



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

**ISAIAS MARTINS DOS ANJOS**

**ENSINO DE TÓPICOS DE ELETROMAGNETISMO NO ENSINO MÉDIO: DO ÍMÃ  
AO MOTOR ELÉTRICO**

**MACEIÓ**

**2023**

**ISAIAS MARTINS DOS ANJOS**

**ENSINO DE TÓPICOS DE ELETROMAGNETISMO NO ENSINO MÉDIO: DO ÍMÃ  
AO MOTOR ELÉTRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Física Licenciatura da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciatura em Física.

Orientador: Prof. Dr. André Luis Baggio

**MACEIÓ**

**2023**

**Catálogo na Fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

A599e Anjos, Isaias Martins dos.  
Ensino de tópicos de eletromagnetismo no ensino médio : do ímã ao motor elétrico / Isaias Martins dos Anjos. – 2023.  
54 f. : il.

Orientador: André Luis Baggio.  
Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Física: licenciatura) –  
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Física. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 50-51.  
Apêndices: f. 52-54.

1. Ensino médio. 2. Eletromagnetismo. 3. Física - Estudo e ensino. 4. Experimentação. I. Título.

CDU: 372.853.7

Dedico este trabalho aos meus irmãos, Mirian e Elias Martins, por todo amor e carinho todos esses anos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus irmãos, Mirian e Elias Martins, por todo companheirismo e por sempre acreditarem em mim. Aos meus primos, em especial Wellington Freitas, por todo o apoio dentro e fora do mundo acadêmico. Aos professores que fizeram parte da minha formação, do ensino fundamental ao ensino superior, especialmente a professora Cláudia, a pessoa que me ensinou a ler e escrever, algo que me causava inveja aos oito anos. Ao meu orientador, prof. Dr. André Luis Baggio, por ter aceitado a proposta de me orientar, pelas contribuições para a realização deste trabalho e pela enorme paciência comigo.

Agradeço também à Dona Gessilene, por toda compreensão e pela confiança depositada em mim. Aos colegas que fiz ao longo da graduação, em especial Luana e Josivaldo que nunca se recusaram a me ajudar. Por fim, agradeço a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para conclusão deste trabalho.

*“É só dar um tom”* Raimundo Alves

## RESUMO

O ensino no Brasil tem sido algo bastante precarizado ao longo dos últimos anos. Um reflexo disso é o baixo desempenho escolar dos estudantes nas avaliações gerais da educação, especialmente nas ciências exatas. As últimas edições do Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB) e do Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA), por exemplo, mostraram um ensino fundamental e médio defasado em que os estudantes que concluem não possuem proficiência adequada. Estruturas inadequadas, falta de professores, metodologias puramente tradicionais e o ensino para testagem são alguns dos problemas que permeiam o ensino de exatas e, em particular, o ensino de Física. Em meio a estas problemáticas o professor precisa refletir sobre de que modo pode contribuir para melhoria desse quadro. Com esse intuito, uma das ferramentas que podem ser utilizadas pelo professor é a sequência didática, que consiste em atividades organizadas a fim de facilitar o ensino de determinado conteúdo. Assim, neste trabalho propomos uma sequência didática em que se aborda tópicos de eletromagnetismo a partir de experimentos com materiais de baixo custo. Os assuntos abordados nesta sequência englobam desde a interação entre ímãs naturais até a concepção de um motor elétrico simples, passando pelos conceitos de campo magnético gerado por corrente elétrica, força de Lorentz sobre um fio de corrente. Além disso, sugere uma maneira de desenvolver alguns experimentos, dentre os quais estão o eletroímã, a bússola e o experimento de Oersted.

**Palavras-chave:** Ensino médio; Eletricidade e Magnetismo; ensino de física; experimentação.

## ABSTRACT

Education in Brazil has been somewhat precarious over the last few years. A reflection of this is the low performance of students in general education assessments, especially in the exact sciences. The latest editions of the Basic Education Assessment System (SAEB) and the International Student Assessment Program (PISA), for example, showed a lagged fundamental and secondary education in which students who complete it do not have adequate proficiency. Inadequate structures, lack of teachers, purely traditional methodologies and teaching for testing are some of the problems that permeate the teaching of exact sciences and, in particular, the teaching of Physics. In the midst of these problems, the teacher needs to reflect on how he can contribute to improving this situation. For this purpose, one of the tools that can be used by the teacher is the didactic sequence, which consists of activities organized in order to facilitate the teaching of certain content. Thus, in this work we propose a didactic sequence in which topics of electromagnetism are approached from experiments with low-cost materials. The subjects addressed in this sequence range from the interaction between natural magnets to the design of a simple electric motor, passing through the concepts of magnetic field generated by electric current, Lorentz force on a current wire. In addition, it suggests a way to develop some experiments, among which are the electromagnet, the compass and the Oersted experiment.

**Keywords:** High school; Electricity and Magnetism; physics teaching; experimentation.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 ELETRICIDADE E MAGNETISMO</b> .....	19
2.1 FORÇA E CAMPO ELÉTRICO .....	22
2.2 FORÇA E CAMPO MAGNÉTICO.....	26
2.4 CORRENTE ELÉTRICA E CAMPO MAGNÉTICO .....	27
2.4 FORÇA MAGNÉTICA SOBRE UM FIO CONDUZINDO CORRENTE .....	30
2.5 TORQUE SOBRE UMA ESPIRA COM CORRENTE .....	32
2.6 MOTORES ELÉTRICOS .....	34
<b>3 EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA</b> .....	36
<b>4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA</b> .....	39
4.1 PROCEDIMENTOS .....	42
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	48
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	50
<b>APÊNDICE</b> .....	52

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as avaliações educacionais têm revelado a baixa qualidade da educação brasileira, sobretudo nos ensinos fundamental e médio em escolas da rede pública de ensino. O Sistema de Avaliação da Educação Básica<sup>1</sup>, por exemplo, vem mostrando isso há anos, mais especificamente desde meados da década de 90, quando ocorreu a primeira edição em que se levou em conta essas duas etapas. Naquela ocasião, os estudantes dos anos finais do ensino fundamental, tanto em língua portuguesa quanto em matemática, mal conseguiram atingir o nível três em uma escala de proficiência de oito níveis. Os resultados ruins repetiram-se no ensino médio.

Ao se fazer uma rápida comparação entre o desempenho dos estudantes naquela época e atualmente, nessa mesma avaliação, percebe-se que não ocorreram melhoras significativas. Com relação ao ensino fundamental, os números são praticamente idênticos; nos anos finais do ensino médio observa-se um aparente retrocesso em ambas as áreas avaliadas.

Além disso, tem sido revelado, também, que o desempenho dos estudantes pode variar significativamente de acordo com a região, área e localização das instituições de ensino. Nessa perspectiva, é importante ressaltar que, as regiões centro-oeste, sul e sudeste têm se sobressaído sobre as regiões norte e nordeste, assim como as capitais sobre os interiores e, mais ainda, as zonas urbanas sobre as rurais. Especialmente na região nordeste, na edição 2019 do SAEB apenas Ceará e Pernambuco destacaram-se nos ensinos fundamental e médio, respectivamente. Alagoas, estado ao qual pretende se dedicar esse trabalho, mais uma vez não conseguiu alcançar a média nacional em qualquer nível ou área de ensino.

Além das avaliações nacionais, em que se destacam a Prova Brasil e o Exame Nacional Do Ensino Médio (ENEM), a educação brasileira passa também por avaliações internacionais, como é o caso do *Programme for International Student Assessment* (PISA), ou como é chamado no Brasil “Programa Internacional de Avaliação de Estudantes”. É realizado a cada três anos e avalia, numa escala que

---

<sup>1</sup> **SAEB** ou **Sistema de Avaliação da Educação Básica** reúne os principais instrumentos de avaliação da educação básica no Brasil.

vai de 0 a 800 pontos, a aprendizagem de estudantes na faixa etária de 15 anos, em leitura, matemática e ciências.

De acordo com o relatório de resultados do PISA 2018, divulgado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Anísio Teixeira (INEP), as médias de proficiência dos estudantes brasileiros continuam, consideravelmente, abaixo das médias dos estudantes dos países da OCDE em todas as áreas avaliadas e, ainda conforme o relatório, há mais de década o nosso país não tem apresentado avanços significativos em leitura, matemática ou ciências. Em resumo, nesta edição:

“Os jovens brasileiros de 15 anos registraram um desempenho bem abaixo da média da OCDE em leitura, matemática (384 contra 489) e ciências (404 contra 489). Em cada uma das áreas, o Brasil teve uma proporção maior de alunos com baixo desempenho do que muitos países da OCDE: 23% dos estudantes alcançaram a proficiência mínima (PISA Nível 2) em leitura, matemática e ciências, enquanto a média da OCDE é de 64%. Os dados nacionais indicam que a parcela de alunos que atinge a proficiência mínima relacionada ao grau de escolaridade cai no ensino médio, especialmente em matemática.” (BRASIL, 2020, pg. 11)

Trata-se, portanto, de mais um instrumento de avaliação que vem constatando, edição após edição, o baixo rendimento escolar dos nossos estudantes, principalmente em matemática.

Na concepção de Menezes (2018) essas avaliações têm mostrado um ensino médio estagnado ou piorando há mais de década e um ensino fundamental ineficaz no qual grande parte dos estudantes que terminam não possui proficiência em leitura ou cálculo. Isso mostra que a educação básica em nosso país não tem surtido os efeitos esperados e, além disso, não tem apresentado melhorias.

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB, Lei 9394/95), documento que disciplina a educação escolar em nosso território, deixa claro que “a educação básica tem por finalidades desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores” (Art. 22º). Assim, entende-se que a educação básica é, sem dúvidas, a etapa escolar mais importante da vida dos estudantes, uma vez que lhe cabe desenvolver integralmente os educandos, munindo-os de uma série de competências e habilidades, que vão desde a leitura e interpretação de textos e a realização de cálculos simples à preparação para a vida profissional. Nesse sentido, trata-se de uma formação que vai além do ensino dos conteúdos básicos das disciplinas, diz respeito a uma preparação do indivíduo para

participar efetivamente da vida social. Assim, o desenvolvimento adequado desse nível educacional é de extrema importância.

No entanto, as dificuldades encontradas no ensino têm tornado formação básica de boa qualidade algo cada vez mais distante da maior parte da população brasileira. Dentre os inúmeros problemas educacionais enfrentados pela educação básica em nosso país, a desvalorização do professor tem ocupado um lugar especial. Nas palavras de Machado (2007):

“Não existe a possibilidade de uma discussão séria sobre o significado da qualidade da educação sem uma decisão a priori sobre a valorização da função docente [...] é muito difícil imaginar como um profissional tão desprestigiado, tão desconsiderado em suas funções mais comezinhas possa levar a bom termo as tarefas fundamentais que lhe cabe realizar. Não é possível imaginar-se uma educação de qualidade sob a orientação de profissionais tão desvalorizados quanto o são os professores” (MACHADO 2007, pág. 287)

Quando o tema em discussão é a desvalorização dos professores costuma-se pensar exclusivamente em questões salariais. Apesar dela não se resumir a baixos salários, esse ainda é um problema muito frequente e faz com que, muitas vezes, os professores da educação básica fiquem sujeitos a altas cargas horárias de trabalho e, não raro, vinculam-se a mais de uma instituição de ensino. Essa sobrecarga pode afetar ao menos de duas formas. A primeira delas diz respeito à dedicação às disciplinas, isto é, as metodologias e os recursos que serão utilizados, o planejamento como um todo. A segunda relaciona-se a qualificação desses profissionais, como a participação em atividades voltadas à formação continuada<sup>2</sup>, algo previsto em lei, e em programas de pós-graduação, por exemplo.

Geralmente, a formação continuada é oferecida pelas Secretarias Municipais e Estaduais de Educação e contemplam professores da educação básica que atuam nas escolas da rede pública de ensino. No caso dos programas de pós-graduação, nos últimos anos houve uma grande ampliação na oferta por parte de instituições particulares, sobretudo na modalidade à distância. Contudo, atendidos os pré-requisitos, esses programas são oferecidos gratuitamente pelas instituições públicas de ensino superior, principalmente as federais.

Outro empecilho relaciona-se à falta de estrutura de muitas instituições de ensino. Lhes faltam, entre outros aspectos, espaços físicos adequados a quantidade

---

<sup>2</sup> A formação continuada, cuja finalidade é contribuir para o aperfeiçoamento dos saberes docentes, é um direito previsto em lei. (ver LEI 9394/1996, ART. 62º)

de estudantes atendidos e recursos materiais. Esse é um fator limitante em sala de aula, pois como se sabe, projetores multimídia, computadores e aparato experimental são alguns dos recursos que, quando usados adequadamente, despertam a curiosidade dos estudantes e podem facilitar o processo de ensino e aprendizagem. Sendo assim, essa precariedade, presente sobretudo nas escolas da rede pública de ensino, é um fator que tem colaborado para as deficiências na formação dos estudantes.

Dentre as áreas do conhecimento definidas na Base Nacional Comum Curricular<sup>3</sup> (BNCC), é nas ciências exatas (matemática, física e química), que os estudantes apresentam maiores dificuldades na aprendizagem (Silva e Sehn, 2017). Conforme o Indicador de Alfabetismo Funcional (INAF) ainda há uma parcela considerável de estudantes da educação básica que, apesar de efetuar as operações básicas não conseguem compreender o significado dos resultados, tampouco aplicá-las em situações concretas do cotidiano. São os chamados analfabetos funcionais em matemática. Isso não só é algo preocupante como abre uma lacuna para discussões sobre como o ensino de matemática, física e ciências exatas no geral, tem se desenrolado na educação básica e, conseqüentemente, quais fatores têm contribuído para essa defasagem.

De modo geral nas ciências exatas e mais fortemente na física, muitos são os elementos que dificultam o processo de ensino e aprendizagem, entre os quais salienta-se a metodologia utilizada pelos professores, a desvinculação dos conteúdos com o cotidiano dos estudantes e o ensino voltado para exames e vestibulares.

Principalmente nas ciências exatas o ensino ainda tem se desenvolvido sob perspectivas tradicionais, caracterizando-se pela memorização de fórmulas e resolução mecânica de exercícios na maioria das vezes desconectados da realidade e do cotidiano dos estudantes.

Um dos fatores importantes que recorrentemente é apontado como fator limitante ao aprendizado de física é, como visto anteriormente, a reconhecida deficiência em matemática, que, segundo Galileu Galilei, a matemática é a linguagem da física, ou seja, a física necessita da matemática para que possa se

---

<sup>3</sup> **A Base Nacional Comum Curricular** é um documento de caráter normativo que define o conjunto de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da educação básica (BNCC, pág. 7.)

concretizar e apreciar verdadeiramente os conceitos físicos, ou seja, a física não anda sem a matemática. Esse é, talvez, o principal motivo pelo qual se diz ser difícil aprender física: é preciso, antes de tudo, aprender a linguagem, a matemática. Nessa linha, Silva e Sehn (2017) acreditam que muitos dos problemas associados à aprendizagem de ciências, e em particular física, estão associados a má formação dos saberes lógico matemáticos dos estudantes em anos anteriores. Portanto, um bom conhecimento prévio em matemática é essencial para o desenvolvimento da física.

Ao discutir sobre as problemáticas que atingem o ensino e aprendizagem de matemática, Oliveira (2013) destaca que o que se tem visto é:

“[...]é uma supervalorização de regras, fórmulas e procedimentos em detrimento de uma abordagem que priorize uma aprendizagem mais significativa, onde os alunos possam de fato apreender os conceitos e aplicá-los na resolução de problemas diversos, que sejam do seu cotidiano ou originados da própria lógica interna da matemática” (OLIVEIRA,2013, pg.12)

Essas características, presentes não só no ensino de matemática, mas também fortemente na física, remete a educação bancária criticada por Paulo Freire e tantos outros autores, mas ainda tão presente no cenário educacional brasileiro. Segundo essa concepção:

“[...] o educador é o sujeito, conduz os educandos à memorização mecânica do conteúdo narrado. Mais ainda, [...] os transforma em “vasilhas”, em recipientes a serem “enchidos” pelo educador. Quanto mais vá “enchendo” os recipientes com seus “depósitos”, tanto melhor educador será. Quanto mais se deixarem docilmente “encher”, tanto melhores educandos serão. Desta maneira, a educação se torna um ato de depositar, em que os educandos são os depositários e o educador o depositante” (FREIRE, 1987, pg. 33)

Para escapar desse modelo de educação, que pouco tem agregado na formação de cidadãos críticos que refletem sobre a realidade e tem condições de transformá-la, a formação adequada dos professores é algo imprescindível. Afinal, docentes qualificados e comprometidos com o processo de ensino e aprendizagem são capazes de desenvolver metodologias de ensino de modo a torná-lo mais significativo, ocasionando possíveis melhorias na qualidade da educação.

Com relação aos conteúdos de física trabalhados em sala de aula, percebe-se uma certa desconexão com elementos ou fenômenos familiares aos estudantes, prezando-se situações abstratas ao invés de exemplos reais e pertinentes ao

contexto dos estudantes. Nota-se então, uma carência de contextualização adequada ao público no ensino tais conteúdos.

É importante destacar que aprender uma ciência como física, por exemplo, não é uma tarefa fácil, afinal trata-se de uma área de conhecimentos cumulativos em que se precisa, muitas vezes, fazer abstrações e lidar com resultados contraintuitivos. Para uma aprendizagem satisfatória é preciso que haja, entre outras coisas, dedicação e comprometimento por parte dos discentes e docentes e, também, curiosidade diante dos diversos temas. Cabe ressaltar que aprender bem os conceitos fundamentais da física é de grande importância, não só para o desenvolvimento intelectual, mas também pelo fato de que ela é pré-requisito para a compreensão de diversos outros fenômenos estudados em outras disciplinas, como química, biologia etc.

Em meio às ciências exatas no ensino médio, talvez seja a Física a disciplina que mais apresenta dificuldades de aprendizagem. Essas dificuldades englobam, além das já mencionadas, deficiências encontradas na aprendizagem da matemática, falta de recursos materiais específicos e carência de professores especializados.

Primeiramente, vale destacar que a física é uma ciência que busca, por meio da experimentação e da observação de regularidades, formular leis para descrever os mais variados fenômenos da natureza, em escalas micro e macroscópicas. Assim, um evento comum como o lançamento de uma bola durante uma partida de futebol envolve, aos olhos da física, movimentos combinados e forças que podem ser expressas por meio de equações.

Assim sendo, a física é uma ciência na qual a experimentação tem sido uma personagem fundamental em sua construção. Trata-se de uma ciência experimental e diante disso, nada mais natural do que a experimentação fazer parte do ensino de física de modo geral, da educação básica ao ensino superior. Contudo essa parece ser uma realidade somente do ensino superior, já que na educação básica a experimentação no ensino de física ainda não é algo que ocorre com frequência.

Um fator que contribui para esse cenário é a falta de laboratórios de ciências e, em especial, de aparato experimental de física nas escolas da rede pública de ensino. Essa carência tem prejudicado os estudantes, afinal os experimentos são de grande importância no processo de ensino e aprendizagem, pois permitem analisar

um fenômeno na prática, observando, anotando, alterando variáveis e conjecturando. O que é, sem dúvida, uma prática enriquecedora.

Outro problema é que faltam professores de física especialmente no ensino médio. De acordo o censo escolar 2021, divulgado pelo INEP, do total de professores do ensino médio que ministram aulas de física, praticamente metade possuem formação específica na área. Isso sustenta uma prática bastante comum na educação básica que consiste em docentes atuarem em áreas que não possuem formação específica. Normalmente outro professor da área de exatas.

No entanto, independente de quão próximas sejam as áreas de conhecimento, esse improvisado pode provocar sérias complicações no desenvolvimento na aprendizagem dos estudantes, uma vez que esses profissionais não dispõem dos saberes necessários que exige à docência de tal área.

Outro problema no ensino de Física diz respeito às avaliações e como o ensino tem-se de voltado para elas. Moreira (2018) ao discutir sobre essa problemática afirma que o que tem se visto em muitas escolas “é um absurdo, os professores são treinadores e as escolas são centros de treinamento. As melhores escolas são aquelas que aprovam mais alunos nos testes. “[...] professores que não ensinam para a testagem têm a atenção chamada pela direção da escola”. Assim, entende-se que um ensino voltado unicamente para os exames e vestibulares é algo contrário aos seus reais interesses.

Certamente as avaliações educacionais carregam sua importância. Por meio delas, obtém-se uma variedade de dados que podem servir como fonte para análises amplas ou minuciosas e embasar políticas públicas a fim de melhorar o sistema de ensino. Além disso, mesmo com suas incertezas, levantam discussões sobre os problemas educacionais que atingem o nosso país. Contudo, elas não podem ser o objetivo principal do ensino em qualquer que seja a área.

Considerando que os vários fatores que dificultam o ensino e aprendizagem de física apontados aqui, na sua maioria, são de caráter estrutural e tem sua solução pautada em políticas públicas e, de certa forma, não estão ao alcance das decisões e atitudes individuais de um professor, é preciso refletir sobre o que o professor pode fazer para contribuir para a melhoria desse quadro? Nessa perspectiva e levando em consideração da realidade das condições financeiras tanto de professores quanto de estudantes, será preciso propor um conjunto de ferramentas e estratégias que sejam factíveis a curto prazo, acessíveis tanto ao professor, a

escola e aos alunos, e que permitam um substancial melhoria no processo de ensino e aprendizagem de física. Neste sentido, duas estratégias têm sido amplamente utilizadas de forma satisfatória, a primeira passa por uma adequação do conteúdo programático no sentido de aproximar os conteúdos ao contexto dos alunos e uma segunda ferramenta é a experimentação através de experimentos de baixo custo. No primeiro caso, propõe-se uma sequência didática enquanto uma estratégia de melhoria do aprendizado dos estudantes na elaboração e desenvolvimento das atividades segundo uma lógica sequencial de compartilhamento e evolução do conhecimento buscando ajudar os alunos a resolverem uma ou mais dificuldades reais sobre um tema específico, de modo que seu resultado vem a partir da construção e acumulação de conhecimento sobre o assunto em questão, obtido por meio do planejamento e execução, ao longo de um período de tempo, de várias atividades que conversam entre si. Pretende-se incorporar também elementos de experimentação que, como discutido anteriormente tem papel determinante no despertar do interesse dos alunos bem como facilitador na compressão dos conceitos e contextualização.

Neste trabalho, em particular, tem-se como objetivo apresentar uma proposta de sequência didática para o ensino de eletricidade e magnetismo para ensino médio utilizando como contexto o funcionamento de um motor elétrico, desde os primeiros conceitos de eletricidade e magnetismo até o mecanismo como todo de um motor simples e de fácil construção. Essa escolha justifica-se pelo fato de que muitos conceitos de eletricidade e magnetismo estão envolvidos no funcionamento desses dispositivos que são tão simples e comuns, mas abarcam conceitos de interação entre ímãs, sendo estes naturais ou não, a força de Lorentz, a força magnética sobre um fio percorrido por corrente elétrica, entre outros.

Pretende-se, com esta sequência, sugerir alguns experimentos de baixo custo que poderão ser realizados pelos estudantes durante as aulas de física no ensino médio e que possibilitam uma sequência que culminará na construção de um motor simples e de baixo custo. Alguns desses experimentos são: funcionamento e construção de uma bússola, a montagem de um eletroímã, montagem de um motor elétrico simples.

## 2 ELETRICIDADE E MAGNETISMO

Por muito tempo os fenômenos da natureza permaneceram associados ao divino. Para os antigos gregos, por exemplo, os raios que cortavam os céus durante as tempestades eram obra de Zeus<sup>4</sup>, que os lançava sobre a terra como forma de castigar os homens por suas ações; as marés agitadas significavam que Poseidon, o deus dos mares, estava furioso e assim o fazia também como forma de punir a humanidade; já as auroras boreais, um dos fenômenos mais deslumbrantes da natureza, para alguns povos tratava-se de caminhos luminosos que ligavam a terra ao mundo dos deuses. Assim, percebe-se que a maneira de se explicar os fenômenos naturais estava relacionada com a existência de deuses e suas vontades.

Contudo, o surgimento e desenvolvimento da ciência trouxeram outra forma de explicar o mundo. Uma forma minuciosa e complexa, baseada na experimentação, na lógica e na matemática. Além disso, desagregada de divindades. Com isso, o que antes era visto como obra de deuses passou a ser interpretado/explicado de uma nova maneira, grosso modo a partir das interações entre a matéria e suas propriedades. Hoje em dia, fenômenos como os citados (raios e auroras) são classificados como eletromagnéticos e são explicados de acordo com a física do eletromagnetismo.

Conforme Halliday e Resnick (2009) e Young e Freedman (2014), os primeiros estudos sobre a física do eletromagnetismo foram realizados pelos filósofos da Grécia antiga por volta de 600 a.C. Eles descobriram que ao esfregar lã em uma certa resina, o âmbar, ela passava a atrair objetos leves, como pedaços de palha, folhas secas e pequenos gravetos. Descobriram também que ao aproximar um certo tipo de rocha, a magnetita (ímã natural), de pedaços de ferro, a rocha os atraía. Atualmente, sabe-se que esses dois fenômenos se devem a forças elétricas e magnéticas, respectivamente.

O primeiro tipo de atração, entre o âmbar e os pequenos objetos, explica-se segundo a física da eletricidade, que parte da interação entre as partículas elementares que compõem a matéria. De acordo com Young e Freedman (2014), a estrutura básica da matéria pode ser discutida em termos de prótons, nêutrons e

---

<sup>4</sup> Na mitologia grega Zeus é irmão de Poseidon, o deus dos mares, é o mais poderoso entre os deuses do monte olimpo e tem o poder de controlar o clima.

elétrons. Enquanto prótons e nêutrons constituem o núcleo atômico, região na qual se concentra a maior parte da massa do átomo, os elétrons orbitam o seu entorno, numa região chamada eletrosfera<sup>5</sup>. Prótons e elétrons além de possuírem massa, possuem também outra propriedade fundamental da matéria chamada carga elétrica, de mesma intensidade ( $e$ ) e que, por convenção<sup>6</sup>, é positiva no caso dos prótons e negativa no caso dos elétrons. Ademais, por meio de experimentos, com materiais bastante simples, inclusive, mostra-se que cargas de mesmo sinal se repelem e as cargas de sinais opostos se atraem. Esse resultado explica, em particular, a ligação entre os elétrons e o núcleo atômico.

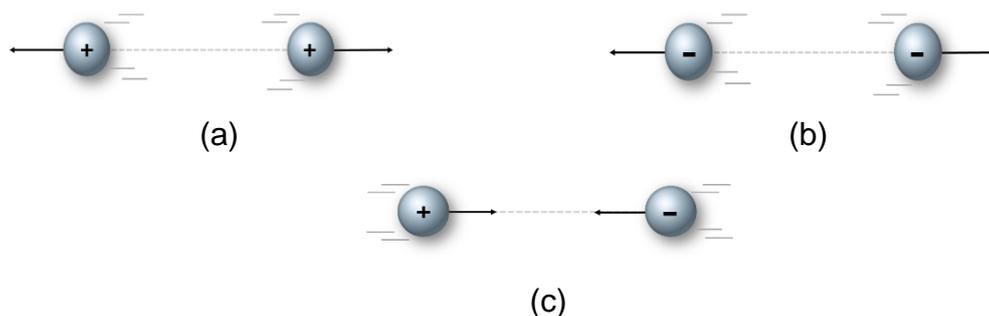
Vale ressaltar que prótons e nêutrons são constituídos por outras partículas, os quarks, que possuem cargas elétricas iguais a  $\pm e/3$  e  $\pm 2e/3$  da carga do elétron. No caso do próton, trata-se de dois quarks de carga  $+2e/3$  e um com carga de  $-e/3$ , o que lhe confere uma carga total  $+e$ . Já os nêutrons, embora também sejam formados por três quarks, dois são de carga  $-e/3$  e um de  $+2e/3$ , lhe conferindo uma carga nula.

O primeiro a obter experimentalmente a lei que descreve a força com a qual as cargas elétricas se atraem ou se repelem foi o francês Charles Augustin de Coulomb (1736-1806). Utilizando uma balança de torção em seu experimento, ele conseguiu demonstrar que tal força era proporcional ao produto das cargas envolvidas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas, isto é, tinha forma análoga a da força gravitacional descrita por Sir Isaac Newton (1643-1727) em 1665. Segundo este, dois corpos que possuem massa atraem-se mutuamente com uma força proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre seus centros de massa. Uma diferença básica entre essas leis é que a força elétrica pode ser tanto atrativa quanto repulsiva, algo que não ocorre no caso da força gravitacional, pois esta é sempre atrativa.

---

<sup>5</sup> O núcleo atômico concentra mais de 99,9% da massa do átomo e tem dimensões de  $10^{-15} m$ . Já a eletrosfera possui dimensões da ordem de  $10^{-10} m$  do núcleo. (YOUNG e FREEDMAN, 2014).

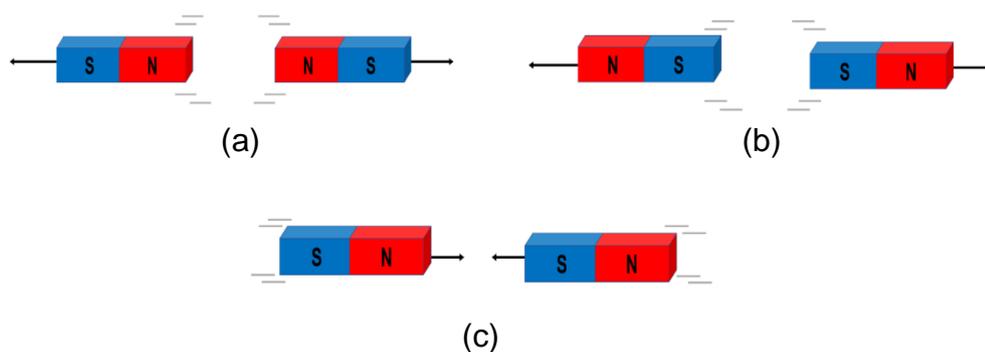
<sup>6</sup> Tal convenção de sinais para as cargas elétricas foi estabelecida pelo norte americano Benjamin Franklin por volta de 1750 (MACHADO, 2000).



**Figura 1** – Atração e repulsão entre cargas elétricas. Em (a) e (b) cargas de mesmo sinal repelem-se mutuamente. Em (c) cargas de sinais opostos atraem-se mutuamente.

**Fonte:** O autor (2023)

Por sua vez, o segundo tipo de atração, isto é, a que se dá entre a magnetita e os pedaços de ferro, é descrita pelo ramo da física que estuda os fenômenos magnéticos, o magnetismo. Todo ímã, seja ele natural ou não, possui dois polos que são chamados de “polo norte” e “polo sul”. Além disso, a interação entre ímãs e entre um ímã e um material ferromagnético resume-se da seguinte forma: um pedaço de material ferromagnético e qualquer um dos polos de um ímã se atraem mutuamente; polos iguais se repelem e polos opostos se atraem. A intensidade da força com a qual esses objetos interagem será discutida adiante.



**Figura 2** – Atração e repulsão entre polos de ímãs. Em (a) e (b) os polos iguais, norte e norte e sul e sul, respectivamente, afastam-se mutuamente. Em (c) os polos opostos, norte e sul, se atraem mutuamente.

**Fonte:** O autor (2023)

Durante muito tempo eletricidade e magnetismo desenvolveram-se separadamente, até que por volta de 1820 Hans Christian Oersted (1777-1851),

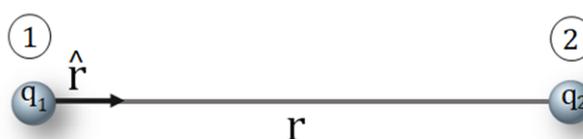
então docente na Universidade de Copenhague e membro da Academia de Ciências de Copenhague, descobriu que um fio ao ser percorrido por uma corrente elétrica adquiria a capacidade de alterar a direção do ponteiro de uma bússola e ao se interromper a corrente o ponteiro voltava à posição original. Este experimento ficou conhecido como “experimento de Oersted” e foi o marco para a união entre eletricidade e magnetismo. Surgia assim, o eletromagnetismo.

O desenvolvimento dessa nova área de estudos contou com a contribuição de grandes nomes da ciência como Gauss, Faraday, Ampère e outros. Contudo, foi James Clerk Maxwell<sup>7</sup> o responsável por sintetizar as quatro leis básicas do eletromagnetismo que ficaram conhecidas como as equações de Maxwell. Conforme Halliday (2004) todos os efeitos eletromagnéticos podem ser explicados a partir dessas quatro equações.

Ainda nas palavras do autor, considera-se o desenvolvimento e a unificação das leis do eletromagnetismo um dos grandes êxitos da física do século XIX e, em especial, sua utilização tem conduzido ao desenvolvimento de muitos equipamentos úteis, em particular os motores elétricos.

## 2.1 FORÇA E CAMPO ELÉTRICO

Como dito, foi Charles Augustin Coulomb quem primeiro sugeriu, com base em experimentos, a lei que descreve a interação entre cargas elétricas puntiformes.



**Figura 3** – Duas partículas de cargas  $q_1$  e  $q_2$  separadas por uma distância  $r$ .  
**Fonte:** O autor (2023)

A figura 3 mostra duas partículas com cargas  $q_1$  e  $q_2$ , separadas por uma distância  $r$  e o versor  $\hat{r}$  na mesma direção da reta que liga as partículas 1 e 2. De acordo com a

<sup>7</sup> James Clerk Maxwell, físico e matemático escocês. Nasceu em Edimburgo em 13 de junho de 1831 e faleceu em Cambridge em 05 de novembro de 1879.

lei de Coulomb a força eletrostática que atua sobre a partícula 1 devido a partícula 2 é dada pela equação

$$\vec{F} = \frac{kq_1q_2}{r^2} \hat{r}, \quad (1)$$

em que  $k$  é chamada de constante de Coulomb e possui o valor de  $8,99 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$ . Além disso, costuma ser descrita em termos de outra constante, a permissividade elétrica  $\epsilon_0$ , ou ainda constante elétrica, que possui um valor de  $8,85418781762 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2\text{N}}{\text{m}^2}$ . Substituindo estas informações em (1), obtém-se:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r^2} \hat{r}.$$

No caso de as cargas possuírem sinais idênticos, a força eletrostática sobre a partícula 1 devido a presença da partícula 2, representada como  $\vec{F}_{12}$ , terá a mesma direção e sentido contrário ao de  $\hat{r}$ . Por outro lado, se as cargas forem de sinais opostos,  $\vec{F}_{12}$  apresentará mesma direção e sentido de  $\hat{r}$ . No caso de existir  $n$  partículas, a força resultante sobre uma das partículas, a partícula 1 digamos, será dada pela soma vetorial das forças devido a cada uma das outras partículas sobre a partícula 1. Em outras palavras, a força eletrostática obedece ao princípio da superposição.

$$\vec{F}_{1r} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \dots + \vec{F}_{1n}$$

$$\vec{F}_{1r} = \sum_{n=2}^n \vec{F}_{1n} \quad (\text{para } n = 2, 3, \dots, n).$$

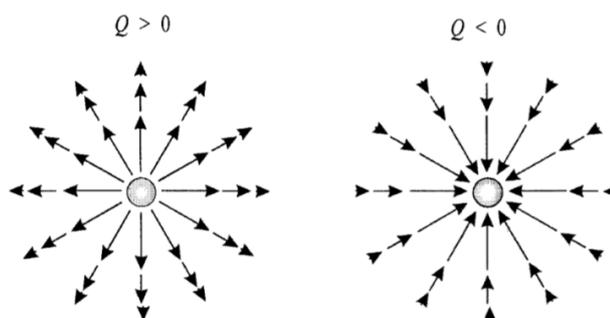
Esta interação pode ainda ser discutida por meio de uma grandeza vetorial denominada campo elétrico e representada pelo símbolo  $\vec{E}$ . Quando uma carga elétrica puntiforme  $Q$  é colocada num ponto  $P$  do espaço, dizemos que ela gera no seu entorno um campo elétrico, isto é, ela altera as propriedades do espaço de modo a fazer aparecer sobre outra carga elétrica  $q$ , uma força que antes não existia.

A carga  $Q$  é chamada de “carga fonte” ou “carga geradora”; já a carga  $q$  é chamada de “carga de teste” ou “carga de prova”. Além disso, considera-se, em módulo, a carga fonte muito maior que a carga de teste.

Uma observação importante é que se pode ilustrar o campo elétrico gerado por cargas elétricas por meio das linhas de campo. Nas palavras de Young e Freedman (2014):

“As linhas do campo elétrico constituem uma ajuda valiosa para visualizar o campo e interpretá-lo de modo mais realista. Uma linha de campo elétrico é desenhada como uma linha imaginária, reta ou curva, que passa por uma região do espaço de tal modo que sua tangente em qualquer ponto forneça a direção e o sentido do campo elétrico no ponto considerado” (YOUNG e FREEDMAN, 2014, pg.24)

Dessa forma, as linhas de campo servem com um guia para orientar o campo elétrico gerado pelas cargas elétricas. A figura 4 mostra as linhas de campo para uma elétrica positiva e uma carga elétrica negativa. Por definição, as linhas de campo “nascem” nas cargas positivas e “morrem” nas cargas negativas. Em outras palavras, no caso das cargas positivas, as linhas de campo apontam na direção radial saindo das cargas; já no caso das cargas negativas, as linhas de campo apontam na direção radial, mas em direção às cargas.



**Figura 4** – Linhas de campo de duas cargas puntiformes, uma positiva e outra negativa.

**Fonte:** Machado (2007)

O vetor campo elétrico  $\vec{E}$  é dado pela razão entre a força coulombiana entre as cargas, e a carga de prova. Em símbolos:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (2)$$

$$\vec{E} = \frac{kQq/r^2}{q} \hat{r}$$

$$\vec{E} = \frac{kQ}{r^2} \hat{r}$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}.$$

O campo elétrico também obedece ao princípio da superposição, isto é, caso se queira calcular o campo elétrico gerado por várias cargas puntiformes num certo ponto, o campo total  $\vec{E}_t$  será dado pela soma vetorial dos campos elétricos gerados por todas as cargas naquele ponto.

$$\vec{E}_t = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$

$$\vec{E}_t = \sum_{n=1}^n \vec{E}_n \quad (\text{para } n = 1, 2, \dots, n),$$

em que  $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots, \vec{E}_n$  representam os campos gerados pelas cargas puntiformes 1, pela carga 2, e assim por diante até a carga n. Embora a expressão da força coulombiana seja válida apenas para cargas pontuais, o que restringe a equação do campo elétrico a configurações em que as cargas são discretas, com algumas considerações é possível se calcular o campo gerado por uma distribuição contínua de cargas. Tal consideração, como Halliday (2004) aponta, consiste em repartir a carga total em elementos infinitesimais e utilizar as ideias do cálculo para somar todas as contribuições devido a estes elementos, mais precisamente utilizar o cálculo de integrais.

A carga elétrica total pode estar distribuída em uma, duas, ou três dimensões. Para uma distribuição contínua em uma dimensão, que corresponde a uma linha uniforme de cargas, cada elemento infinitesimal é expresso em termos de uma densidade linear de cargas  $\lambda$ , que corresponde à quantidade de cargas por unidade de comprimento. No caso de uma distribuição contínua de cargas em uma área ou

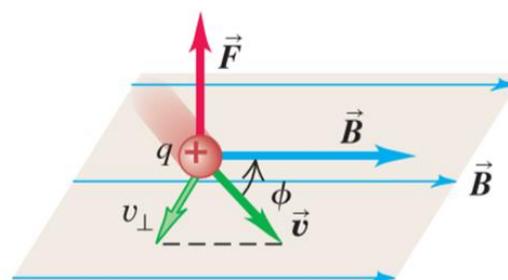
volume, escreve-se cada elemento infinitesimal em termos de densidade superficial  $\sigma$  e densidade volumétrica de cargas  $\rho$ , respectivamente.

Entretanto, para muitas configurações de cargas o cálculo do campo elétrico pode se tornar bastante complicado. Em configurações de alta simetria lei de Gauss pode facilitar estes cálculos.

## 2.2 FORÇA E CAMPO MAGNÉTICO

Como visto, os experimentos mostram que existem dois tipos de cargas elétricas, as positivas e negativas. As de sinais iguais se repelem e as de sinais diferentes se atraem. No caso dos ímãs ocorre algo parecido, mas com relação aos polos magnéticos. Polos iguais repelem-se e polos opostos atraem-se, como ilustrado na fig. 2. Algo bastante curioso sobre os ímãs de um modo geral é que, apesar de pesquisas intensas, nunca foi encontrado um polo norte ou polo sul isolado. Nessa perspectiva e em acordo com Halliday (2004) ou monopólios magnéticos são muito difíceis de serem encontrados ou então eles não existem. Em vista disso, o eletromagnetismo é descrito como se não existissem monopólios magnéticos.

Após a descoberta da relação entre eletricidade e magnetismo, por meio do experimento de Oersted, descobriu-se também que era possível analisar o comportamento de um campo magnético utilizando cargas elétricas em movimento com relação à fonte geradora do campo.



**Figura 5** – Direção da força magnética que atua numa carga  $q$  em movimento num campo magnético.

**Fonte:** Young e Freedman (2014)

Os experimentos mostram que quando uma carga com velocidade  $\vec{v}$ , em relação à fonte geradora de campo, entra em um campo magnético  $\vec{B}$ , ela sofre a ação de uma

força magnética  $\vec{F}$  que aponta sempre na direção perpendicular ao plano que contém os vetores velocidade e campo magnético. Além disso, trata-se de uma força proporcional ao módulo da carga elétrica, ao campo magnético e à componente da velocidade perpendicular ao campo. Em síntese, a força magnética sobre uma partícula carregada em movimento é dada pelo produto vetorial descrito abaixo e sua orientação obedece à regra da mão direita.

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}. \quad (3)$$

Da definição de produto vetorial, o módulo desta força é dado por:

$$|\vec{F}| = q |\vec{v}| |\vec{B}| \sin \phi, \quad (4)$$

em que  $\phi$  é o menor ângulo entre os vetores velocidade da partícula  $\vec{v}$  e campo magnético  $\vec{B}$ .

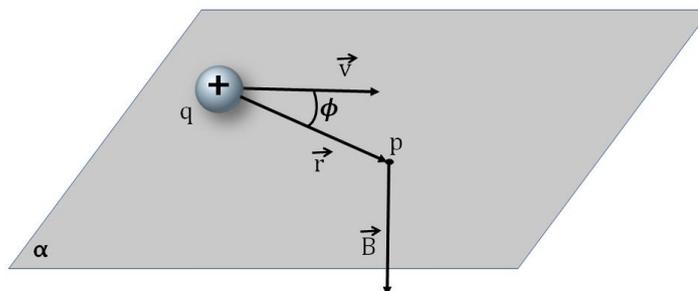
## 2.4 CORRENTE ELÉTRICA E CAMPO MAGNÉTICO

Anteriormente discutiu-se, entre outros aspectos, a força elétrica entre cargas pontuais e o campo elétrico gerado por uma carga puntiforme. Concluiu-se que a carga elétrica quando colocada numa região altera as propriedades do espaço, produzindo no seu entorno o que chamamos de campo elétrico  $\vec{E}$ .

Com a relação ao magnetismo, um ímã permanente quando colocado numa região também gera nas proximidades um campo magnético  $\vec{B}$ . Este campo pode interagir com materiais ferromagnéticos, outros ímãs permanentes e cargas elétricas em movimento. Contudo, esta não é a única maneira para se obter um campo magnético. Conforme Araújo:

“existem duas formas básicas para obter um campo magnético. A primeira é com um ímã permanente e a segunda forma tem a ver com o campo criado por uma corrente elétrica (cargas em movimento). Mas independe da origem do campo magnético criado, o fato é que quando uma carga elétrica se move nesse campo, ela sofrerá um desvio, experimentando a ação de uma força de origem magnética” (ARAÚJO, 2020, p.48)

Assim, percebe-se que é possível gerar um campo magnético por meio de uma corrente elétrica. Além disso, é possível também calcular o campo magnético gerado tanto por uma carga em movimento quanto por uma corrente elétrica. Para isso pode-se considerar um esquema como o da figura abaixo.



**Figura 6** – Campo magnético gerado num ponto p devido a uma carga q em movimento.  
**Fonte:** O autor (2023)

A figura 6 mostra um plano  $\alpha$  no qual se movimenta uma carga elétrica positiva e deseja-se medir o campo magnético num ponto p a uma distância r da carga. Além disso,  $\phi$  é o ângulo formado entre a velocidade da partícula e o vetor posição associado ao ponto em que se pretende medir o campo.

Os experimentos mostram que o campo magnético em p, devido a q, é perpendicular tanto a velocidade da carga quanto ao seu vetor posição. Além disso, observou-se que sua intensidade era proporcional à velocidade da carga, ao inverso do quadrado da distância entre a partícula e o ponto em que se deseja medir o campo magnético e ao seno do ângulo entre os vetores velocidade e posição da carga elétrica, o que sugere um produto vetorial. Em símbolos:

$$\vec{B} = K \frac{q\vec{v} \times \hat{r}}{r^2}, \quad (5)$$

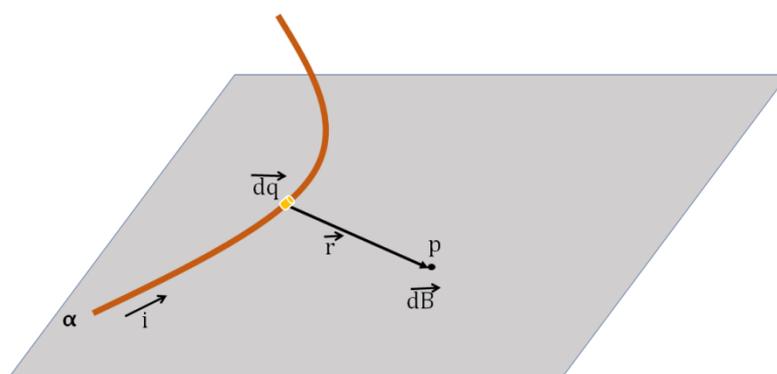
sendo K, a constante de proporcionalidade, pode ser escrito como:

$$K = \frac{\mu_0}{4\pi} = 10^{-7} \text{ T} \cdot \frac{\text{m}}{\text{A}},$$

em que  $\mu_0$  chama-se constante de permeabilidade, mas no cenário do magnetismo é chamada de constante magnética e possui o valor de  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m}/\text{A}$ . Ademais,  $\hat{r}$  é o vetor unitário na direção de  $\vec{r}$ . Substituindo em (5):

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 q \vec{v} \times \hat{r}}{4\pi r^2}.$$

Pode-se estender esse resultado para se calcular o campo gerado por um fio no qual passa uma corrente elétrica.



**Figura 7** – campo magnético gerado por um elemento de carga em movimento  
**Fonte:** O autor (2023)

O campo magnético gerado pela carga  $dq$  é dado pela equação (5), em que no lugar de  $q$  coloca-se  $dq$ :

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 dq \vec{v} \times \hat{r}}{4\pi r^2}. \quad (6)$$

A corrente no fio é dada por  $i = dq/dt$ , e sabe-se que no intervalo de tempo  $dt$  a carga em movimento percorre um elemento  $d\vec{l}$ , que possui a mesma direção de  $\vec{v}$  e é tangente ao fio em todos os pontos. Pode-se então, escrever a velocidade da carga em termos desse elemento e do intervalo como  $\vec{v} = d\vec{l}/dt$ . Substituindo em (6) tem-se:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{id\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}.$$

Simplificando a expressão, obtém-se:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{id\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \quad \text{Lei de Biot – Savart.} \quad (7)$$

Portanto:

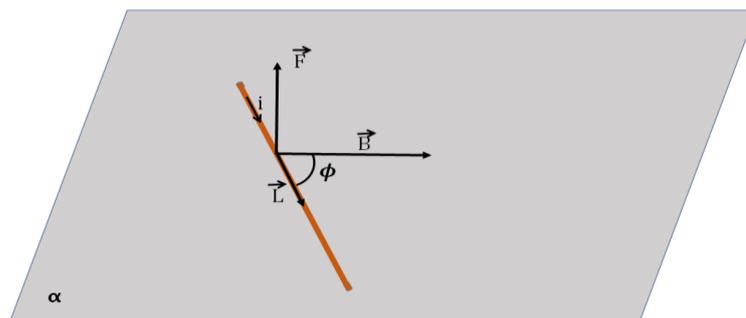
$$\vec{B} = \int_{\text{fio}} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{id\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{\text{fio}} \frac{id\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}.$$

Esta expressão pode ser utilizada para obter informações sobre o comportamento do campo magnético gerado por uma corrente em fios de diferentes configurações, como é o caso do campo magnético gerado por um fio retilíneo ou uma espira.

## 2.4 FORÇA MAGNÉTICA SOBRE UM FIO CONDUZINDO CORRENTE

A figura abaixo mostra uma região com campo magnético uniforme  $\vec{B}$ , onde se encontra um fio condutor de comprimento  $L$  e seção transversal  $A$ , no qual passa uma corrente de intensidade  $i$ . Por definição,  $\vec{L}$  é um vetor cujo módulo corresponde ao comprimento do fio e possui a mesma orientação da corrente. O ângulo  $\phi$  é o ângulo entre o vetor  $\vec{L}$  e o vetor campo magnético. Além disso, o vetor  $\vec{F}$ , que representa a força magnética que atua sobre o fio é perpendicular o campo magnético.



**Figura 8** – Campo magnético sobre um fio de comprimento  $L$  conduzindo corrente.  
**Fonte:** O autor (2023)

Nessas condições, a força magnética sobre o fio é dada pelo produto vetorial

$$\vec{F} = i \vec{L} \times \vec{B}. \quad (8)$$

Em módulo, tem-se

$$|\vec{F}| = i |\vec{L}| |\vec{B}| \sin \phi.$$

No caso de o fio estar na mesma direção do campo magnético a força magnética é zero, uma vez que o ângulo entre  $L$  e  $B$  é zero e, portanto, seu seno é zero. Por outro lado, quando o fio está em uma direção perpendicular ao campo, a força é máxima, já que o seno do ângulo vale 1. Assim, expressão acima se reduz à:

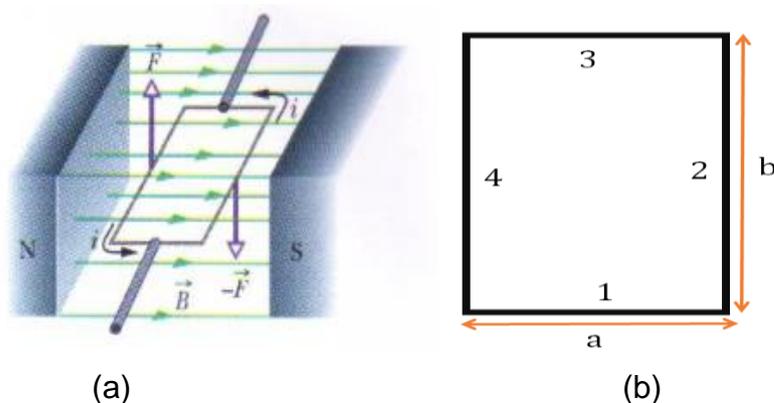
$$|\vec{F}| = i |\vec{L}| |\vec{B}|.$$

Para a situação na qual o fio não é reto e nem o campo é uniforme ainda é possível expressar a força magnética sobre o fio. Neste caso, imagina-se o fio dividido em partes suficientemente pequenas, nas quais o campo passa a ser aproximadamente uniforme. Dessa forma, a expressão para a força passaria a ser

$$d\vec{F} = i d\vec{L} \times \vec{B}$$

## 2.5 TORQUE SOBRE UMA ESPIRA COM CORRENTE

A figura 9(a) mostra uma espira de formato retangular sendo percorrida por uma corrente  $i$ , no sentido anti-horário, e imersa em um campo magnético uniforme  $\vec{B}$  devido à presença de dois ímãs também de formato retangular. Nesta posição o plano da espira é paralelo às linhas de campo magnético. Considera-se também um vetor  $\vec{N}$  perpendicular ao plano da espira. Já a figura 9(b) corresponde à vista superior da espira juntamente com as indicações dos lados e seus respectivos comprimentos.



**Figura 9** – Ilustração de um motor elétrico simples  
**Fonte:** (a) Halliday (2009), (b) O autor (2023)

Como visto, a força magnética sobre um fio conduzindo corrente é dada pela equação (8). Assim, é possível calcular a força magnética que age sobre cada lado da espira e, dessa forma, podemos descobrir a força total a que a espira está submetida, bastando para isso realizar a soma vetorial destas forças. Aplicando a equação (8) aos lados da espira, tem-se, para o lado 1:

$$\vec{F} = i \vec{L} \times \vec{B}$$

$$\vec{F}_1 = i \vec{L}_1 \times \vec{B}$$

$$|\vec{F}_1| = i |\vec{L}_1| |\vec{B}| \sin \phi$$

$$|\vec{F}_1| = i a |\vec{B}| \sin 0^\circ = 0.$$

O mesmo ocorre para o lado 3, tendo em vista que seno do ângulo entre a direção da corrente e o campo magnético é zero. Para o lado 2:

$$\vec{F}_2 = i \vec{L}_2 \times \vec{B}$$

$$|\vec{F}_2| = i |\vec{L}_2| |\vec{B}| \sin \phi$$

$$|\vec{F}_2| = i b |\vec{B}| \sin 90^\circ = i b |\vec{B}|,$$

e aponta para baixo, conforme a regra da mão direita. A força sobre o lado 4 tem a mesma intensidade que a sobre o lado 2, mas aponta para cima. Estas duas forças são as responsáveis por gerar o torque que tende a fazer a espira girar no sentido horário e sua intensidade é dada por:

$$\tau = \tau_2 + \tau_4$$

$$\tau = \left( i b |\vec{B}| \frac{a}{2} \sin \alpha \right) + \left( i b |\vec{B}| \frac{a}{2} \sin \alpha \right)$$

$$\tau = i a b |\vec{B}| \sin \alpha,$$

em que  $\alpha$  é o ângulo entre o vetor  $\vec{N}$ , vetor normal ao plano da espira, e o campo magnético  $\vec{B}$ . Observa-se que nos motores reais, os utilizado em nosso dia a dia, a parte girante é formado por bobinas com muitas espiras. No caso destas bobinas serem arranjadas de tal modo que possam ser consideradas bobinas planas, o torque magnético total ao qual ela está submetida é dado por:

$$\tau = n i a b |\vec{B}| \sin \alpha$$

em que  $n$  corresponde ao número de espiras da bobina.

## 2.6 MOTORES ELÉTRICOS

De modo geral, a descoberta de leis que descrevem essas e outras interações possibilitou a construção e evolução de diversos dispositivos e/ou máquinas fortemente presentes no mundo contemporâneo. Um desses dispositivos é o motor elétrico, utilizado em uma grande variedade de aparelhos. Nas palavras de Araújo (2020):

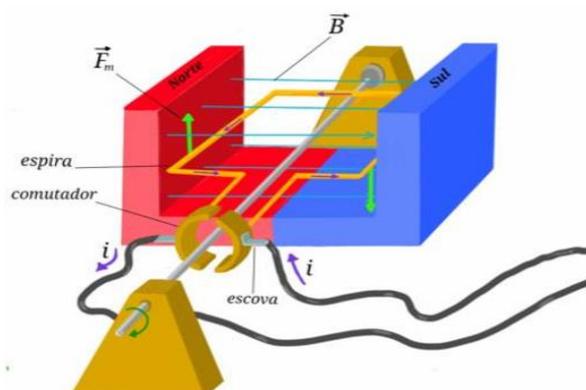
“No cotidiano de uma grande parcela da população, muitos equipamentos são utilizados para facilitar a realização das atividades diárias. Como exemplo é possível citar o liquidificador, a máquina de costura, a máquina de lavar, a furadeira, o ventilador, atualmente, o carro elétrico, dentre outros. Mas o que há em comum entre eles? A resposta é: motores. A maioria dos equipamentos usados no dia a dia, dos menores aos maiores, possuem motores elétricos na base do seu funcionamento.” (ARAÚJO, 2020, p. 34)

Esses motores são encontrados com extrema facilidade tanto devido à sua presença em equipamentos quanto pelo fato que se encontrarem, isoladamente, à disposição em qualquer loja de ferramentas. Em vista dessa grande utilização, percebe-se que os motores elétricos possuem um papel de grande importância no mundo contemporâneo nos mais variados setores.

Contudo, o que hoje encontra-se com grande facilidade levou muitas décadas para ser concebido e contou com a contribuição de muitos cientistas e inventores. Dentre eles, podemos citar Hans Cristian Oersted, que como dito descobriu a relação entre eletricidade e magnetismo (1820); William Sturgeon (inventou o eletroímã 1825) Michael Faraday e o descobrimento da indução eletromagnética (1831); Werner Siemens com o gerador de corrente contínua, entre outros.

Conforme Segundo e Rodrigues (2015) um motor elétrico é um dispositivo que tem como objetivo transformar energia elétrica em energia mecânica e seu funcionamento baseia-se na interação entre campos eletromagnéticos. O primeiro motor elétrico surgiu por volta de 1829 e foi proposto pelo cientista norte-americano Joseph Henry (Halliday, 2004).

Basicamente os motores elétricos classificam-se em dois grupos: motores de corrente contínua (cc) e motores de corrente alternada (ac). Este trabalho tem como foco os de corrente contínua. A figura abaixo ilustra as partes de um motor elétrico simples.



**Figura 10** – Ilustração de um motor elétrico simples  
**Fonte:** Araújo (2020)

A figura acima mostra, embora de forma muito simplificada, as principais partes de um motor elétrico, estator e rotor, e também se mostra o caminho feito pela corrente. O estator é como se chama a parte fixa do motor, a que não efetua giro. Neste caso, o ímã em formato de “u” bem como os suportes do eixo, representado em cinza, fazem parte do estator.

Por outro lado, o rotor é a parte girante do motor e, como percebemos da imagem acima, é composta pelo eixo, espira e comutador. Apesar de existir somente uma espira de cobre nesta ilustração, nos motores elétricos reais há muito mais espiras. É importante perceber que na imagem a espira, além de estar acoplada no eixo, possui em suas extremidades uma estrutura de chapas condutoras curvas, que constituem o comutador. Este, por sua vez, entra em contato com a corrente elétrica oriunda de uma bateria por meio das “escovas”.

Como foi discutido, quando um fio condutor é percorrido por uma corrente elétrica gera-se um campo magnético. Na posição em que se encontra, quando a corrente  $i$  entra pelo lado direito da espira sua interação com o campo magnético devido ao ímã faz com que surja uma força magnética apontada para baixo, de acordo com as leis vetoriais. Já do lado esquerdo da espira, a força magnética está direcionada para cima. Essa configuração de forças faz com que haja um torque diferente de zero, responsável por efetuar o giro da espira. Quando o plano da espira faz um ângulo de  $90^\circ$  com a direção do campo magnético, as escovas perdem contato com o comutador, portanto cessa-se a corrente que alimenta a espira, e dessa forma não existe campo magnético para interagir com o do ímã.

Entretanto, por inércia, a espira continua girando até que o comutador entra em contato novamente com a corrente, iniciando o processo de gira novamente.

Atualmente os motores elétricos utilizados pela indústria e os presentes nos eletrodomésticos não utilizam mais ímãs permanentes. Desse modo, o giro do rotor é obtido somente por meio da interação de campos magnéticos gerados por corrente elétrica.

### **3 EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA**

A situação precária em que se encontra a educação básica em nosso país tem levantado discussões sobre a eficiência das metodologias de ensino que estão sendo empregadas nas salas de aula. Entende-se por metodologia de ensino, um conjunto de práticas que os professores utilizam para efetivar o processo de ensino aprendizagem da melhor maneira possível.

Existe uma variedade de metodologias de ensino dentre as quais se pode mencionar a metodologia de ensino freiriana, que como o próprio nome sugere, tem Paulo Freire como idealizador; a metodologia de ensino construtivista, baseada nas ideias do psicólogo suíço Jean Piaget; e a metodologia de ensino tradicional, que ainda predomina na maioria de nossas escolas. Nesta metodologia de ensino, o professor é o ser que detém o conhecimento e o personagem principal do processo educativo. Já os estudantes são reduzidos a meros ouvintes cuja tarefa é a de decorar o que lhes foi transmitido e aplicar em avaliações, que costumam ser prova escrita.

O ensino de física no ensino médio tem se desenvolvido, em grande parte, sob metodologias de ensino tradicionais em que se prezam as aulas convencionais, a memorização de conteúdos e fórmulas, e também a aplicação destas em exercícios repetitivos e geralmente muito carentes de contexto. Embora os temas e conteúdos, separados por disciplina e ano, constem em documentos que orientam a educação em nosso país (BNCC, PCNs, PCNs+), muitas vezes as aulas de física se distanciam muito da realidade dos estudantes, deixando de lado um aspecto de grande importância para a aprendizagem, a contextualização.

Dessa forma, não raro os estudantes não sentem familiarizados com os conteúdos que são trabalhados em sala de aula. Na concepção de Menezes (1977) é possível obter uma boa compreensão de um fato físico por meio de análises e discussões de objetos e situações reais. Além disso, o autor ainda defende que sempre que possível deve-se utilizar algo familiar aos estudantes, isto é, situações ou objetos que fazem parte do dia a dia deles. Trata-se, portanto, de dar contexto ao que está sendo ensinado, e assim construir o conhecimento a partir de algo conhecido. Contudo, como aponta Mackedanz et al (2010), o estudo acerca dos fenômenos presentes no cotidiano dos estudantes é deixado de lado pois os livros didáticos não dedicam espaço considerável para aplicações tecnológicas da ciência tampouco para explicação de fenômenos naturais.

Estas metodologias, portanto, constituem um dos motivos que tem causado nos alunos um sentimento de aversão à física e ocasionado certo afastamento da disciplina. Isto é algo que ocorre tanto ensino médio quanto no ensino superior, como aponta Moreira (2018), e tem contribuído significativamente para a desistência de disciplinas e abandonos de cursos. Dessa forma, faz-se necessária a utilização de práticas pedagógicas de modo que possam dar um sentido maior às aulas de física, tornando-as mais significativas.

Algo que pode ser feito para tentar diminuir essa aversão pela física, especialmente na educação básica, nível ao qual se dedica esse trabalho, é fazer com que as aulas de física se tornem mais atrativas para os alunos. Para isto, é necessário se pensar em estratégias/práticas que possam ser implementadas nas aulas de física com a finalidade torná-las mais interessantes para os discentes, o que pode levar a uma aproximação maior entre os alunos e a disciplina e, conseqüentemente, pode melhorar a aprendizagem dos alunos.

Com esse intuito, a contextualização, a experimentação e o uso de laboratórios virtuais de ensino são algumas opções de práticas que podem contribuir para melhoria do processo educativo. Além disso, quando utilizadas, fazem com que as aulas fujam consideravelmente das práticas tradicionais de ensino.

A contextualização dos conteúdos e aproximação destes com o cotidiano dos estudantes é algo prevista nos PCNs (2000) e defendida por autores como Menezes (1977) e Delizoicov (1975). De modo geral, quando um determinado conteúdo é

contextualizado, passa a fazer um sentido maior para os estudantes, uma vez que envolve elementos de sua vivência diária. Assim, os estudantes começam a construção do conhecimento a respeito de um determinado tema com uma série de saberes prévios adquiridos dentro e fora do ambiente escolar.

Outra prática que pode ser utilizada pelos professores nas aulas de física, e de ciências em geral, é a experimentação. Nessa direção, Salvadego, Laburú e Barros (2009) salientam a importância das atividades experimentais no ensino de ciências naturais, sejam elas realizadas em laboratórios próprios ou não. Corroborando com o autor, Grandini e Grandini (2004) discorrem sobre alguns aspectos envolvidos nas aulas de laboratório didáticos. Segundo os autores: “O laboratório didático propicia aos alunos uma vivência e manuseio de instrumentais, que lhes permitem conhecer diversos tipos de atividades, podendo estimular-lhes a curiosidade e a vontade em aprender a vivenciar ciência.”

Durante um experimento de física, por exemplo, os alunos têm a oportunidade tanto de observar efetivamente o fenômeno que está sendo estudado, quanto de manusear objetos, alterar variáveis e realizar interpretações. Tudo isso contribui positivamente para o entendimento acerca do tema

Dessa forma, o aluno assume uma postura ativa, dialogando com o professor, interagindo com os outros alunos, trocando informações etc. Vale ressaltar, que tal postura é justamente a oposta à presente na chamada “educação bancária” muito discutida por Freire (1987). Segundo essa concepção, o estudante é caracterizado como um ser passivo e que nada sabe, sobre o qual são feitos depósitos de conhecimento pelo professor, o ser que sabe.

Contudo, nem sempre é possível realizar experimentos de física em sala de aula, seja pela falta de espaço adequado ou natureza do experimento. Algo que pode ser pensado a fim de contornar esta situação é fazer uso dos laboratórios virtuais de ensino. Por meio destes, os estudantes podem realizar experimentos virtuais. Hoje em dia, há uma variedade de simuladores voltados ao ensino de ciências, em particular o de física, e aplicativos que podem ser baixados em qualquer smartphone. Se usadas corretamente essas ferramentas podem ajudar no processo de ensino e aprendizagem.

Estas são algumas das práticas que podem ser utilizadas nas salas de aula de física a fim de estimular nos estudantes o interesse e a curiosidade com relação aos mais variados fenômenos que a disciplina se propõe a descrever e, conseqüentemente, pode melhorar o entendimento acerca destes. Com esse intuito este trabalho tem como finalidade propor uma seqüência didática, levando em conta alguns experimentos simples, que vão desde a atração e repulsão entre ímãs permanentes à construção de um motor elétrico simples.

#### **4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

Conforme Monteiro et al (2019), uma seqüência didática consiste em um conjunto bem organizado de atividades que têm por objetivo facilitar e tornar mais atrativo o processo de ensino e aprendizagem de alguma disciplina. Além disso, uma seqüência didática deve ser pensada com o intuito de atingir os objetivos pré-estabelecidos. No caso do ensino médio, esses objetivos envolvem as competências e habilidades estabelecidas pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC)

A seqüência didática a seguir é direcionada aos estudantes do 3º ano do ensino médio e estima-se que possa ser desenvolvida em 8 horas/aula. Além disso, ela pode ser reorganizada e aplicada em outras séries, inclusive no ensino fundamental.

Uma observação que deve ser feita é que as aulas presentes nesta seqüência devem ser aplicadas de forma intercalada nas aulas de eletricidade e magnetismo. Assim, cabe ao professor definir os momentos no decorrer do ano letivo em que essas aulas se encaixam. Outra observação é que cada encontro, planejado para duas horas/aula, será resumido em um quadro e posteriormente serão destrinchados.

<b>Planejamento da aula 1</b>		
<p>Objetivo específico:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Levantar as concepções prévias dos estudantes sobre motores no geral e, em particular, os motores elétricos, apresentando diversos modelos de deste tipo de motor; observar as partes, externa e interna, de um motor elétrico</li> <li>✓ Analisar a interação entre ímãs naturais e entre estes materiais e alguns objetos metálicos.</li> </ul>		
<b>Atividades</b>	<b>O que vou abordar?</b>	<b>Tempo</b>
A primeira atividade consiste em os estudantes realizarem o experimento 1 e descreverem, por meio de um texto, as interações observadas.	Nesta primeira aula resgata-se o conhecimento que os estudantes possuem, sobre motores elétricos e sua utilização em equipamentos, e investiga-se a interação entre ímãs naturais e entre estes e outros objetos de metal. Tal investigação realiza-se ao longo do experimento 1.	100 min
<b>Recursos didáticos</b>	Computador, data show, quadro/pincel marcador, ímãs permanentes, cliques de papel, pedaços de fio de cobre e de alumínio.	
<b>Planejamento da aula 2</b>		
<p>Objetivo específico:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Levantar concepções prévias dos estudantes sobre bússolas, para que servem e como funcionam;</li> <li>✓ Verificar que uma bússola se orienta a partir de um campo magnético em suas proximidades;</li> <li>✓ discutir sobre ímãs artificiais e os processos pelos quais são obtidos, especialmente atrito e corrente elétrica, e em seguida construir uma bússola com materiais simples.</li> </ul>		
<b>Atividades</b>	<b>O que vou abordar?</b>	<b>Tempo</b>
Nesta aula os alunos serão responsáveis por: descrever as interações	Este segundo momento inicia-se com uma breve discussão sobre alguns pontos observados no experimento 1 (interagindo	

entre a bússola e os ímãs permanentes, construir uma bússola por meio da imantação, por atrito, de uma agulha de costura, e também por construir um eletroímã dispondo de uma bateria, fios de cobre e um parafuso.	com ímãs), especificamente a interação entre ímãs permanentes. A aula se segue com a discussão sobre bússolas e como elas funcionam. Em seguida, trata-se do fenômeno de imantação (atrito e corrente elétrica) e utiliza-se esses conhecimentos para construir uma bússola rudimentar.	100 min
<b>Recursos didáticos</b>	Computador, data show, quadro/pincel marcador, ímãs permanentes, bússola, agulha, copo com água.	
<b>Planejamento da aula 3</b>		
<p>Objetivo específico:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Recordar sobre campo magnético, em particular sobre o campo magnético terrestre e os polos norte e sul geográficos;</li> <li>✓ verificar a interação entre uma bússola e um fio percorrido por corrente elétrica, o experimento de Oersted.</li> <li>✓ Recordar sobre a força magnética sobre um condutor retilíneo percorrido por corrente elétrica.</li> </ul>		
<b>Atividades</b>	<b>O que vou abordar?</b>	<b>Tempo</b>
Neste momento, os alunos serão orientados a realizar o experimento de Oersted e discutir sobre algumas questões estabelecidas ao longo do experimento.	Este terceiro momento inicia-se com uma breve recordação sobre o conceito de campo e força magnética, orientação das linhas de campo e sobre os polos magnéticos e geográficos da terra. A aula se segue com uma discussão sobre o experimento de Oersted e de sua importância para a união da eletricidade e do magnetismo. Por fim, com os estudantes organizados em grupos, realiza-se o experimento de Oersted em sala de aula.	100 min
<b>Recursos didáticos</b>	Computador, data show, quadro/pincel	

	marcador, bateria, fios de cobre, bússola.	
<b>Planejamento da aula 4</b>		
Objetivo específico:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Utilizar o conhecimento acerca de fenômenos eletromagnéticos descritos anteriormente para construir um motor elétrico simples com materiais de baixo custo.</li> <li>✓ Compreender os princípios fundamentais envolvidos no funcionamento de um motor elétrico.</li> </ul>		
<b>Atividades</b>	<b>O que vou abordar?</b>	<b>Tempo</b>
Neste último momento da sequência, a atividade consistirá em realizar a montagem do motor elétrico, destacando suas partes e aspectos do seu funcionamento.	A aula se inicia com uma breve revisão sobre os princípios fundamentais envolvidos no funcionamento de um motor elétrico, tais como interação entre ímãs, campo magnético gerado por corrente elétrica e força magnética sobre um fio retilíneo de corrente. Em seguida, realiza-se a montagem do motor elétrico.	100 min
<b>Recursos didáticos</b>	Computador, data show, quadro/pincel marcador, bateria, fios de cobre esmaltado, ímã, tesoura, elásticos, bexiga, alfinetes.	

#### 4.1 PROCEDIMENTOS

##### PROCEDIMENTOS – AULA 1

Este primeiro momento, como duração de duas horas/aula (100 minutos), inicia-se com o levantamento das concepções prévias dos estudantes sobre motores em geral. Para dar início as discussões realizam-se perguntas como: “você sabem o que são motores?”, “quais tipos de motores vocês conhecem?”, “para que servem os motores?”, “você conhecem os motores elétricos?”, “o que esses motores têm em comum?” Etc. Neste momento é importante que se perceba que, em geral, os

motores são dispositivos que transformam outros tipos de energia em energia mecânica.

A discussão se segue com a apresentação, por meio de fotos e/ou vídeos, de diferentes tipos de motores, à combustão, à vapor, e em particular, os movidos à eletricidade. Neste momento destaca-se a importância histórica dos motores para o desenvolvimento da sociedade contemporânea, em especial a revolução que causaram nos transportes e nos meios de produção.

A seguir, faz-se um gancho para focar as discussões nos motores elétricos e se segue com questionamentos do tipo: vocês conhecem algum equipamento que utiliza um motor elétrico em seu funcionamento? Em meio a essa discussão apresenta-se diversos equipamentos desse tipo e inicia-se a discussão sobre o funcionamento dos motores elétricos. Introduce-se essa discussão por meio do seguinte questionamento: como funciona um motor elétrico? Sabe-se que estes dispositivos funcionam devido a interação de campos magnéticos produzidos por ímãs permanentes ou por fios percorridos por corrente elétrica. Assim, com o primeiro experimento, objetiva-se investigar as interações entre ímãs permanentes e também entre estes e alguns metais.

Para isso, deve-se orientar os estudantes para que se organizem em grupos e possam realizar a atividade experimental. Após formarem os grupos, distribui-se os materiais necessários (ímãs permanentes, pedaços de ferro, cobre e de alumínio) e pede-se, inicialmente, que os estudantes aproximem os ímãs alternando os lados; depois pede-se para que aproximem os ímãs dos outros materiais. A partir deste experimento induz-se, em primeiro lugar, que polos opostos se atraem enquanto polos iguais se repelem; em segundo lugar, que quanto mais próximos estão os ímãs, maior será a força de interação entre eles, isto é, a força segundo a qual os ímãs tentam se aproximar ou se afastar; por fim, que qualquer polo de um ímã atrai alguns metais e outros não.

Com o intuito de induzir essas conclusões, realiza-se perguntas, como por exemplo “o que aconteceu ao se aproximar lentamente os polos opostos/iguais dos ímãs?”, “o ímã atraiu os pedaços de ferro/cobre/alumínio?”. Ao final dessas discussões deve-se orientar os estudantes para a produção de um texto com a finalidade de descrever as interações observadas durante o experimento.

## PROCEDIMENTOS – AULA 2

O segundo momento se inicia com uma breve recapitulação do que foi abordado no primeiro encontro, atração e repulsão entre ímãs, interação entre ímãs e objetos metálicos. Feito isto, realiza-se, mais uma vez, o levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre as bússolas e seu funcionamento. Para isso faz-se perguntas como “você sabem o que são bússolas”, “como elas são feitas?”, “como elas funcionam?”. Em meio a estas discussões, salienta-se um pouco da história da bússola, um dispositivo muito antigo e que, por muitos séculos, foi utilizado para orientar navegações.

Após essa etapa a aula se segue rumo a composição e funcionamento de uma bússola. Neste momento é necessário induzir os alunos ao fato de que uma bússola nada mais é do que um pequeno ímã suspenso de tal modo que seu campo magnético pode interagir e se alinhar com o campo magnético da terra. Dessa forma, quando não há outro campo magnético nas proximidades, tais dispositivos orientam-se conforme os polos magnéticos do planeta. A seguir, mostra-se uma bússola real aos alunos e pede-se que a “chacoalhem”, a fim de mudar a orientação do seu ponteiro, e em seguida a coloquem sobre a mesa. Com intuito de levantar discussões sobre os polos magnéticos da terra, pergunta-se “por que o ponteiro da bússola volta para a mesma orientação depois de chacoalharmos ela?”. A discussão entorno dessa pergunta culmina na definição de que o planeta se comporta como uma espécie de ímã gigante em que o polo norte geográfico corresponde, aproximadamente, ao polo sul magnético, enquanto o polo sul geográfico corresponde, aproximadamente, ao polo norte magnético. Nas bússolas, geralmente, os polos norte e sul são pintados de vermelho e azul, respectivamente.

Para verificar que os ímãs, de fato se orientam segundo um campo magnético, pede-se que os alunos aproximem a bússola de um dos polos do ímã e depois do outro e observem o que acontece. Feito isso, a aula se trata de alguns processos de imantação, especialmente a imantação por atrito e por corrente elétrica. Sabe-se que há algumas maneiras de fazer com que alguns materiais,

diferentes dos ímãs naturais, adquiram propriedades magnéticas. Pode-se magnetizar uma agulha de costura, por exemplo, atritando-a em um ímã com movimento na mesma direção e com o mesmo polo. Nessas condições, diz-se que a agulha foi “imantada” e agora ela passa a se comportar como um ímã natural.

Por meio desse procedimento, pede-se que os estudantes imantem uma agulha para a construção de uma bússola simples. Nesta atividade, os alunos serão separados em grupos e contarão com um copo de água, um ímã e uma agulha para produzir o dispositivo. Depois disso, deve-se propor que os estudantes realizem a construção de um eletroímã utilizando um parafuso de ferro, um pedaço de fio de cobre e uma bateria. Orienta-se a montagem do experimento, destacando que o fio deve estar devidamente enrolado no núcleo de ferro, no caso o parafuso. Para verificar a eficiência do eletroímã pode-se aproximá-lo de pedaços de ferro ou da bússola.

Ao final dos experimentos deve-se orientar os estudantes para a produção de um texto relatando a montagem dos experimentos e o que puderam observar e concluir deles.

### PROCEDIMENTOS – AULA 3

Nesse terceiro momento é necessário que já se tenha discutido, em outras aulas, o conceito de campo magnético com os estudantes. Do estudo da eletricidade, sabe-se que duas cargas pontuais separadas por certa distância, interagem conforme a lei Coulomb. Com relação ao campo elétrico, diz-se, grosso modo, que se trata de uma região do espaço, alterada pela carga geradora, na qual uma carga teste fica sujeita a uma força elétrica. Analogamente, o campo magnético é uma região no entorno de um ímã, outros ímãs ficam sujeitos a ação de uma força, a força magnética.

Feito a revisão de campo magnético, segue-se a aula contextualizando o experimento de Oersted e destacando sua importância para união da eletricidade e magnetismo. Eletricidade e magnetismo desenvolveram-se separadamente por

muito tempo. Até que em 1820, Hans Cristian Oersted percebeu que quando uma corrente elétrica percorria um fio condutor ele adquiria a propriedade de alterar a orientação do ponteiro de uma bússola. Tal experimento é considerado um marco na história da física. Deve-se começar as discussões com perguntas como “você já ouviram falar do cientista Hans Cristian Oersted?”, “e do experimento de Oersted?”.

Após essa breve discussão, deve-se orientar os estudantes para a montagem do experimento. Para isso, mostra-se fotos via slides, de um passo a passo de montagem. Feita a montagem, pede-se que os estudantes observem a posição da bússola antes de ligar o circuito. Depois de ligar o circuito, os estudantes devem ser orientados a observar a mudança de direção do ponteiro da bússola. Com esse intuito, deve-se levantar questões como. “você perceberam alguma mudança na bússola?”, “Que mudança foi essa”. Em seguida pede-se para que invertam o sentido da pilha e observem novamente o ponteiro da bússola, desliguem o circuito e realizem nova observação da bússola. Este experimento tem por finalidade induzir os estudantes ao fato de que, quando uma corrente elétrica passa por um fio condutor gera-se um campo magnético que, por sua vez interage com a bússola que nada mais é do que um ímã suspenso pelo centro.

Ao final do experimento, com intuito de consolidar o que foi observado e discutido no decorrer do experimento, pede-se que os alunos descrevam com suas palavras o que puderam observar do experimento.

#### PROCEDIMENTOS – AULA 4

Por fim, este é o mento da montagem do motor elétrico. Mas antes disso, é preciso que os estudantes tenham visto o comportamento de um fio de corrente na presença de um campo magnético. A aula se inicia com uma recapitulação sobre a interação entre ímãs e as conclusões do experimento de Oersted. Neste momento é importante que estudantes refresquem a memória sobre o fato de que quando uma corrente percorre um fio condutor gera-se um campo magnético no seu entorno e que, além disso, é possível medir a intensidade da força magnética que atua sobre este fio.

Depois disso, relembra-se ainda a regra da mão direita e como se aplica no caso de um fio retilíneo. A aula se segue com a apresentação da figura 10, que mostra o esquema simplificado de um motor elétrico simples. Neste momento, a fim de se levantar discussões sobre o funcionamento do dispositivo, pergunta-se “o que acontece com o fio do lado direito quando existe uma corrente elétrica passando por ele?”, repetem-se perguntas desse tipo para as outras partes da espira.

Após as discussões sobre como a força magnética sobre a espira provoca o giro do rotor, os estudantes devem ser orientados a assistir ao vídeo “como fazer um motor elétrico com um ímã”, presente no canal “manual do mundo”. No vídeo, mostra-se um passo a passo da montagem de um motor elétrico simples, proposta final desta sequência didática, que serve de inspiração para que os alunos possam realizar a montagem do motor.

Para esta atividade os alunos devem formar grupos e cada grupo deve ter à disposição os seguintes materiais: bateria, fios de cobre esmaltado, ímã (neodímio ou não), tesoura, elásticos, bexiga, alfinetes. A montagem do motor<sup>8</sup> inicia-se com a formação da espira que constituirá o rotor; cada grupo construirá duas espiras, uma com cinco e outra com dez voltas, que podem ser modeladas ao enrolar o fio entorno da pilha. Feito isso, arranja-se os alfinetes cada um em contato com um dos polos da pilha e utiliza-se o a bexiga cortada para deixá-los na posição; o próximo passo consiste em retirar totalmente o esmalte de uma das extremidades das espiras e somente uma parte das outras extremidades (como no vídeo). Em seguida, coloca-se o ímã junto à pilha e já se pode encaixar as espiras nos orifícios dos alfinetes e para comecem a girar basta dar um pequeno empurrão.

A seguir, pede-se para que estudantes utilizem a espira de cinco voltas e depois comparem o movimento com o da segunda. Neste momento é preciso que induzir os alunos ao fato de que existem algumas maneiras de mudar o giro do rotor. A fim de levantar discussões a respeito disso, pergunta-se algo do tipo “será que é possível aumentar o a velocidade de giro as espiras?”, “o que é necessário para isso?”, “é possível aumentar a força de giro do rotor?”.

---

<sup>8</sup> Fotos do motor pronto em anexo

Essas discussões culminam na elaboração de um texto em que os estudantes descrevem com suas palavras o funcionamento desses dispositivos e quais alterações provocam mudanças no giro das espiras.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

De modo geral, as dificuldades presentes no ensino têm distanciado estudantes de um ensino de qualidade. Um reflexo disso tem sido a recorrência de baixos resultados nas mais variadas avaliações de desempenho escolar, especialmente em ciências exatas. Em relação ao ensino de física, a metodologia ainda empregada tem sido baseada na memorização de fórmulas e aplicação em exercícios, na maioria das vezes, desconectados da realidade e do cotidiano dos estudantes. Isso faz com que a física se torne algo cada vez mais abstrato e difícil de ser compreendida.

Diante disso, é preciso que o professor reflita sobre o que pode ser feito, dentro do que está ao seu alcance, para melhorar o desenvolvimento desta disciplina. Algo que pode contribuir para esta melhoria, despertando o interesse pela disciplina é a utilização de experimentos nas aulas física e, também, a contextualização. Com este intuito, o presente trabalho teve como propósito apresentar uma sequência didática intercalada com elementos desde a interação entre ímãs naturais ao funcionamento e produção de um motor elétrico simples.

Conforme Barbosa (2018) a física é uma disciplina de destaque que, entre outros aspectos, reúne saberes relacionados às interações entre objetos. Muitos desses saberes são oriundos de processos experimentais como, por exemplo, a lei que descreve a força eletrostática entre partículas elementares proposta por Coulomb. Em outras palavras, a física é uma ciência experimental e, nesse sentido, é natural que esse tipo de atividade faça parte do ensino de física, seja na educação básica ou no ensino superior.

De acordo com Grandini e Grandini (2004) as atividades experimentais despertam a vontade de aprender ciências. Nessa linha, quando planejadas

adequadamente, podem contribuir para a construção de uma aprendizagem mais sólida, e em particular, utilizar essas aprendizagens para compreender melhor o mundo e interagir com ele.

Como aponta Moreira (2018), a experimentação é algo que quase não faz parte do ensino de física no ensino médio. Contudo, a literatura mostra que é possível propor uma variedade de experimentos de baixo custo que podem ser utilizados em sala de aula. Esse tipo de atividade é algo que pode tornar as aulas de física mais interessantes e atrativas, na medida em que proporcionam aos estudantes o contato com objetos e situações reais, contribuindo para o desenvolvimento do espírito investigativo.

De acordo com os PCNs (2000):

“O desenvolvimento dos fenômenos elétricos e magnéticos, por exemplo, pode ser dirigido para a compreensão dos equipamentos eletromagnéticos que povoam nosso cotidiano, desde aqueles de uso doméstico aos geradores e motores de uso industrial, provendo competências para utilizá-los, dimensioná-los ou analisar condições de sua utilização. Ao mesmo tempo, esses mesmos fenômenos podem explicar os processos de transmissão de informações, desenvolvendo competências para lidar com as questões relacionadas às telecomunicações. Dessa forma, o sentido para o estudo da eletricidade pode ser organizado em torno aos equipamentos eletromagnéticos e telecomunicações.” (PCNs, 2000, pg.18)

Dessa maneira, o motor elétrico se mostra como algo de grande potencial para o ensino de física e que, em particular, pode ser utilizado como objeto de estudo de tópicos de eletromagnetismo no ensino médio. Este trabalho apresentou uma sequência didática com alguns experimentos com materiais de baixo custo que culminaram na produção de um motor elétrico simples. Tais experimentos abrem espaço para discussões de diversos tópicos de física e suas aplicações em dispositivos práticos e situações reais. Dessa forma, a física passa a ser vista sob uma nova perspectiva.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MENEZES, L. C. de. **Ensino Médio – etapa conclusiva de uma educação em crise**. Estudos avançados, v.32, n.94, 2018.

MACHADO, N. J. **Qualidade da educação: cinco lembretes e uma lembrança**. Estudos avançados, v. 21, n.61, 2007.

SILVA, L. C. A. da; Sehn, E. **A influência da matemática no ensino de ciências exatas**. Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, Medianeira, v.8, n.16, 2017.

OLIVEIRA, A. J. S. de. **O ensino e a aprendizagem de função exponencial em um ambiente de modelagem matemática**. Mossoró, 2013.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: Saberes necessários a prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 2004.

MOREIRA, M. A. **Uma análise crítica do ensino de física**. Estudos avançados, v.32, n.94, 2018.

SEGUNDO, A. K. R; RODRIGUES, C. L. C.; **Eletrônica de Potência e Acionamentos Elétricos**; Minas Gerais; etec-brasil; 2015.

MONTEIRO, J. C.; CASTILHO, W. S.; SOUZA, W. A.; **Sequência didática como instrumento de promoção da aprendizagem significativa**, Revista Eletrônica DECT, Vitória (ES), v. 9, n. 01, p. 292-305, 2019.

BARBOSA, R. G.; **O ENSINO DE FÍSICA NA EDUCAÇÃO DO CAMPO: descolonizadora, instrumentalizadora e participativa**, Revista Brasileira de educação do campo, Tocantinópolis, v.3, n1, p. 177 – 203, 2018.

MENEZES, L. C. de. **Novo (?) método (?) para ensinar (?) física (?)**, instituto de Física da USP; publicação original: “Cambridge Journal of education”, vol. 7, n 3 de 1977.

SALVADEGO, W. N. C; LABURÚ, C. E.; Barros, M. A. **Uso de atividades experimentais pelo professor das Ciências Naturais no ensino médio: relação com o saber profissional**, 1º CPEQUI – 1º CONGRESSO PARANAENSE DE EDUCAÇÃO EM QUÍMICA, UEL 2009.

DELIZOICOV, D. N. **Ensino de física e a concepção freireana da educação**, departamento de matemática e física – universidade de Taubaté.

GRANDINI, N. A.; GRANDINI, C. R.; **Os objetivos do laboratório didático na visão dos alunos do curso de licenciatura em física da UNESP – Bauru**, Pesquisa em Ensino de Física, Rev. Bras. Ensino Fís. 26 (3), 2004.

BRASIL. Ministério da educação. **Lei das diretrizes e Bases da Educação Nacional**. LBDN, nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996.

INEP, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Anísio Teixeira. **Relatório de Resultados do SAEB 2019**, v.1, Brasília – DF, 2022.

INEP, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Anísio Teixeira. **Relatório Brasil no Pisa 2018**, Brasília – DF, 2020.

BRASIL. Ministério da educação. **Base Nacional Comum Curricular: Educação é a base**. Brasília – DF, 2018.

BRASIL. Instituto Paulo Montenegro. **Indicador Nacional de Alfabetismo Funcional**. 2022.

INEP, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Anísio Teixeira. **Censo escolar 2021**, Brasília – DF, 2022.

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

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **FÍSICA III: eletromagnetismo**, 14 ed, São Paulo: Person education do Brasil, 2015.

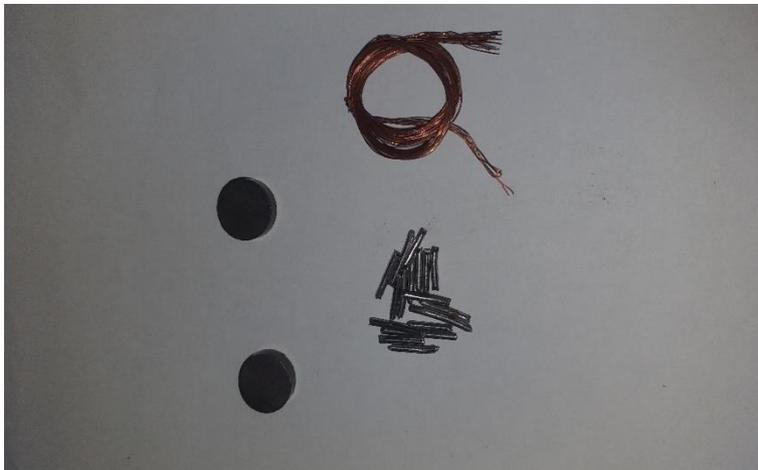
HALLIDAY, RESNICK, KRANE, **Física 3, 5 ed**. Rio de Janeiro: LTC.

MACHADO, Kleber Daum, **teoria do eletromagnetismo** vol.1, ed. UEPG, Ponta Grossa

ARAÚJO, D. D. B.; **Como funciona um motor elétrico e um dínamo de bicicleta? equipamentos geradores no ensino de física**, MNPEF, 2020.

WOLFF, J.; **O MOTOR ELÉTRICO: uma história de energia, inteligência e trabalho** / projeto Editora UNERJ; Jaraguá do Sul: Editora UNERJ, 2004.

## APÊNDICE



**Figura11** – Ímãs e alguns metais (cobre e pedaços de ferro)

**Fonte:** O autor (2023)



**Figura 12** – A imagem mostra a orientação da bússola ao aproximarmos um ímã

**Fonte:** O autor (2023)



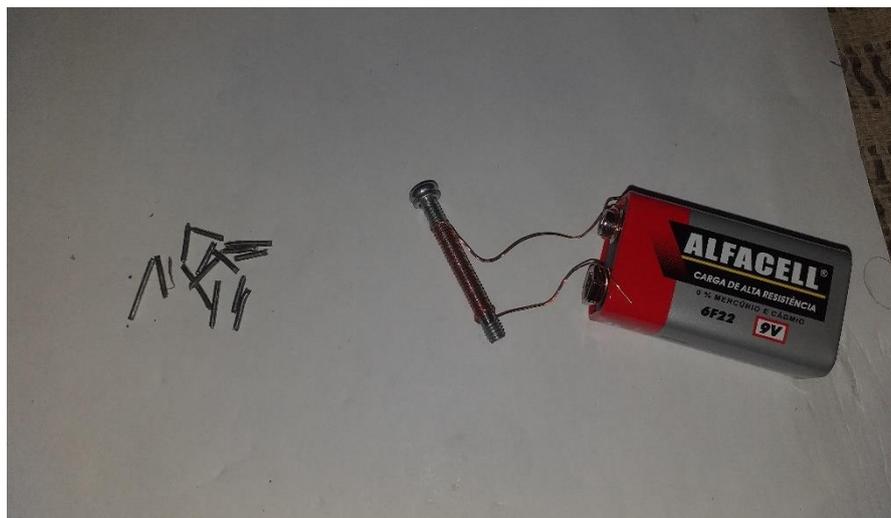
**Figura 13** – Bússola feita com agulha magnetizada e recipiente com água

**Fonte:** Manual do mundo (2023)



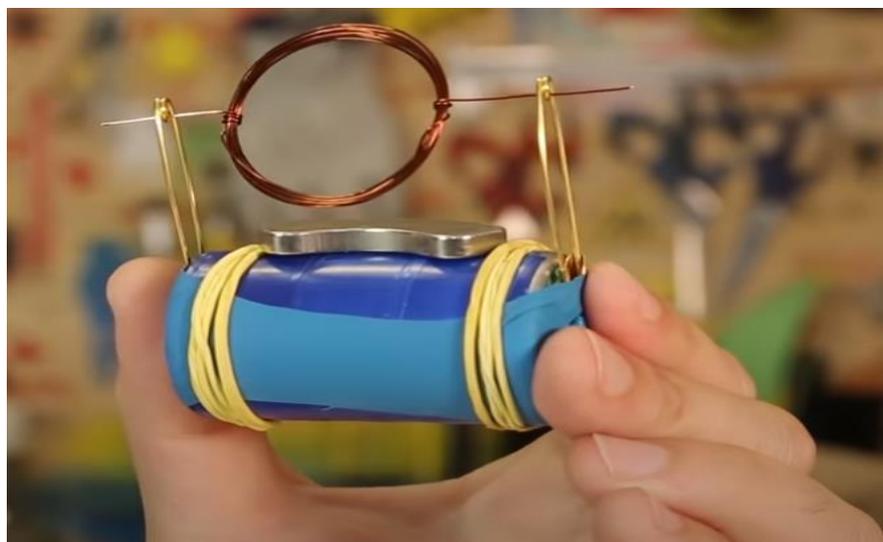
**Figura 14** – Bússola, fios condutores e bateria

**Fonte:** O autor (2023)



**Figura 15** – Eletroímã e pedaços de clipe de papel

**Fonte:** O autor (2023)



**Figura 16** – Motor elétrico simples

**Fonte:** Manual do mundo (2023)