o educando e o educador é fixado como mecanismo chave para que o ensino esteja em sintonia com o aprendizado alcançado.

Confiamos de forma esperançosa que iniciativas voltadas ao melhoramento das condições de ensino tendem a surgir por intermédio dos profissionais que enxergam na educação a única e mais eficaz maneira de se edificar uma sociedade com valores de justiça e humanidade. Que este material instrucional possa refletir a responsabilidade por trás da missão de educar, cujo desígnio de existência se dá no espelhamento de ideias e vivências suscitadas no processo de ensino e aprendizagem.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

SUMÁRIO

<i>Introdução</i>	4
<i>Organização das Aulas</i>	9
<i>Unidade de Ensino</i>	22
Aula 1	
<i>Motores: história e epistemologia</i>	23
Aula 2	
<i>O Magnetismo e os ímãs: origens e aplicações</i>	28
Aula 3	
<i>Campo Magnético</i>	33
Aula 4	
<i>Processos de Indução</i>	42
Aula 5	
<i>Força Magnética</i>	51
Aula 6	
<i>O funcionamento dos Motores Elétricos</i>	56
<i>Referências</i>	64
<i>Índice Onomástico</i>	67

INTRODUÇÃO

Casa sem tomada. Inimaginável, não? Convido a quem está lendo este material a pensar um pouco mais sobre a realidade ambiental e tecnológica que nos cerca. Propomos uma reflexão partindo da observação de um simples dispositivo, presente em quantidades variáveis em cada residência: as tomadas. A presença de uma tomada significa, por conseguinte, o acesso à eletricidade. Tenhamos um olhar mais profundo sobre essas informações e analisemos o quão abrangente é essa distribuição de modo a perceber o poder de transformação social que a eletricidade proporcionou à humanidade ao longo dos últimos 150 anos.

Uma casa sem tomada é um retrocesso. O cotidiano que desconhece a finalidade desse dispositivo, não condiz com a visão de muito trazida pela revolução industrial ocorrida no século 19. Desde então, a utilização dos princípios elétricos e magnéticos na industrialização, vem sendo o principal combustível para o desenvolvimento do setor fabril. Uma implicação direta desse avanço foi a construção dos motores elétricos, invenção que iniciou uma nova era na industrialização moderna, culminando na criação de novas aplicações sociais, tendo em vista o potencial de aplicabilidade tecnológica percebido na propensão de se ter um mecanismo capaz de gerar energia mecânica por meio da eletricidade. O potencial de trabalho conquistado pelo homem em razão da presteza trazida por essa tecnologia pôde elevar no nível de sofisticação e modernização da humanidade.

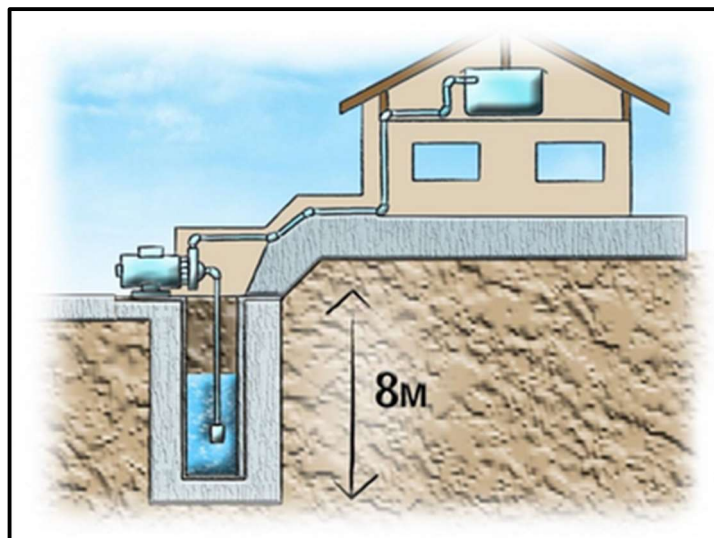
Quem veio primeiro: o motor ou o gerador? O impacto de tal investigação proporcionou o surgimento de novas tecnologias ligadas à fabricação de aparelhos cujo funcionamento já se dava majoritariamente pela presença dos motores, os quais passaram a ser impulsionados pelos fundamentos do eletromagnetismo em sua construção. Isso, naturalmente, permitiu o aprimoramento dos mecanismos industriais, os quais fizeram surgir outros aparelhos com aplicações mais abrangentes. Assim foram feitos os geradores elétricos, que têm seu funcionamento descrito de forma inversa ao que ocorre nos motores elétricos.

A energia mecânica utilizada para o acionamento dos geradores, isto é, para impulsionar produção de eletricidade, pode ser obtida por diversas fontes. Nos anos que seguiriam a invenção desse mecanismo, por exemplo, usava-se o vapor d'água que provinha do aquecimento (trocas de calor) do reservatório sobre o qual o gerador era construído. Hoje em dia, podemos citar com maior notoriedade, outras

fontes de energia mecânica, tais como a força oriunda da água represada em uma usina hidrelétrica e o movimento giratórios das hélices das enormes pás dos aerogeradores existentes nos parques eólicos.

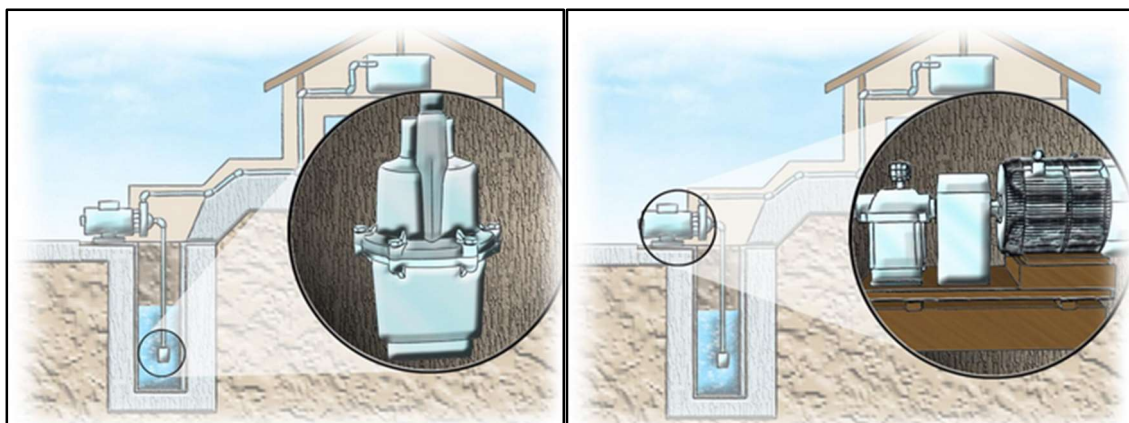
Há diversas implicações e aplicações dos motores e geradores elétricos no nosso dia a dia. Por exemplo, é comum encontrarmos em residências, sobretudo nas cidades interioranas, um sistema de captação de água diretamente do subsolo. São as chamadas *cisternas* e/ou *poços artesianos*. Para que seja possível abastecer a casa com a água que flui nos lençóis freáticos — ou seja, do leito de rio que passa abaixo da terra —, é preciso um sistema que opere à base de um motor. Eles são costumeiramente conhecidos como “bomba d’água”, pois sua principal função é bombear a água diretamente do subsolo para a residência e armazená-la nas “caixas d’água” (feitas de cerâmica ou cimento) a fim de prover o fornecimento para a família. Um olhar para a Figura I nos permite visualizar essa aplicação.

Figura 1. Casa com sistema de bombeamento de água subterrâneo.



Poço artesiano contendo a chamada bomba d’água e seu mecanismo de captação hídrica.
Fonte: C&C Construção (2024).

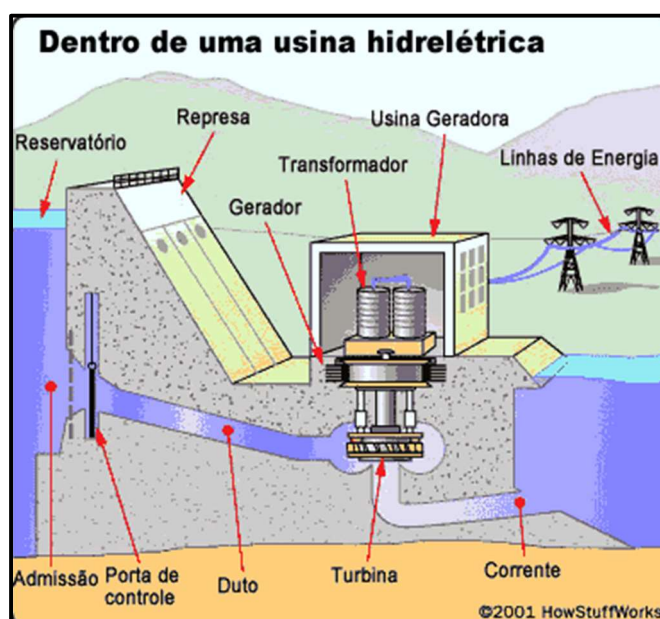
Figura 2. Bomba d'água



À esquerda, imagem ampliada da bomba d'água (motor submerso). À direita, detalhe do motor de filtro e bombeamento. Fonte: Adaptada de C&C Construção (2024).

Quando nos atemos à capacidade de produzir energia elétrica em larga escala, logo pensamos nas usinas, que operam seguindo uma determinada fonte de energia, seja ela eólica, hidrelétrica, nuclear ou solar. Em todas essas há um componente primordial, que é o gerador elétrico. Por exemplo, destacando o processo que ocorre nas usinas elétricas, encontraremos no gerador, o mecanismo de conversão de energia mecânica em energia elétrica.

Figura 3. Esquema de produção de energia em uma usina hidrelétrica.



Destaque para o gerador, peça fundamental para converter a energia mecânica, proveniente do movimento das águas represadas, em energia elétrica, a qual segue distribuídas por meio dos fios e cabos de alimentação nas linhas de distribuição (postes). Fonte: Azeheb (2018).

Os geradores elétricos são indispensáveis para o fornecimento de energia elétrica em todo o planeta. Eles se tornaram cruciais para o progresso dos meios de produção, os quais alavancaram pesquisas destinadas à consolidação e à correlação dos conceitos elétricos e magnéticos na aplicação em diversos equipamentos industriais com os quais nos deparamos diariamente.

Gostaríamos, então, de enfatizar uma das indagações a serem propostas ao longo das aulas que se seguem, ratificando o seguinte questionamento: como seria viver em uma realidade sem a tecnologia empregada pelos motores e geradores elétricos? Você consegue imaginar um mundo sem luz elétrica e água encanada nas residências, sem automóveis, aviões, satélites, bem como sem a existência dos aparelhos eletrodomésticos, tais como liquidificador, geladeira, ventilador, além de todos os demais dispositivos eletrônicos, como os celulares, computadores, televisão etc?

Por mais que essa resposta seja individual, não é difícil presumir que ela também seja unânime. Ou seja, todos iremos concordar que a humanidade alcançou um nível de modernização tal que é impossível pensar em um outro cenário no qual toda essa tecnologia simplesmente não venha a existir e ser usufruída. Neste sentido, um dos objetivos deste material didático e instrucional se revela não somente na pedagogia ligada ao ensino e aprendizagem dos conceitos aqui reunidos, mas sobretudo na conscientização sobre valores existências que estão entrelaçados com a nossa capacidade criativa, que visa buscar novas e melhores soluções solidárias de acordo com os recursos que dispomos. Que possamos almejar, portanto, uma harmonização em nossas ações a fim de que seja possível alcançar e um desenvolvimento mais ético, inteligente e sustentável.

*Só realmente aprendemos
aquilo que usamos.*

Rubem Alves

Organização

das

Aulas

Aula 1 – Motores: história e epistemologia

Conteúdo Programático

Introdução ao conteúdo

Texto: O que são motores?

Discussão do conteúdo

Questões problematizadoras

Contextualização do conteúdo

Atividade de Pesquisa

Estruturação Didática

Objetivo do texto

Promover uma discussão contextualizada sobre a percepção histórica da manufatura, destacando seu papel no desenvolvimento da potência de trabalho do homem, possibilitando a evolução gradual das tecnologias industriais que culminaram na construção dos primeiros motores.

Síntese dos questionamentos

Os alunos serão instigados a pensar sobre como responder as questões propostas com base na leitura do texto inicial, de modo que o professor possa obter parâmetros das respostas, com o intuito de esclarecer as eventuais dúvidas e gerenciar as próximas tarefas contextualizadas.

Dialogicidade

Os estudantes são convidados ao debate. O professor conduz a discussão promovendo a troca de ideias, com a percepção de cada um dos alunos sobre o conceito e aplicações dos motores para a sociedade. O padrão comparativo das respostas apresentadas permite uma real observação assimilativa do conteúdo abordado.

Desenvolvimento da aprendizagem

Após a aula, o professor propõe uma tarefa extraclasse pautada em uma pesquisa sobre como a utilização da tecnologia presente nos motores veio a modificar a sociedade.

Bibliografia Consultada

MELO, Pâmella Raphaella. “Motor elétrico”. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/eletricidade-acionamento-motores-eletricos.htm> . Acesso em 17 de outubro de 2023.

Porto Editora. “James Hargreaves na Infopédia”. **Porto Editora**. Disponível em: [https://www.infopedia.pt/artigos/\\$james-hargreaves](https://www.infopedia.pt/artigos/$james-hargreaves) . Acesso em 29 de julho de 2024.

SANTOS, Vanessa Sardinha dos. “Homo sapiens”. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/a-nossa-especie-homo-sapiens.htm> Acesso em 13 de novembro de 2023.

SILVA, E. C. da. **Análise Termodinâmica e Reprojeto de um Motor a Vapor**. 2019. 84 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica — Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, 2019.

Aula 2 – O Magnetismo e os ímãs: origens e aplicações

Conteúdo Programático

Introdução ao conteúdo

Texto: Os ímãs e o surgimento do magnetismo

Discussão do conteúdo

Questões problematizadoras

Contextualização do conteúdo

Atividade de Pesquisa

Estruturação Didática

Objetivo do texto

Estabelecer uma discussão problematizadora mediante argumentação científica, tecnológica e social investigando a origem do magnetismo e observando a presença e relevância dos ímãs em nosso cotidiano.

Síntese dos questionamentos

Como sugestão de discussão a partir da leitura do texto introdutório, convém destacar como a curiosidade leva o homem a inquietar-se, buscando soluções para as situações do dia a dia, indo além dos limites a ele imposto. A característica peculiar de um certo tipo de pedra passou a ser o fato que marcou o início dos estudos do Magnetismo, comprovando que a observação dos fenômenos induz o conflito de ideias para o surgimento do novo.

Dialogicidade

Os estudantes são convidados ao debate. O professor conduz a discussão promovendo a troca de ideias, com a percepção de cada um dos alunos sobre o conceito e aplicações dos motores para a sociedade. O padrão comparativo das respostas apresentadas permite uma real observação assimilativa do conteúdo abordado.

Desenvolvimento da aprendizagem

Após a aula, o professor propõe uma tarefa extraclasse pautada em uma pesquisa sobre como a utilização dos conceitos oriundos da descoberta do magnetismo, com enfoque nos estudos dos ímãs, tornou-se fundamental para a modernização da sociedade.

Bibliografia Consultada

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS (IGc/USP). Disponível em: <https://didatico.igc.usp.br/minerais/oxidos-hidroxidos/magnetita/> . Acesso em 11 de fevereiro de 2024.

FRANCO, HUGO. Evolução dos conceitos da Física. IN: **plato.usp**. Disponível em: <http://plato.if.usp.br/1-2003/fmt0405d/apostila/renasc7/node8.html> . Acesso 01 de maio de 2023.

GUITARRARA, Paloma. "Bússola". **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/bussola.htm> . Acesso em 09 de março de 2024.

JÚNIOR, Osvaldo Pessoa. Modelo causal dos primórdios da ciência do magnetismo. **Scientiae Studia**. São Paulo, v. 8, n. 2, 2010, p. 195-212.

NEWTON, Villas Bôas; DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José. **Tópicos de Física 3**: eletricidade, física moderna e análise dimensional.

ROCHA, José Fernando M. (Org.). **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

Aula 3 – O conceito de Campo Magnético

Conteúdo Programático

Introdução ao conteúdo

Texto: Campo Magnético

Discussão do conteúdo

Questões problematizadoras

Contextualização do conteúdo

Atividade de Pesquisa

Estruturação Didática

Objetivo do texto

Instigar uma discussão contextualizada mediante argumentação científica, tecnológica e social observando a presença e relevância do campo magnético em nosso dia a dia.

Síntese dos questionamentos

A proposta principal do texto é socializar os estudantes na percepção não trivial de interação à distância entre dois ou mais corpos. Tendo em vista o senso comumente conhecido de que é preciso existir uma região espacial na qual possam ser observados eventuais acontecimentos, surge a ideia de campo magnético para representar a fronteira na qual são percebidas as interações magnéticas.

Dialogicidade

Os estudantes são convidados ao debate. O professor conduz a discussão promovendo a troca de ideias, com a percepção de cada um dos alunos sobre como o entendimento do conceito de campo magnético tornou-se útil à sociedade. O padrão comparativo das respostas apresentadas permite uma real observação assimilativa do conteúdo abordado.

Desenvolvimento da aprendizagem

Após a aula, o professor propõe uma tarefa extraclasse pautada em uma atividade experimental sobre como podemos visualizar as linhas de campo magnético utilizando materiais de fácil acesso, como ímãs e limalhas de

ferro (bombril) a fim de ambientar os estudantes sobre as aplicações dos conceitos mostrados durante a aula.

Bibliografia Consultada

CARVALHO, Thomas. “Campo Magnético”. **InfoEscola**. Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/campo-magnetico/> Acesso em 13 de fevereiro de 2024.

ROCHA, José Fernando M. (Org.). **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

FILHO, Jailton dos Santos. **Introdução ao Magnetismo**. YouTube, 12 de abril de 2023. Disponível em: <https://youtu.be/X-ePfG1dG38?si=0bEBn1nwi77ZGNvh> . Acesso em 12 de janeiro de 2024.

MAGNETISMO: CONCEITOS. Guia do Estudante (GE), 2024. Disponível em: < <https://guiadoestudante.abril.com.br/curso-enem/conceitos>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2024.

Aula 4 – Processos de Indução

Conteúdo Programático

Introdução ao conteúdo

Texto: Domínios magnéticos e imantação por eletrização

Discussão do conteúdo

Questões problematizadoras

Contextualização do conteúdo

Atividade de Pesquisa

Estruturação Didática

Objetivo do texto

Explicar a caracterização dos domínios magnéticos bem como conceituar os processos de imantação, destacando àquele que ocorre nos eletroímãs. Como exemplo de aplicação e verificação, pretende-se abordar o funcionamento do eletroímã, enfatizando sua importância na contextualização e aplicação das definições abordadas.

Síntese dos questionamentos

Através da compreensão dos domínios magnéticos e do princípio imantação por eletrização, os alunos poderão verificar os conceitos por trás do funcionamento do eletroímã, verificando sua aplicabilidade mediante a possibilidade de fazer com que outros objetos possam vir a ter características de um ímã.

Dialogicidade

Os estudantes são convidados ao debate. O professor conduz a discussão promovendo a troca de ideias, com a percepção de cada um dos alunos sobre os processos de imantação. O padrão comparativo das respostas apresentadas permite uma real observação assimilativa do conteúdo abordado.

Desenvolvimento da aprendizagem

O professor tem a possibilidade de explorar alguns experimentos próprios do processo de imantação, como por exemplo, o surgimento de ímãs artificiais.

Recomenda-se que haja uma fiel contextualização entre a ocorrência desse fenômeno com a natureza de existência mútua entre os conceitos de magnetização e eletrização.

Bibliografia Consultada

DEUTY, Soctt. Solenoids Vs. Relays: What is The Difference? **Planet Analog**. 27 de fevereiro de 2018. Disponível em: <https://www.planetanalog.com/relays-and-solenoids-electromechanical-devices/> . Acesso em 24 de março de 2024.

DINIZ, Alexandre Magno Ferreira; ARAÚJO, Rômulo Diniz. “Uma abordagem prática para o ensino de eletromagnetismo usando um motor de indução de baixo custo.” IN: **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 1, p. 3, ago. 2019.

DOMÍNIO MAGNÉTICO. **Neocities.org**. Disponível em: https://rocarneval.neocities.org/CP_NDE-ED.ORG/EM_07-Dominio . Acesso em 13 de setembro de 2024.

GOMES, Sinésio Raimundo. Aula 03 – Fundamentos de Magnetismo. **Maquinas Elétricas I**. 30 de janeiro de 2023. Disponível em: < <https://maquinaseletricasib.blogspot.com/2014/01/aula-02-fundamentos-de-magnetismo.html>> . Acesso em 18 de dezembro de 2023.

MikeRun. Coil right-hand rule3.svg. **Wikimedia Commons**. 23 de maio de 2020. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Coil_right-hand_rule3.svg . Acesso em 24 de março de 2024.

STIKMAN. The Solenoid and Electromagnet. **StickMan Physics Home**. Disponível em: <https://stickmanphysics.com/stickman-physics-home/magnets-and-magnetism/electromagnet/> . Acesso em 24 de março de 2024.

Aula 5 – Força Magnética

Conteúdo Programático

Introdução ao conteúdo

Texto: Força Magnética

Discussão do conteúdo

Questões problematizadoras

Contextualização do conteúdo

Atividade de Pesquisa

Estruturação Didática

Objetivo do texto

Apresentar o conceito de força magnética e como ela pode ser discutida no estudo do magnetismo.

Síntese dos questionamentos

A sugestão da abordagem textual pode ser acompanhada de uma exposição audiovisual, com o auxílio de *slides* e figuras que mostrem alguns processos de interação magnética. Com isso, haverá uma melhor identificação, por parte dos estudantes, dos princípios elencados na capacidade a qual as cargas elétricas adquirem movimento.

Dialogicidade

Os estudantes são convidados ao debate. O professor conduz a discussão promovendo a troca de ideias, com a percepção de cada um dos alunos sobre o conceito e aplicações dos motores elétricos para a sociedade. O padrão comparativo das respostas apresentadas permite uma real observação assimilativa do conteúdo abordado.

Desenvolvimento da aprendizagem

Sugere-se uma pesquisa sobre como percebemos e utilizamos a ideia de força magnética no nosso dia a dia e o quanto essa percepção nos auxilia na compreensão dos processos de obtenção de energia magnética presentes no funcionamento dos aparelhos elétricos. Essa investigação pode ser feita como uma atividade de exploração em grupo, com vistas a estimular a curiosidade sobre como alguns dos equipamentos que usamos com

frequência os componentes internos desse equipamento (carregadores de celular, por exemplo).

Bibliografia Consultada

ALMEIDA, Daniel. Como funcionam os motores elétricos. **TRACTIAN**. Disponível em: <https://traction.com/blog/motores-eletricos-entenda-a-funcionalidade-desse-ativo> . Acesso em 28 de novembro de 2023.

Como funciona o motor elétrico de um carro. **GREENBRAS**. São Paulo, 18 de abril de 2022. Disponível em: <https://greenbras.com/como-funciona-o-motor-de-um-carro-eletrico/> Acesso em: 27 de novembro de 2023.

Motor Elétrico. **SimuFísica/ CNPq**. Disponível em: <https://simufisica.com/simulacoes/motor-eletrico/> . Acesso em: 01 de março de 2023.

Você conhece os principais tipos de motores elétricos? **Abecom**. São Paulo, 03 de fevereiro de 2022. Disponível em: <https://www.abecom.com.br/tipos-de-motor-eletrico/> . Acesso em: 24 de novembro de 2023.

Aula 6 – O funcionamento dos Motores Elétricos

Conteúdo Programático

Introdução ao conteúdo

Texto: Como funcionam os Motores Elétricos?

Discussão do conteúdo

Questões problematizadoras

Contextualização do conteúdo

Atividade de Pesquisa

Estruturação Didática

Objetivo do texto

Apresentar os conceitos elétricos e magnéticos próprios do funcionamento dos motores e geradores elétricos, além de impulsionar os alunos na compreensão e percepção da utilidade desses equipamentos através dos processos de transformação de energia próprios de cada uma dessas tecnologias.

Síntese dos questionamentos

Neste momento busca-se enfatizar a diferença entre os motores e os geradores elétricos por meio da distinção dos processos de conversão de energia que devem ocorrer para que tais equipamentos alcancem o desempenho esperado. A sugestão da abordagem textual pode ser acompanhada de uma exposição audiovisual, com o auxílio de *slides* e figuras que mostrem o funcionamento das tecnologias exploradas. Com isso, haverá uma melhor identificação, por parte dos estudantes, dos componentes usados na fabricação desses equipamentos, como também será possível inserir os alunos na verificação dos fundamentos teóricos próprios de suas aplicações tecnológicas e sociais.

Dialogicidade

Os estudantes são convidados ao debate. O professor conduz a discussão promovendo a troca de ideias, com a percepção de cada um dos alunos sobre o conceito e aplicações dos motores elétricos para a sociedade. O padrão

comparativo das respostas apresentadas permite uma real observação assimilativa do conteúdo abordado.

Desenvolvimento da aprendizagem

Sugere-se uma pesquisa sobre os aparelhos (domésticos ou industriais) que funcionam graças aos motores e geradores elétricos. Essa investigação pode ser feita como uma atividade de exploração em grupo, com o auxílio do professor que iria à campo junto com os alunos (em uma oficina eletrônica, ou no próprio laboratório da escola, por exemplo), a fim de mostrar quais equipamentos possuem dependência com a tecnologia presente dos motores elétricos.

Bibliografia Consultada

ALMEIDA, Daniel. Como funcionam os motores elétricos. **TRACTIAN**. Disponível em: <https://traction.com/blog/motores-eletricos-entenda-a-funcionalidade-desse-ativo> . Acesso em 28 de novembro de 2023.

Como funciona o motor elétrico de um carro. **GREENBRAS**. São Paulo, 18 de abril de 2022. Disponível em: <https://greenbras.com/como-funciona-o-motor-de-um-carro-eletrico/> . Acesso em: 27 de novembro de 2023.

MANAVELLA, Humberto. Gerador automotivo, mais conhecido como alternador, é a fonte de energia dos veículos. **Oficina Brasil**, 2020. Disponível em: <https://germinaloficinabrasi.websiteseuro.com/noticia/tecnicas/gerador-automotivo-mais-conhecido-como-alternador-e-a-fonte-de-energia-dos-veiculos> . Acesso em 23 de setembro de 2024.

Motor Elétrico vista explodida. **Manutenção em ação**. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/posts/jos%C3%A9-xavier-100981124_vista-explodida-motor-el%C3%A9trico-largamente-activity-7030196513276346368-J27>. Acesso em 07 de julho de 2024.

Motor Elétrico visualização explodida. **Depositphotos**. Disponível em: <https://depositphotos.com/br/photo/electric-motor-exploded-view-rendering-isolated-white-background-650694648.html> . Acesso em 07 de julho de 2024.

Motor Elétrico. **SimuFísica/ CNPq**. Disponível em: <https://simufisica.com/simulacoes/motor-eletrico/> . Acesso em: 01 de março de 2023.

VERVE CIENTÍFICA. **Entenda a diferença entre um motor e um gerador elétricos**. YouTube, 25 de abril de 2023. Disponível em: <<https://youtu.be/Qk8Ajtyh5Uc?si=xhKn98bK044KTP18>>. Acesso em 05 de dezembro de 2023.

Você conhece os principais tipos de motores elétricos? **Abecom**. São Paulo, 03 de fevereiro de 2022. Disponível em: <https://www.abecom.com.br/tipos-de-motor-eletrico/> . Acesso em: 24 de novembro de 2023.

Unidade de Ensino

Aula 1

Motores: história e epistemologia

Figura 4. Máquina de Tear.



Equipamento mecânico construído com o fim de alavancar a produção industrial de tecidos, implementado no sistema fabril no século 18. Fonte: Porto Editora (2024).

Ao analisarmos o processo evolutivo da nossa espécie, constatamos que a nossa habilidade manual foi um dos primeiros recursos dos quais fizemos uso a fim de modificar a natureza. As mãos se revelaram como um elemento fundamental no processo de desenvolvimento da potência de trabalho do ser humano e “deram vida” a novos instrumentos e equipamentos, os quais modificaram a humanidade ao longo de séculos e milênios.

O avanço nas habilidades de **manuseio** para o aprimoramento de materiais, processos, técnicas e até mesmo para a criação de novas ferramentas¹, originou-se da inerente necessidade de sobrevivência, adaptação e crescimento do *homo sapiens* nos primeiros momentos de sua história, tendo sido crucial para que a espécie prosperasse, diferenciando-a de forma contundente dos outros animais. Essa necessidade posicionou o homem como a “primeira máquina” desenvolvida e aprimorada pelo próprio homem: uma máquina complexa com a capacidade de gerar uma força de trabalho de imensa potência de criação.

À medida que a espécie evoluía, aprimorava-se também a capacidade de elaborar ferramentas e maquinários, proporcionando o aperfeiçoamento das técnicas para a criação de novas tecnologias que possibilitassem ampliar o potencial da força de trabalho do homem em cada tarefa realizada diariamente. Os **motores** surgiram como uma dessas mais eficientes criações do homem, que se via confrontado com a necessidade de aumentar seu nível de produtividade, rompendo os limites do trabalho braçal.

A invenção dos motores e, conseqüentemente o aprimoramento dos maquinários utilizados nas fábricas com diversos fins de utilidade, resultou em um marco para a sociedade. Tal acontecimento ficou registrado na história da humanidade como a Primeira Revolução industrial, tendo como base o uso de máquinas que passaram a elevar a produtividade das indústrias. O homem, então, deixa de ser um trabalhador usado como ferramenta e passa a ser instrumento para a utilização de outro, isto é, “a ferramenta da própria ferramenta”. Dentro desse recorte temporal, podemos destacar a invenção da primeira máquina de fiar tecidos (Figura 4), construída pelo carpinteiro inglês James Hargreaves (1720-1778), que alavancou a tecelagem dos fios de lã. A produção, que era de um fio por vez, com o uso da máquina de tear passou a ser de oitenta fios ao mesmo tempo.

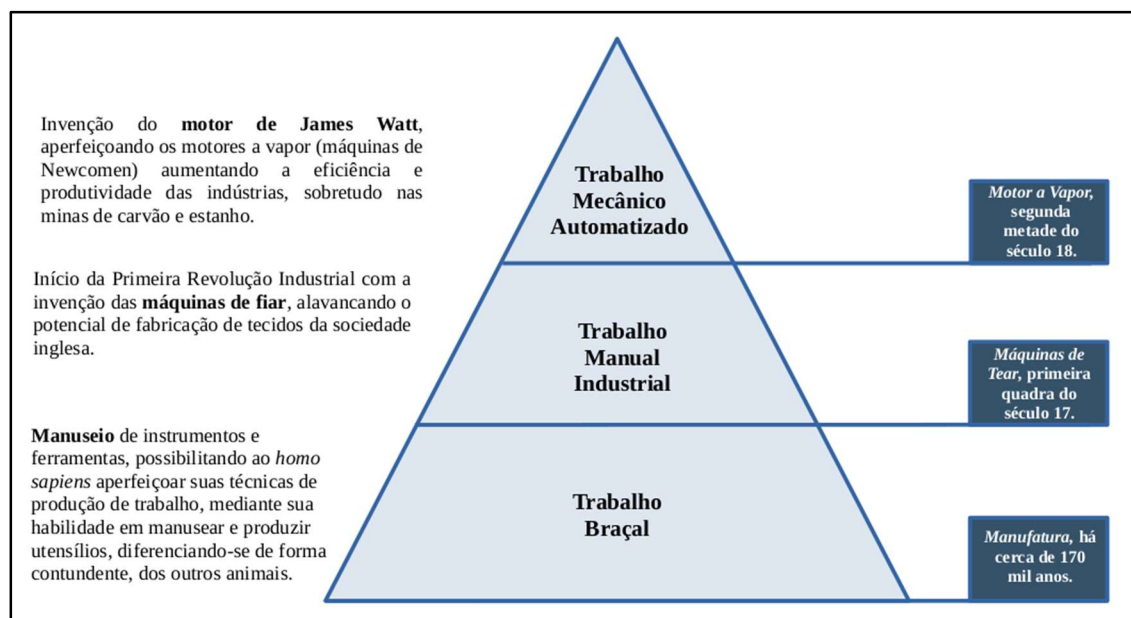
A ascendência da utilização das Máquinas a Vapor com fins industriais deu impulso à construção dos motores, tendo sido a Máquina de Vapor Atmosférica a construção mais proeminente. Ela foi projetada no início do século 18 pelo ferreiro britânico Thomas Newcomen (1664-1729) para coletar água das minas de carvão, o qual era utilizado como combustível de expansão, condicionando o uso do

¹ Com o entendimento sobre os processos de emancipação e aprimoramento das práticas manuais para a produção de trabalho, essa conceituação passaria a ser conhecida como **manufatura**. (N. A.)

maquinário na melhoria e eficiência da análise da combustão atmosférica (SILVA, 2019). A Máquina de Newcomen foi brilhantemente aperfeiçoada por seu compatriota, o engenheiro James Watt (1736-1819), que empregou suas ideias no equipamento com fim de minimizar a perda de energia causada pela constante troca de calor no processo mecânico envolvido.²

A Figura 5 nos informa sobre o contexto histórico atrelado ao avanço das habilidades motoras desenvolvidas pela sociedade, a fim de contextualizar como se era empregada a potência de trabalho do homem nos anos que compreendiam o final do século 17 e início do século 18.

Figura 5. Pirâmide evolutiva da potência de trabalho do homem.



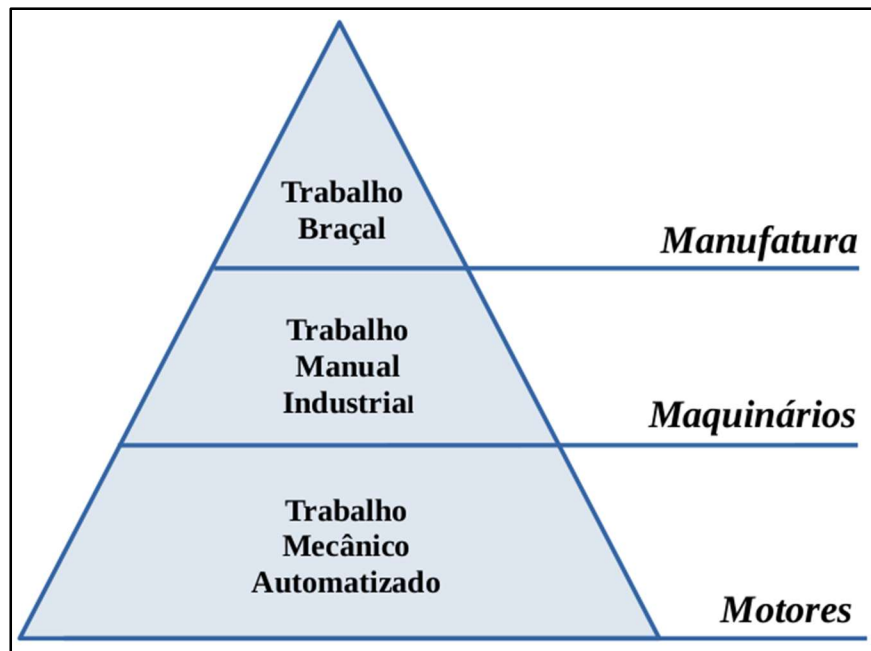
Recorte temporal que retrata a evolução dos processos de trabalho do homem no período que permeia o final do século 17 e início do século 18. Fonte: Autoria própria (2024).

A partir da segunda metade do século 18, a distribuição vista na pirâmide evolutiva destacada na Figura 5 foi inteiramente modificada mediante a invenção, implementação e aperfeiçoamento dos motores a vapor. Na Figura 6, podemos observar um outro panorama graças ao uso dessa tecnologia como peça

² A engenhosidade de Watt consistiu em acoplar condensadores externos aos motores desses maquinários, refrigerando o reservatório de água, aumentando sua eficácia no processo de utilização do vapor d'água como combustível gerador de energia mecânica.

fundamental do processo de melhoramento dos maquinários industriais, o que possibilitou um salto gigantesco rumo ao progresso da humanidade que se via modelada pela necessidade de produzir cada vez mais e melhor.

Figura 6. Pirâmide representativa sobre a distribuição das aptidões de trabalho do homem.



Retrato do cenário industrial no final do século 18. Fonte: Autoria própria (2024).

Este material instrucional foi elaborado com o fim de explorarmos didaticamente como se deu a evolução do potencial de trabalho do homem, graças ao avanço nos estudos sobre os fenômenos elétricos e magnéticos e seu uso voltado para o aperfeiçoamento dos motores, modificando para sempre as relações sociais impulsionadas pela constante modernização e invenção de diversos aparelhos tecnológicos que surgiram desde então.

➤ **QUESTÕES PROBLEMATIZADORAS**

1. A criação e utilização dos motores modificaram as relações de trabalho da humanidade? Justifique.

2. Conte-nos sobre seu conhecimento sobre as conexões entre os motores e a Primeira Revolução Industrial. Você poderia citar uma outra utilização dessa tecnologia na sociedade contemporânea?

3. Qual é a sua percepção sobre o impacto do uso dos motores na indústria moderna? Isto é, quais ferramentas você observa no seu dia a dia que funcionam à base de motores? Você considera que existe algum equipamento industrial que funcione sem a tecnologia empregada no uso dos motores?

Aula 2

Os ímãs e o surgimento do magnetismo

Figura 7. Magnetita, o ímã natural.



Tetróxido de Triferro (Fe_3O_4), nomenclatura oficial de acordo com as suas propriedades químicas. Foto: Bruno Yutiro Maruyama (IGc – USP).

Quem não conhece aquele “pedaço de metal”, capaz de atrair uma moeda, um prego ou até mesmo fazer com que alguns enfeites fiquem “grudados” na geladeira? Na realidade, esses objetos não são metais, mas sim óxidos (cerâmicas), e estão no centro de estudo de uma área estratégica para o desenvolvimento contemporâneo: o magnetismo.

Atualmente, os estudiosos da ciência admitem três vertentes históricas e independentes sobre a origem do magnetismo. A primeira delas — talvez a mais difundida nos livros didáticos —, remete à região da “Magnésia”, na Grécia Antiga, situada no litoral do Mar Egeu, na província de Tessália. Nessa localidade existiam

abundantes reservatórios naturais de Óxido de Ferro³, descoberto pelas observações feitas por um camponês de nome Magne. Enquanto manuseava o seu cajado de pastoreio, ele notou que este atraía exclusivamente pedaços de uma determinada pedra. Em sua curiosidade inicial, passou a se perguntar por qual motivo o mesmo não acontecia com outras rochas com as quais se deparava no caminho. Em provável alusão à curiosidade do pastor e desbravador, foi dado o nome de “Magnetita” à pedra que era atraída pelo seu cajado.

A segunda narrativa acerca do surgimento do magnetismo converge para uma outra região, igualmente chamada de “Magnésia”, mas por sua vez situada na Ásia Menor, em cuja proximidade se destacava a famosa cidade de Mileto – onde nasceu o célebre filósofo Tales⁴.

O terceiro registro aponta para a América Central, entre os séculos 12 e 5 a. C., mais precisamente área região compreendida entre o sul do México e o oeste da Guatemala. Evidências arqueológicas comprovam o que os povos originários dessas localidades detinham o conhecimento sobre os efeitos de atração e repulsão ligados à magnetita, bem como suas aplicações artesanais, especialmente na construção de artefatos religiosos.

O curioso manuseio da magnetita acarretou em alguns estudos práticos, considerando facilidade própria desse tipo de minério para atrair diversos tipos de metais. Por conta dessa característica especial, e em virtude da correspondência etimológica com o termo francês *aimant* (amante), esse tipo de rocha passou a ser conhecido como “ímã”. Assim, os ímãs, no sentido pejorativo da palavra, são considerados “amantes do ferro”, em função da sua capacidade natural de atrair materiais que possuem o elemento Ferro (Fe) em suas composições.

Os primeiros registros práticos do uso dos ímãs em construções experimentais são creditados aos chineses, por volta do ano 100 antes de Cristo. Eles foram os inventores da bússola, que são dispositivos usados para a orientação espacial em decorrência da existência de um campo magnético terrestre — como veremos na Aula 2. No ocidente, contudo, um eventual progresso nos estudos das propriedades dos ímãs só ocorreu mais de mil anos depois da invenção chinesa.

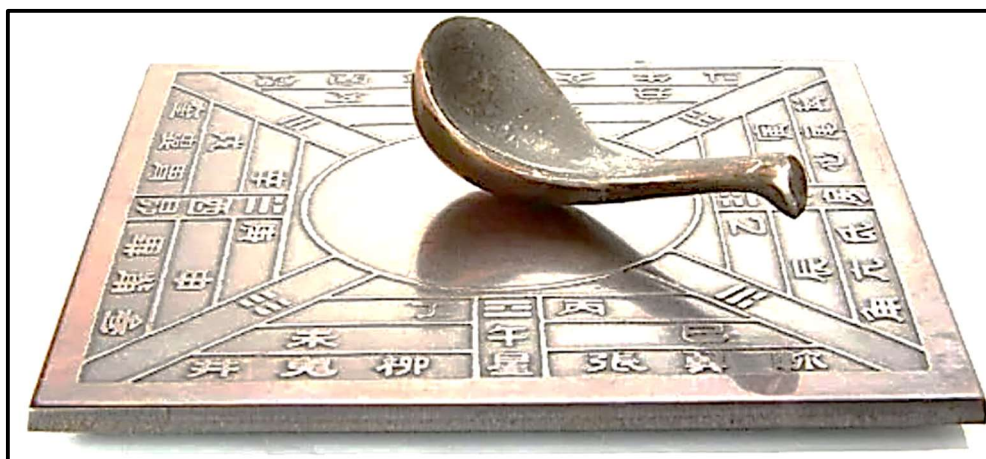
³ Nessa fronteira geográfica, mais especificamente, existiam os compostos rochosos (Fe_2O_3), um dos tipos de óxidos (conhecido por Hematita), que são identificados como ímãs naturais. (N. A.)

⁴ Tales de Mileto (624-548 a. C.), iminente pensador da escola jônica, cujos trabalhos filosóficos e matemáticos seguem influenciando gerações até os dias atuais. (N. A.)

Destaque para os trabalhos que estabeleceram o conceito de “polos magnéticos”, do engenheiro militar francês Pierre de Maricourt (1220-1270), e a inseparabilidade dos polos de um ímã — que mais tarde viria a se consolidar como uma propriedade fundamental no estudo do Magnetismo.

Depois de Maricourt, um outro avanço atrelado ao estudo dos ímãs só ocorreu em 1600, com a publicação do livro *De Magnete*⁵, escrito pelo físico inglês William Gilbert (1544-1603). Em seus apontamentos, encontramos a primeira observação de que a Terra tinha características similares àsquelas presente nos ímãs, porém com maiores implicações. Gilbert conjecturou a importante característica presente nas agulhas imantadas (isto é, magnetizadas) a qual apontam para os polos magnéticos da Terra, de tal maneira que o polo norte do nosso planeta é capaz de atrair o polo sul de um ímã.

Figura 8. Bússola chinesa.



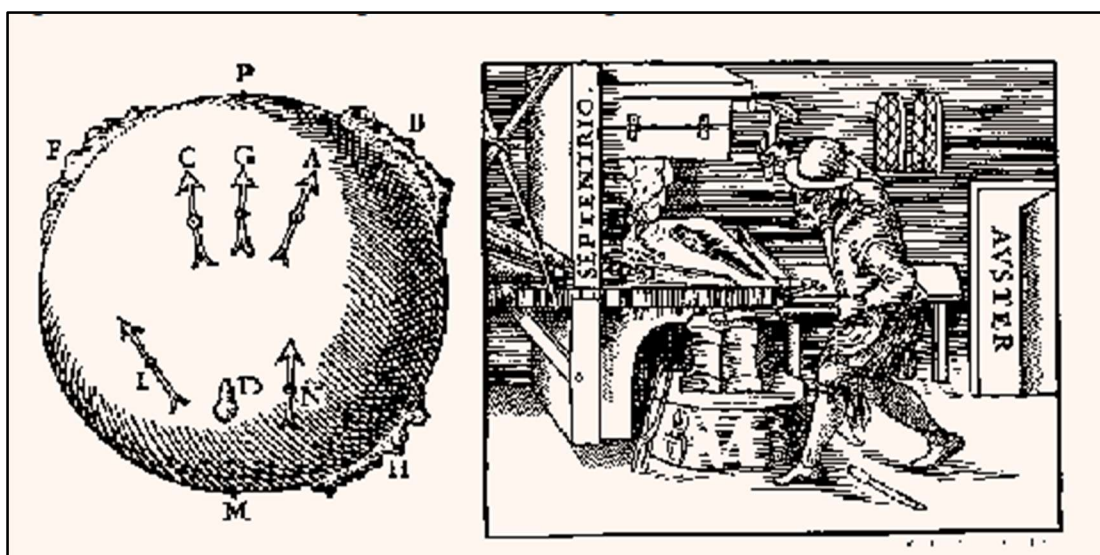
Representação da bússola inventada pelos chineses. A agulha orientada possui a forma de uma colher, contendo seu polo sul no extremo mais delgado (cabo). Relatos dos primeiros séculos da era cristã remontam seu uso para práticas de adivinhações. Fonte: Guitarrara (2024).



Mesmo com os avanços nos estudos do magnetismo — sobretudo com o entendimento do conceito de campo magnético (Aula 2) — ainda hoje não é possível estabelecer indubitavelmente por qual motivo a Terra possui características de um “grande ímã”. A Física converge para uma narrativa baseada nas interações (e. g. movimento de rotação e altíssima temperatura) presentes na composição do núcleo líquido do nosso planeta. (N. A.)

⁵ “*De Magnete, magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure*”, título original que pode ser traduzido como “Sobre o magnetismo, corpos magnéticos e o grande ímã da Terra”. (N. A.)

Figura 9. Ilustrações originais presente no livro *De Magnete*.



À esquerda tem-se a representação da Terra com características de ímãs, destacando o sentido orientado das possíveis atrações magnéticas. À direita, observa-se o processo manual de magnetização em uma barra de ferro. Fonte: Hugo Franco (2003).

Muito se pode discorrer sobre o recorte histórico referente ao surgimento e à consolidação do Magnetismo como elo fundamental da Física. Neste sentido, pretendemos enfatizar alguns de seus principais conceitos, a fim de relacioná-los com importantes aplicações tecnológicas do nosso dia a dia, com destaque para o funcionamento dos motores e geradores elétricos.

Neste QR Code você terá a um vídeo didático que explora algumas das propriedades dos ímãs citadas durante esta aula.



➤ **QUESTÕES PROBLEMATIZADORAS**

4. Qual estratégia você adotaria para identificar um ímã, entre os diversos tipos de minérios existentes? Seria possível fazer com que um ímã deixe de ser ímã? Ou ainda, será que um ímã pode ser criado artificialmente?

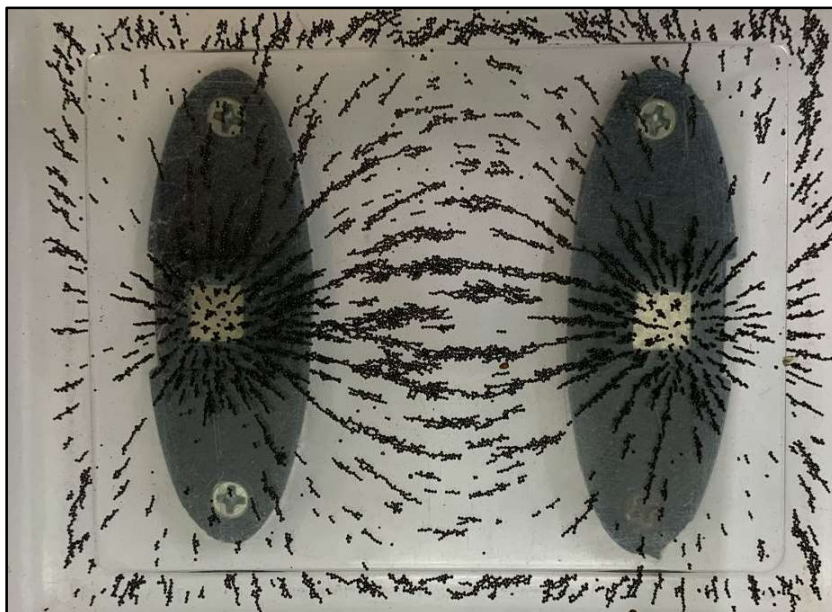
5. Em virtude da propriedade que o ímã possui em atrair determinados materiais, poderíamos pensar que ele também possui a característica de repelir certos materiais? Seria correto afirmar que todo metal pode ser atraído por um ímã?

6. O que você entende por atração e/ou repulsão entre materiais? Se você tivesse que escolher uma região específica para designar a descoberta do magnetismo, qual seria a sua escolha? Por quê?

Aula 3

Campo Magnético

Figura 10. Representação do Campo Magnético



Linhas de campo magnético observadas devido à interação entre o ímã e as limalhas de ferro dispostas ao redor de um ímã. A orientação percebida pela disposição das linhas comprova a existência de uma região de interação, isto é, o campo magnético, induzido pelo magnetismo do ímã. Foto: FnEsc / SEDUC (2024).

No estudo da natureza, dizemos que dois objetos interagem quando um influencia, ou provoca algum tipo de alteração, no outro. Isso pode ser observado, por exemplo, quando uma bola de futebol bate na trave, ou quando pedalamos uma bicicleta. Entretanto, reconhecemos não ser de fácil entendimento a percepção de como dois ou mais corpos podem interagir à distância sem que haja um contato direto. Tal dificuldade de assimilação pode estar relacionada com a sutil definição da palavra “contato”, a qual iremos tratar como a troca de informações entre dois ou mais objetos — sendo essas informações entendidas como um conjunto de características físicas inerentes aos corpos que estão interagindo. A interação à distância existe, e suas implicações estão diretamente relacionadas a uma ideia fundamental na Física, que é o conceito de *Campo*.

A primeira definição de campo, como espaço no qual são percebidas trocas de informações físicas entre dois os mais objetos, aparece no século 17, fruto dos estudos de Sir Issac Newton⁶ (1643-1727). Em seu *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* (1687), ele trouxe ao mundo a definição de *Campo Gravitacional* para designar a região onde a força gravitacional atua, agindo de modo a atrair dois corpos diferentes e que não estão em contato direto.

Uma vez que ficou consolidada a percepção de campo gravitacional, abriu-se a possibilidade para descrevermos outras manifestações análogas da natureza. Seguiu-se, desta forma, a definição de *Campo Magnético*, conceito fundamental para explicar como que os ímãs provocam reações em alguns objetos ao seu redor, através do entendimento de seus processos de interação. Portanto, assim como a Lua é atraída pela Terra por estar em uma região do espaço que tem forte influência do campo gravitacional terrestre, um objeto só pode ser atraído (ou repelido) por um ímã, se estiver em uma região que esteja sob a influência de seu campo magnético.

Mediante o avanço nos estudos das características dos ímãs foi possível notar que esses materiais possuem algumas propriedades que o diferenciam dos demais objetos e que são responsáveis pelos fenômenos resultantes a partir da interação entre eles. Os ímãs apresentam polos distintos e inseparáveis, que são costumeiramente designados por “Norte Magnético” (N) e “Sul Magnético” (S), e que vêm a ser classificados a partir da sua capacidade de se atraírem ou de repelirem, mutuamente. Isto é, para que seja possível classificar os polos dos ímãs é preciso notar uma outra propriedade: atração e repulsão entre eles. Sendo possível constatar que “polos magnéticos com a mesma designação são repelidos, enquanto polos magnéticos com designações distintas são atraídos”.

A fim de verificarmos os efeitos oriundos das interações dos ímãs e das propriedades do campo magnético, construímos o experimento “Mola Magnética” (Figura 11), por meio do qual foi possível analisar alguns pontos dentro da perspectiva abordada.

*Interaja com o experimento
“Mola Magnética” através do QR
Code ao lado.*

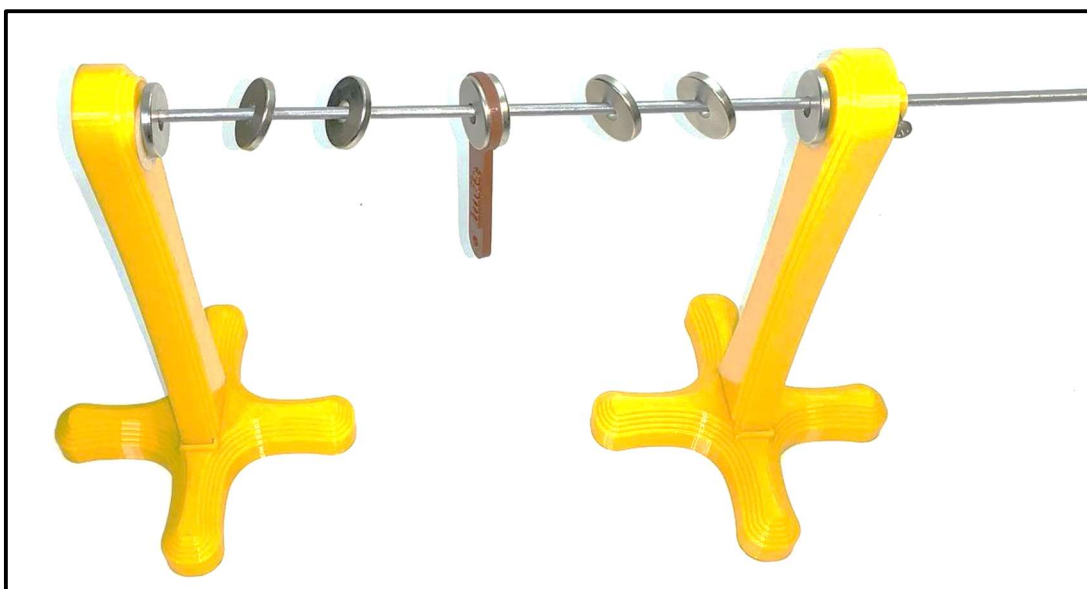


⁶ “A Natureza e suas leis estavam ocultas na noite. Deus disse: Seja Newton! E tudo fez-se luz!” Frase escrita na lápide de Newton, na Abadia de Westminster/UK. (N. A.)

Na “Mola Magnética”, podemos observar:

- A interação entre os ímãs ocorre sem contato e instantaneamente. Isso se deve ao fato de o campo magnético ser, assim como o gravitacional, invisível a olho nu;
- A influência do campo magnético de um ímã é limitada a uma região do espaço, definida pela intensidade do campo magnético;
- A polaridade dos ímãs é percebida pelo fato de não ser possível juntar (por contato direto) dois ímãs nesse aparato, uma vez que eles foram posicionados com o fim de se repelirem.

Figura 11. Mola Magnética



Experimento construído com o fim de verificar as interações próprias dos ímãs através do seu campo magnético. Foto: FnEsc / SEDUC (2024).

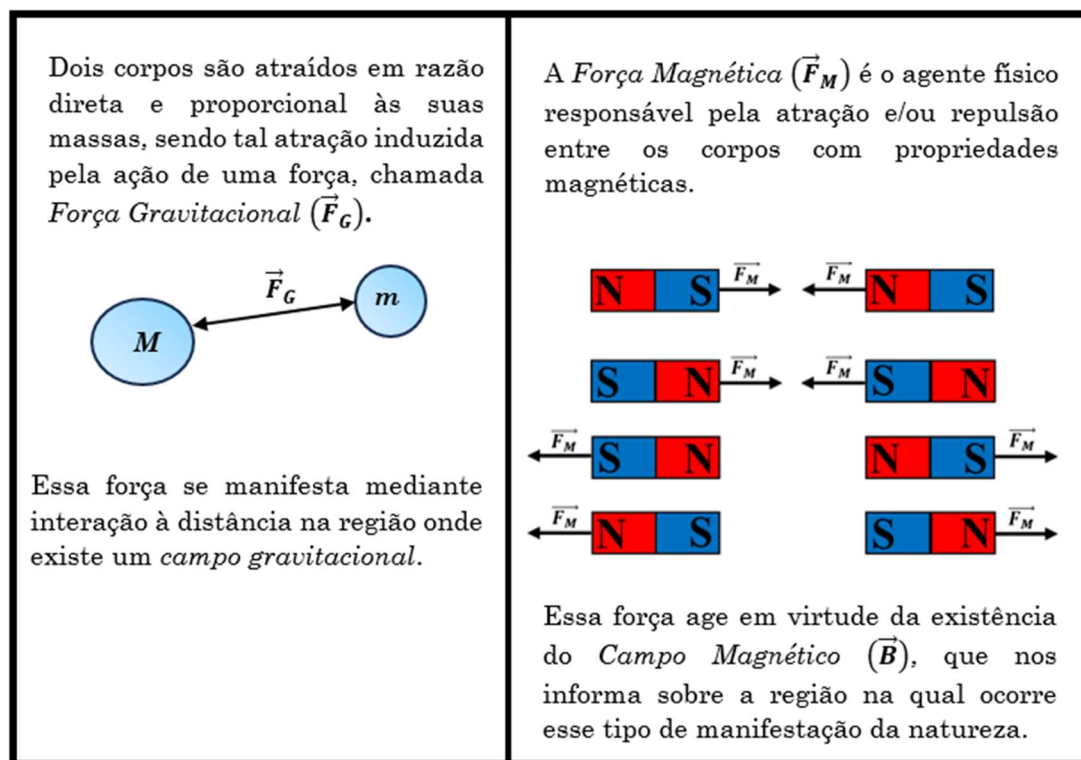


A inseparabilidade dos polos se apresenta como uma propriedade fundamental, visto que ela atesta não ser possível criar um monopolo magnético, por mais que o ímã venha ser dividido (quebrado). Esse fato possui importantes implicações em um estudo mais aprofundado do Magnetismo. (N. A).

Mas afinal, haveria um agente físico responsável por essa interação (atrativa ou repulsiva) entre os polos de um ímã? Outrossim, haveria uma fronteira específica na qual pode-se constatar a existência desse tipo de manifestação

magnética? Podemos responder tais questionamentos fazendo uma analogia ao pensamento newtoniano, oriundo da ideia de campo gravitacional. Vejamos a Figura 12, a fim de compreendermos o raciocínio.

Figura 12. Interações gravitacional e magnética.

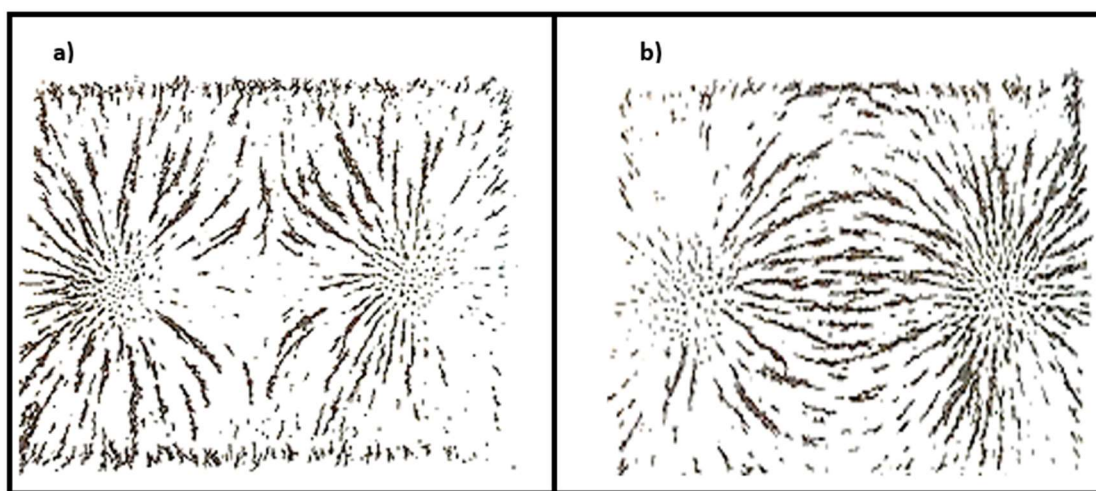


Analogia entre a compreensão da ideia de campo gravitacional com as observações provenientes das interações existentes em função da existência da região de campo magnético. Fonte: Autoria própria (2024).

Não é possível enxergar a região permeada pelo campo gravitacional, mas será seria possível enxergar a região de influência do campo magnético proveniente dos ímãs? Sim, é possível. Ela pode ser representada por meio das linhas que circulam ao seu redor, denominadas *linhas de campo* (também chamadas de *linhas de força* ou *linhas de fluxo*). A Figura 10 (apresentada no início desta aula) mostra como esse fenômeno pode ser observado experimentalmente. Nela temos dois ímãs envoltos por pequenas partículas metálicas (pó escuro) resultantes de processos de usinagem. Essas limalhas de ferro tendem a ser atraídas pelo campo magnético do ímã, formando ao redor dele várias linhas circulares que seguem um contorno que nos permite concluir que as linhas de campo “entram” e “saem” do ímã. Tais linhas circulares são as próprias linhas de campo que revelam a natureza vetorial do campo magnético, aqui representado pelo vetor ($\vec{B}$).

Assim como a definição de força, o conceito de campo também se apresenta como uma grandeza vetorial e, portanto, sua descrição quantitativa depende da intensidade, da direção e do sentido. Essas propriedades são definidas com base nos seguintes critérios: i) intensidade: as linhas de fluxo são mais numerosas (densas) próximas ao ímã e desaparecem à medida que se afastam dele; ii) direção: as linhas de força “saem” e “retornam” ao ímã e não se cruzam; iii) sentido: as linhas, por convenção didática, tendem a “sair” do polo norte (N) e “entrar” no polo sul (S). A Figura 13 nos ajuda a observar essas características.

Figura 13. Enxergando o invisível.

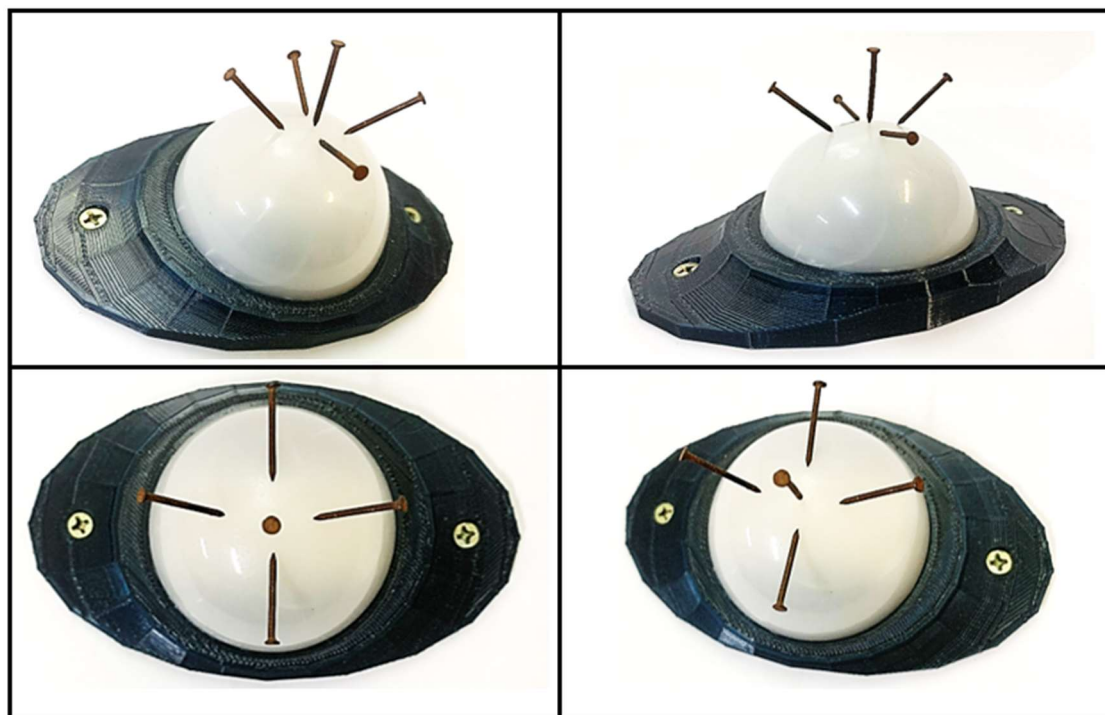


Propriedades do campo magnético dos ímãs. Em a) são mostradas as linhas de força produzidas pelo campo magnético de dois ímãs interagindo no modo repulsivo, circunstância em que há uma repulsão entre os mesmos polos. Nesta situação, o polo norte (N) e o polo sul (S), estão dispostos em confronto — isto é, N-N ou S-S. Desse modo, como as linhas de fluxo têm de seguir o sentido orientado convencional, ou seja, “saindo” de N e “entrando” em “S”, elas precisam retornar ao ímã, curvando-se nessa direção. Além disso, elas não podem se cruzar — sendo essa propriedade a responsável por criar a repulsão observada. Em b) as linhas de fluxo são apresentadas mediante a atração entre os polos opostos, isto é, em uma situação N-S. Esse fato pode ser verificado conforme notado pela interseção entre as linhas de campo magnético dos ímãs — “saindo” e “entrando” em cada ímã —, gerando assim a atração. Vale ressaltar que não é possível detectar sem indicar — ou seja, com base apenas na observação da interação das limalhas de ferro —, quais são, efetivamente, os polos N e S de cada ímã. Fonte: FnEsc / SEDUC (2024).

As imagens da Figura 14 mostram que a região de influência do campo magnético possui natureza tridimensional. O experimento denominado “Enxergando o Invisível (3d)” foi elaborado a fim de nos lembrar que o campo

magnético se estende por toda a região do ímã, em três dimensões — contrastando com a ideia de uma região bidimensional como sugere as linhas planas mostradas na Figura 13.

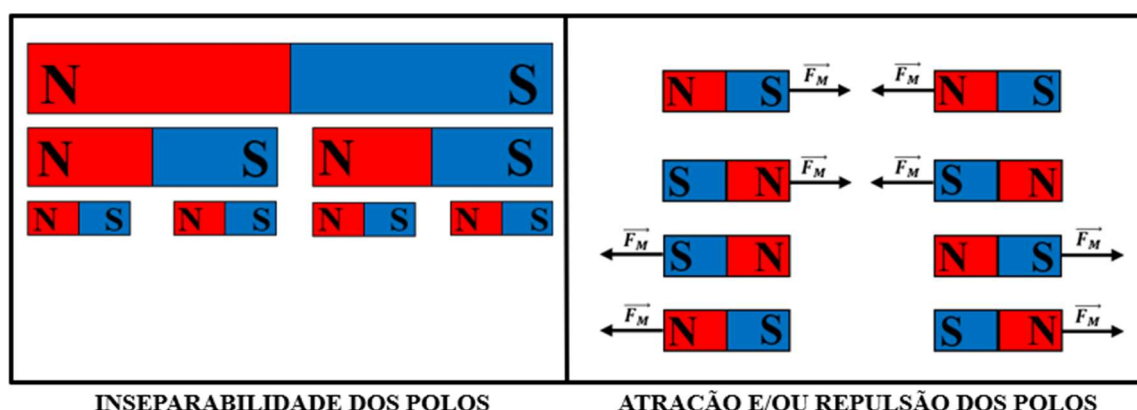
Figura 14. Experimento “Enxergando o Invisível (3d)”



Nesta ilustração temos quatro imagens que representam o mesmo fenômeno, fotografadas a partir de ângulos distintos, a fim de mostrar as diferentes direções com as quais os pregos são orientados em virtude da influência do campo magnético do ímã. Fonte: FnEsc/ SEDUC (2024).

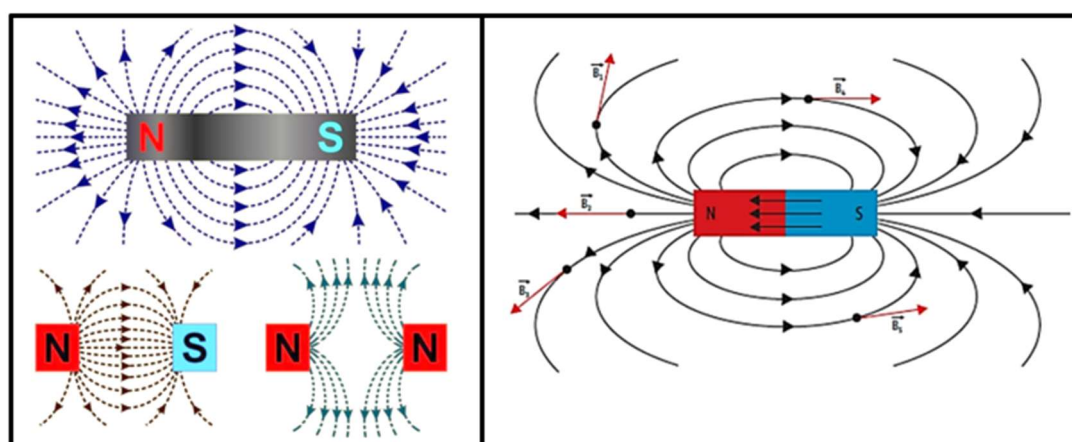
Trazemos nas Figuras 15 e 16 outras ilustrações que nos condicionam a uma melhor compreensão dos conceitos descritos. Nelas podemos observar algumas das propriedades magnéticas dos ímãs e seus agentes físicos responsáveis pelas interações. É possível também observar como a orientação resultante das linhas de campo está em acordo com as características de atração e repulsão dos ímãs, além de nos revelar o sentido do campo magnético ($\vec{B}$).

Figura 15. Propriedades magnéticas dos ímãs



À esquerda está ilustrada a impossibilidade de existência de um ímã com somente um polo magnético. Isto é, por mais que ele seja dividido em outros ímãs, os novos pedaços irão conter, obrigatoriamente, dois polos magnéticos distintos, “norte” (N) e “sul” (S). À direita, há a representação da interação entre os polos em virtude da atuação da força magnética ($\vec{F}_M$), fazendo com que polos iguais sejam repelidos e polos diferentes sejam atraídos. Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 16. Linhas de Campo Magnético



À esquerda: orientação das linhas de campo magnético, regida pelo direcionamento conforme as propriedades de atração e repulsão entre os polos de um ímã — repelindo-se, se deparadas entre polos iguais, e atraindo-se, quando confrontadas entre polos distintos. Note que as linhas de campo são direcionadas a partir do polo norte, em direção ao polo sul ($N \rightarrow S$), com a orientação: “saindo” do polo norte e “entrando” no polo sul. À direita: orientação do vetor campo magnético, sempre tangente às linhas de fluxo magnético. Fonte: Adaptado de Carvalho (2024) e GE (2024).

Até o século 19, o magnetismo havia se consolidado como a ciência dedicada ao estudo dos ímãs, das bússolas e do grande ímã Terra (FILHO, 2023). As

interações oriundas desses fenômenos proporcionaram grandes avanços no sistema fabril — especialmente com a invenção dos motores elétricos —, bem como contribuíram com a modernização da sociedade desde então. Na Aula 3 veremos como alguns desses progressos tecnológicos foram conquistados como consequência de um novo entendimento sobre a correlação existencial entre magnetismo e eletricidade — culminando em um novo ramo do conhecimento científico: o *Eletromagnetismo*.

➤ **QUESTÕES PROBLEMATIZADORAS**

7. Uma vez que usamos o conceito de campo gravitacional para definirmos campo magnético, podemos pensar que, tal como há interação mútua entre a Terra e a Lua, o mesmo ocorre entre os ímãs e os metais? Em outras palavras, é possível que um metal atraia um ímã? Explique seu raciocínio em função das propriedades que lhe foram apresentadas.

8. O que você entendeu sobre o conceito de monopolo magnético? Fale um pouco da sua percepção acerca dessa propriedade dos ímãs. Como podemos identificar os polos de um ímã? Além da bússola, poderia citar alguma tecnologia do nosso dia a dia que funciona com base no magnetismo dos ímãs?

9. Proposta de contextualização: Você sabia que o planeta Terra possui polos, tal como os ímãs? Você acredita que existe alguma relação entre os polos do planeta com o magnetismo presente nos ímãs? Será que a Terra também possui um campo magnético? Compartilhe seu pensamento com os demais colegas da turma e, eventualmente, questione o professor sobre as dúvidas provenientes dessa indagação.

Aula 4

Processos de indução

Figura 17. Parafusos imantados



Três ilustrações que mostram parafusos contendo características de um ímã em decorrência de um dos processos de imantação. Os ímãs em forma de “U” são industrializados, já a pedra preta, no canto inferior direito, é a magnetita. Fonte: FnEsc/ SEDUC (2024)

Se você já se deparou com muitas chaves de fenda, possivelmente já deve ter encontrado uma que tinha a capacidade de atrair um parafuso. Na tentativa de entender como ocorre este caso em específico, talvez você tenha escutado uma explicação do tipo: “o parafuso é atraído pela chave, pois existe um ímã na extremidade da ferramenta”. Bom, podemos chegar a um consenso de que essa resposta não está exatamente certa, nem errada. A chave de fenda, de fato, pode conter um ímã, ou ser apenas uma ferramenta que possui a extremidade imantada. Ou seja, o objeto pode comportar-se como um ímã sem ser propriamente um — fenômeno denominado *imantação*.

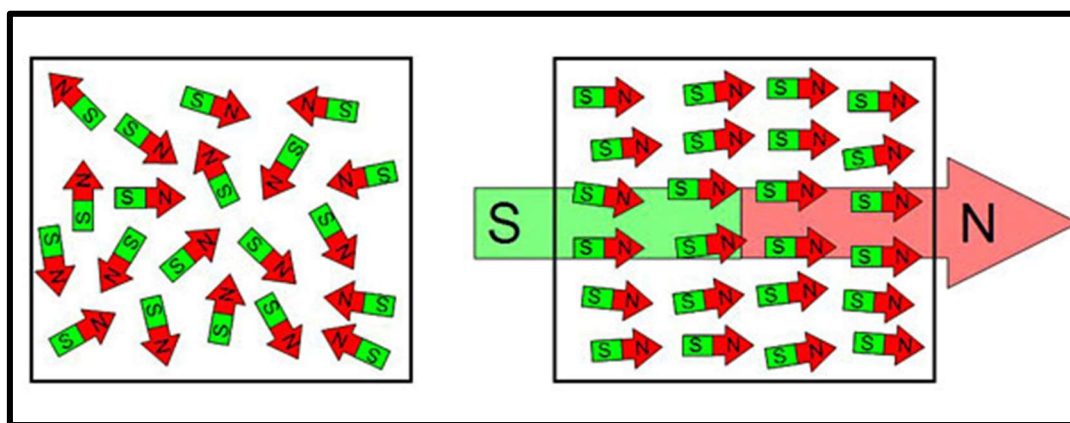
Por imantação compreende-se a capacidade que certos materiais têm de adquirirem as características típicas de um ímã. Há três formas de imantar um objeto: i) por contato; ii) por indução; iii) por eletrização. No primeiro caso um determinado corpo é imantado após ser atritado (em sentido único) em um ímã

permanente. Na segunda situação, mesmo não havendo contato, um objeto pode sofrer imantação após permanecer por um dado intervalo de tempo nas proximidades de um ímã permanente. Para o terceiro caso, um condutor elétrico passará a ter atributos de ímã ao ter uma corrente elétrica circulando através dele.

A fim de estudarmos um pouco mais sobre os processos de imantação por contanto e por indução, precisamos compreender como se dá o fenômeno de magnetização de um material, que se caracteriza mediante sua capacidade de interação magnética com um campo magnético. Essa causa está interligada à existência de regiões formadas por estruturas micro e nanoscópicas, denominadas de *domínios magnéticos* (formadas pelos átomos), que podem se organizar de maneira aleatória, ou serem orientadas em uma mesma direção.

Quando os domínios magnéticos estão aleatoriamente dispostos, o material apresenta baixa, ou nenhuma, magnetização — assim são os plásticos, a madeira, e a água, por exemplo. Entretanto, quando orientados em uma mesma direção, os domínios magnéticos deixarão o material com um valor considerável de magnetização, de tal modo que ele poderá interagir de forma macroscópica com um outro material que também apresente um relevante potencial de magnetização — tais como os ímãs naturais, por exemplo. A Figura 18 ilustra essa conceituação.

Figura 18. Domínios Magnéticos.



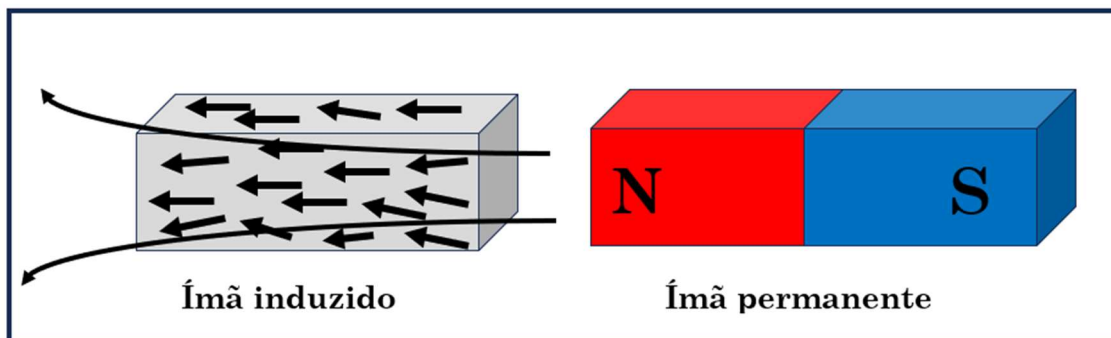
À esquerda: baixa magnetização oriunda da disposição aleatória dos domínios magnéticos. À direita: alta magnetização, domínios magnéticos orientados em uma mesma direção. Fonte: NEOCITIES (2024).

É importante ressaltar que um material com alta magnetização possui uma alta intensidade de interação magnética, fazendo-o apresentar um campo magnético relevante em uma determinada região do espaço⁷. Tal interação tem nos domínios magnéticos o ente fundamental para o entendimento da criação de ímãs artificiais, temporário ou permanente. Em alguns materiais, os domínios magnéticos estão desorientados — dispostos de forma aleatória —, e, portanto, não apresentam nenhuma magnetização. Entretanto, as “paredes dos domínios” podem se mover e mudar a direção dos domínios magnéticos. Logo se um ímã se aproximar de um material com essas características, ele consegue mudar e orientar a direção e sentido dos domínios magnéticos de acordo com o seu campo magnético. A orientação do conjunto de domínios faz com que o material passe a apresentar um campo magnético macroscópico, capaz de interagir magneticamente com outros objetos do espaço. Esse processo de orientação dos domínios através de um campo magnético externo formando um novo ímã é chamado de *indução magnética*.

A existência dos domínios magnéticos está atrelada ao movimento coordenado dos elétrons de algumas centenas a milhares de átomos, assim como a existência do campo magnético externo está atrelada ao movimento dos domínios magnéticos desse material. O exemplo mais comum desse fenômeno é o contato de um ímã permanente com uma barra de ferro — tal como ilustrado na Figura 19. A aproximação do ímã à barra faz com que os domínios magnéticos do ferro se orientem e criem um campo magnético com polaridade oposta ao ímã. Consequentemente, aquele pedaço de ferro torna-se um novo ímã, que imediatamente interage com ímã permanente, fazendo com que ocorra uma interação atrativa entre eles. Ao se afastar, os domínios magnéticos perdem a orientação, tornam-se aleatórios, e a barra de ferro deixa de se comportar como um ímã. Portanto, ela pode ser considerada um ímã temporário.

⁷ Se faz justo esclarecer que, quando estamos nos referindo à “altas” ou “baixas” intensidades de magnetização, consideramos os parâmetros de acordo com as escalas micro e nanoscópicas pertinentes aos domínios magnéticos. (N. A.)

Figura 19. Indução Magnética.



Imantação de um objeto não magnetizado em decorrência de sua interação com um ímã permanente. Fonte: Autoria Própria (2024).

Muitas vezes o alinhamento dos domínios magnéticos permanece, mesmo quando um ímã é retirado de sua presença, passando a ser, portanto, um ímã induzido. Esse fenômeno é observado, por exemplo, em bússolas, as quais possuem pequenas agulhas de material ferromagnético (material que responde fortemente a um campo magnético externo) que são capazes de serem imantadas permanentemente.

No QR Code a seguir você terá acesso à uma demonstração experimental do processo de imantação magnética:



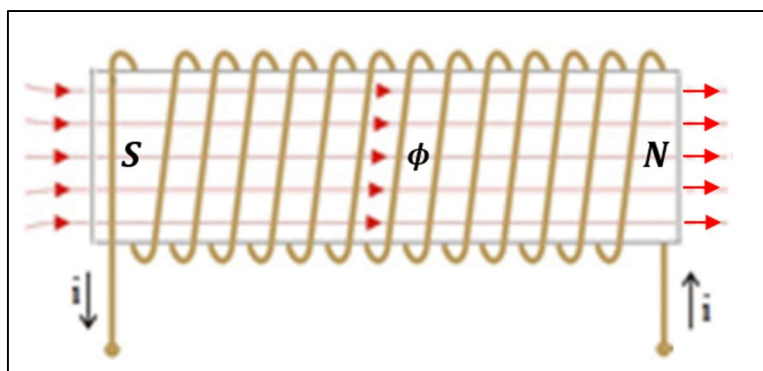
Em se tratando da imantação por eletrização, um material ferroelétrico envolvido por um condutor elétrico (no formato de bobina, por exemplo) apresentará um campo magnético quando uma corrente estiver passando por ele. A origem desse campo magnético está relacionada aos fundamentos do *Eletromagnetismo*, o ramo da Física que descreve a complementariedade entre os campos elétrico e magnético⁸. Os pilares de sua consolidação como ciência

⁸ Embora os conceitos sobre eletricidade e magnetismo tenham sido estudados pela humanidade desde o quarto século antes de Cristo, foi somente durante o século 19 que a

elementar foram edificados através da criação de duas leis fundamentais: a Lei de Ampère⁹ e a Lei de Faraday¹⁰. A primeira afirma que uma corrente elétrica, ao passar por um condutor, irá gerar um campo magnético ao redor do seu caminho e. Enquanto a segunda, afirma que o fluxo de campo magnético é capaz de gerar um campo elétrico.

Imagine um fio condutor longo o suficiente para que déssemos várias voltas e fizéssemos uma bobina. Ao circular uma corrente elétrica através desse condutor, pela Lei de Faraday, um campo magnético surgirá ao longo do fio, e, portanto, teremos um ímã artificial — pouco intenso, é verdade, mas teremos. Contudo, podemos ampliar a intensidade desse campo magnético se colocarmos um material ferromagnético dentro das espiras — tal como ilustrado na Figura 20. Uma vez que campo magnético foi criado, suas linhas de força atravessarão o núcleo ferromagnético e irão alinhar, na mesma direção e sentido, os domínios magnéticos do material. Essa interação aumenta fortemente a magnetização do material, tornando-o um ímã mais forte do que o fio condutor.

Figura 20. Núcleo ferromagnético envolvido por espiras condutoras.



Nesta representação, podemos observar como as bobinas (espiras em amarelo) são enroladas ao ímã no interior do estator. A corrente elétrica (i), em decorrência do processo de imantação, produz um fluxo magnético (ϕ) — linhas orientadas, em vermelho. A

sociedade pôde ser contemplada com a metodologia teórica que permitiu o entendimento entre essas duas ramificações da Física como uma só manifestação da natureza. Essa nova (e fundamental) área de estudo passou a ser conhecida como *Eletromagnetismo*. (N. A.)

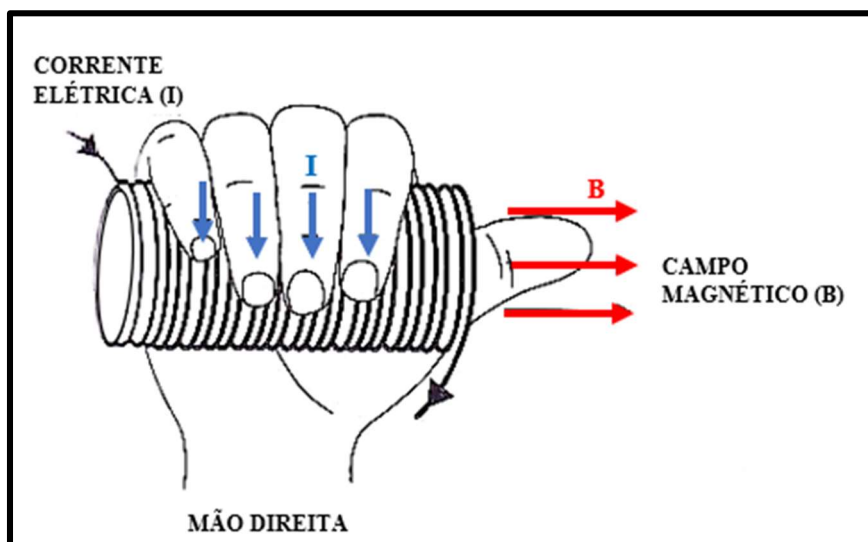
⁹ Homenagem justa e necessária ao notável físico francês André-Marie Ampère (1775-1836) que, na primeira metade do século 19, pôde explicar fenômeno observado com base em um pioneiro formalismo matemático pertinente aos resultados experimentais. (N. A.)

¹⁰ Essa lei, que por vezes também chamada de *Lei de Indução Eletromagnética*, descreve o fenômeno de *indução eletromagnética*, o qual foi comprovado pela primeira vez em meados do século 19 graças aos trabalhos experimentais de físico britânico Michael Faraday (1791-1867), um dos nomes mais respeitados no estudo do eletromagnetismo. (N. A.)

orientação das linhas de campo magnético condiz com o esperado, isto é, “saindo” do polo norte (N) e “entrando” no polo sul (S) e do material, agora imantado. Fonte: Adaptado de Diniz & Araújo (2019).

Na Figura 20, observa-se uma indicação de polaridade (N) e (S) do ímã. Isso é possível em decorrência de uma regra que correlaciona a disposição dos dedos da mão direita com as orientações (direção e sentido) dos campos magnético e elétrico. Essa relação é conhecida *Regra da mão direita para o solenoide*, cuja aplicação para um condutor segue ilustrada na Figura 21. Você também pode tentar reproduzir o que é visto na imagem. Para tanto, utilize sua mão direita, colocando o polegar em posição transversal aos outros dedos das mãos. Com os quatro dedos restantes, envolva o condutor e o material ferromagnético. As pontas desses dedos estarão informando sobre a direção da corrente elétrica. Desta maneira, o polegar ficará apontado para o polo norte do ímã formado. Quando estamos considerando, por outro lado, um fio condutor longo e retilíneo, utilizamos a *Regra da mão direita para o fio condutor*, cuja aplicação se dá de maneira inversa ao explicado anteriormente. Isto é, o polegar informará o sentido da corrente elétrica, enquanto os demais dedos informarão a direção do campo magnético.

Figura 21. Regra da mão direita para o solenoide.



A direção do campo magnética é dada pelo polegar direito. Enquanto o sentido de orientação da corrente elétrica que percorre as espiras condutoras é dado pelos demais dedos que envolvem o núcleo ferromagnético. Fonte: Adaptado de Deuty (2018).

A corrente elétrica nada mais é do que cargas elétricas em movimento, sendo esse fenômeno atrelado à existência de um campo elétrico, o qual produz, em virtude de sua variação, um campo magnético. Em geral para aumentar a

efetividade desse campo, o condutor é enrolado em bobinas (solenoides). Dessa forma, um condutor, até então não magnético — isto é, não contendo características próprias dos ímãs — responde como ímã durante a passagem de corrente elétrica por ele. Observamos também que a resposta magnética pode ser aumentada quando a bobina é enrolada ao redor de um material ferromagnético que contribui para o confinamento do campo magnético.

A imantação por eletrização nos leva a um dispositivo bastante conhecido, o *eletroímã* (ver Figura 22). Nesse aparato, um material ferromagnético é enrolado por um condutor elétrico formando uma bobina. Na referida montagem experimental, temos que o núcleo ferromagnético é um parafuso e o condutor é um fio de cobre. Para gerar a corrente elétrica, usamos uma fonte de tensão de celular. Ao ligar o eletroímã — isto é, quando a corrente elétrica começa a circular através do fio condutor —, podemos notar que ele se torna capaz de atrair peças metálicas que interagem com o seu próprio campo magnético. Ao desligá-lo — ou seja, quando não há circulação de corrente —, ele não mais consegue atrair nenhuma peça. Trazemos na Figura 23 o esquema ilustrativo de como se dá essa interação, destacando como podemos identificar a polaridade do eletroímã.

Figura 22. Eletroímã.

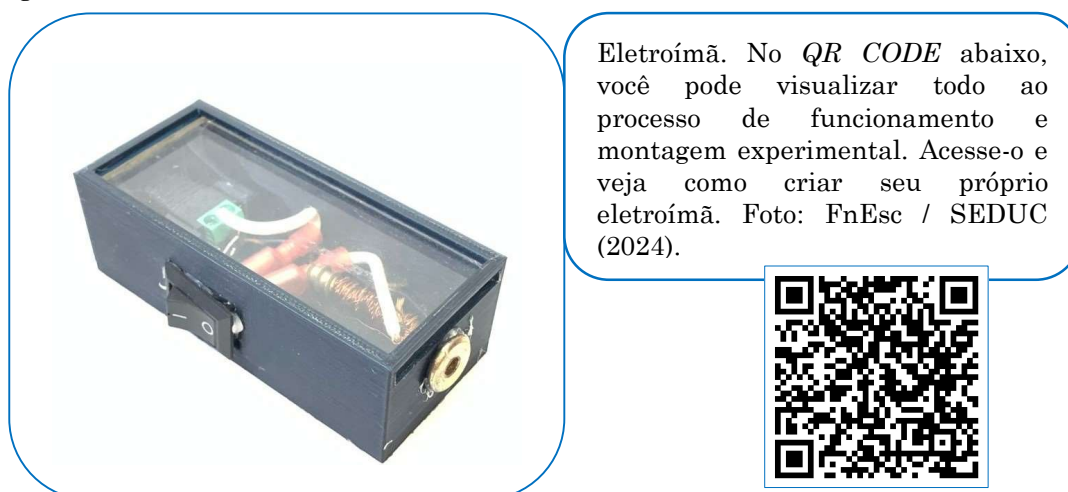


Figura 23. Regra da mão direita indicando a polarização do eletroímã.

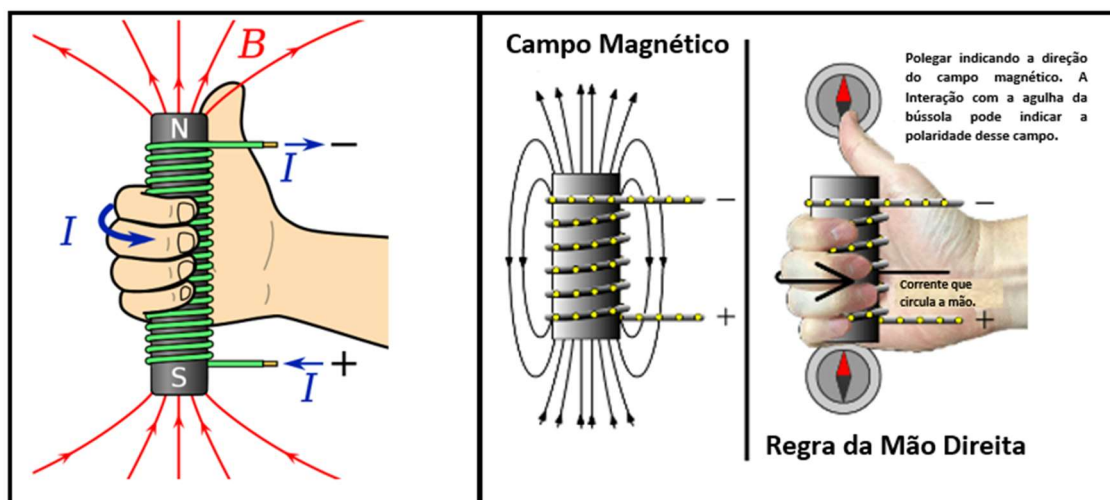


Ilustração contendo a orientação do campo magnético e a circulação da corrente elétrica. Destaque para o uso da mão direita na identificação da direção do campo e do sentido dessa circulação. A regra da mão direita aplicada conforme sugerido pela imagem, pode determinar a polaridade do eletroímã através da interação com o campo magnético de uma bússola (ou de outro ímã). Fonte: Adaptada de MikeRum (2020) & StickMan (2024).

➤ **QUESTÕES PROBLEMATIZADORAS**

10. Dentre os processos de imantação apresentados, qual você acredita ser mais facilmente reproduzido em uma experiência na sala de aula?

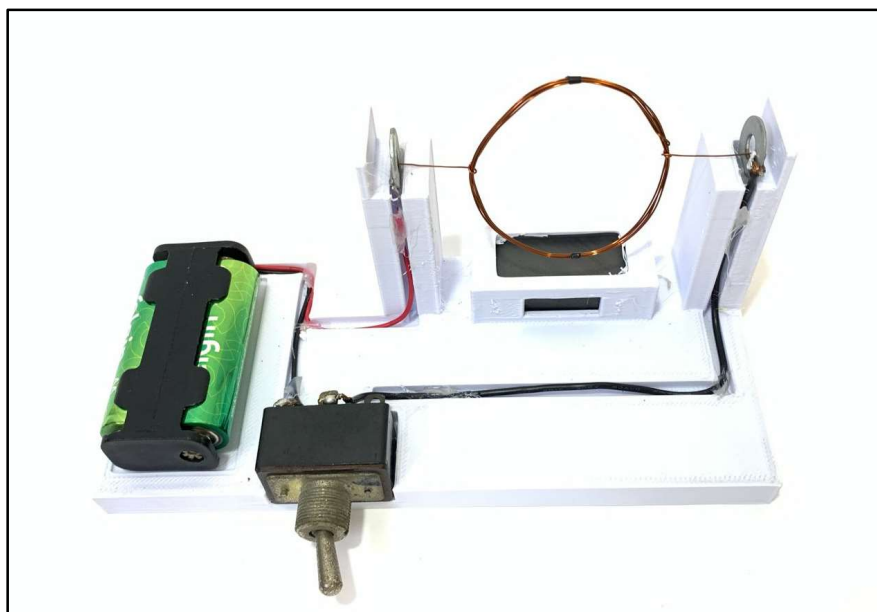
11. Podemos afirmar que toda bobina funciona como um eletroímã? Por exemplo, o alumínio não é um material ferromagnético, mas é um bom condutor. Ele pode ser usado como solenoide em um eletroímã?

12. Que tipo de material pode ser imantado? O que faz a agulha de uma bússola ser imantada e qual é a diferença desse processo para aquele ocorrido no eletroímã? Justifique.

Aula 5

Força Magnética

Figura 24. Bobina Magnética.



Protótipo experimental de um equipamento que funciona com base na ação da força magnética. Fonte: FnEsc/ SEDUC (2024).

Ao caminhar, ao pedalar, ao dirigir, ao trocar o sofá de lugar, estamos usufruindo da capacidade de movimento oriunda das mais variadas interações do dia a dia. É fato comum em todas essas situações que nem o carro, nem tampouco a bicicleta, ou até mesmo o sofá poderiam se deslocar sem uma “motivação externa”, isto é, sem a atuação de uma *força*. Se faz necessária, portanto, uma determinada causa para que se tenha o efeito desejado. Em outras palavras, observamos que os objetos não se movimentam ou modificam suas trajetórias sozinhos.

A Ciência nos mostra que a ideia de força foi definida graças aos trabalhos de Issac Newton que, ao formular as Três Leis do Movimento, estabeleceu física e matematicamente o conceito de força, como sendo a ação capaz perturbar os objetos, causando o movimento (alterando seu estado inercial) e produzindo desvios

em suas trajetórias¹¹. Ela também é necessária para explicar as interações dos corpos sujeitos às ações magnéticas. Por exemplo, quando observamos um ímã atraindo uma moeda, verificamos que esta tem sua trajetória modificada. O deslocamento dessa moeda só foi possível graças à atuação de uma força que proveu o seu movimento em direção ao ímã. Em movimentos existentes nessa região devido ao campo magnético, a força atuante recebe o nome de **Força Magnética**.

Em termos do formalismo teórico-experimental, verificamos que a conceituação de força magnética foi motivo de análise durante todo o século 19, tendo seu significado melhor compreendido com base nos trabalhos do físico neerlandês Hendrik Lorentz (1853-1928). Desde então, pôde-se estabelecer que para um fio de comprimento (L), percorrido por uma corrente elétrica (I), há a atuação de uma força magnética que possui dependência direta e proporcional com os valores da intensidade da corrente e do comprimento referente ao fio condutor, como também da intensidade do campo magnético (B) resultante dessa interação — descrição conhecida por *Lei de Lorentz*.

Na situação em questão, o campo magnético exerce uma força intensa o suficiente para ser capaz de transladar o fio condutor — quanto maior o fio sob influência do campo, maior a força exercida sobre ele. Entretanto, essa interação, tal como descrita, nem sempre é fácil de ser percebida experimentalmente, fazendo-se necessário aprimorar o aparato, utilizando-se uma espira para observar o efeito desejado. Por exemplo, consideremos o ilustrado na Figura 24. Ela apresenta uma estrutura dotada de uma pilha e um conjunto de espiras, uma chave liga/desliga e um ímã permanente abaixo da bobina. Enquanto a chave está desligada, nada acontece ao sistema. Por outro lado, quando acionada, uma corrente elétrica começa a passar pelo circuito e circular através da bobina.

A intensidade do campo magnético está diretamente relacionada com a velocidade com que a espira gira. Quanto mais rápido a rotação da bobina, mais intenso é o campo. Esse movimento de rotação observado é descrito pela atuação do agente físico conhecido como *Torque*. Sua definição está relacionada com a existência das forças e eixos que causam o movimento de rotação dos corpos, de

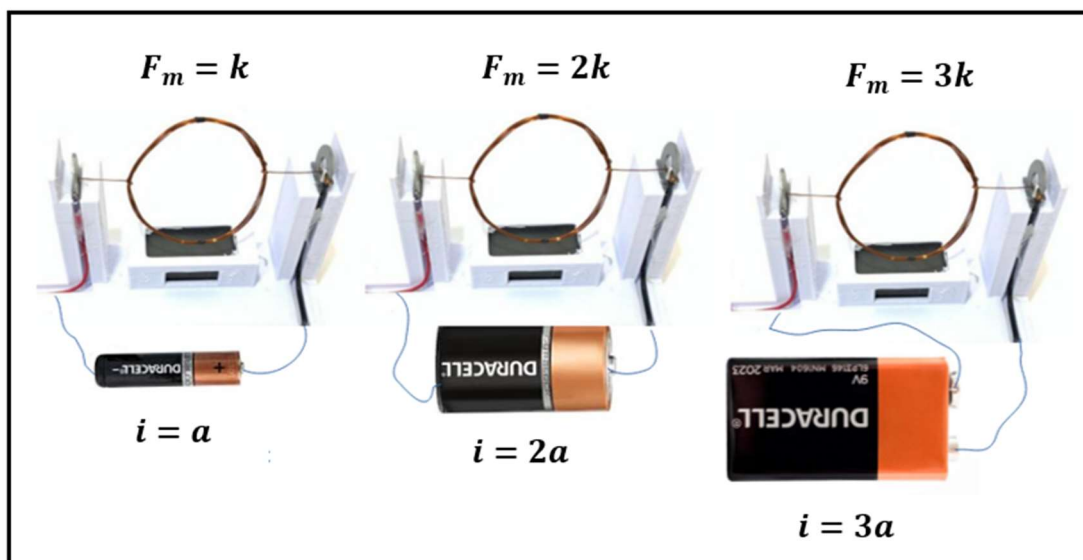
¹¹ O conceito de força, embora hoje comumente aceito e compreendido, foi motivo de discussão filosófica durante vários séculos, percorrendo gerações de eminentes pensadores. Uma respeitada lista que reúne, entre outros, Aristóteles (384-322 a. C.), René Descartes (1596-1650), Christiaan Huygens (1629-1695) e Gottfried Leibniz (1646-1716). (N. A.)

modo a ser possível estabelecer que sua intensidade possui dependência com a variação da rotação. Quanto mais intenso for o torque (força de rotação), mais rápido será o giro obtido (frequência angular).

Mas então, como podemos avaliar o módulo da força magnética? Ora, basta analisarmos a montagem. A pilha fornecerá energia suficiente para gerar uma corrente elétrica que circula pela espira. Quanto mais energia essa bateria fornecer, mais rápida as cargas elétricas irão se mover pelo fio condutor (maior a intensidade de corrente elétrica). Essa interação faz gerar um campo magnético que passa por dentro da bobina (Lei de Ampère). O campo magnético criado na bobina interagirá com um ímã de modo repulsivo, e a repulsão entre eles fará com que a espira comece a rotacionar. Quanto mais intenso é o campo magnético da bobina mais rápida é a rotação da bobina. Portanto, se considerarmos aumentar o fluxo de corrente elétrica no circuito, a força do campo magnético aumentará de forma proporcional, como mostrado na Figura 25.

Da mesma forma bobina poderá girar mais rapidamente quanto maior for o campo magnético do ímã, e, portanto, a força magnética também terá uma dependência direta com o campo magnético em que a bobina está imersa. Haverá também a dependência com o comprimento do condutor, conforme comentado para o fio. Entretanto a espira não translada, ela rotaciona. Assim, a força magnética é usada para o cálculo do torque sobre a região da espira.

Figura 25. Intensidade da força magnética em um circuito elétrico.



Montagem experimental para obtenção dos valores da força magnética. Para fins de representação didática, atribuímos um certo valor k para o módulo da força magnética (F_m) e um certo valor a para representar um dado valor para a intensidade de corrente elétrica (i). A espessura de cada pilha condiz com o suprimento de corrente elétrica fornecido ao circuito. A intensidade do fluxo elétrico tem seu valor triplicado na pilha mais espessa, em relação à mais delgada. O mesmo ocorre com o valor da força magnética, que tem seu módulo três vezes maior quando a corrente elétrica for três vezes mais intensa. Fonte: Adaptado de FnEsc/ SEDUC (2024).

Por meio do QR Code abaixo você terá acesso à demonstração do funcionamento do aparato mostrado na Figuras 24 e 25.



➤ **QUESTÕES PROBLEMATIZADORAS**

13. É possível observar a atuação da força magnética em uma região para além do alcance do campo magnético? Justifique.

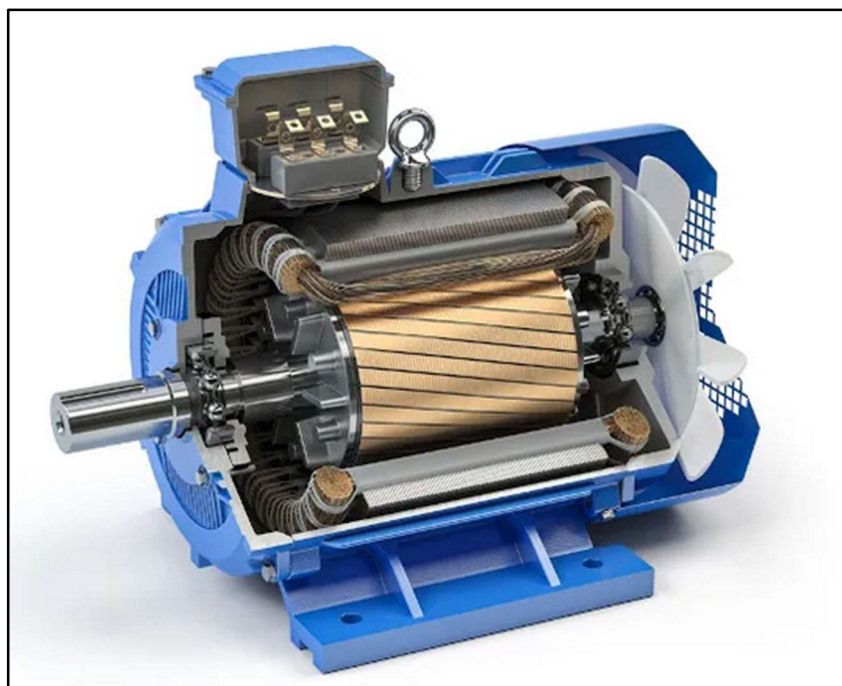
14. Como você explicaria a relação entre a intensidade da corrente elétrica em um fio condutor e o valor da força magnética que atua na região externa ao fio?

15. Você consegue observar alguma relação entre o aparato experimental mostrado durante a aula como algum outro aparelho eletrônico presente no seu dia a dia? Cite exemplos.

Aula 6

O funcionamento dos Motores Elétricos

Figura 26. Ilustração de um motor elétrico



Destaque para alguns dos componentes internos do maquinário. Fonte: Melo (2023)

Os anos que abriram o século 19 trouxeram avanços significativos à modernização da sociedade. Isso se deveu não somente ao potencial evolutivo do sistema fabril, impulsionado pelo uso em larga escala dos motores a vapor – que passaram a ter papel central em setores como o metalúrgico, o têxtil e o de transporte –, mas sobretudo aos estudos voltados ao desenvolvimento de novas tecnologias. O progresso nas descobertas científicas, as quais se expandiam especialmente nos campos da Física, Química e Engenharia, proporcionou o crescimento do setor industrial que ganhou um novo impulso com o surgimento dos motores e geradores elétricos.

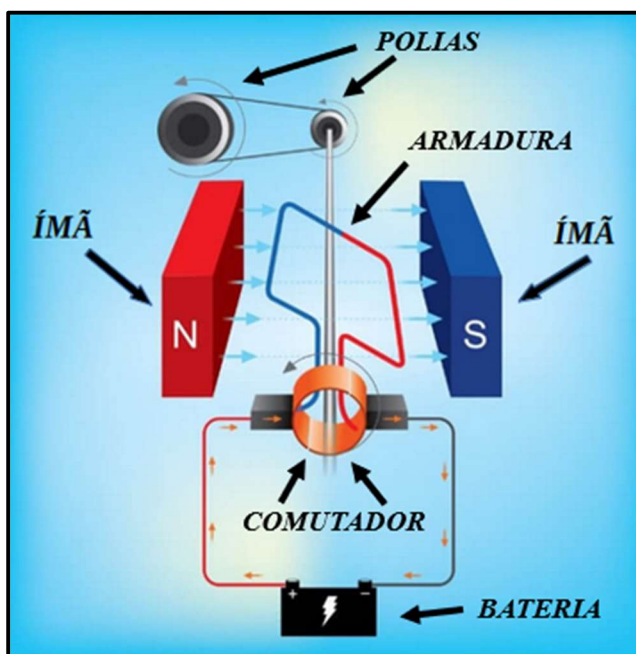
Os motores e geradores elétricos foram desenvolvidos para serem ferramentas capazes de converter elétrica em energia mecânica, e vice-versa. É interessante observar que ambos os equipamentos funcionam com base nos

princípios das interações eletromagnéticas, conforme estabelecido pelas Leis de Ampère e Faraday.

Os motores elétricos são dispositivos que produzem energia mecânica a partir da energia elétrica. Para o seu acionamento, é necessária uma fonte de energia elétrica para que o dispositivo produza uma rotação. Seu funcionamento, em geral, baseia-se na circulação da corrente elétrica em um conjunto de espiras (bobinas), que estão fixas ao próprio motor. Esse fluxo de corrente produz, por si só, um campo magnético que permanecerá no entorno das bobinas. Além desse arranjo, o motor também é dotado de um conjunto de ímãs permanentes, acoplados em um eixo móvel, que interagem com o campo magnético das bobinas — assim que ele é gerado. Essa interação produz movimentos de atração e repulsão, possibilitando o giro do motor. É possível também que a montagem do motor possa ser feita com ímãs permanentes e fixos, estando as bobinas em um eixo dinâmico.

Um esquema de motor simples é apresentado na Figura 27, em que a armadura é a espira pela qual passa a corrente elétrica, cuja fonte é uma bateria. O campo magnético que se formará na armadura e a sua interação com o campo magnético dos ímãs faz com que ela rotacione, essa rotação fará girar as polias que estão acopladas nas bobinas.

Figura 27. Esquema de funcionamento básico de um motor elétrico com corrente contínua.



Na ilustração ao lado é possível notar a orientação (em azul) das linhas de campo magnético gerado pelos ímãs, cujo fluxo magnético interage com a corrente elétrica (indicadas pelas setas em laranja) percorrida na armadura central culminando na ação mecânica de rotação do comutador que gira as polias. Fonte: Adaptado de Greenbras (2022)

Para ter acesso à demonstração prática do princípio de funcionamento descrito na Figura 27, acesse o QR CODE ao lado.



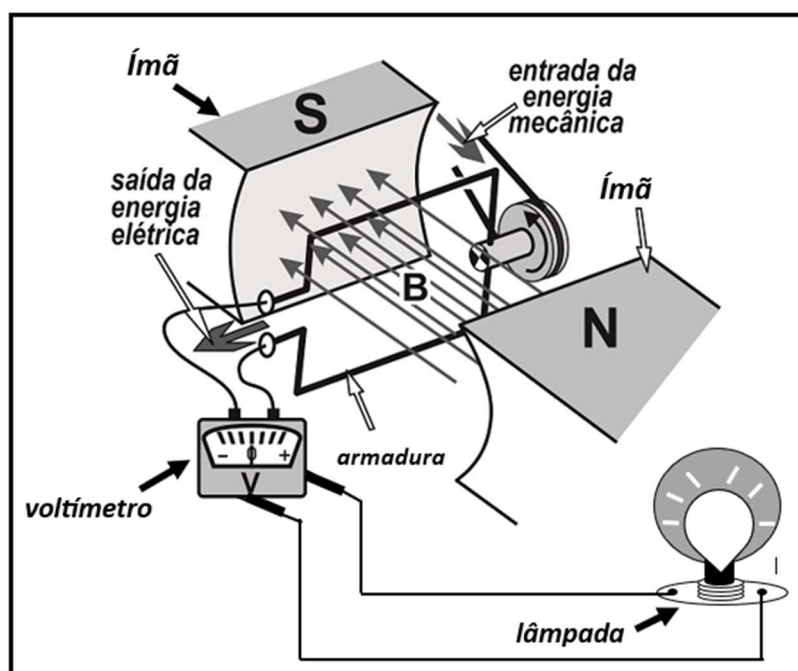
Para o motor mostrado na Figura 27, destacamos que o fluxo das cargas que passa pelo comutador (peça laranja, em forma de anel, destacada na ilustração) faz com que a armadura gire conforme a orientação do campo magnético gerado entre os ímãs.

Os geradores elétricos são dispositivos que produzem eletricidade a partir da energia mecânica, em um processo inverso aos dos motores. O essencial para o funcionamento dos geradores é a criação do fluxo magnético ao redor das bobinas, formadas por condutores pelos quais passa a corrente elétrica. Para tanto, é necessário que os ímãs sejam fixados à parte móvel do dispositivo e as bobinas permaneçam sem movimento (estáticas). À medida que rotaciona, cada ímã irá aproximar-se e afastar-se de cada uma das bobinas, fazendo com que a bobina sinta o campo magnético crescer e diminuir, a todo instante. Isso se caracteriza como a variação do fluxo magnético. Consequentemente, a variação desse fluxo faz surgir a corrente elétrica na bobina (Lei de Faraday), que será proporcional ao campo magnético dos ímãs e à velocidade de rotação dos ímãs, bem como ao número de espiras existentes. Vale ressaltar que se a montagem for tal que a espira possa rotacionar, com os ímãs permanecendo estáticos, teremos o mesmo resultado. A Figura 28 traz um esquema de um gerador, e não há como não notar a grande similaridade com a Figura 27.

Os geradores vão sempre produzir uma corrente alternada, entretanto os motores, através de uma modificação de sua arquitetura, podem ser alimentados por uma corrente elétrica contínua ou por uma corrente elétrica alternada.¹² Isso depende estritamente da forma como a espira é ligada ao circuito.

¹² Para diferenciar os tipos de corrente elétrica utilizadas em determinados circuitos, utilizamos a sigla (em inglês): AC/DC. Sendo a corrente contínua representada por DC (Direct Current) e a corrente alternada designada por AC (Alternating Current). (N. A.)

Figura 28. Esquema de um gerador elétrico.



Funcionamento de um gerador elétrico. Fonte: Adaptado de Manavella (2020).

O conjunto de bobinas dos motores e geradores é conhecido como *estator*. Quando as bobinas são eletrizadas, elas geram um fluxo de campo magnético ao seu redor. Se a corrente de eletrização for alternada, o campo magnético também irá variar seu fluxo. A construção do motor, portanto, é feita associando esses efeitos com os ímãs permanentes, a fim de produzir a rotação. Note que, essencialmente, cada bobina do estator é um eletroímã — conforme estudamos na Aula 4.

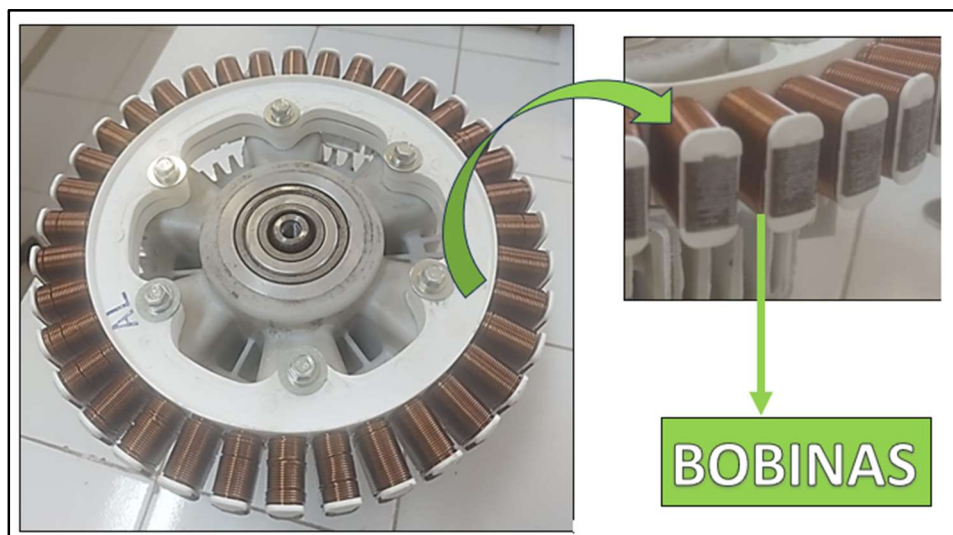
Figura 29. Estator construído em nosso laboratório.



Peça fundamental para o funcionamento dos motores e geradores elétricos. Sua principal função é proporcionar um movimento de giro por meio do processo de imantação. Fotos: FnEsc / SEDUC (2024).

A ação mecânica desejada, isto é, o giro do eixo, é executado pelo rotor. Esse movimento é alcançado uma vez que estrutura do rotor contém os ímãs permanentes, os quais interagem com as bobinas eletrizadas (ímãs artificiais) em virtude do campo magnético criado pelos ímãs (como polaridade oposta).

Figura 30. Bobinas.



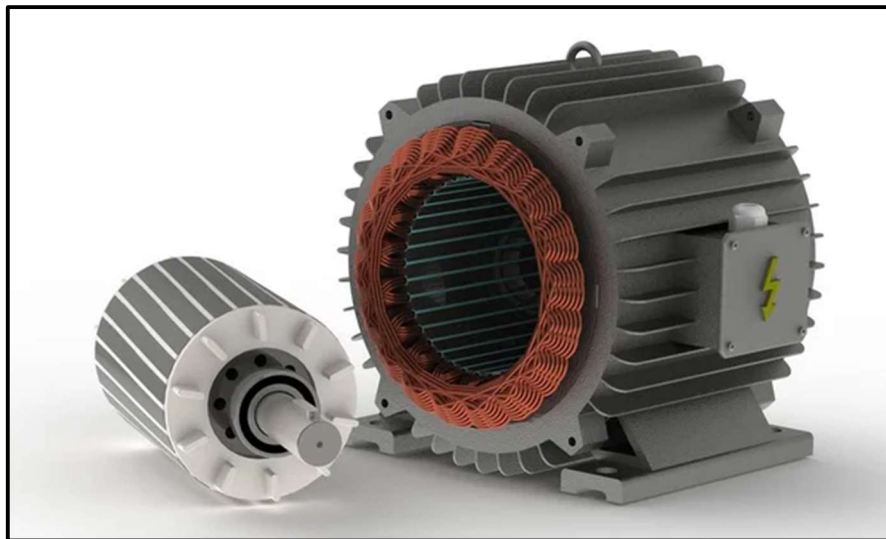
Espiras condutoras que são submetidas à passagem de corrente elétrica, gerando um eletroímã no interior do estator. Fotos: Adaptada de FnEsc / SEDUC (2024).

Neste QR Code mostramos uma alternativa experimental para construir bobinas:



Trazemos na Figura 31 uma ilustração do rotor e do estator.

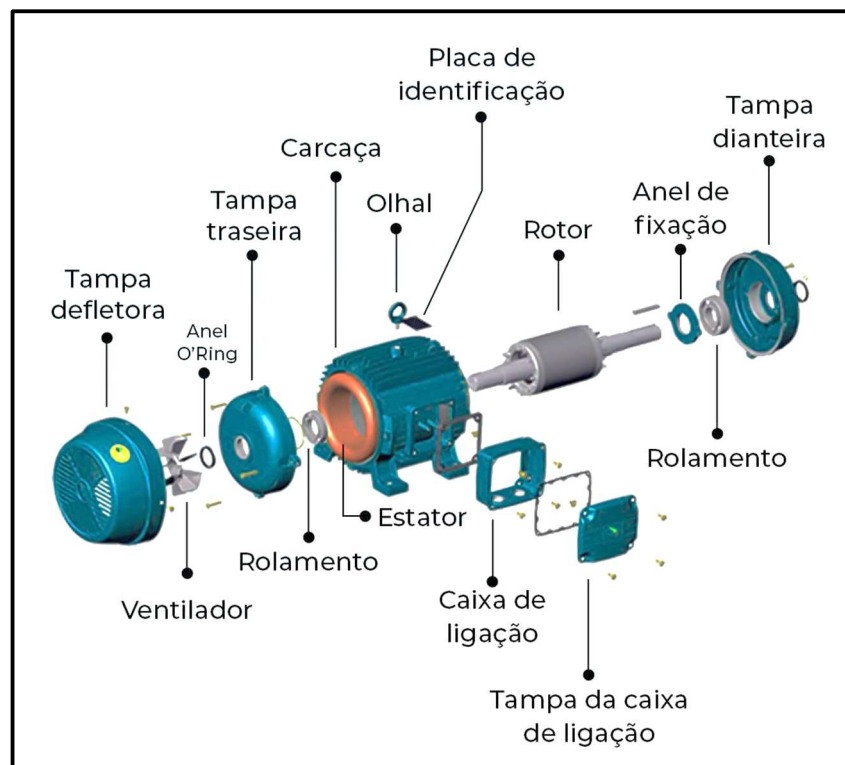
Figura 31. Rotor e Estator.



Rotor (peça menor, à esquerda), ao lado do Estator. O rotor é o responsável pelo movimento de rotação motor. Fotos: Depositphotos (2024).

Na Figura 32 trazemos algumas das peças estruturais de um motor elétrico. Logo após, conceituamos àquelas com maior destaque na montagem.

Figura 32. Partes de um motor elétrico.



Fonte: Adaptada de Manutenção em Ação (2024).

- ◆ Caixa de Ligações: local em que são colocados os cabos de alimentação para as ligações elétricas.
- ◆ Carcaça: camada externa que protege toda estrutura do motor.
- ◆ Eixo: peça central, geralmente feita de aço condutor, que permite a transferência de energia gerada em função do giro.
- ◆ Enrolamentos estator: ligações entre fios para o acionamento do estator.
- ◆ Estator: Parte fixa do motor ligado à rede elétrica. Ele é o responsável por permitir o fluxo magnético necessário à conversão em energia mecânica.
- ◆ Placa de Identificação: local onde estão as informações sobre alguns componentes do motor.
- ◆ Rolamento: componente que permite a rotação entre duas peças.
- ◆ Rotor: peça que gira em torno do próprio eixo de rotação, em função da energização recebida do estator.
- ◆ Ventoinha: peça semelhante a um ventilador que tem por finalidade resfriar a parte interna do motor, que tende a aquecer devido à dissipação do calor produzida no processo de conversão de energia do mecanismo.

No QR CODE abaixo você terá acesso aos componentes básicos de um motor elétrico, bem como seu processo de montagem.



➤ **QUESTÕES PROBLEMATIZADORAS**

16. Como base em qual princípio físico podemos relacionar a tecnologia empregada no funcionamento dos motores elétricos com a construção dos geradores elétricos?

17. Como funciona um estator? Com base em seu funcionamento, podemos afirmar que todo gerador elétrico é um motor elétrico? Justifique sua resposta.

18. Como você explicaria o funcionamento dos motores e dos geradores elétricos com base nos aparelhos industriais usados em seu dia a dia? Reflita um pouco sobre a indispensabilidade desses equipamentos na sociedade moderna e responda: como seria viver em um mundo sem motores elétricos?

Referências

ALMEIDA, Daniel. Como funcionam os motores elétricos. **TRACTIAN**. Disponível em: <https://traction.com/blog/motores-eletricos-entenda-a-funcionalidade-desse-ativo> . Acesso em 28 de novembro de 2023.

Bomba d'água. C&c Construção. Disponível em: <https://www.cec.com.br/dicas-construcao-bomba-d-agua?id=219>. Acesso em 02 de setembro de 2024.

CARVALHO, Thomas. “Campo Magnético”. **InfoEscola**. Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/campo-magnetico/>. Acesso em 13 de fevereiro de 2024.

Como é gerada a energia hidrelétrica? **Azeheb**, 2018. Disponível em: <https://azeheb.com.br/blog/como-e-gerada-a-energia-hidreletrica/>. Acesso em 02 de outubro de 2024.

Como funciona o motor elétrico de um carro. **GREENBRAS**. São Paulo, 18 de abril de 2022. Disponível em: <https://greenbras.com/como-funciona-o-motor-de-um-carro-eletrico/> . Acesso em: 27 de novembro de 2023.

DEUTY, Soett. Solenoids Vs. Relays: What is The Difference? **Planet Analog**. 27 de fevereiro de 2018. Disponível em: <https://www.planetanalog.com/relays-and-solenoids-electromechanical-devices/> . Acesso em 24 de março de 2024.

DINIZ, Alexandre Magno Ferreira; ARAÚJO, Rômulo Diniz. “Uma abordagem prática para o ensino de eletromagnetismo usando um motor de indução de baixo custo.” IN: **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 1, p. 3, ago. 2019.

DOMÍNIO MAGNÉTICO. **Neocities.org**. Disponível em: https://rocarneval.neocities.org/CP_NDE-ED.ORG/EM_07-Dominio . Acesso em 13 de setembro de 2024.

FARIA, Renato de. O que faz uma aula ser boa? **Estado de Minas**. Belo Horizonte, 21 de nov. de 2021. Disponível em: <https://www.em.com.br/colunistas/filosofia-explicadinha/2023/11/amp/6658954-o-que-faz-uma-aula-ser-boa.html> . Acesso em 24 de novembro de 2023.

FILHO, Jailton dos Santos. **Introdução ao Magnetismo**. YouTube, 12 de abril de 2023. Disponível em: < <https://youtu.be/X-ePfG1dG38?si=0bEBn1nwi77ZGNvh>>. Acesso em 12 de janeiro de 2024.

FRANCO, HUGO. Evolução dos conceitos da Física. IN: **plato.usp**. Disponível em: <http://plato.if.usp.br/1-2003/fmt0405d/apostila/renasc7/node8.html> . Acesso 01 de maio de 2023.

GOMES, Sinésio Raimundo. Aula 03 – Fundamentos de Magnetismo. **Maquinas Elétricas I**. 30 de janeiro de 2023. Disponível em: < <https://maquinaseletricasi.blogspot.com/2014/01/aula-02-fundamentos-de-magnetismo.html>>. Acesso em 18 de dezembro de 2023.

GUIARRARA, Paloma. "Bússola". **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/bussola.htm> . Acesso em 09 de março de 2024.

JÚNIOR, Gonçalo. **É uma pena não viver**: uma biografia de Rubem Alves. São Paulo: Planeta do Brasil, 2015.

JÚNIOR, Osvaldo Pessoa. Modelo causal dos primórdios da ciência do magnetismo. **Scientiae Studia**. São Paulo, v. 8, n. 2, 2010, p. 195-212.

MAGNETISMO: CONCEITOS. Guia do Estudante (GE), 2024. Disponível em: <<https://guiadoestudante.abril.com.br/curso-enem/conceitos>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2024.

MANAVELLA, Humberto. Gerador automotivo, mais conhecido como alternador, é a fonte de energia dos veículos. **Oficina Brasil**, 2020. Disponível em: <https://germinaloicinabrasi.websiteseuro.com/noticia/tecnicas/gerador-automotivo-mais-conhecido-como-alternador-e-a-fonte-de-energia-dos-veiculos> . Acesso em 23 de setembro de 2024.

MELO, Pâmella Raphaella. "Motor elétrico". **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/eletricidade-acionamento-motores-eletricos.htm> . Acesso em 17 de outubro de 2023.

MikeRun. Coil right-hand rule3.svg. **Wikimedia Commons**. 23 de maio de 2020. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Coil_right-hand_rule3.svg . Acesso em 24 de março de 2024.

Motor Elétrico vista explodida. **Manutenção em ação**. Disponível em:<https://pt.linkedin.com/posts/jos%C3%A9-xavier-100981124_vista-explodida-motor-el%C3%A9trico-largamente-activity-7030196513276346368-J27>. Acesso em 07 de julho de 2024.

Motor Elétrico visualização explodida. **Depositphotos**. Disponível em: <https://depositphotos.com/br/photo/electric-motor-exploded-view-rendering-isolated-white-background-650694648.html> . Acesso em 07 de julho de 2024.

Motor Elétrico. **SimuFísica/ CNPq**. Disponível em: <https://simufisica.com/simulacoes/motor-eletrico/> . Acesso em: 01 de março de 2023.

NEWTON, Villas Boas; DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José. **Tópicos de Física 3**: eletricidade, física moderna e análise dimensional.

Porto Editora. "James Hargreaves na Infopédia". **Porto Editora**. Disponível em: [https://www.infopedia.pt/artigos/\\$james-hargreaves](https://www.infopedia.pt/artigos/$james-hargreaves) . Acesso em 29 de julho de 2024.

ROCHA, José Fernando M. (Org.). **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

SANTOS, Vanessa Sardinha dos. "Homo sapiens". **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/a-nossa-especie-homo-sapiens.htm>. Acesso em 13 de novembro de 2023.

SILVA, E. C. da. **Análise Termodinâmica e Reprojeto de um Motor a Vapor**. 2019. 84 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica — Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, 2019.

STIKMAN. The Solenoid and Electromagnet. **StickMan Physics Home**. Disponível em: <https://stickmanphysics.com/stickman-physics-home/magnets-and-magnetism/electromagnet/>. Acesso em 24 de março de 2024.

VERVE CIENTÍFICA. **Entenda a diferença entre um motor e um gerador elétricos**. YouTube, 25 de abril de 2023. Disponível em: <https://youtu.be/Qk8Ajtyh5Uc?si=xhKn98bK044KTp18>. Acesso em 05 de dezembro de 2023.

Você conhece os principais tipos de motores elétricos? **Abecom**. São Paulo, 03 de fev. de 2022. Disponível em: < <https://www.abecom.com.br/tipos-de-motor-eletrico/> > Acesso em: 24 de novembro de 2023.

Índice Onomástico

Alves, Rubem, 8
Aristóteles, 52
Ampère, André-Marie, 46
Descartes, Renè, 52
Gilbert, William, 30
Faraday, Michael, 46
Hargreaves, James, 25
Huygens, Christiaan, 52
Leibniz, Gottfried, 50
Lorentz, Hendrik, 52
Maricourt, Pierre de, 30
Mileto, Tales de, 29
Newcomen, Thomas, 24
Newton, Isaac, 34
Nietzsche, Friedrich, 1
Watt, James, 25