



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA ABORDANDO
TÓPICOS DE ELETROMAGNETISMO COM O APOIO DE MATERIAIS DO
COTIDIANO NO ENSINO MÉDIO.**

Esdras Santos de Oliveira

BRASÍLIA – DF
2025



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA ABORDANDO
TÓPICOS DE ELETROMAGNETISMO COM O APOIO DE MATERIAIS DO
COTIDIANO NO ENSINO MÉDIO.**

Esdras Santos de Oliveira

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

Orientador:
Prof. Dr. Wytler Cordeiro dos Santos

BRASÍLIA – DF
2025

PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA ABORDANDO
TÓPICOS DE ELETROMAGNETISMO COM O APOIO DE MATERIAIS DO
COTIDIANO NO ENSINO MÉDIO

Esdras Santos de Oliveira

Orientador:
Prof. Dr. Wytler Cordeiro dos Santos

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação
(nome dado na instituição) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de
Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de
Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

Dr. Wytler Cordeiro dos Santos

Dr. Rendisley Aristoteles Dos Santos Paiva

Dr. Ronni Geraldo Gomes De Amorim

Brasília, DF
Julho de 2025

**Anexar o relatório da defesa
(É fornecido via SEI pela secretaria do MNPEF).**

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada automaticamente, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S048sp Santos de Oliveira, Esdras
PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
ABORDANDO TÓPICOS DE ELETROMAGNETISMO COM O APOIO DE
MATERIAIS DO COTIDIANO NO ENSINO MÉDIO. / Esdras Santos de
Oliveira; orientador Wytler Cordeiro dos Santos. Brasília,
2025.
202 p.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física)
Universidade de Brasília, 2025.

1. Sequência Didática. 2. Eletromagnetismo. 3. UEPS. 4.
Aprendizagem Significativa. 5. Produto Educacional. I.
Cordeiro dos Santos, Wytler, orient. II. Título.

Antes, reverenciai a Cristo como Senhor em vosso coração, estando sempre preparados para responder a qualquer pessoa que vos questionar quanto à esperança que há em vós.

1Pe 3.15 - KJA 1999

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, que esteve comigo em todo o tempo, graças a Ele fui capaz de produzir um trabalho de qualidade. A Ele a honra e Glória para todo sempre.

Ao professor Dr. Leandro Daniel Porfiro, que me orientou no Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (Pibid) na Universidade Estadual de Goiás (UEG) durante minha graduação, me apresentou diversos experimentos e a fundamentação teórica fundamental para o desenvolvimento dessa dissertação.

Ao meu amigo Msc. Roberto Vinícios, que me deu apoio que eu precisava para revisar esse trabalho, pelas longas conversas sobre referencial teórico e principalmente pela motivação para seguir em frente até a conclusão desse projeto.

Ao meu orientador Dr. Wytler Cordeiro, que viu em mim um potencial que eu mesmo não acreditava possuir, por estar presente, pelos incentivos, cobranças e dedicação com o ensino.

À Universidade de Brasília e, em particular, ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (MNPEF), pela ambiência que viabilizou a realização deste trabalho.

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

RESUMO

PROPOSTA DE CONSTRUÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA ABORDANDO TÓPICOS DE ELETROMAGNETISMO COM O APOIO DE MATERIAIS DO COTIDIANO NO ENSINO MÉDIO

Esdras Santos de Oliveira

Orientador:

Prof. Dr. Wytler Cordeiro dos Santos.

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação Universidade de Brasília (UnB) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

A presente dissertação foi desenvolvida com o intuito de apresentar, de uma maneira diferenciada, tópicos de eletromagnetismo aos alunos do 3º ano do Ensino Médio, por meio de materiais e fenômenos familiares que aparecem frequentemente no cotidiano desses estudantes. Para a realização deste trabalho, foi escolhida a aplicação de uma Sequência Didática inspirada na teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, utilizando o modelo de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), proposto por Moreira (2013). Nesta investigação serão utilizados dispositivos geradores e receptores para aproximar os alunos de conceitos como corrente elétrica, circuito, campo magnético, indução eletromagnética, anteriormente trabalhados de forma tradicional durante as aulas em uma escola pública do Estado de Goiás. Neste trabalho foram utilizados vídeos, simuladores e questionários para complementar experimentos práticos apresentados como demonstração.

Palavras-chave: Eletromagnetismo; Sequência Didática; Ensino Médio; Aprendizagem Significativa; Materiais do Cotidiano; UEPS (Unidades de Ensino Potencialmente Significativas); Ensino de Física; Experimentos Didáticos.

Brasília, DF

Julho de 2025

ABSTRACT

PROPOSAL FOR THE CONSTRUCTION OF A DIDACTIC SEQUENCE ADDRESSING ELECTROMAGNETISM TOPICS USING EVERYDAY MATERIALS IN HIGH SCHOOL.

Esdras Santos de Oliveira

Supervisor:

Prof. Dr. Wytler Cordeiro dos Santos.

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação Universidade de Brasília (UnB) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This present dissertation was developed with the aim of presenting, in a differentiated way, topics in electromagnetism to 3rd-year high school students, using familiar materials and phenomena that frequently appear in their daily lives. To carry out this work, a Didactic Sequence was applied, inspired by David Ausubel's theory of Meaningful Learning, using the model of Potentially Significant Teaching Units (UEPS), proposed by Moreira (2013). In this investigation, generator and receiver devices were used to bring students closer to concepts such as electric current, circuits, magnetic fields, and electromagnetic induction, which had previously been addressed in a traditional manner during classes in a public school in the state of Goiás. Videos, simulators, and questionnaires were also used to complement practical experiments presented as demonstrations.

Keywords: Electromagnetism; Didactic Sequence; High School; Meaningful Learning; Everyday Materials; UEPS (Potentially Significant Teaching Units); Physics Teaching; Didactic Experiments.

Brasília, DF

July 2025

Lista de Figuras

Figura 1: Representação das linhas de campo magnético	16
Figura 2: Linhas de campo magnético representados por limalha de ferro.....	17
Figura 3: Representação das linhas de campo magnético terrestre	18
Figura 4: Campo magnético entre polos de um ímã.....	19
Figura 5: Campo magnético em torno de um fio.....	20
Figura 6: Campo magnético produzido por uma corrente elétrica em uma espira circular	20
Figura 7: Força em uma corrente elétrica em um campo magnético.	21
Figura 8: Fio condutor de corrente em um campo magnético uniforme.	22
Figura 9: Forças sobre partículas carregadas devido a um campo magnético.	25
Figura 10: Força exercida por um campo magnético uniforme sobre uma partícula carregada em movimento.	25
Figura 11: Movimento helicoidal de uma partícula carregada em um campo magnético.....	26
Figura 12: Fluxo de partículas carregadas vindas do Sol.	27
Figura 13: Torque em uma espira de corrente e momento de dipolo magnético.	28
Figura 14: Motor elétrico	30
Figura 15: Comutador de um motor DC.	31
Figura 16: Galvanômetro.....	32
Figura 17: Campo magnético produzido por dois fios paralelos.....	34
Figura 18: Caminho fechando uma corrente pela Lei de Ampère.....	36
Figura 19: Campo magnético devido a um solenoide.	38
Figura 20: Lei de Biot-Savart.	40
Figura 21: Torque em uma espira de corrente e momento de dipolo magnético.	42
Figura 22: Toroide com núcleo de ferro.....	44
Figura 23: Campo magnético em um toroide com núcleo de ferro.....	45
Figura 24: Curvas de histerese	46
Figura 25: Respostas ao Formulário 02 - Pergunta 1	69
Figura 26: Formulário 02 - Pergunta 2	70
Figura 27: Formulário 02 - Pergunta 3.....	71
Figura 28: Formulário 02 - Pergunta 4.....	72
Figura 29: Formulário 02 - Pergunta 5.....	73
Figura 30: Formulário 03/04- Pergunta 1.....	74
Figura 31: Formulário 03/04- Pergunta 2.....	75
Figura 32: Formulário 03/04- Pergunta 3.....	76
Figura 33: Formulário 03/04- Pergunta 4.....	77
Figura 34: Formulário 03/04- Pergunta 5.....	78
Figura 35: Formulário 03/04- Pergunta 6.....	79
Figura 36: Formulário 03/04- Pergunta 7.....	80
Figura 37: Formulário 03/04- Pergunta 8.....	81
Figura 38: Formulário 03/04- Pergunta 9.....	82
Figura 39: Formulário 05- Pergunta 1	83
Figura 40: Formulário 05- Pergunta 2	84
Figura 41: Formulário 05- Pergunta 3.....	85
Figura 42: Formulário 05- Pergunta 4	86
Figura 43: Formulário 06- Pergunta 1	87
Figura 44: Formulário 06- Pergunta 2	88
Figura 45: Formulário 06- Pergunta 3.....	89
Figura 46: Formulário 06- Pergunta 4.....	90

Figura 47: Formulário 06- Pergunta 5	91
Figura 48: Formulário 06- Pergunta 6	92
Figura 49: Formulário 06- Pergunta 7	93

Lista de tabelas

Tabela 1: Teorias presentes nas dissertações do MNE.....	6
Tabela 2: Paramagnetismo e diamagnetismo: Suscetibilidades Magnéticas.....	47

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Critérios e Procedimentos da Revisão Bibliográfica	5
2.2 Caracterização dos Estudos.....	5
2.3 Principais Tendências, Lacunas e Críticas	6
2.4 Estudos de Caso Representativos.....	6
2.5 Conexão com a Metodologia Aplicada.....	8
3 FUNDAMENTAÇÃO	9
3.1 A Teoria da Aprendizagem Significativa.....	9
3.2 A Aprendizagem Significativa e as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas	12
3.3 Aspectos sequenciais das UEPS, segundo Moreira.	13
4 ELEMENTOS DE MAGNETISMO	15
4.1 Campos Magnéticos.....	15
4.2 Correntes Elétricas produzem Campos Magnéticos	19
4.3 Aplicações: Motores, Galvanômetros, Alto-falantes	30
4.4 Geração de campos magnéticos por corrente.....	33
4.5 Materiais Magnéticos.....	41
5 METODOLOGIA E RELATO DE APLICAÇÃO	49
5.1 Contexto Escolar.....	50
5.2 Os Experimentos e Simulações utilizados na UEPS.....	51
5.3 As Atividades realizadas na aplicação do Produto Educacional.....	51
5.4 Sequência Didática.....	52
6 ANÁLISE E RESULTADOS	63
6.1 Revelação dos esquemas prévios (invariantes operatórios).....	63
6.2 Síntese da aprendizagem significativa do pré-teste	65
6.3 - Formulário 01 (parte inicial da Aula 01)	66
6.4 - Formulário 02 (parte final da Aula 01).....	69
6.5 - Formulário 03 e 04 (Aula 02)	73
6.7 - Formulário 06	87
7. AVALIAÇÃO	94
7.1 Pré-Teste: Diagnóstico de Conhecimentos e Conceitos Prévios	94
7.2 UEPS: Sequência Das Aulas (1 a 4)	95
7.3. Pós-Teste: Avaliação dos Conceitos Trabalhados	97

7.4. Conclusões e Próximos Passos (Segundo as UEPS).....	102
7.5 Síntese Final (UEPS) - Recapitulação do Pré-Teste:	103
7.6 Avaliação da Sequência pelos alunos	104
7.7 Síntese e Recomendações Finais.....	106
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
9 REFERÊNCIAS.....	111
APÊNDICES E ANEXOS	114

1 INTRODUÇÃO

Como todo professor, há diversos momentos em que enfrentamos dificuldades para ensinar um determinado conteúdo. Trazer o aluno para mais perto dos conceitos físicos é um desafio que a maioria dos professores de Física das escolas públicas e particulares enfrentam. Geralmente, esses conceitos são rejeitados pelos alunos antes mesmo de serem apresentados pelo professor. De acordo com minha experiência em sala de aula, percebo que muitos alunos não demonstram interesse pelo conteúdo ou pela disciplina de Física em geral. Tenho observado que, ao introduzir modelos simplificados de aparelhos do cotidiano, os alunos demonstram maior motivação em aprender.

Ainda como aluno de graduação, participei do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (Pibid). Nesse programa, sob orientação do professor Dr. Leandro Daniel Porfiro, tive o primeiro contato com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel (1968), sobre a qual desenvolvemos um projeto voltado para motivação por intermédio de experimentos de baixo custo. Segundo Ausubel (1968), a motivação é um dos fatores mais importantes para o aprendizado e o desenvolvimento da investigação científica.

Nesse contexto, as teorias cognitivistas oferecem importantes contribuições para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem. A Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por Ausubel (1968), destaca que o aprendizado ocorre de forma mais eficaz quando novos conhecimentos são ancorados em estruturas cognitivas previamente existentes. Para que isso aconteça, o material de aprendizagem deve ser logicamente estruturado e relacionável aos subsunçores dos alunos, tornando-o potencialmente significativo.

Novak e Gowin (1984) complementam a proposta de Ausubel ao mostrar que os organizadores prévios vão muito além de simples resumos, incluindo textos motivadores, vídeos, simulações e perguntas provocativas. Esses recursos ajudam o aluno a ativar conhecimentos prévios e a construir novas conexões, trabalhando de forma gradual a diferenciação progressiva - do mais simples ao mais complexo - e promovendo a integração entre ideias antigas e recentes. Além disso, os autores destacam que a motivação gerada por materiais envolventes é fundamental para que a aprendizagem seja, de fato, significativa.

Durante minha experiência como professor de física, tenho trabalhado com meus alunos o pensamento crítico e científico. Nesse sentido, em minhas pesquisas, na procura de novas metodologias de aprendizagem, me deparei com o trabalho desenvolvido pelo professor Nélcio Bizzo, professor dedicado a pesquisa na construção do conhecimento científico em sala de aula

e na formação continuada de professores, com ênfase no desenvolvimento de competências investigativas e no uso de estratégias que estimulem o pensamento crítico dos estudantes. De acordo com sua análise, a educação em Ciências deve proporcionar aos estudantes a oportunidade de desenvolver capacidades que neles despertem a inquietação diante do desconhecido, buscando explicações lógicas e razoáveis. Isso leva os alunos a desenvolverem posturas críticas, realizarem julgamentos e tomarem decisões fundamentadas em critérios objetivos, baseados em conhecimentos compartilhados por uma comunidade escolarizada (BIZZO, 1998).

A Física é considerada por muitos alunos uma disciplina complexa e que exige muito estudo e abstração para que compreendam suas aplicações no dia a dia. Essa dificuldade está frequentemente relacionada aos métodos empregados pelos professores no ensino da Física no Brasil, bem como à falta de investimento em laboratórios nas escolas, que poderiam ser utilizados para demonstrar fenômenos e aplicações.

Embora Novak, Gowin e Bizzo forneçam bases sólidas para o uso de organizadores avançados e para o despertar da curiosidade investigativa, ainda surgem dúvidas sobre como traduzir essas ideias em práticas concretas no ensino de Física e Ciências. Parte desse problema já foi discutido por outros autores como Alarcão, 1996; Demo, 1996 e Perez, 1999, que consideram necessária uma renovação no ensino de Ciências. Essa renovação deve passar pela formação dos professores e ser apoiada em políticas públicas que valorizem o papel do professor, tanto no aspecto financeiro quanto na sua importância como intelectual orgânico, contribuindo para a construção do conhecimento e refletindo sobre suas práticas como apontam as políticas de valorização do magistério (Alarcão, 1996; Demo, 1996; Perez, 1999).

No contexto atual, o ensino de Física enfrenta desafios significativos, especialmente na abordagem de conceitos abstratos como eletromagnetismo. Estudos mostram que atividades digitais planejadas com objetivos claros podem substituir com eficácia as atividades presenciais, desde que integrem tecnologias que promovam experiências interativas, como simuladores e vídeos (Silva & Oliveira, 2019; Pereira et al., 2020). Em escolas públicas no estado de Goiás de período integral, onde os alunos têm acesso a Chromebooks e materiais auxiliares de laboratório, é possível implementar práticas pedagógicas diferenciadas. Ferramentas digitais, como o PhET Interactive Simulations (PhET), uma coleção de simuladores interativos desenvolvida pelo Departamento de Física da Universidade do Colorado em Boulder, combinadas a experimentos práticos de baixo custo, favorecem um ambiente de ensino mais dinâmico e significativo (Silva & Oliveira, 2019).

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), propostas por Moreira (2006), oferecem uma metodologia eficaz para facilitar a aprendizagem significativa. Elas consistem em sequências didáticas que integram elementos teóricos e práticos, permitindo que os alunos explorem conceitos em profundidade. No ensino de tópicos de eletromagnetismo, a utilização de simuladores do PhET, aliada a experimentos como utilização de bússolas ou construção de motores elétricos simples, permite que os alunos conectem conceitos teóricos a situações práticas.

As UEPS seguem os princípios de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, promovendo a compreensão e a retenção de conhecimento. Para tanto, a utilização de perguntas motivadoras no início de cada aula, como “Por que uma bússola aponta para o norte?” ou “Como funciona um motor elétrico?”, auxiliam na identificação de conhecimentos prévios dos alunos, permitindo ao professor adicionar novos conceitos de forma significativa. Além disso, atividades experimentais colaborativas incentivam a interação e o engajamento dos alunos, enriquecendo o processo de ensino-aprendizagem.

Mesmo em contextos escolares com menos recursos é possível adaptar essas metodologias. Entretanto, a disponibilidade de tecnologias e materiais de laboratório na escola potencializa o impacto das UEPS, tornando o ensino mais significativo e alinhado às necessidades dos alunos.

Tendo como base o que foi discutido até o momento, entende-se como objetivo geral desta dissertação aprimorar o ensino de tópicos de eletromagnetismo a partir da construção de uma UEPS com subsídio de materiais de laboratório e do cotidiano e de um ambiente virtual.

Para o alcance do objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos buscando evidências de aprendizagem significativa:

- Trazer conceitos do nível teórico ao concreto, de modo que o aluno consiga visualizar os fenômenos físicos.
- Partir do aspecto concreto, para a constatação de que os fenômenos que estão sendo estudados fazem parte da vida cotidiana.
- Fomentar o interesse do aluno no aprendizado desses conceitos envolvidos no conteúdo ministrado.
- Proporcionar aos alunos a experimentação por meio de modelos virtuais que refletem o comportamento de experimentos físicos reais.
- Estudar um modelo virtual de dispositivos geradores e receptores eletrônicos, no qual se aplicam diversos fenômenos e conceitos físicos buscando compreender o funcionamento desse dispositivo e outros de configuração semelhante.

A partir da implementação desta Sequência de Aprendizagem, sob a forma de uma UEPS, espera-se que os alunos percebam e observem a dimensão da Física na sociedade. A compreensão de fenômenos físicos do cotidiano se mostra uma importante ferramenta para agregar conhecimentos práticos à compreensão da Física, dentro e fora do ambiente escolar. Inúmeros conceitos e princípios presentes em um simples dispositivo podem explicar, de forma mais atraente e concreta, as causas de fenômenos que, na maioria das vezes, os alunos não conseguem ou nem mesmo têm curiosidade em compreender.

Para o alcance desses objetivos, adotou-se a pesquisa translacional em Educação (Guimarães, 2013; Couto, 2020; Ferreira *et al*, 2021) como enquadramento metodológico. Essa abordagem organiza o ciclo de intervenção em cinco etapas: pesquisa básica → desenvolvimento de material instrucional → aplicação em sala de aula → coleta e análise de dados → revisão do material instrucional, permitindo refinamentos contínuos fundamentados em evidências.

A escolha pela pesquisa translacional alinha-se diretamente ao objetivo geral da investigação, ao possibilitar a aplicação em contexto real de Ensino Médio de conteúdos de eletromagnetismo, estruturados segundo os princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa (Ausubel, 1968) e modelados como UEPS (Moreira, 2006).

Considerando o relatado até aqui, apresento esta pesquisa de mestrado, que está estruturada da seguinte forma: além desta introdução, que apresenta e estrutura este trabalho, o segundo capítulo traz uma breve revisão bibliográfica, em que é feita a análise de artigos e dissertações encontrados na base de dados Scielo e no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, com foco em intervenções didáticas de eletromagnetismo. O terceiro capítulo será feita uma abordagem de fundamentação teórica didática da Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel interpretada por Moreira a ser aplicada no trabalho da UEPS que desenvolvi no ensino de Física do Eletromagnetismo. O quarto capítulo contém a fundamentação física dos campos magnéticos ao nível acadêmico, tema do eletromagnetismo utilizado na aplicação da UEPS utilizada nesse trabalho de mestrado. O quinto capítulo é composto pelo detalhamento da metodologia empregada na implementação da sequência didática, incluindo planejamento, materiais, instrumentos de avaliação e procedimentos de coleta e análise de dados. O sexto e sétimo capítulo, apresentará os resultados obtidos junto aos estudantes, discutindo o impacto das atividades propostas sobre sua compreensão conceitual e motivação. Por fim, o capítulo 8 sintetizará as conclusões do estudo, apontaremos limitações da pesquisa e sugeriremos propostas de continuidade e melhorias para futuras intervenções no ensino de Física.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Critérios e Procedimentos da Revisão Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi realizada em fevereiro de 2020, a partir de artigos e dissertações encontrados na base de dados Scielo e no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, com foco em intervenções didáticas de eletromagnetismo. A busca utilizou o termo "eletromagnetismo", combinado com expressões como "sequência didática", "UEPS", "simulação PhET" e "experimentos de baixo custo", e considerou apenas publicações em língua portuguesa, no período de janeiro de 2010 a fevereiro de 2020, nas áreas de Ensino de Física, Ensino de Ciências, Física e Educação. Esses filtros visaram mapear as práticas pedagógicas mais recentes e relevantes para o Ensino Médio.

Na base da Scielo, foram encontrados 12 artigos diretamente relacionados ao ensino de eletromagnetismo. Já no catálogo da CAPES, a busca inicial retornou um número elevado de dissertações, razão pela qual se optou por restringir a análise às dissertações do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), por sua abrangência nacional e relevância para o tema. Outros programas foram excluídos por possuírem menor alcance. Ao final, foram selecionadas 18 dissertações, totalizando 30 trabalhos analisados (artigos e dissertações).

A aplicação desses filtros justifica-se pela necessidade de verificar como o ensino de eletromagnetismo tem sido explorado em contextos acadêmicos e profissionais no Brasil, analisando os recursos metodológicos utilizados e como irão impactar na aprendizagem através da análise e coleta de dados.

2.2 Caracterização dos Estudos

Os 30 estudos foram agrupados em três categorias principais, conforme resumido na Tabela 1. No entanto, uma análise mais detalhada revelou que, embora a nomenclatura “Potencialmente Significativas” sugira inovação pedagógica, a maioria das UEPS empregadas consistiu em aulas tradicionais enriquecidas por um único recurso experimental (vídeos, fotos ou simulações). A coleta de dados variou (testes conceituais, formulários de opinião, observação), mas o diferencial real entre os trabalhos residiu na quantidade e no tipo de evidências de aprendizagem apresentadas.

Tabela 1: Teorias presentes nas dissertações do MNPEF.

Tema	Nº de Trabalhos	Formalismo Matemático¹
Lei de Lorentz e Campo Magnético	14	9
Motores Elétricos e Eletroímãs	10	6
Simulações PhET e Recursos Digitais	6	4
Total	30	19

Fonte: Autor

2.3 Principais Tendências, Lacunas e Críticas

1. **Redefinição de “Potencialmente Significativo”:** em muitos trabalhos, a UEPS se resume a uma aula convencional em que o aluno “segue uma receita” (seja de montagem de experimento ou de navegação em simulação), sem mediação que o conduza à descoberta autêntica. A perspectiva de “aprendizagem por descoberta” fica reduzida quando não há atividades comparativas ou momentos de degustação experimental, nos quais o aluno confronta diferentes soluções e constrói suas próprias conclusões.

2. **Engajamento versus descoberta:** vídeos e simulações atraem a atenção, mas não garantem aprendizagem significativa se não forem acompanhados de questionamentos direcionados e de oportunidades de metacognição (Novak & Gowin, 1984; Ausubel, 1968).

3. **Coleta de dados centrada em resultados:** o principal diferencial entre os estudos é o rigor na mensuração (pré/pós-testes, entrevistas, análise de protocolos), mais do que o modelo pedagógico em si. Apenas 5 trabalhos aplicaram testes amplos de forma qualitativa.

4. **Subsídios teóricos para professores:** apenas um estudo (e.g., Oliveira, 2017) fornece fundamentação teórica para orientar o docente na mediação da UEPS. A ausência de material de apoio reflexivo limita a replicação e inovação docente.

Esses pontos orientam a proposta desta dissertação: não basta oferecer a “receita” do experimento; é preciso incluir um momento de comparação crítica entre variações de abordagem e um encerramento reflexivo que leve o aluno a extrair princípios e transferir conhecimentos a novas situações.

2.4 Estudos de Caso Representativos

Para ilustrar a diversidade de abordagens e evidenciar os pontos fortes e limitações das UEPS em eletromagnetismo, serão detalhados quatro casos representativos selecionados com

¹ Presença de equações vetoriais e deduções formais no texto.

base na presença de coleta de dados quantitativos, subsídio teórico docente e inovação pedagógica.

Santos (2016) desenvolveu uma UEPS intitulada “Campo Magnético em Condutores: UEPS com PhET e bússolas” em uma escola pública de período integral com 25 alunos do 3º ano. A intervenção iniciou com uma simulação PhET “Magnet and Compass”, seguida de experimento com limalha de ferro e bússolas, estruturada em três fases de sondagem de subsunçores, experimentação e reconciliação integrativa. A coleta de dados incluiu pré e pós-testes conceituais, compostos por dez questões discursivas e objetivas, e um questionário de motivação em escala Likert. Os resultados indicaram um ganho médio de 18 % nos escores conceituais em testes pareados ($p < 0,05$) e uma elevação da média motivacional de 3,2 para 4,1.

Almeida (2018) aplicou em uma escola privada rural, com 30 estudantes, uma UEPS baseada em experimentos de baixo custo do projeto Unesp, que envolvia a montagem de um motor simples com prego, fio esmaltado e bateria. A coleta de dados contou com observação participante, diário de campo e entrevistas semiestruturadas em cinco grupos. Os achados revelaram que 84 % dos alunos conduziram experimentos sem auxílio do professor e formularam hipóteses próprias, embora tenham enfrentado dificuldades no manuseio do comutador.

Pereira (2019) comparou o desempenho de duas turmas de 20 alunos em escola urbana, uma utilizando o simulador PhET “Magnet and Electromagnets” e outra submetida a aula expositiva tradicional. A avaliação baseou-se em pré e pós-testes com oito questões conceituais, analisados por teste de Wilcoxon para amostras pareadas. A turma com simulação obteve mediana de ganho conceitual de 0,40, frente a 0,15 no grupo controle ($p = 0,03$), sugerindo o impacto positivo das atividades interativas.

Oliveira (2017) combinou plataforma online com experimentos caseiros em uma turma de 22 alunos, por meio de vídeos motivacionais, roteiros no Google Drive, atividades práticas de baixo custo e fórum de discussão. A coleta considerou logs de acesso, formulários de autoavaliação e análise de posts. Como resultado, foi criado um Clube de Astronomia, os escores de compreensão aumentaram em média 15 % e 90 % dos estudantes avaliaram positivamente a usabilidade do material.

Apesar das diferenças de contexto e instrumentos, todos os casos registraram ganhos significativos em compreensão e motivação. Contudo, somente Oliveira (2017) e Santos (2016) ofereceram subsídios teóricos e guias de mediação para professores.

2.5 Conexão com a Metodologia Aplicada

A metodologia desta dissertação reflete diretamente as lições extraídas da revisão bibliográfica e dos estudos de caso. Inspirado pelas Diretrizes Curriculares Nacionais do Ensino Médio (Brasil, 1999), o produto educacional foi desenvolvido como uma UEPS de eletromagnetismo, concebida para que o estudante reconheça fenômenos físicos do cotidiano. A construção e implementação da sequência envolveram uma pesquisa qualitativa e exploratória sobre magnetismo em periódicos nacionais, teses e dissertações da CAPES, SBEnF e MNPEF, bem como o referencial de Moreira (2006) para a estruturação de UEPS. Para a aplicação dessa sequência, foram realizados quatro encontros presenciais de 90 min cada, em outubro/novembro de 2024, com uma turma de 30 alunos do 3.º ano do Ensino Médio no Centro de Ensino em Período Integral José Rêzio, Goianápolis-GO. Antes da sequência, aplicaram-se dois pré-testes em momentos distintos; o primeiro, com questões objetivas e discursivas, uma semana antes do início, visou mapear subsunçores sobre bússolas, campo magnético e ímãs; o segundo, no primeiro encontro, trouxe perguntas discursivas mais complexas para instigar questionamentos críticos. Cada aula iniciou com perguntas motivacionais e vídeos, seguiu com experimentos de baixo custo (bússolas, bobinas, motores simples) e simulações PhET, e encerrou com discussões reflexivas que conectavam teoria e prática. A coleta de dados incluiu pré/pós-testes conceituais, questionários de motivação, roteiros de observação e entrevistas semiestruturadas, analisados qualitativa e quantitativamente. Finalmente, o ciclo translacional foi fechado por meio de revisões do material instrucional com base nos feedbacks dos participantes, incorporando momentos de comparação crítica entre abordagens e degustação experimental, de modo a promover uma aprendizagem realmente significativa.

3 FUNDAMENTAÇÃO

3.1 A Teoria da Aprendizagem Significativa

Segundo Moreira (2023), em linhas gerais, uma teoria é uma tentativa humana de sistematizar uma área de conhecimento, uma maneira particular de ver as coisas, de explicar e prever observações e resolver problemas. Uma teoria de aprendizagem é, então, uma construção humana para interpretar sistematicamente a área do conhecimento que chamamos de aprendizagem pelo ponto de vista do autor/pesquisador. Não podemos ser muito rigorosos em relação ao uso do conceito teoria de aprendizagem se o próprio termo “aprendizagem” tem vários significados não compartilhados. Pode-se citar definições de aprendizagem a partir de exemplos como: condicionamento, aquisição e informação, mudança comportamental estável, uso do conhecimento na resolução de problemas etc.

De modo geral, todas essas “definições” de aprendizagem se referem à aprendizagem cognitiva, aquela que resulta no armazenamento organizado de informações e conhecimentos na memória do ser que aprende, e esse complexo organizado é conhecido como estrutura cognitiva. Costuma-se distingui-la das aprendizagens afetiva e psicomotora, embora algumas experiências afetivas sempre acompanhem aprendizagens cognitivas, e estas geralmente estejam envolvidas na aquisição de habilidades motoras. Quer dizer, a distinção é mais uma questão de foco: a aprendizagem cognitiva é a que focaliza a cognição, o ato de conhecer; a aprendizagem afetiva é a que trata mais de experiências como prazer e dor, satisfação ou descontentamento, a alegria ou ansiedade; a aprendizagem psicomotora se ocupa mais de respostas musculares adquiridas por meio de treino e prática. (MOREIRA, 2023, p. 3).

Ausubel (1968) é um representante do cognitivismo e, como tal, propõe uma explicação teórica do processo de aprendizagem, segundo um ponto de vista cognitivista, embora reconheça a importância da experiência afetiva. Para Ausubel, a aprendizagem está relacionada à organização e integração do material na estrutura cognitiva. Ele se baseia na premissa de que existe uma estrutura na qual a organização e a integração se processam. É a estrutura cognitiva, entendida como “conteúdo total de ideias de certo indivíduo e sua organização; ou conteúdo e organização de suas ideias em uma área particular de conhecimentos” (AUSUBEL, 1968, p. 37-39).

Novas ideias e informações podem ser aprendidas e retidas na estrutura cognitiva do aprendiz na medida em que novos conceitos se relacionam com conceitos existentes de maneira não arbitrária.

O processo de interação mediante conceitos relevantes e inclusivos interage com o novo material, abrangendo e integrando esse material, ao mesmo tempo em que modifica a função ancoradora. Ausubel vê o armazenamento de informações no cérebro como sendo altamente organizado, formando uma hierarquia conceitual na qual, elementos mais específicos de conhecimentos são ligados e assimilados a conceitos mais gerais, mais inclusivos (MOREIRA, 2023). Essa estrutura específica de conhecimento, definida por ele como “conceito subsunçor” ou simplesmente “subsunçor”, presente na estrutura cognitiva do indivíduo.

Os subsunçores são conhecimentos prévios, especificamente relevantes para que os materiais de aprendizagem ou os novos conhecimentos sejam potencialmente significativos. Existe uma hipótese afirmando que a construção dos primeiros subsunçores se dá através de processos de inferência, abstração, discriminação, descobrimento, representação, envolvidos em sucessivos encontros do sujeito com instâncias de objetos, eventos e conceitos. Nos primeiros anos de vida, a criança vai formando também modelos causais de estados de coisas do mundo e outros construtos mentais, que dependem da experiência concreta com exemplos de objetos e eventos, bem como da mediação de adultos.

Quando esses conceitos prévios (subsunçores) não são encontrados, Ausubel recomenda o uso de organizadores prévios, que, em síntese, seria um recurso instrucional (pergunta, situação-problema, filme, aula) precedente à apresentação do material de aprendizagem a um nível mais elevado de abstração, generalidade e inclusão do que a própria tarefa de aprendizagem. O uso de organizadores prévios, também chamados de organizadores avançados, é uma estratégia proposta por Ausubel para, deliberadamente, manipular a estrutura cognitiva do aprendiz a fim de proporcionar um suporte (ancoragem) para a nova aprendizagem e levar ao desenvolvimento de conceitos subsunçores que facilitem a aprendizagem subsequente. A ancoragem é a ligação de um conceito prévio a um novo conceito, buscando o conhecimento antigo a partir do novo ou vice-versa. Dessa forma, Ausubel distingue tipos de aprendizagem.

Podemos estabelecer uma distinção entre aprendizagem por recepção e aprendizagem por descoberta e uma outra entre a aprendizagem automática (por decoração) e significativa. A primeira distinção é importante porque grande parte das informações adquiridas pelos alunos, tanto dentro como fora da escola, é apresentada preferencialmente descoberta. E uma vez que a maior parte do material de aprendizagem é apresentado verbalmente, é igualmente

importante observar que a aprendizagem receptiva verbal não é necessariamente automática em caráter e pode ser significativa sem uma experiência prévia não verbal ou de solução de problema (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p.20).

Para Ausubel, aprendizagem significa organização e integração do material na estrutura cognitiva, através da aprendizagem significativa, o significado lógico do material de aprendizagem se transforma em significado psicológico para o sujeito (MOREIRA, 2023). Sem a adesão do aluno, a aprendizagem significativa não pode ocorrer. Da mesma forma, sem que haja uma estrutura cognitiva adequada para que se atrelem novos conhecimentos, a aprendizagem significativa fica impossibilitada.

Para que ocorra a aprendizagem significativa é necessário que sejam satisfeitas duas condições; a primeira implica que o material de aprendizagem tenha um significado lógico, podendo ser relacionável a determinados conhecimentos existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Nesse caso, esse material é chamado de potencialmente significativo. A segunda condição é que o aprendiz deve querer relacionar os novos conhecimentos de uma forma não-arbitrária e não-literal aos seus conhecimentos prévios, ou seja, o aprendiz deve ter predisposição para aprender. Diferentemente de motivação ou afinidade com a disciplina, o aprendiz, ao se predispor a relacionar os novos conhecimentos com os conhecimentos prévios existentes em sua estrutura cognitiva, modifica-os potencialmente, quando está psicologicamente envolvido nas aulas, dando significados a esses conhecimentos.

Ausubel *et al.*, 1980; Ausubel, 2003 pensam a aprendizagem significativa como um processo contínuo e ativo de conhecimento, que vai sendo construído pouco a pouco – o que a diferencia da aprendizagem mecânica. No processo de aprendizagem mecânica, os alunos agem não levando as estruturas mentais a nenhuma reorganização ou modificação, ou se isso chega a ocorrer, é muito pouco.

A essência do processo de aprendizagem significativa é que as ideias expressas simbolicamente são relacionadas às informações previamente adquiridas através de uma relação não arbitrária e substantiva (não literal). Uma relação não arbitrária e substantiva significa que as ideias são relacionadas a algum aspecto relevante existente na estrutura cognitiva do aluno, como, por exemplo, uma imagem, um símbolo, um conceito ou uma proposição. (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p.34).

Não existindo subsunção, pode-se usar uma aprendizagem mecânica como meio de se desenvolver, ao menos inicialmente, a estrutura cognitiva do aprendiz até o ponto em que possa começar a se dar a aprendizagem significativa. Isso mostra que aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa são polos opostos de um contínuo.

Satisfeitas as condições para aprendizagem significativa, o aprendiz passará por um processo chamado de assimilação, em que um conceito ou proposição potencialmente significativo é assimilado sob uma ideia ou conceito mais inclusivo, já existente na estrutura cognitiva. Não só a nova informação, mas também o conceito subsunção com o qual ela se relaciona são modificados pela interação, tendo um efeito facilitador na retenção da nova informação.

A assimilação conduz a assimilação obliteradora, onde a nova informação torna-se espontânea e progressivamente menos dissociável de seus subsunções, até que não esteja mais disponível e reproduzível como entidade individual. Se a aprendizagem for significativa haverá compreensão, significado e capacidade de transferência a situações novas, maior retenção e na necessidade de reaprendizagem, deverá ocorrer em um tempo significativamente menor que a aprendizagem inicial.

3.2 A Aprendizagem Significativa e as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas

De acordo com a perspectiva de Ausubel; o que mais influência na aprendizagem é o que o aluno já sabe e a sua disposição em aprender, fazendo da sala de aula um ambiente potencialmente significativo. Uma importante ferramenta para construção desse ambiente é a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) proposta por Moreira (2006), que é uma sequência de ensino fundamentada teoricamente, voltada para a aprendizagem significativa, não mecânica, que pode estimular a pesquisa aplicada ao ensino, voltada diretamente à sala de aula.

Em minha experiência como professor, tenho observado que devido à grande dificuldade de compreensão relacionada a disciplina de Física, tida como chata, monótona, puramente matemática e complicada pelos alunos do ensino médio. Acaba-se por diversas vezes não se contemplar a premissa do interesse, da predisposição em aprender do aluno. Diversos fatores influenciam nessa desmotivação em aprender, um dos principais é que, diversas habilidades necessárias para compreensão não estão desenvolvidas nos alunos. Buscando diminuir essa

barreira encontrada pelos alunos do Ensino Médio, segundo Moreira (2006) é possível construir um ambiente potencialmente significativo através de sequências didáticas bem elaboradas.

3.3 Aspectos sequenciais das UEPS, segundo Moreira.

As sequências didáticas devem possuir uma estrutura que possibilite ao aluno uma aprendizagem diferente da tradicional, da qual buscamos evidências de aprendizagem significativa. O objetivo da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa é estruturar o percurso de ensino para promover aprendizagem significativa.

Para operacionalizar os princípios de Moreira (2006) e garantir que a UEPS atinja seu propósito de promover aprendizagem significativa, é preciso estruturar o percurso em etapas claras e interligadas. A seguir, apresentam-se, as oito fases recomendadas para a construção e implementação de uma sequência didática potencialmente significativa conforme Moreira (2006):

1. Inicialmente é preciso estabelecer com precisão qual conceito ou habilidade fará parte da sequência, especificando o que se espera que o aluno aprenda em termos conceituais (aspectos declarativos) e práticos (aspectos procedimentais) dentro do contexto da disciplina;
2. na etapa de ativação do conhecimento prévio, propõem-se atividades diagnósticas (como discussões em grupo, questionários ou elaboração de mapas conceituais) com o objetivo de trazer à tona as ideias dos estudantes, identificando concepções corretas e possíveis equívocos;
3. em seguida, propõe-se as situações-problema introdutórias, que envolvem a apresentação de problemas simples, vinculados ao conhecimento já identificado, capazes de instigar a curiosidade sem ensinar diretamente o conteúdo; tais problemas podem usar simulações, vídeos ou exemplos do cotidiano, desde que sejam apresentados de forma acessível aos alunos;
4. na etapa seguinte, aplica-se a diferenciação progressiva (Ausubel, 1968) ao apresentar primeiro uma visão global do conteúdo e, gradualmente, aprofundar em detalhes por meio de exposições breves intercaladas com atividades colaborativas em pequenos grupos;
5. depois, retoma-se o material sob o enfoque da reconciliação integrativa (Ausubel, 1968), propondo novas situações-problema e exemplos que destaquem relações e distinções entre o que já se sabe e o que foi apresentado, fomentando a integração conceitual mediada pelo professor;

6. concluindo a unidade, retoma-se o processo de diferenciação progressiva sob uma perspectiva integradora por meio de uma terceira apresentação dos significados centrais (que pode ocorrer via breve exposição oral, leitura de texto, recurso computacional ou audiovisual); após essa reapresentação, propõem-se novas situações-problema de complexidade superior à das anteriores, que devem ser resolvidas em atividades colaborativas e, em seguida, apresentadas ou discutidas em um grupo maior de alunos, sempre com mediação do professor;

7. a avaliação da aprendizagem através da UEPS realiza-se de forma contínua, registrando todo e qualquer indício de aprendizagem significativa ao longo da implementação; adicionalmente, após o sexto passo, aplica-se uma avaliação somativa individual composta por questões ou situações que demandem compreensão profunda, captação de significados e, idealmente, capacidade de transferência. O desempenho do aluno deve ser medido igualmente entre os registros formativos (tarefas colaborativas, observações do docente etc.) e a avaliação somativa;

8. a UEPS somente será considerada bem-sucedida quando os resultados das avaliações (formativa e somativa) fornecerem evidências claras de aprendizagem significativa, tais como captação de significados, compreensão, habilidade para explicar conceitos e para aplicar o conhecimento na resolução de novas situações-problema. Reconhece-se, assim, que a aprendizagem significativa e o domínio conceitual são processos progressivos, o que reforça a ênfase na coleta de evidências, em vez de comportamentos finais isolados.

Em todas as aulas propomos inicialmente uma situação problema, assim é possível que o aluno externalize o seu conhecimento prévio (esse conhecimento pode ser ou não aceito no contexto da matéria de ensino). Diante dessa situação problema e das respostas fornecidas pelos alunos o professor pode seguir com uma breve explicação do próximo tópico a ser abordado em um nível superior ao anterior, para complemento desse novo conhecimento será usado um vídeo gerando mais alguns questionamentos e posteriormente uma simulação onde os alunos poderão encontrar mais respostas, novamente outro vídeo reproduzindo aquilo que foi realizado na simulação de forma experimental. Os estudantes se reúnem em duplas ou pequenos grupos para discutir suas impressões e trocar saberes. Esse momento de debate coletivo permite que eles confrontem diferentes interpretações e co-construam significados coletivos. Por fim, cada estudante responde a um formulário de reflexão, apoiando-se nas discussões e nas observações feitas ao longo da aula.

4 ELEMENTOS DE MAGNETISMO

4.1 Campos Magnéticos

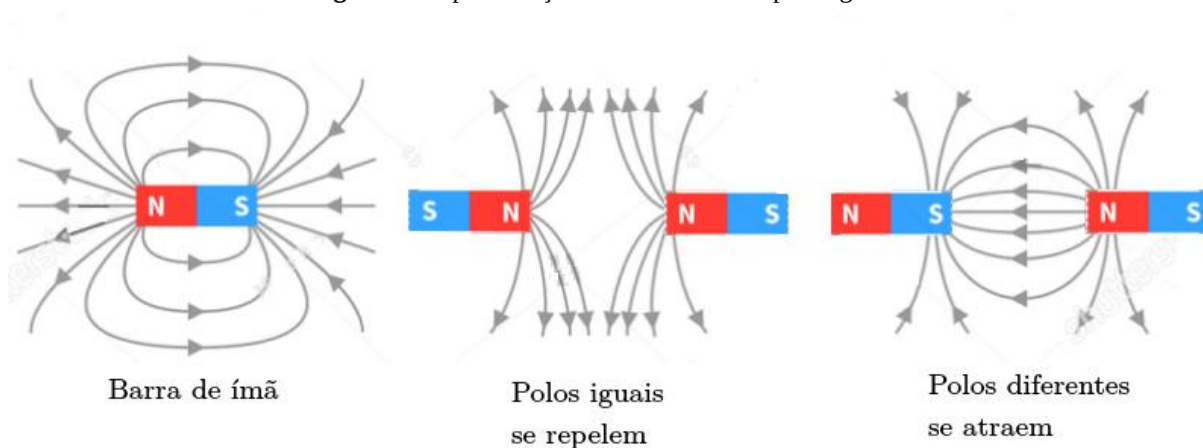
A história do magnetismo começou há milhares de anos. Em uma região da Ásia Menor conhecida como Magnésia, foram encontradas rochas que podiam atrair umas às outras. Essas rochas foram chamadas de magnetos em homenagem ao local de sua descoberta. No entanto, somente no século XIX foi visto que o magnetismo e a eletricidade estão intimamente relacionados. Uma descoberta crucial foi que as correntes elétricas produzem efeitos magnéticos, ou seja, "campos magnéticos" como os ímãs. Todos os tipos de dispositivos práticos dependem do magnetismo, de bússolas a motores, alto-falantes, discos magnéticos de computador e geradores elétricos. Nesse capítulo veremos como as intensidades do campo magnético são determinadas para algumas situações simples e discutiremos algumas relações gerais entre campos magnéticos e suas fontes, as correntes elétricas. Também daremos uma descrição clássica das propriedades magnéticas da matéria como, por exemplo, o ferromagnetismo, paramagnetismo e diamagnetismo.

4.1.1 Ímãs e Campos Magnéticos

Todos nós já observamos um ímã atrair clipes de papel, pregos e outros objetos feitos de ferro. Qualquer ímã, seja em forma de barra ou ferradura, tem duas extremidades ou faces, chamadas polos, cujo efeito magnético é mais forte. Se um ímã em barra for suspenso por um fio fino, descobre-se que um polo do ímã sempre apontará para o norte. Não se sabe ao certo quando esse fato foi descoberto, mas sabe-se que os chineses o utilizavam como auxílio à navegação no século XI e talvez antes. Esse é o princípio de uma bússola. Uma agulha de bússola é simplesmente um ímã em barra que é apoiado em seu centro de gravidade para que possa girar livremente. O polo de um ímã livremente suspenso que aponta para o norte geográfico é chamado de polo norte do ímã. O outro polo aponta para o sul e é chamado de polo sul.

É uma observação familiar que quando dois ímãs são aproximados um do outro, cada um exerce uma força sobre o outro. A força pode ser atrativa ou repulsiva e pode ser sentida mesmo quando os ímãs não se tocam. Se o polo norte de um ímã em barra for aproximado do polo norte de um segundo ímã, a força é repulsiva. Da mesma forma, se os polos sul de dois ímãs forem aproximados, a força é repulsiva. Mas quando um polo norte é aproximado do polo sul de outro ímã, a força é atrativa. Esses resultados são mostrados na Figura 1 e lembram as forças entre cargas elétricas: polos semelhantes se repelem e polos diferentes se atraem.

Figura 1: Representação das linhas de campo magnético



Fonte: Mundo Educação (n.d.)

Uma diferença importante é que uma carga elétrica positiva ou negativa pode ser facilmente isolada. Mas um único polo magnético isolado nunca foi observado. Se um ímã em barra for cortado ao meio, você não obtém polos norte e sul isolados. Em vez disso, dois novos ímãs são produzidos, cada um com polos norte (N) e sul (S). Se a operação de corte for repetida, mais ímãs são produzidos, cada um com um polo norte e um sul. Físicos têm procurado por polos magnéticos isolados (monopolos), mas nenhum monopolo magnético jamais foi observado.

Apenas o ferro e alguns outros materiais, como cobalto, níquel, gadolínio e alguns de seus óxidos e ligas, mostram fortes efeitos magnéticos. Outros materiais mostram algum leve efeito magnético, mas é muito fraco e pode ser detectado apenas com instrumentos delicados. Da mesma forma que usamos o conceito de um campo elétrico ao redor de uma carga elétrica. De forma análoga, podemos imaginar um campo magnético ao redor de um ímã. A força que um ímã exerce sobre outro pode então ser descrita como a interação entre um ímã e o campo magnético do outro. Assim como desenhemos linhas de campo elétrico, também podemos desenhar linhas de campo magnético. Elas podem ser desenhadas, como para linhas de campo elétrico, de modo que (i) a direção do campo magnético seja tangente a uma linha de campo em qualquer ponto, e (ii) o número de linhas por unidade de área seja proporcional à força do campo magnético.

A direção do campo magnético em um dado ponto pode ser definida como a direção que o polo norte de uma agulha de bússola apontaria se colocada naquele ponto. A Figura 2 mostra como finas limalhas de ferro, agindo como pequenos ímãs, revelam as linhas do campo magnético ao se alinharem como as agulhas da bússola.

Figura 2: Linhas de campo magnético representados por limalha de ferro



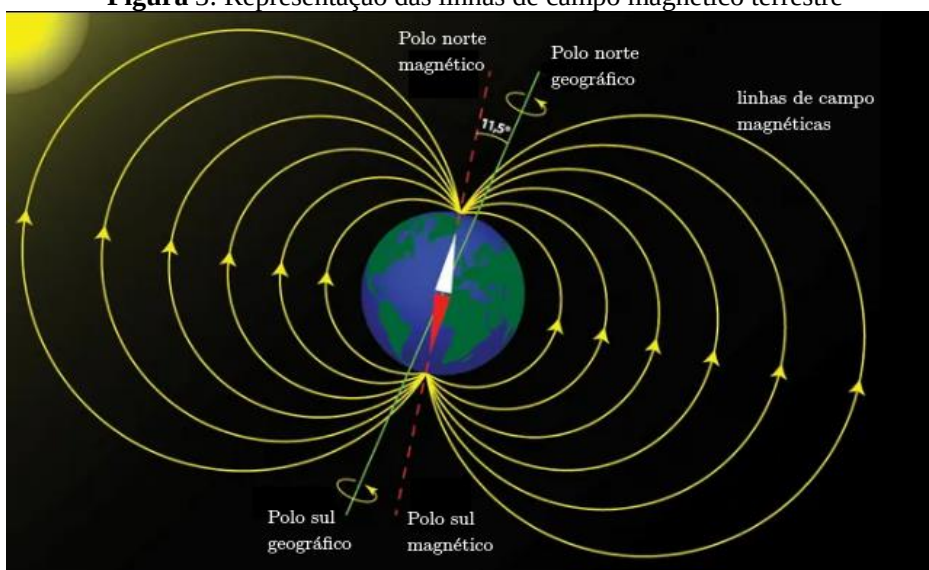
Fonte: Autor

O campo magnético determinado dessa forma para o campo ao redor de um ímã de barra foi mostrado na Figura 1. Observe que, devido à definição, as linhas sempre apontam para fora do polo norte e para dentro em direção ao polo sul de um ímã (o polo norte de uma agulha de bússola magnética é atraído para o polo sul do ímã). As linhas do campo magnético continuam dentro de um ímã. De fato, dada a falta de polos magnéticos únicos, as linhas do campo magnético sempre formam curvas fechadas, ao contrário das linhas do campo elétrico que começam em cargas positivas e terminam em cargas negativas.

4.1.2 Campo magnético da Terra

O campo magnético da Terra é mostrado na Figura 3. O padrão das linhas de campo é como se houvesse um ímã de barra imaginário dentro da Terra. Como o polo norte (N) de uma agulha de bússola aponta para o norte, o polo magnético da Terra que está no norte geográfico é magneticamente um polo sul. Lembre-se de que o polo norte de um ímã é atraído para o polo sul de outro ímã. No entanto, o polo da Terra no norte ainda é frequentemente chamado de "polo magnético norte" ou "norte geomagnético", simplesmente porque está no norte. Da mesma forma, o polo magnético sul da Terra, que está próximo do polo sul geográfico, é magneticamente um polo norte (N).

Figura 3: Representação das linhas de campo magnético terrestre



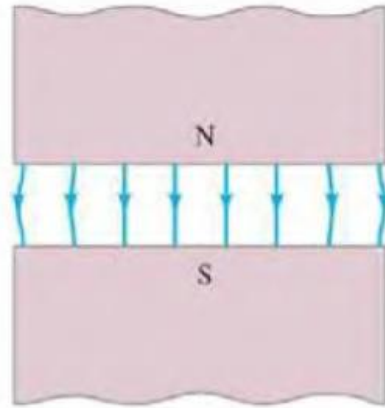
Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

Os polos magnéticos da Terra não coincidem com os polos geográficos, que estão no eixo de rotação da Terra. O polo magnético norte, por exemplo, está no Ártico canadense, a cerca de 900 km do polo norte geográfico, ou "norte verdadeiro". Em várias situações de geoposicionamento essa diferença deve ser levada em conta quando você usa uma bússola. A diferença angular entre o norte magnético e o norte verdadeiro ou geográfico é chamada de declinação magnética. O norte magnético está se movendo muitos quilômetros por ano atualmente. O magnetismo nas rochas sugere que os polos da Terra não só se moveram significativamente ao longo do tempo geológico, mas também inverteram a direção 400 vezes nos últimos 330 milhões de anos.

4.1.3 Campo Magnético Uniforme

O campo magnético mais simples é aquele que é uniforme, ele não muda em magnitude ou direção de um ponto para outro. Um campo perfeitamente uniforme sobre uma grande área não é fácil de produzir. Mas o campo entre duas peças polares planas e paralelas de um ímã é quase uniforme se a área das faces polares for grande em comparação com sua separação, como mostrado na Figura 4. Nas bordas, o campo encurva um pouco: as linhas do campo magnético não são mais exatamente paralelas e uniformes. As linhas de campo paralelas uniformemente espaçadas na região central da lacuna indicam que o campo é uniforme em pontos não muito próximos das bordas.

Figura 4: Campo magnético entre polos de um ímã.



O campo magnético entre dois polos largos de um ímã é quase uniforme, exceto perto das bordas.

Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

4.2 Correntes Elétricas produzem Campos Magnéticos

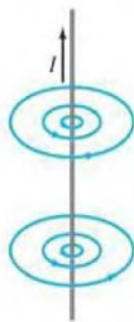
Durante o século XVIII, muitos cientistas procuraram encontrar uma conexão entre eletricidade e magnetismo. Uma carga elétrica estacionária e um ímã demonstraram não ter influência um sobre o outro. Mas em 1820, Hans Christian Oersted (1777-1851) descobriu que quando uma agulha de bússola é colocada perto de um fio, a agulha desvia assim que as duas pontas do fio são conectadas aos terminais de uma bateria e o fio carrega uma corrente elétrica. Como vimos, uma agulha de bússola é desviada por um campo magnético. Então o experimento de Oersted mostrou que uma corrente elétrica produz um campo magnético. Ele havia encontrado uma conexão entre eletricidade e magnetismo.

Uma agulha de bússola colocada perto de uma seção reta de fio condutor de corrente experimenta uma força, fazendo com que a agulha se alinhe tangente a um círculo ao redor do fio, Figura 5 (a). Assim, as linhas do campo magnético produzidas por uma corrente em um fio reto estão na forma de círculos com o fio em seu centro, Figura 5 (b). A direção dessas linhas é indicada pelo polo norte da bússola na Figura 5 (a). Há uma maneira simples de lembrar a direção das linhas do campo magnético neste caso. É chamada de regra da mão direita: segure o fio com a mão direita de modo que seu polegar aponte na direção da corrente convencional (positiva); então seus dedos circundarão o fio na direção do campo magnético, Figura 5 (c).

Figura 5: Campo magnético em torno de um fio



(a) Deflexão de agulhas de bússola perto de um fio condutor de corrente, mostrando a presença e a direção do campo magnético.



(b) Linhas de campo magnético ao redor de uma corrente elétrica em um fio reto.

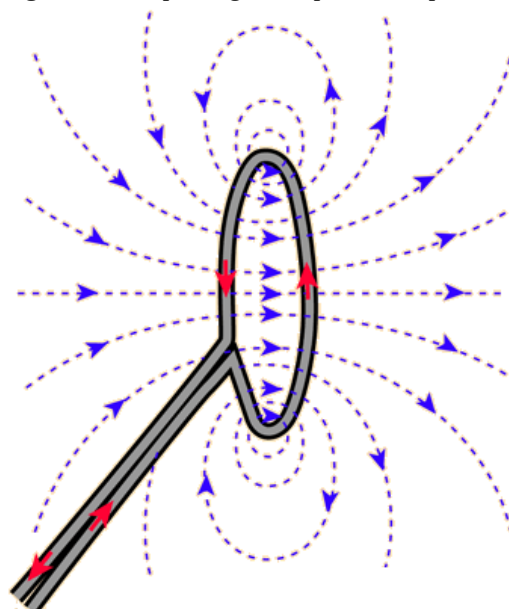


(c) Regra da mão direita para lembrar a direção do campo magnético: quando o polegar aponta na direção da corrente convencional, os dedos enrolados ao redor do fio apontam na direção do campo magnético.

Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

As linhas do campo magnético devido a uma espira circular de fio condutor de corrente podem ser determinadas de forma semelhante usando uma bússola. O resultado é mostrado na Figura 6.

Figura 6: Campo magnético produzido por uma corrente elétrica em uma espira circular



Campo magnético B produzido por uma corrente elétrica em uma espira circular

Corrente elétrica I

Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

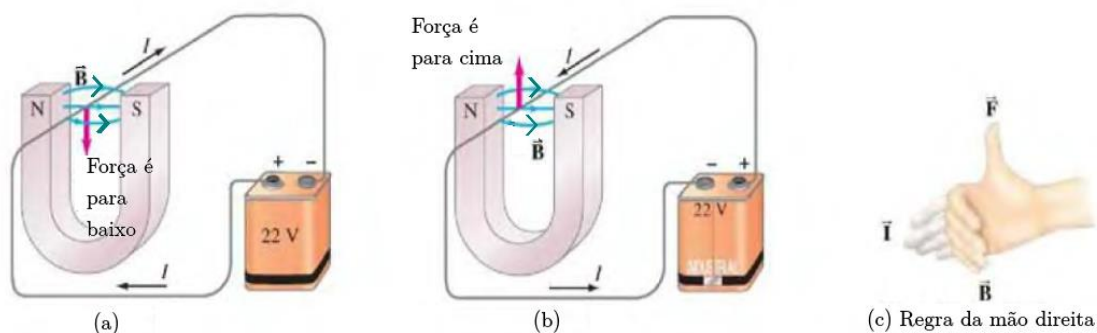
Novamente, a regra da mão direita pode ser usada. Ao contrário do campo uniforme mostrado na Figura 4, os campos magnéticos mostrados na Figura 5 não são uniformes, pois os campos são diferentes em magnitude e direção em pontos diferentes.

4.2.1 Força em uma corrente elétrica em um campo magnético

Na seção anterior, vimos que uma corrente elétrica exerce uma força sobre um ímã, como uma agulha de bússola. Pela terceira lei de Newton, poderíamos esperar que o inverso também fosse verdade: deveríamos esperar que um ímã exerça uma força sobre um fio condutor de corrente. Experimentos de fato confirmam esse efeito, e ele também foi observado pela primeira vez por Oersted.

Suponha que um fio reto seja colocado no campo magnético entre os polos de um ímã em forma de ferradura, como mostrado na Figura 7. Quando uma corrente flui no fio, o experimento mostra que uma força é exercida sobre o fio. Mas essa força não é em direção a um ou outro polo do ímã. Em vez disso, a força é direcionada em ângulos retos à direção do campo magnético, para baixo na Figura 7 (a). Se a corrente for invertida na direção, a força é na direção oposta, para cima, como mostrado na Figura 7 (b).

Figura 7: Força em uma corrente elétrica em um campo magnético.



Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

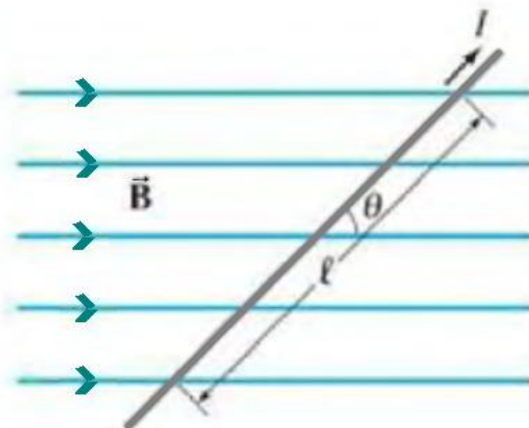
Os experimentos mostram que a direção da força é sempre perpendicular à direção da corrente e simultaneamente perpendicular à direção do campo magnético $\vec{B}$. A direção da força é dada por outra regra da mão direita, como ilustrado na Figura 7 (c). Deve-se orientar a mão direita até que os dedos estendidos possam apontar na direção da corrente convencional I , e quando você dobrar seus dedos, eles apontarão na direção das linhas do campo magnético, $\vec{B}$. Então seu polegar estendido apontará na direção da força $\vec{F}$ no fio. Esta regra da mão direita

descreve a direção da força. E quanto à magnitude da força no fio? Foi descoberto experimentalmente que a magnitude da força é diretamente proporcional à corrente I no fio e ao comprimento ℓ do fio exposto ao campo magnético (assumido uniforme). Além disso, se o campo magnético $\vec{B}$ for tornado mais forte, a força será proporcionalmente maior. A força também depende do ângulo θ entre a direção da corrente e o campo magnético (veja a Figura 8), sendo proporcional ao $\sin(\theta)$. Assim, a força em um fio carregando uma corrente I com comprimento ℓ em um campo magnético uniforme $\vec{B}$ é dada por

$$F \propto I\ell B \sin\theta.$$

Quando a corrente é perpendicular às linhas de campo ($\theta = 90^\circ$), a força é mais forte. Quando o fio é paralelo às linhas de campo magnético ($\theta = 0^\circ$), não há força.

Figura 8: Fio condutor de corrente em um campo magnético uniforme.



Fio condutor de corrente em um campo magnético uniforme. A força no fio é direcionada para dentro da página.

Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

O campo magnético B pode ser convenientemente definido em termos da proporção acima, de modo que a constante de proporcionalidade seja precisamente 1. Assim, temos

$$F = I\ell B \sin\theta. \quad (1)$$

Se a direção da corrente for perpendicular ao campo $\vec{B}$ ($\theta = 90^\circ$), então a força é

$$F_{max} = I\ell B. \quad (2)$$

Se a corrente for paralela ao campo ($\theta = 0^\circ$), a força é zero. A magnitude de $\vec{B}$ pode ser definida usando a Eq. (2) como $B = F_{max}/I\ell$, onde F_{max} é a magnitude da força em um comprimento reto ℓ de fio carregando uma corrente I quando o fio é perpendicular a $\vec{B}$.

A relação entre a força $\vec{F}$ em um fio carregando uma corrente I e o campo magnético $\vec{B}$ que causa a força pode ser escrita como uma equação vetorial. Para fazer isso, lembramos que a direção de $\vec{F}$ é dada pela regra da mão direita, Figura 7 (c), e a magnitude pela Eq. (1). Isso é consistente com a definição do produto vetorial, então podemos escrever

$$\vec{F} = I\vec{\ell} \times \vec{B}, \quad (3)$$

aqui, $\vec{\ell}$ é um vetor cuja magnitude é o comprimento do fio e sua direção é ao longo do fio (assumido reto) na direção da corrente convencional positiva.

A equação (3) se aplica se o campo magnético for uniforme e o fio for reto. Se $\vec{B}$ não for uniforme, ou se o fio não fizer em todos os lugares o mesmo ângulo θ com $\vec{B}$, então a equação (3) pode ser escrita de forma mais geral como

$$d\vec{F} = Id\vec{\ell} \times \vec{B}, \quad (4)$$

onde $d\vec{F}$ é a força infinitesimal atuando em um comprimento diferencial $d\vec{\ell}$ do fio. A força total no fio é então encontrada pela integração. A equação (4) pode servir, tão bem quanto a equação (2) ou (3), como uma definição prática do campo magnético $\vec{B}$.

A unidade SI para o campo magnético $\vec{B}$ é o tesla (T). Das Eqs. (1), (2), (3) ou (4), vemos que $1 \text{ T} = 1 \text{ N} / \text{A} \cdot \text{m}$. Um nome mais antigo para o tesla é "weber por metro quadrado" ($1 \text{ Wb/m}^2 = 1 \text{ T}$). Outra unidade às vezes usada para especificar o campo magnético é uma unidade CGS, o gauss (G): $1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$. Um campo dado em gauss deve sempre ser alterado para teslas antes de usar com outras unidades SI. Para ter uma "sensação" dessas unidades, notamos que o campo magnético da Terra em sua superfície é de cerca de $\frac{1}{2} \text{ G}$ ou $0,5 \times 10^{-4} \text{ T}$. Por outro lado, o campo próximo a um pequeno ímã preso à geladeira pode ser de 100 G ($0,01 \text{ T}$), enquanto eletroímãs fortes podem produzir campos na ordem de 2 T e ímãs supercondutores podem produzir mais de 10 T .

4.2.2 Força sobre uma carga elétrica em movimento em um campo magnético

Vimos que um fio condutor de corrente sofre uma força quando colocado em um campo magnético. Como uma corrente em um fio consiste em cargas elétricas em movimento, podemos esperar que partículas carregadas em movimento livre (não em um fio) também sofram uma força ao passar por um campo magnético. De fato, esse é o caso. Pelo que já sabemos, podemos prever a força em uma única carga elétrica em movimento. Se N dessas partículas de carga q passarem por um dado ponto no tempo t , elas constituem uma corrente $I = Nq/t$. Deixamos t ser o tempo para uma carga q percorrer uma distância ℓ em um campo magnético $\vec{B}$; então $\vec{\ell} = \vec{v}t$ onde $\vec{v}$ é a velocidade da partícula. Assim, a força sobre essas N partículas é, pela equação (3), $\vec{F} = I\vec{\ell} \times \vec{B} = (Nq/t)(\vec{v}t) \times \vec{B} = Nq\vec{v} \times \vec{B}$. A força sobre uma das N partículas é então

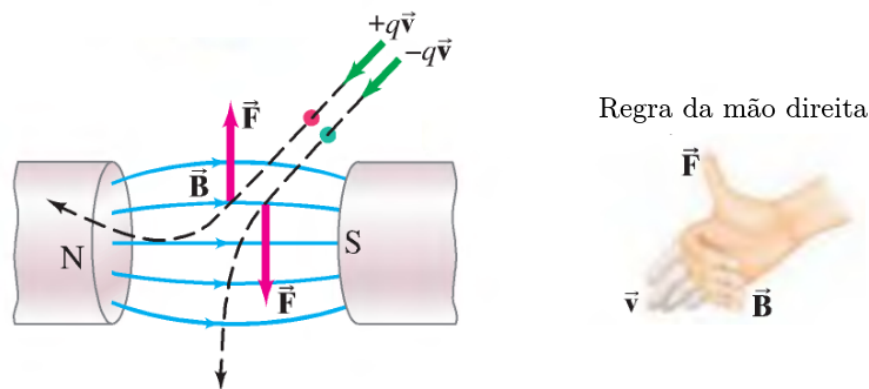
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}. \quad (5)$$

Este resultado básico e importante pode ser considerado como uma forma alternativa de definir o campo magnético $\vec{B}$, no lugar da Eq. (4) ou (3). A magnitude da força na Eq. (5) é $F = qvB\sin\theta$. Isso fornece a magnitude da força em uma partícula de carga q movendo-se com velocidade $\vec{v}$ em um ponto onde o campo magnético tem magnitude $\vec{B}$. O ângulo entre $\vec{v}$ e $\vec{B}$ é θ . A força é maior quando a partícula se move perpendicularmente a $\vec{B}$ ($\theta = 90^\circ$):

$$F_{\max} = qvB.$$

A força é zero se a partícula se move paralelamente às linhas de campo ($\theta = 0^\circ$). A direção da força é perpendicular ao campo magnético $\vec{B}$ e à velocidade $\vec{v}$ da partícula, e é obtido novamente por uma regra da mão direita (como para qualquer produto vetorial): deve-se orientar a mão direita de modo que os dedos estendidos apontem ao longo da direção da velocidade da partícula $\vec{v}$, e quando se dobra os dedos eles devem apontar ao longo da direção de $\vec{B}$. Então o polegar apontará na direção da força. Isso é verdade apenas para partículas carregadas positivamente, e será "para cima" para a partícula positiva mostrada na Figura 9. Para partículas carregadas negativamente, a força está exatamente na direção oposta, "para baixo" na Figura 9.

Figura 9: Forças sobre partículas carregadas devido a um campo magnético.

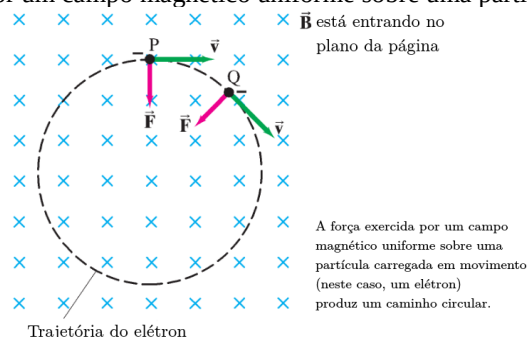


A força sobre partículas carregadas devido a um campo magnético é perpendicular à direção do campo magnético. Se a velocidade é horizontal, então a força é vertical

Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

O caminho de uma partícula carregada movendo-se em um plano perpendicular a um campo magnético uniforme é um círculo. Na Figura 10, o campo magnético é direcionado para dentro do plano da página. Por exemplo, um elétron no ponto *P* está se movendo para a direita, e a força sobre ele neste ponto é para baixo, conforme mostrado (use a regra da mão direita e inverta a direção para carga negativa). O elétron é então desviado em direção à parte inferior da página. Um momento depois, digamos, quando atinge o ponto *Q*, a força ainda é perpendicular à velocidade e está na direção mostrada. Como a força é sempre perpendicular a $\vec{v}$, a magnitude de $\vec{v}$ não muda, o elétron se move a uma velocidade constante. Se a força sobre uma partícula for sempre perpendicular à sua velocidade $\vec{v}$, a partícula se move em um círculo e tem uma aceleração centrípeta $a = v^2/r$. Assim, uma partícula carregada se move em um caminho circular com aceleração centrípeta constante em um campo magnético uniforme.

Figura 10: Força exercida por um campo magnético uniforme sobre uma partícula carregada em movimento.



Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

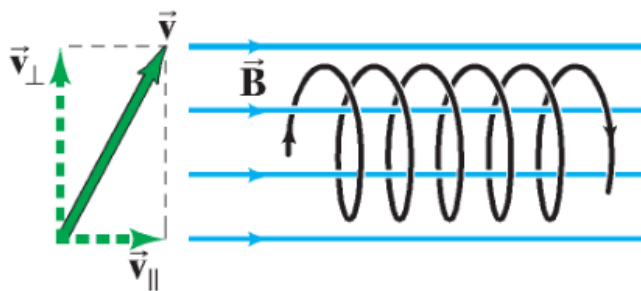
O elétron se move no sentido horário na Figura 10, ao passo que uma partícula positiva neste campo sentiria uma força na direção oposta e, portanto, se moveria no sentido anti-

horário. O tempo T necessário para uma partícula de carga q movendo-se com velocidade constante $|\vec{v}|$ fazer uma revolução circular em um campo magnético uniforme $|\vec{B}|$, perpendicular ao vetor velocidade, é $T = 2\pi r/v$, onde $2\pi r$ é a circunferência de seu caminho circular. Se igualarmos a força resultante centrípeta à força magnética atuando no elétron para mantê-lo na trajetória circular, temos $m v^2/r = qvB$. Isto resulta que o período de uma volta completa na trajetória circular é $T = 2\pi m/qB$. Como T é o período de rotação, a frequência de rotação é $f = 1/T = qB/2\pi m$.

Isso é frequentemente chamado de frequência do ciclotron de uma partícula em um campo magnético pois esta é a frequência na qual as partículas giram em um ciclotron.

Vejamos o exemplo de uma partícula carregada em um campo magnético uniforme quando sua velocidade não é perpendicular ao campo magnético. Neste exemplo o vetor velocidade pode ser dividido em componente paralelo $\vec{v}_{\parallel}$ e perpendicular $\vec{v}_{\perp}$ ao campo. O componente velocidade paralelo às linhas de campo não sofre força ($\theta = 0$), então este componente permanece constante. O componente velocidade perpendicular ao campo resulta em movimento circular em torno das linhas de campo. Colocar esses dois movimentos juntos produz um movimento helicoidal (espiral) em torno das linhas de campo, como mostrado na Figura 11.

Figura 11: Movimento helicoidal de uma partícula carregada em um campo magnético.



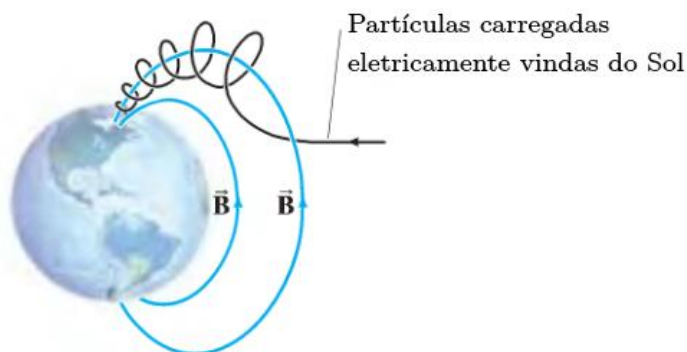
Movimento helicoidal de uma partícula
carregada em um campo magnético

Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

4.2.2.1 Aurora Polar

Íons carregados vindos do Sol, ou seja, o vento solar, são interceptados pela Terra e entram na atmosfera principalmente perto dos polos interagindo com o campo magnético terrestre, às vezes causando um fenômeno chamado aurora boreal ou "luzes do norte" em latitudes do norte e aurora austral em latitudes do sul. Para ver o porquê, considere a Figura 12.

Figura 12: Fluxo de partículas carregadas vindas do Sol.



Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

Na Figura 12 vemos um fluxo de partículas carregadas vindas do Sol se aproximando da Terra. O componente de velocidade perpendicular ao campo magnético terrestre para cada partícula se torna uma órbita circular ao redor das linhas de campo, enquanto o componente de velocidade paralelo ao campo carrega a partícula ao longo das linhas de campo em direção aos polos. À medida que uma partícula se aproxima do polo, o campo magnético é mais forte e o raio do caminho helicoidal se torna menor. Uma alta concentração de partículas carregadas ioniza o ar e, à medida que os elétrons se recombinaem com os átomos, luz é emitida, originando a aurora polar. As auroras são especialmente espetaculares durante períodos de alta atividade das manchas solares, quando o vento solar traz mais partículas carregadas em direção à Terra.

4.2.2.2 Equação de Lorentz

Se uma partícula de carga q se move com velocidade $\vec{v}$ na presença de um campo magnético $\vec{B}$ e um campo elétrico $\vec{E}$, ela sentirá uma força

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}). \quad (6)$$

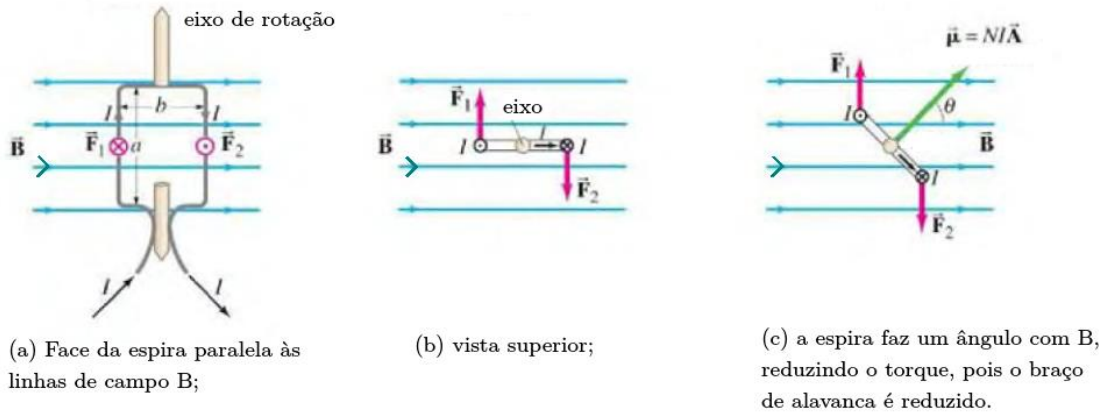
A equação (6) é frequentemente chamada de equação de Lorentz e é considerada uma das equações básicas da física do eletromagnetismo.

4.2.3 - Torque em uma espira de corrente e momento de dipolo magnético

Quando uma corrente elétrica flui em um circuito fechado de fio, uma espira, colocado em um campo magnético externo, como mostrado na Figura 13, a força magnética, $F =$

$qvB\sin\theta$, na espira produz um torque. Este é o princípio por trás de uma série de dispositivos práticos importantes, incluindo motores, voltímetros e amperímetros analógicos.

Figura 13: Torque em uma espira de corrente e momento de dipolo magnético.



Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

A corrente flui através da espira retangular na Figura 13 (a), cuja face assumimos ser paralela ao campo $\vec{B}$. O campo $\vec{B}$ não exerce força nem torque nos segmentos horizontais do fio porque eles são paralelos ao campo e $\sin\theta = 0$ na equação (1). Mas o campo magnético exerce uma força em cada uma das seções verticais do fio, $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$, veja a vista superior na Fig. 1 (b). Pela regra da mão direita, a direção da força na corrente ascendente à esquerda é na direção oposta da força de igual magnitude $\vec{F}_2$ na corrente descendente à direita. Essas forças dão origem a um torque líquido que atua para girar a bobina em torno de seu eixo vertical.

Vamos calcular a magnitude desse torque. Da equação (2), com a corrente perpendicular ao campo magnético, o módulo da força $F = IaB$, onde a é o comprimento do braço vertical da espira. O braço de alavanca para cada força é $b/2$, onde b é a largura da bobina e o "eixo" está no ponto médio. Os torques produzidos por $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ agem na mesma direção, então o torque total é a soma dos dois torques:

$$\tau = IaB \frac{b}{2} + IaB \frac{b}{2} = IabB = IAB,$$

onde $A = ab$ é a área da bobina. Se a bobina consiste em N voltas de fio, a corrente é então NI , então o torque se torna

$$\tau = NIAB.$$

Se a bobina fizer um ângulo θ com o campo magnético, como mostrado na Figura 13 (c), as forças não mudam, mas cada braço de alavanca é reduzido de $\frac{1}{2} b$ para $\frac{1}{2} b \sin \theta$. Observe que o ângulo θ é considerado o ângulo entre $\vec{B}$ e o vetor normal à face ou área da espira, conforme se observa na Figura 13 (c). Então o torque se torna

$$\tau = NIAB \sin \theta. \quad (7)$$

Esta fórmula, derivada aqui para uma bobina retangular, é válida para qualquer formato de bobina plana. A quantidade NIA é chamada de momento dipolar magnético da bobina e é considerada um vetor:

$$\vec{\mu} = NIA\vec{A}, \quad (8)$$

onde $\vec{A}$ é o vetor de área da espira e tem a mesma direção de $\vec{\mu}$, perpendicular ao plano da bobina. A seta verde na Figura 13 (c) indica o vetor momento de dipolo magnético. Consistentemente com a regra da mão direita e com a definição de $\vec{\mu}$, podemos reescrever a equação (7) em forma vetorial:

$$\vec{\tau} = NIA\vec{A} \times \vec{B}$$

ou

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B} \quad (9)$$

que fornece a magnitude e direção corretas para o torque $\vec{\tau}$.

Pode-se também calcular a energia potencial de uma espira com uma corrente I em um campo magnético através do cálculo de energia potencial da Mecânica,

$$U = \int \tau \, d\theta,$$

ou seja,

$$U = \int \mu B \sin \theta \, d\theta = -\mu B \cos \theta + C.$$

Se escolhermos $U = 0$ em $\theta = \pi/2$, então a constante C é zero e a energia potencial é

$$U = -\mu B \cos\theta = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}. \quad (10)$$

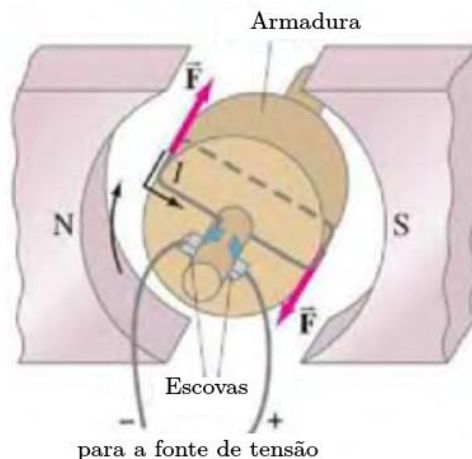
Ímãs de barra e agulhas de bússola, bem como espiras de corrente elétrica, podem ser considerados como dipolos magnéticos.

4.3 Aplicações: Motores, Galvanômetros, Alto-falantes

4.3.1 Motores elétricos

Um motor elétrico transforma energia elétrica em energia mecânica rotacional. Um motor funciona com base no princípio de que um torque é exercido sobre uma bobina de fio condutor de corrente suspensa no campo magnético de um ímã. A bobina é montada em um grande cilindro chamado rotor ou armadura, Figura 14, para que possa girar continuamente em uma direção. Na verdade, existem várias bobinas, embora apenas uma seja indicada na Figura 14. A armadura é montada em um eixo. Quando a armadura está na posição mostrada na Figura 14 o campo magnético exerce forças sobre a corrente na espira, conforme mostrado (perpendicular a $\vec{B}$ e à direção da corrente). No entanto, quando a bobina, que está girando no sentido horário na Figura 14, passa para além da posição vertical, as forças agiriam para retornar a bobina à vertical se a corrente permanecesse a mesma. Mas se a corrente pudesse de alguma forma ser revertida naquele momento crítico, as forças se inverteriam, e a bobina continuaria girando na mesma direção. Assim, a alternância da corrente é necessária se um motor deve girar continuamente em uma direção.

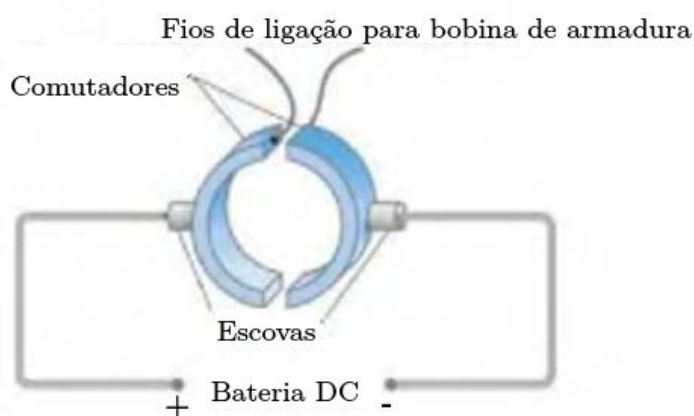
Figura 14: Motor elétrico



Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

Isso pode ser obtido em um motor DC com o uso de comutadores e escovas: como mostrado na Figura 15, a corrente de entrada passa por escovas estacionárias que esfregam contra os comutadores condutores montados no eixo do motor. A cada meia revolução, cada comutador muda sua conexão para a outra escova. Assim, a corrente na bobina inverte a cada meia revolução, conforme necessário para rotação contínua.

Figura 15: Comutador de um motor DC.



O arranjo comutador-escova em um motor DC garante a alternância da corrente na armadura para manter a rotação contínua.

Os comutadores são presos ao eixo do motor e giram com ele, enquanto as escovas permanecem estacionárias.

Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

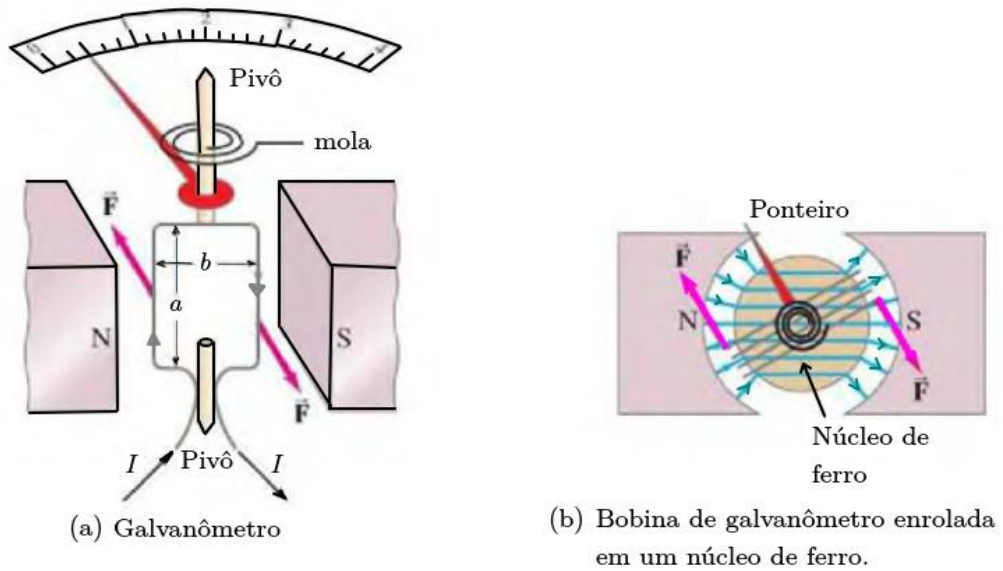
A maioria dos motores contém várias bobinas, chamadas enrolamentos, cada uma localizada em um lugar diferente na armadura. A corrente flui através de cada bobina apenas durante uma pequena parte de uma revolução, conforme sua orientação resulta no torque máximo. Dessa forma, um motor produz um torque muito mais estável do que pode ser obtido de uma única bobina.

Um motor CA, com corrente CA como entrada, pode funcionar sem comutadores, pois a própria corrente alterna. Muitos motores usam bobinas de fio para produzir o campo magnético (eletroímãs) em vez de um ímã permanente. De fato, o design da maioria dos motores é mais complexo do que o descrito aqui, mas os princípios gerais são esses.

4.3.2 Galvanômetro

O componente básico dos medidores analógicos (aqueles com ponteiro e mostrador), incluindo amperímetros analógicos, voltímetros e ohmímetros, é um galvanômetro conforme mostrado na Figura 16.

Figura 16: Galvanômetro.



Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

Um galvanômetro consiste em uma bobina de fio (com ponteiro conectado) suspensa no campo magnético de um ímã permanente. Quando a corrente flui através da espira, o campo magnético exerce um torque no laço, conforme dado pela equação (7), $\tau = NIAB \sin \theta$. Este torque é oposto por uma mola que exerce um torque τ_s aproximadamente proporcional ao ângulo φ através do qual é girada (lei de Hooke). Ou seja,

$$\tau_s = k\varphi,$$

onde k é a constante de rigidez da mola. A bobina e o ponteiro conectado giram para o ângulo onde os torques se equilibram. Quando a agulha está em equilíbrio em repouso, os torques são iguais:

$$k\varphi = NIAB \sin \theta, \text{ ou } \varphi = \frac{NIAB \sin \theta}{k}.$$

A deflexão do ponteiro, φ , é diretamente proporcional à corrente I fluindo na bobina, mas também depende do ângulo θ que a bobina faz com $\vec{B}$. Para um medidor útil, precisamos que φ

dependa apenas da corrente I , independente de θ . Para resolver esse problema, ímãs com peças polares curvas são usados e a bobina do galvanômetro é enrolada em torno de um núcleo de ferro cilíndrico, conforme mostrado na Figura 16 (b). O ferro tende a concentrar as linhas do campo magnético de modo que $\vec{B}$ sempre aponte paralelamente à face da bobina no fio fora do núcleo. A força é então sempre perpendicular à face da bobina, e o torque não variará com o ângulo. Assim, φ será proporcional a I , conforme requerido.

4.3.3 Alto-falantes

Um alto-falante também funciona com base no princípio de que um ímã exerce uma força sobre um fio condutor de corrente. A saída elétrica de um aparelho de som ou TV é conectada aos fios do alto-falante. Os fios do alto-falante são conectados internamente a uma bobina de fio, que é fixada ao cone do alto-falante. O cone do alto-falante é geralmente feito de papelão reforçado e é montado de forma que possa se mover para frente e para trás livremente. Um ímã permanente é montado diretamente em linha com a bobina de fio. Quando a corrente alternada de um sinal de áudio flui através da bobina de fio, que é livre para se mover dentro do ímã, a bobina experimenta uma força devido ao campo magnético do ímã. À medida que a corrente alterna na frequência do sinal de áudio, a bobina e o cone do alto-falante conectado se movem para frente e para trás na mesma frequência, causando compressões e rarefações alternadas do ar adjacente, e ondas sonoras são produzidas. Um alto-falante, portanto, transforma energia elétrica em energia sonora, e as frequências e intensidades das ondas sonoras emitidas podem ser uma reprodução precisa da entrada elétrica.

4.4 Geração de campos magnéticos por corrente

4.4.1 Campo magnético devido a um fio reto

Vimos que o campo magnético devido à corrente elétrica em um fio longo e reto é tal que as linhas de campo são círculos com o fio no centro (veja a Figura 5). Pode-se esperar que a intensidade do campo em um determinado ponto seja maior se a corrente fluindo no fio for maior; e que o campo seja menor em pontos mais distantes do fio. Este é realmente o caso. Experimentos cuidadosos mostram que o campo magnético $\vec{B}$ devido a um fio longo e reto em um ponto próximo a ele é diretamente proporcional à corrente I no fio e inversamente proporcional à distância r do fio:

$$B \propto \frac{I}{r}$$

A relação acima é válida enquanto r , a distância perpendicular ao fio, for muito menor que a distância até as extremidades do fio (ou seja, o fio é longo). A constante de proporcionalidade é escrita como $\mu_0/2\pi$; assim,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (11)$$

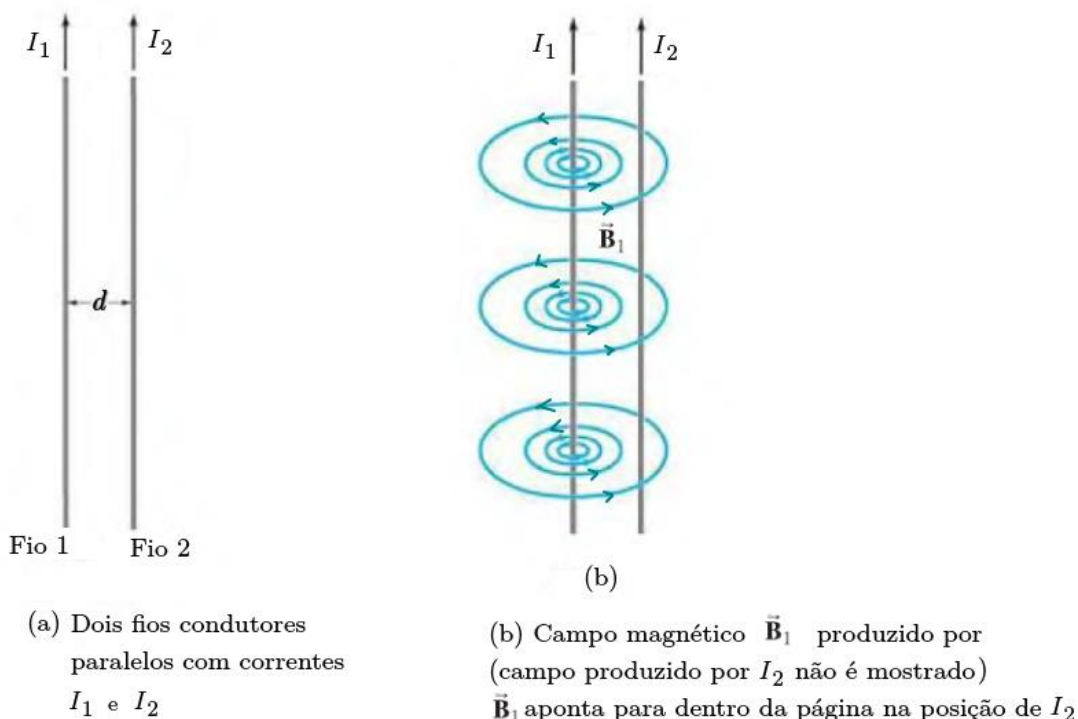
O valor da constante μ_0 , que é chamada de permeabilidade do espaço livre, com valor

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}.$$

4.4.2 - Força entre dois fios paralelos

Vimos que um fio que transporta uma corrente produz um campo magnético de magnitude dada pela equação (11) para um fio longo e reto. Como discutido anteriormente, um fio que transporta corrente sente uma força quando colocado em um campo magnético. Assim, esperamos que dois fios que transportam corrente exerçam uma força um sobre o outro. Sendo assim, considere dois fios longos paralelos separados por uma distância d , como na Figura 17 (a). Eles transportam correntes I_1 e I_2 , respectivamente.

Figura 17: Campo magnético produzido por dois fios paralelos.



Cada corrente produz um campo magnético que é "sentido" pelo outro, então cada um deve exercer uma força sobre o outro. Por exemplo, o campo magnético $\vec{B}_1$ produzido por I_1 na Figura 17 é dado pela equação (11), que na localização do fio 2 é

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}.$$

Veja a Figura 17 (b), onde o campo devido somente a corrente I_1 é mostrado. De acordo com a equação (2), a força F_2 exercida por $\vec{B}_1$ em um comprimento ℓ_2 do fio 2, transportando corrente I_2 , é

$$F_2 = I_2 B_1 \ell_2.$$

Note que a força em I_2 é devida somente ao campo produzido por I_1 . É claro, também que I_2 produz um campo, mas não exerce uma força sobre si mesmo. Substituímos $\vec{B}_1$ na fórmula para F_2 e descobrimos que a força em um comprimento ℓ_2 do fio 2 é

$$F_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} \ell_2. \quad (12)$$

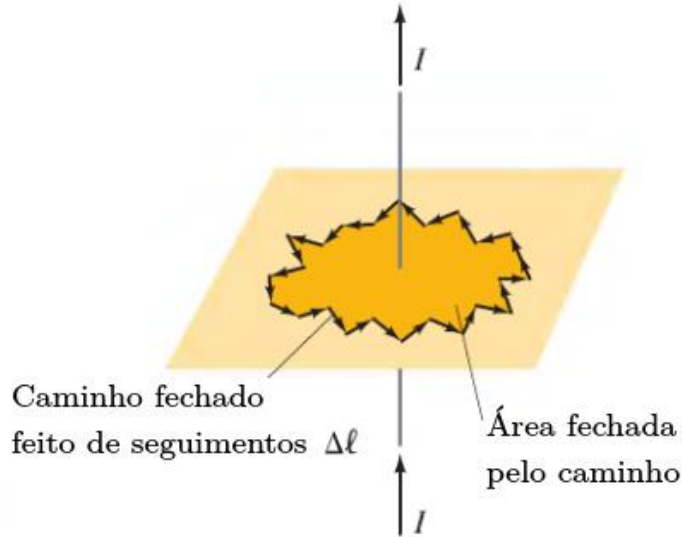
Se usarmos a regra da mão direita da Figura 5 (c), vemos que as linhas de $\vec{B}_1$ são como mostradas na Figura 17 (b). Então, usando a regra da mão direita da Figura 7 (c), vemos que a força exercida em I_2 será para a esquerda na Figura 17 (b). Ou seja, I_1 exerce uma força atrativa em I_2 . Isso é verdade enquanto as correntes estiverem na mesma direção. Se I_2 estiver na direção oposta, a regra da mão direita indica que a força está na direção oposta. Ou seja, I_1 exerce uma força repulsiva em I_2 . Um raciocínio semelhante ao acima mostra que o campo magnético produzido por I_2 exerce uma força igual, mas oposta, em I_1 . Isso está de acordo com a terceira lei de Newton. Assim, correntes paralelas na mesma direção se atraem uma à outra, enquanto correntes paralelas em direções opostas se repelem.

4.4.3 Lei de Ampère

Vimos que a equação (11) fornece a relação entre a corrente em um fio longo e reto e o campo magnético que ele produz. Esta equação é válida apenas para um fio longo e reto. Veremos agora que existe uma relação geral entre uma corrente em um fio de qualquer formato

e o campo magnético ao redor dele. O cientista francês Andre Marie Ampère (1775-1836) propôs tal relação logo após a descoberta de Oersted. Considere um caminho fechado arbitrário em torno de uma corrente, como mostrado na Figura 18, e imagine este caminho como sendo feito de segmentos curtos, cada um de comprimento $\Delta\ell$.

Figura 18: Caminho fechando uma corrente pela Lei de Ampère.



Caminho arbitrário fechando uma corrente, pela Lei de Ampère. O caminho é dividido em seguimentos de comprimentos $\Delta\ell$.

Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

Primeiro, pegamos o produto do comprimento de cada segmento vezes o componente de $\vec{B}$ paralelo a esse segmento (denominamos este componente de $B_{\parallel}$). Se agora somarmos todos esses termos, de acordo com Ampère, o resultado será igual μ_0 vezes a corrente líquida que passa pela superfície delimitada pelo caminho:

$$\sum B_{\parallel} \Delta\ell = \mu_0 I$$

Os comprimentos $\Delta\ell$ são escolhidos de modo que $B_{\parallel}$ seja essencialmente constante ao longo de cada comprimento. A soma deve ser feita sobre um caminho fechado; e I é a corrente líquida que passa pela superfície delimitada por este caminho fechado (laranja na Figura 18). No limite $\Delta\ell \rightarrow 0$, esta relação se torna

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I, \quad (13)$$

onde $d\vec{\ell}$ é um vetor de comprimento infinitesimal e o produto escalar assegura que o componente paralelo de $\vec{B}$ seja tomado. A equação (13) é conhecida como lei de Ampère. O integrando na equação (13) é tomado ao redor de um caminho fechado, e I é a corrente que passa pelo espaço fechado pelo caminho ou espira escolhida.

Para entender melhor a lei de Ampère, vamos aplicá-la ao caso simples de um único fio longo e reto carregando uma corrente I que já examinamos e que serviu de inspiração para o próprio Ampère. Suponha que queremos encontrar a magnitude de $\vec{B}$ em algum ponto P que está a uma distância r do fio. Sabemos que as linhas do campo magnético são círculos com o fio em seu centro. Então, para aplicar a equação (13), escolhemos como nosso caminho de integração um círculo de raio r . A escolha do caminho é nossa, então escolhemos um que seja conveniente: em qualquer ponto deste caminho circular, $\vec{B}$ será tangente ao círculo. Além disso, como todos os pontos no caminho estão à mesma distância do fio, por simetria esperamos que $\vec{B}$ tenha a mesma magnitude em cada ponto. Assim, para qualquer segmento curto do círculo, $\vec{B}$ será paralelo a esse segmento, de forma que $\mu_0 I = \oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = B \oint d\ell = B 2\pi r$, onde $\oint d\ell = 2\pi r$, é a circunferência do círculo. Nós solucionamos para o campo B e obtemos

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

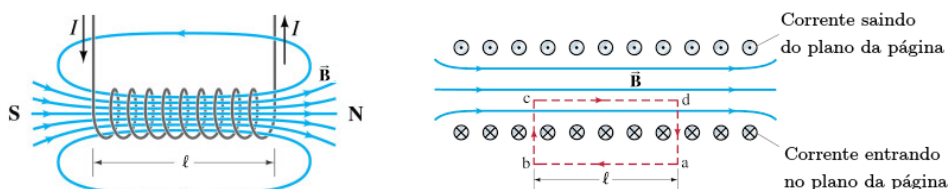
Esta é apenas a equação (11) para o campo próximo a um longo fio reto, conforme discutido anteriormente.

A lei de Ampère, portanto, funciona para este caso simples. Muitos experimentos indicam que a lei de Ampère é válida em geral. No entanto, assim como a lei de Gauss para o campo elétrico, seu valor prático como um meio de calcular o campo magnético é limitado principalmente a situações simples ou simétricas. Sua importância é que ela relaciona o campo magnético à corrente de forma direta e matematicamente elegante. A lei de Ampère é, portanto, considerada uma das leis básicas da eletricidade e do magnetismo. Ela é válida para qualquer situação em que as correntes e os campos são estáveis e não mudam no tempo, e nenhum material magnético está presente.

4.4.4 Campo magnético de um solenoide e um toroide

Uma longa bobina de fio, consistindo de muitas voltas, é chamada de solenoide. Cada espira produz um campo magnético, como mostrado na Figura 6. Na Figura 19 (a), vemos o campo devido a um solenoide.

Figura 19: Campo magnético devido a um solenoide.



(a) Campo magnético devido a um solenoide

(b) Vista transversal de um solenóide.

O campo magnético interno é reto, exceto nas extremidades. As linhas tracejadas vermelhas indicam o caminho escolhido para uso na lei de Ampère. $\odot$ e $\otimes$ são a direção da corrente elétrica nas espiras para fora da página e para dentro da página.

Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

Perto de cada fio, as linhas de campo são quase círculos, como para um fio reto, ou seja, em distâncias que são pequenas em comparação com a curvatura do fio. Entre quaisquer dois fios, os campos devidos a cada espira tendem a se cancelar. Em direção ao centro do solenoide, os campos se somam para dar um campo que pode ser bastante grande e bastante uniforme. Para um solenoide longo com bobinas compactadas, o campo é quase uniforme e paralelo ao eixo do solenoide dentro de toda a seção transversal. O campo fora do solenoide é muito pequeno em comparação com o campo dentro, exceto perto das extremidades. Observe que o mesmo número de linhas de campo concentradas dentro do solenoide se espalham pelo vasto espaço aberto externo.

Agora usamos a lei de Ampère para determinar o campo magnético dentro de um solenoide muito longo (idealmente, infinitamente longo) compactado. Escolhemos o caminho abcd mostrado na Figura 19 (b), longe de qualquer extremidade, para aplicar a lei de Ampère. Consideraremos esse caminho como composto de quatro segmentos, os lados do retângulo: ab , bc , cd e da . Então usando a lei de Ampère, o lado esquerdo da equação (13), torna-se

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \int_a^b \vec{B} \cdot d\vec{\ell} + \int_b^c \vec{B} \cdot d\vec{\ell} + \int_c^d \vec{B} \cdot d\vec{\ell} + \int_d^a \vec{B} \cdot d\vec{\ell}.$$

O campo fora do solenoide é tão pequeno que é desprezível comparado ao campo dentro. Assim, o primeiro termo nesta soma será zero. Além disso, $\vec{B}$ é perpendicular aos segmentos bc e da dentro do solenoide, e é aproximadamente zero entre e fora das bobinas, então esses termos também são zero. Portanto, reduzimos a integral somente ao segmento cd onde $\vec{B}$ é o campo quase uniforme dentro do solenoide e é paralelo a $d\vec{\ell}$, então

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \int_c^d \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = B\ell,$$

onde ℓ é o comprimento cd . Agora determinamos a corrente envolvida por este percurso para o lado direito da lei de Ampère, na equação (13). Se uma corrente I flui no fio do solenoide, a corrente total envolvida pelo nosso caminho $abcd$ é NI onde N é o número de espiras que nosso caminho circunda (cinco na Figura 19 (b)). Assim, a lei de Ampère nos dá

$$B\ell = \mu_0 NI.$$

Se fizermos $n = N/\ell$ ser o número de espiras por unidade de comprimento, então

$$B = \mu_0 nI. \quad (14)$$

Esta é a magnitude do campo magnético dentro de um solenoide. Observe que B depende apenas do número de espiras por unidade de comprimento, n , e da corrente I . O campo não depende da posição dentro do solenoide, então B é uniforme. Isto é estritamente verdadeiro apenas para um solenoide infinito, mas é uma boa aproximação para os reais para pontos não próximos das extremidades.

Uma análise mais detalhada da Figura 19 (a) mostra que o campo fora de um solenoide é muito parecido com o de um ímã de barra diagramado na Figura 1. De fato, um solenoide age como um ímã, com uma extremidade agindo como um polo norte e a outra como polo sul, dependendo da direção da corrente nas espiras. Como as linhas do campo magnético deixam o polo norte de um ímã, o polo norte do solenoide da Figura 19 está à direita.

Um **toroide** pode ser considerado um solenoide circular e o campo magnético gerado por uma corrente elétrica também é determinado utilizando a Lei de Ampère, que resulta em

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2\pi r},$$

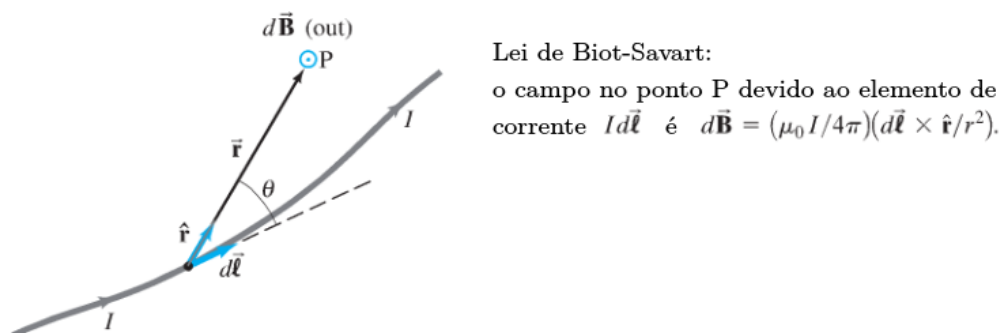
onde N é o número de espiras e r é o raio do toroide. O campo magnético B não é uniforme dentro do toroide: ele é maior ao longo da borda interna (onde r é o menor) e menor na borda externa. No entanto, se o toroide for grande, mas fino (de modo que a diferença entre os raios interno e externo seja pequena em comparação ao raio médio), o campo será essencialmente uniforme dentro do toroide.

4.4.5 Lei de Biot-Savart

A utilidade da lei de Ampère para determinar o campo magnético $\vec{B}$ devido a correntes elétricas particulares é restrita a situações em que a simetria das correntes dadas nos permite avaliar a integral de Ampère na equação (13) prontamente. Isso não invalida, é claro, a lei de Ampère nem reduz sua importância fundamental. Lembre-se do caso elétrico, em que a lei de Gauss é considerada fundamental, mas é limitada em seu uso prático para calcular o campo elétrico $\vec{E}$. Muitas vezes, precisamos determinar o campo elétrico $\vec{E}$ por outro método somando as contribuições devido a elementos de carga infinitesimais dq via lei de Coulomb. Um equivalente magnético para essa forma infinitesimal da lei de Coulomb seria útil para correntes que não têm grande simetria. Tal lei foi desenvolvida por Jean Baptiste Biot (1774-1862) e Felix Savart (1791-1841) logo após a descoberta de Oersted em 1820 de que uma corrente produz um campo magnético.

De acordo com Biot e Savart, uma corrente I fluindo em qualquer caminho pode ser considerada como muitos elementos de corrente minúsculos (infinitesimais), como no fio da Figura 20.

Figura 20: Lei de Biot-Savart.



Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

Se $d\vec{\ell}$ representa qualquer comprimento infinitesimal ao longo do qual a corrente está fluindo, então o campo magnético, $d\vec{B}$, em qualquer ponto P no espaço, devido a este elemento de corrente, é dado por

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2} \quad (15)$$

onde r é o vetor deslocamento do elemento $d\vec{\ell}$ para o ponto P , e $\hat{r} = \vec{r}/r$ é o vetor unitário na direção de $\vec{r}$ (ver Figura 20). A equação (15) é conhecida como lei de Biot-Savart. A magnitude de $d\vec{B}$ é

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\ell \sin\theta}{r^2}$$

onde θ é o ângulo entre $d\vec{\ell}$ e $\vec{r}$ (ver Figura 20). O campo magnético total no ponto P é então encontrado pela soma integral sobre todos os elementos de corrente:

$$\vec{B} = \int d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^2}$$

Observe que esta é uma soma vetorial. A lei de Biot-Savart é o equivalente magnético da lei de Coulomb em sua forma infinitesimal. E também como a lei de Coulomb, é uma lei do inverso do quadrado da distância r .

4.5 Materiais Magnéticos

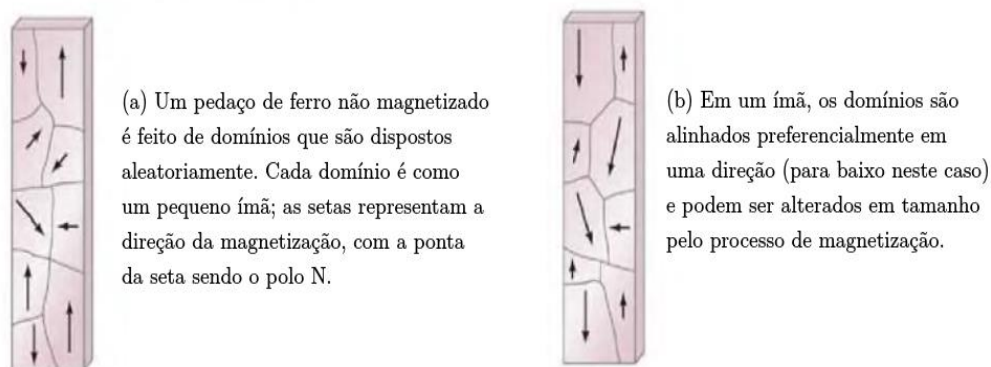
Materiais magnéticos dividem-se em diferentes famílias conforme sua resposta a um campo externo. Em destaque, os ferromagnéticos (entre eles ferro, níquel e cobalto) mantêm uma magnetização remanescente marcante mesmo após a remoção do campo, graças ao alinhamento cooperativo de seus domínios magnéticos. Já os paramagnéticos (como alumínio e oxigênio líquido) apresentam magnetização fraca, apenas enquanto o campo está presente, e nos diamagnéticos (por exemplo, cobre e prata) os momentos magnéticos atômicos tendem a se anular completamente.

4.5.1 Ferromagnetismo

Campos magnéticos podem ser produzidos (i) por materiais magnéticos (ímãs) e (ii) por correntes elétricas. Materiais magnéticos comuns incluem ímãs comuns, núcleos de ferro em motores e eletroímãs, fitas de gravação, discos rígidos de computador e tarjas magnéticas em cartões de crédito. Já dissemos que o ferro (e alguns outros materiais) podem ser transformados em ímãs fortes. Esses materiais são considerados ferromagnéticos.

O exame microscópico revela que um pedaço de ferro é composto de pequenas regiões conhecidas como domínios, com menos de 1 mm de comprimento ou largura. Cada domínio se comporta como um pequeno ímã com um polo norte e um polo sul. Em um pedaço de ferro não magnetizado, esses domínios são dispostos aleatoriamente, como mostrado na Figura 21 (a).

Figura 21: Torque em uma espira de corrente e momento de dipolo magnético.



Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

Os efeitos magnéticos dos domínios se cancelam, então esse pedaço de ferro não é um ímã. Em um ímã, os domínios são preferencialmente alinhados em uma direção, como mostrado na Figura 21(b) (para baixo neste caso). Um ímã pode ser feito de um pedaço de ferro não magnetizado, colocando-o em um forte campo magnético. A direção de magnetização dos domínios pode realmente girar ligeiramente para ficar mais próxima do paralelo ao campo externo, e as bordas dos domínios podem se mover para que os domínios com orientação magnética paralela ao campo externo cresçam.

Agora podemos explicar como um ímã pode pegar pedaços de ferro não magnetizados, como cliques de papel. O campo do polo sul do ímã (digamos) causa um leve realinhamento dos domínios no objeto não magnetizado, que então se torna um ímã temporário com seu polo norte voltado para o polo sul do ímã permanente; assim, surge uma força resultante de atração. Da

mesma forma, limalhas de ferro alongadas em um campo magnético adquirem domínios alinhados e se alinham para revelar a forma do campo magnético, conforme vimos na Figura 2.

Um ímã de ferro pode permanecer magnetizado por um longo tempo e é chamado de "ímã permanente". Mas se você deixar um ímã cair no chão ou bater nele com um martelo, você pode sacudir os domínios para a aleatoriedade e o ímã perde parte ou todo magnetismo. Aquecer um ímã permanente também pode causar perda de magnetismo, pois aumentar a temperatura aumenta o movimento térmico aleatório dos átomos, o que tende a randomizar os domínios. Acima de uma certa temperatura conhecida como temperatura de Curie (1043 K para ferro), um ímã não pode ser feito de forma alguma. Ferro, níquel, cobalto, gadolínio e certas ligas são ferromagnéticos à temperatura ambiente; vários outros elementos e ligas têm baixa temperatura de Curie e, portanto, são ferromagnéticos apenas em baixas temperaturas. A maioria dos outros metais, como alumínio e cobre, não mostra nenhum efeito magnético perceptível.

A semelhança impressionante entre os campos produzidos por um ímã de barra e por uma corrente elétrica em uma espira (Figura 1 e Figura 6) oferece uma pista de que a natureza do ferromagnetismo é produzida por correntes elétricas. De acordo com a teoria atômica moderna, os átomos podem ser visualizados como tendo elétrons que orbitam em torno de um núcleo central. Os elétrons são carregados e, portanto, constituem uma corrente elétrica e, portanto, produzem um campo magnético; mas os campos devido aos elétrons em órbita geralmente se cancelam. São os próprios elétrons que possuem um campo magnético intrínseco devido ao spin que produzem o ferromagnetismo na maioria dos materiais ferromagnéticos.

4.5.2 Campos Magnéticos em Materiais Magnéticos e Histerese

O campo de um solenoide longo é diretamente proporcional à corrente. De fato, a equação (14) nos diz que o campo $\vec{B}_0$ dentro de um solenoide é dado por

$$B_0 = \mu_0 nI.$$

Isso é válido se houver apenas ar dentro da bobina. Se colocarmos um pedaço de ferro ou outro material ferromagnético dentro do solenoide, o campo será bastante aumentado, frequentemente centenas ou milhares de vezes. Isso ocorre porque os domínios no ferro se tornam preferencialmente alinhados pelo campo externo. O campo magnético resultante é a soma daquele devido à corrente e daquele devido ao ferro. Às vezes é conveniente escrever o campo total neste caso como uma soma de dois termos:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_M.$$

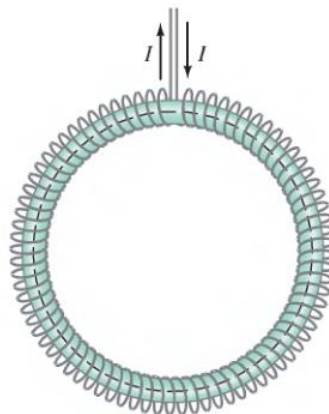
Aqui, $\vec{B}_0$ se refere ao campo devido apenas à corrente no fio (o "campo externo"). É o campo que estaria presente na ausência de um material ferromagnético. Então $\vec{B}_M$ representa o campo adicional devido ao próprio material ferromagnético; frequentemente $|\vec{B}_M| \gg |\vec{B}_0|$. O campo total dentro de um solenoide em tal caso também pode ser escrito substituindo a constante μ_0 na equação (14) por outra constante, μ , característica do material dentro da bobina:

$$B_0 = \mu n I.$$

Onde, μ é chamada de permeabilidade magnética do material. Para materiais ferromagnéticos, μ é muito maior que μ_0 . Para todos os outros materiais, seu valor é muito próximo de μ_0 . O valor de μ , no entanto, não é constante para materiais ferromagnéticos; ele depende do valor do campo externo $\vec{B}_0$, como mostra o experimento descrito a seguir.

Medições em materiais magnéticos são geralmente feitas usando um toroide, conforme visto na figura abaixo, de modo que praticamente todas as linhas de $\vec{B}$ permanecem dentro do toroide, Figura 22. Suponha que o toroide tenha um núcleo de ferro que é inicialmente não magnetizado e não há corrente nos enrolamentos do toroide. Então a corrente I é lentamente aumentada, e $\vec{B}_0$ aumenta linearmente com I .

Figura 22: Toroide com núcleo de ferro.



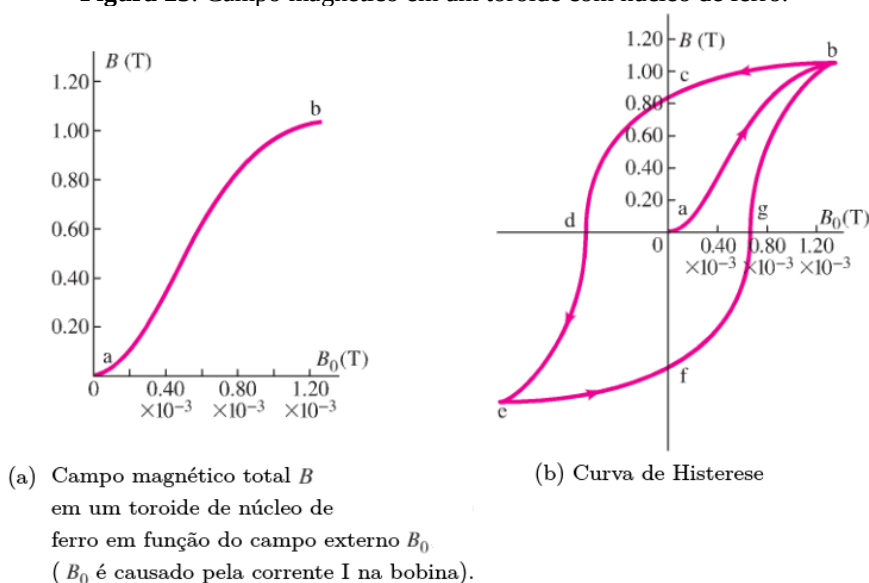
Toroide com núcleo de ferro

Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

O campo total $\vec{B}$ também aumenta, mas segue a linha curva mostrada no gráfico da Figura 23 (a) (Observe as diferentes escalas: $B \gg B_0$). Inicialmente, no ponto a , os domínios

são orientados aleatoriamente. À medida que B_0 aumenta, os domínios se tornam mais e mais alinhados até que no ponto b , quase todos estão alinhados. Diz-se que o ferro está se aproximando da saturação. O ponto b é tipicamente 70% da saturação total. (Se B_0 for aumentado ainda mais, a curva continua a subir muito lentamente e atinge 98% de saturação; os últimos domínios são muito difíceis de alinhar.) Em seguida, suponha que o campo externo B_0 seja reduzido pela diminuição da corrente nas bobinas toroides. À medida que a corrente é reduzida a zero, mostrada como ponto c na Figura 23 (b), os domínios não se tornam completamente aleatórios. Algum magnetismo permanente permanece. Se a corrente for então invertida na direção, domínios suficientes podem ser invertidos para que se tenha $B = 0$ (ponto d). À medida que a corrente reversa é aumentada ainda mais, o ferro se aproxima da saturação na direção oposta (ponto e). Finalmente, se a corrente for novamente reduzida a zero e então aumentada na direção original, o campo total segue o caminho $efgb$, novamente se aproximando da saturação no ponto b .

Figura 23: Campo magnético em um toroide com núcleo de ferro.



Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

Observe que o campo não passou pela origem (ponto a) neste ciclo. O fato de as curvas não se retrarem no mesmo caminho é chamado de **histerese**. A curva $bcdefgb$ é chamada de curva de histerese. Em tal ciclo, muita energia é transformada em energia térmica (atrito) devido ao realinhamento dos domínios.

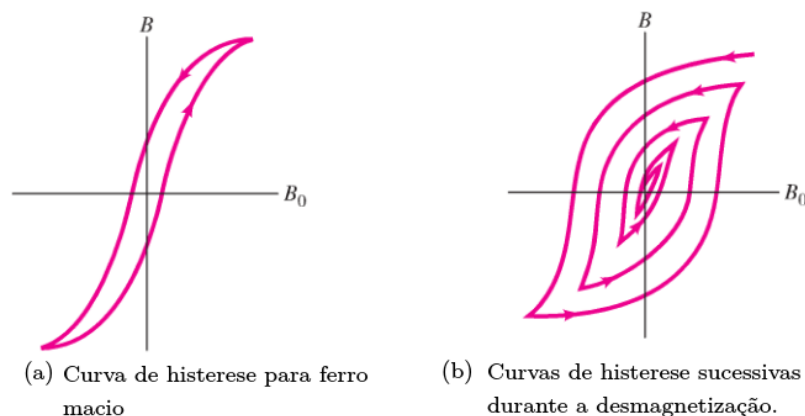
Nos pontos c e f , o núcleo de ferro é magnetizado mesmo que não haja corrente nas bobinas. Esses pontos correspondem a um ímã permanente. Para um ímã permanente, é

desejado que ac e af sejam tão grandes quanto possível. Materiais para os quais isso é verdade são ditos como tendo alta retentividade.

Materiais com uma curva de histerese ampla como na Figura 23 (b) são ditos magneticamente "duros" e fazem bons ímãs permanentes. Por outro lado, uma curva de histerese como a da Figura 24 (a) ocorre para ferro "macio", que é preferido para eletroímãs e transformadores já que o campo pode ser mais prontamente desligado, e o campo pode ser revertido com menos perda de energia.

Um material ferromagnético pode ser desmagnetizado. Isso pode ser feito revertendo a corrente magnetizante repetidamente enquanto diminui sua magnitude. Isso resulta na curva da Figura 24 (b). As cabeças de um gravador de fita são desmagnetizadas dessa forma. O campo magnético alternado que atua nas cabeças devido a um desmagnetizador portátil é forte quando o desmagnetizador é colocado perto das cabeças e diminui à medida que é movido lentamente para longe. As próprias fitas de vídeo e áudio podem ser apagadas e danificadas por um campo magnético, assim como discos rígidos de computador, outros dispositivos de armazenamento magnético e as tarjas magnéticas em cartões de crédito.

Figura 24: Curvas de histerese



Fonte: Mundo Educação, adaptado (n.d.)

4.5.3 Paramagnetismo e Diamagnetismo

Todos os materiais são magnéticos, pelo menos em uma extensão minúscula. Materiais não ferromagnéticos se dividem em duas classes principais: paramagnéticos, nos quais a permeabilidade magnética μ é muito ligeiramente maior que μ_0 ; e diamagnéticos, nos quais μ é muito ligeiramente menor que μ_0 . A razão de μ para μ_0 para qualquer material é chamada de permeabilidade relativa K_m :

$$K_m = \frac{\mu}{\mu_0}.$$

Outro parâmetro útil é a suscetibilidade magnética χ_m definida como

$$\chi_m = K_m - 1$$

Materiais paramagnéticos têm $K_m > 1$ e , $\chi_m > 0$ enquanto substâncias diamagnéticas têm $K_m < 1$ e $\chi_m < 0$. Veja a Tabela 1 e observe quão pequeno é o efeito.

Tabela 2: Paramagnetismo e diamagnetismo: Suscetibilidades Magnéticas.

Material Paramagnético	K_m	Material Diamagnético	χ_m
Platina	$+2,57 \times 10^{-4}$	Nitrogênio	$-6,80 \times 10^{-9}$
Tungstênio	$+8,84 \times 10^{-5}$	Silício	$-3,73 \times 10^{-6}$
Magnésio	$+1,20 \times 10^{-5}$	Ouro	$-3,44 \times 10^{-5}$
Alumínio	$+2,11 \times 10^{-5}$	Cobre	$-9,63 \times 10^{-6}$
Cálcio	$+2,14 \times 10^{-5}$	Diamante	$-1,40 \times 10^{-5}$
Oxigênio	$+1,91 \times 10^{-6}$	Chumbo	$-1,70 \times 10^{-5}$

Fonte: HYPERPHYSICS (2025)

A diferença entre materiais paramagnéticos e diamagnéticos pode ser entendida teoricamente no nível molecular com base em se as moléculas têm ou não um momento dipolar magnético permanente. Um tipo de paramagnetismo ocorre em materiais cujas moléculas (ou íons) têm um momento dipolar magnético permanente. Na ausência de um campo externo, as moléculas são orientadas aleatoriamente e nenhum efeito magnético é observado. No entanto, quando um campo magnético externo é aplicado, digamos, colocando o material em um solenoide, o campo aplicado exerce um torque nos dipolos magnéticos, tendendo a alinhá-los paralelamente ao campo. O campo magnético total, externo mais aquele devido aos dipolos magnéticos alinhados, será ligeiramente maior que B_0 . No entanto, o movimento térmico das moléculas reduz o alinhamento. Uma quantidade útil é o vetor de magnetização, $\vec{M}$, definido como o momento dipolar magnético por unidade de volume,

$$\vec{M} = \frac{\vec{\mu}}{V}$$

onde $\vec{\mu}$ é o momento dipolar magnético da amostra e V seu volume. É descoberto experimentalmente que $\vec{M}$ é diretamente proporcional ao campo magnético externo (tendendo a alinhar os dipolos) e inversamente proporcional à temperatura T em kelvins (tendendo a randomizar as direções dos dipolos). Isso é chamado de lei de Curie, em homenagem a Pierre Curie (1859-1906), que primeiro a observou:

$$|\vec{M}| = C \frac{B}{T}$$

onde C é uma constante. Se a razão B/T for muito grande (B muito grande ou T muito pequeno), a lei de Curie não é mais precisa; conforme B é aumentado (ou T diminuído), a magnetização se aproxima de algum valor máximo, M_{max} . Isso faz sentido, é claro, já que M_{max} corresponde ao alinhamento completo de todos os dipolos magnéticos permanentes. No entanto, mesmo para campos magnéticos muito grandes, $B \approx 2,0T$, desvios da lei de Curie são normalmente notados apenas em temperaturas muito baixas, na ordem de alguns kelvins.

Materiais ferromagnéticos, perdem as características ferromagnéticas acima de uma temperatura característica chamada temperatura de Curie (1.043 K para ferro). Acima dessa temperatura de Curie, eles geralmente são paramagnéticos.

Materiais diamagnéticos (para os quais μ é ligeiramente menor que μ_0) são compostos de moléculas que não têm momento dipolar magnético permanente. Quando um campo magnético externo é aplicado, dipolos magnéticos são induzidos, mas o momento dipolar magnético induzido está na direção oposta à do campo. Portanto, o campo total será ligeiramente menor que o campo externo. O efeito do campo externo, no modelo clássico de elétrons orbitando núcleos, é aumentar a velocidade "orbital" dos elétrons girando em uma direção e diminuir a velocidade dos elétrons girando na outra direção; o resultado líquido é um momento dipolar líquido oposto ao campo externo. O diamagnetismo está presente em todos os materiais, mas é mais fraco até que o paramagnetismo e, portanto, é dominado por efeitos paramagnéticos e ferromagnéticos em materiais que exibem essas outras formas de magnetismo.

5 METODOLOGIA E RELATO DE APLICAÇÃO

As estratégias que foram utilizadas nesse trabalho e em seu produto educacional resultante tiveram o objetivo de proporcionar ao estudante, a oportunidade de reconhecer fenômenos e aplicações da física no seu dia. O produto educacional foi desenvolvido e aplicado como uma proposta de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). Esse produto educacional está alicerçado nas Diretrizes Nacionais do Ensino Médio (DCNEMs), as quais afirmam que *“é possível generalizar a contextualização como recurso para tornar a aprendizagem significativa ao associá-la com experiências da vida cotidiana ou com os conhecimentos adquiridos espontaneamente”* (Brasil, 1999, p. 94).

Para construção, implementação e desenvolvimento da Sequência de Aprendizagem foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre tópicos de magnetismo para o ensino médio, UEPS, experimentos de baixo custo usados no ensino de física em diversos periódicos nacionais, principalmente no banco de teses e dissertações da CAPES, Sociedade Brasileira de Ensino de Física e Mestrado Profissional em Ensino de Física. Durante a revisão bibliográfica busquei utilizar a metodologia de pesquisa qualitativa e exploratória, desenvolvendo uma sequência didática para construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa que pudesse ser útil aos professores que trabalham com o ensino de magnetismo no Ensino Médio. Para a aplicação da sequência didática, foram necessários 4 encontros com o total de 4 aulas de 90 minutos cada. Além de um encontro anterior para aplicação do primeiro pré-teste. Os encontros foram realizados no Centro de Ensino em Período Integral José Rêzio, em uma turma de 30 alunos da terceira série do Ensino Médio.

Na sequência de aprendizagem a ser aplicada, os alunos necessitam de um contato prévio com o tema de magnetismo, mesmo que superficial, para que seja possível trabalhar conceitos presentes no dispositivo gerador e receptor; para tal, a implementação da sequência deverá ter início após os alunos estudarem os conteúdos e conceitos de corrente elétrica e circuito elétrico, contribuindo para o desenvolvimento dos subsunçores e no fator motivador, imprescindíveis no desenvolvimento da UEPS.

Antes de iniciar a aplicação da sequência didática, foi aplicado o pré-teste, para identificar os conhecimentos prévios dos alunos e proporcionar um melhor desenvolvimento da sequência didática. O pré-teste ocorreu em duas etapas em momentos distintos, a primeira etapa do pré-teste envolve uma questão discursiva e quatro questões objetivas, antecedendo em uma semana o início da aplicação do produto Educacional. Esse primeiro teste busca identificar conhecimentos prévios existentes na estrutura cognitiva dos alunos a respeito de bússolas,

campo magnético e mesmo de ímãs, ao mesmo tempo serve de motivador para o que o aluno procure pensar sobre o funcionamento de uma bússola e tenha interesse em observar e manipular qualquer tipo de ímã (desde o que possui na geladeira de sua casa ou até mesmo o existente em um alto falante). Cada pergunta desse teste, busca identificar conhecimentos pré-existentes, e servem como ponto de partida para a aplicação do produto educacional. A aplicação do segundo pré-teste ocorreu no início do primeiro encontro de aplicação o produto educacional com o intuito de instigar os alunos a participarem de forma mais crítica em questionamentos durante a aplicação do produto. Esse teste tem um nível de complexidade maior que o primeiro e as perguntas são, em geral, discursivas. Os alunos aqui tiveram a oportunidade de expressar seus pensamentos e indagações sobre magnetismos e eletromagnetismo.

Todas os encontros foram iniciados com perguntas e vídeos motivacionais, que serviram para estimular o raciocínio dos alunos sobre o propósito e contexto envolvido em cada uma das aulas. Ao final de cada encontro realizamos discussões para responder as perguntas iniciais, onde os alunos expressaram suas respostas e eu como professor explicava e corrigia adequadamente.

5.1 Contexto Escolar

Este trabalho foi iniciado no contexto do isolamento social durante a pandemia da COVID 19, quando elaborei sua primeira versão, que foi adaptada ao contexto de ensino remoto. Porém, por motivos de ordem pessoal, não foi possível concluí-lo nesse período, sendo retomado no ano de 2023, já com uma proposta presencial, mesclando elementos do que foi trabalhado inicialmente com o contexto de sala de aula.

A aplicação dessa sequência didática só foi possível porque o governo do Estado de Goiás disponibiliza Chromebooks para estudantes das séries finais: 9º Ano do Ensino Fundamental e 3ª Série do Ensino Médio. Os Chromebooks foram essenciais para aplicação do produto que foi disponibilizado em uma pasta do *google drive*, em formato PDF, separado por aula, contendo os links para as simulações, formulários de resposta e vídeos de apoio.

A aplicação do produto educacional ocorreu no ano de 2024, no Centro de Ensino de Período Integral José Rêzio, na cidade de Goianápolis – Goiás, para uma turma de 30 alunos da terceira série do ensino médio durante o 4º Bimestre (outubro/novembro) do ano letivo corrente. A turma escolhida não tinha aula de Física desde o mês de junho, quando o contrato do professor anterior foi encerrado. Depois de 3 meses sem aula, como novo professor, encontrei uma

oportunidade para validar o produto educacional, já testado parcialmente em outros contextos. Nessa escola encontrei alunos que estavam na reta final de preparação para o Enem e outros que apenas queriam finalizar o seu ano letivo. A utilização do produto nesse cenário foi importante para a participação de todos os alunos, independentemente do nível de conhecimento deles. Considerei a aplicação do produto nessa situação positiva. Irei relatar posteriormente, os resultados obtidos na aplicação desse produto.

5.2 Os Experimentos e Simulações utilizados na UEPS

Os experimentos utilizados na sequência didática são baseados no projeto experimentos de física com materiais do dia a dia da Universidade Estadual Paulista - Unesp – que tem por objetivo proporcionar aos professores do Ensino Médio e Fundamental uma coleção completa de experimentos muito simples para usar em sala de aula e de se obter os materiais necessários. Nesse produto adaptei e modifiquei os experimentos para se adequarem ao contexto da UEPS. As simulações utilizadas no produto foram retiradas do projeto PhET Interactive Simulations da Universidade do Colorado em Boulder que cria simulações interativas gratuitas de Matemática, Física, Química e Biologia. As simulações PhET são baseadas em extensa pesquisa educacional e envolvem os alunos por meio de um ambiente intuitivo, semelhante a um jogo. No contexto da UEPS as simulações e os experimentos de Física são didaticamente equivalentes e complementares. No entanto, é importante reconhecer que, embora ambas as estratégias contribuam para a compreensão dos conceitos físicos, apresentam naturezas distintas. Os experimentos reais permitem a observação direta de fenômenos, o contato com a imprevisibilidade do ambiente e o desenvolvimento de habilidades manuais. Já as simulações, por sua vez, oferecem um ambiente controlado e livre de interferências externas, facilitando a visualização de variáveis específicas e a repetição de situações que, na prática, seriam inviáveis. Assim, a combinação dessas abordagens potencializa o processo de aprendizagem ao unir as vantagens do concreto e do virtual.

5.3 As Atividades realizadas na aplicação do Produto Educacional

Mapeamento do campo magnético – vídeo - esse vídeo é uma demonstração do experimento de Mapeamento do Campo Magnético retirado do Projeto Experimentos de Física com Materiais do Dia-a-Dia da UNESP/Bauru, o objetivo principal do experimento é mostrar as configurações e propriedades dos campos magnéticos. A explicação do vídeo simplificada

está disponível no Roteiro experimental sobre o campo magnético que estará disponível na íntegra como anexo I.

Simulador do campo magnético – o simulador está disponível do sítio PHET: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/magnet-and-compass>. Nesse simulador o aluno interage com a bússola reagindo ao campo magnético externo de um ímã em barra.

5.4 Sequência Didática

A sequência didática apresentada a seguir foi desenvolvida com base na abordagem da Aprendizagem Significativa, visando tornar os conceitos de eletromagnetismo mais acessíveis e contextualizados para os alunos do 3º ano do Ensino Médio. Cada aula foi planejada de forma a articular teoria e prática por meio do uso de questionamentos iniciais, leitura de materiais de apoio, vídeos demonstrativos, simuladores interativos e experimentos realizados em sala de aula. Ao longo das quatro aulas que compõem a sequência, os alunos foram progressivamente expostos a situações-problema que os incentivaram a formular hipóteses, testar suas ideias, analisar fenômenos e construir novos significados a partir de suas experiências. A seguir, são descritas em detalhes as atividades realizadas em cada aula, bem como os objetivos específicos, estratégias utilizadas e os resultados observados.

5.4.1 Aula 1

A primeira aula da sequência didática teve por objetivo apresentar o campo magnético aos alunos na forma de atividades práticas, vídeos e simulações. No início dessa aula, após cumprimentar os alunos, enquanto faço o registro no quando da data e disciplina; a pergunta inicial é colocada no quadro: Por que a bússola aponta para o norte? Mesmo os alunos que nunca ouviram falar em bússola, tiveram contato com a expressão e uma breve explicação de sua principal característica (sempre apontar para o norte) durante a aplicação do pré-teste na pergunta inicial, que citava o aparelho bússola e dizia que ele era utilizado para navegação e orientação. A pergunta inicial não precisa ser respondida de imediato. Ela faz o aluno pensar, mesmo que não saiba a resposta e, durante a aula, ele é motivado a encontrá-la e finalizar a aula com suas dúvidas esclarecidas.

Ao finalizar a organização da sala e chamada, é lida, então, a pergunta inicial. Após, foi solicitado a um aluno que começasse a leitura do material de apoio que explica que esse aparelho é utilizado na orientação geográfica e aponta para o norte geográfico da terra. Ainda durante a leitura do material de apoio, são sugeridas perguntas como: Você já parou para pensar

sobre esse fenômeno? O que existe no Norte do nosso Planeta com a capacidade de orientar todas as bússolas em uma mesma direção?

Depois disso, o texto segue falando sobre um “acidente” (Experimento de Oersted). Com o intuito de entender melhor o que aconteceu, é apresentado o conceito de campo magnético por intermédio de um vídeo de um experimento previamente realizado, disponível na plataforma *YouTube* (<https://www.youtube.com/watch?v=5QRD9yCG31o>). Esse vídeo é uma demonstração do experimento de Mapeamento do Campo Magnético retirado do Projeto Experimentos de Física com Materiais do Dia-a-Dia da UNESP/Bauru. O objetivo principal do experimento é mostrar as configurações e propriedades dos campos magnéticos.

Após a exibição do vídeo de mapeamento do campo magnético, foi ressaltado que a limalha de ferro, por ser material ferromagnético, alinhou seus dipolos ao redor do ímã e “desenhou” as linhas de campo mesmo através de materiais finos como papel, plástico ou madeira. Nesse momento, com a sala já organizada e a atenção dos estudantes voltada para o experimento virtual, destaquei que a agulha da bússola funciona como um pequeno ímã livremente apoiado, alinhando-se às linhas de campo.

Em seguida, conduzi a primeira atividade prática com o simulador PHET “Magnet and Compass”: orientei os alunos a acessarem o simulador (para aqueles com computador disponível) e marquei as opções “Mostrar Planeta Terra” e “Mostrar Campo”; quando alguns estudantes não possuíam acesso individual, compartilhei minha tela, navegando passo a passo pelo ambiente virtual, de modo que todos pudessem acompanhar cada interação com o ímã e a bússola. Ao movimentar a bússola ao redor do ímã, os alunos notaram que a agulha seguia as linhas de campo, e, ao ativar a exibição do “Planeta Terra”, perceberam que a Terra se comporta como um imenso ímã, exibindo linhas de campo semelhantes às do ímã virtual.

A seguir, propus perguntas para orientar a investigação: “Um ímã precisa tocar outro material para exercer força? Por que sim ou por que não?”; “O que acontece quando os polos iguais de dois ímãs se aproximam cada vez mais?”; e “Você espera que os campos magnéticos sejam mais fortes perto do ímã ou mais longe? Por quê?”. Durante essa etapa, alguns alunos abriram discussões espontâneas, percebendo que a força magnética age à distância e que a intensidade de um campo diminui conforme aumentamos a distância da fonte. Aproveitei, como conclusão da aula, para destacar a analogia com o campo elétrico, lembrando que, assim como cargas elétricas, os dipolos magnéticos também exercem influência a distância.

Na segunda parte da aula dupla, convidei-os a assistir ao terceiro vídeo (<https://www.youtube.com/watch?v=n3CK163Yg6A>), que mostrava na prática o desvio da agulha de uma bússola quando aproximada de um circuito elétrico em funcionamento. Antes

de iniciar, pedi que anotassem suas expectativas sobre o que ocorreria ao ligar o circuito, estimulando-os a formular hipóteses. Durante a exibição, todos observaram como, ao energizar o fio, surgia um campo magnético claro o suficiente para defletir a agulha em diferentes direções, dependendo da posição do circuito.

Logo após o vídeo, organizei-os em duplas e trios para reproduzir o experimento concretamente: cada grupo recebeu um fio condutor, uma pilha e uma bússola pequena. Enquanto orientava, expliquei passo a passo como aproximar a bússola do fio e ligar o circuito, de modo que pudessem sentir, com as próprias mãos, e visualizar o desvio da agulha. Essa etapa prática auxiliou imensamente quando passaram a resolver o formulário, pois, ao perceberem o desvio ao vivo, compreendiam com mais clareza as questões propostas.

As perguntas do formulário incluíam: “Qual a função de uma bússola? Como você imagina que ela é construída?”; “O que acontece quando aproximamos a bússola do circuito apresentado no vídeo?”; “Isso aconteceria com qualquer circuito? Explique.”; “O que ocorre se invertermos a posição da pilha que alimenta o circuito?”; e “Por que a interação acontece apenas quando o circuito está ligado ou desligado?”.

Enquanto cada dupla ou trio testava o experimento manualmente, caminhei entre eles reforçando que a agulha era, na verdade, um pequeno ímã livremente apoiado, que só se deslocava mediante a presença de um campo magnético gerado pela corrente, e que inverter a pilha invertia também o sentido dessa corrente, fazendo a bússola desviar em direção oposta.

Quando percebi que todos haviam assimilado essas observações práticas, exibi na televisão o trecho do texto de apoio que introduzia a regra da mão direita e a convenção do eletromagnetismo. O campo magnético ao redor do fio forma linhas circulares concêntricas que saem do polo Norte e entram no polo Sul; para descobrir a orientação desse campo, utilizamos a regra da mão direita, basta apontar o polegar na direção da corrente (do polo positivo para o negativo da pilha) e observar em que direção seus quatro dedos se fecham para visualizar o sentido das linhas de campo.” Pedi que cada grupo, novamente na prática, posicionasse o polegar no sentido da corrente em seus próprios experimentos de fio e bússola, confirmando que as deflexões observadas correspondiam ao sentido indicado pelos demais dedos. Assim, consolidamos a relação entre teoria (regra da mão direita) e prática (desvio real da agulha).

Em seguida, cada grupo discutiu e anotou no formulário suas conclusões: que somente correntes elétricas em um circuito geram campos capazes de interferir na bússola, que esse desvio aconteceria em qualquer circuito em que a corrente fosse significativa, e que inverter a pilha de fato inverte o sentido do campo, resultando em deflexão oposta. Concluída a discussão em pequenos grupos, retomei as principais conclusões no quadro de forma sintética:

- A bússola indica a direção do campo magnético terrestre, mas também funciona como detector de quaisquer campos magnéticos locais.
- Um fio condutor energizado torna-se fonte de um campo circular cujo sentido é determinado pela regra da mão direita.
- Inverter a posição da pilha inverte a direção da corrente e, conseqüentemente, do campo magnético.

Para fechar essa segunda parte da aula dupla, pedi que cada aluno revisse a pergunta inicial “Por que a bússola aponta para o Norte?” e registrasse uma resposta mais completa, relacionando campo magnético terrestre, funcionamento da bússola, a regra da mão direita e o conceito de eletromagnetismo explorado nos vídeos e experimentos.

Alguns alunos mencionaram a diferença entre Norte geográfico e Norte magnético, enquanto outros compararam o comportamento da agulha no experimento de Oersted ao afastamento ou aproximação de um fio energizado. Finalmente, destaquei que, se quisessem, poderiam reproduzir o experimento com limalha e ímãs em casa ou em uma próxima aula, seguindo o Roteiro Experimental sobre o Campo Magnético (Anexo I), e sugeri a leitura do Tópico IV do artigo “Uma proposta para ensinar os conceitos de campo elétrico e magnético” (Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 24, nº 4, 2012) para aprofundar a fundamentação histórica e conceitual dos campos elétrico e magnético.

Dessa forma, encerramos a primeira aula da sequência didática (que ocupou uma hora e meia), conectando teoria, prática e história e deixando os alunos motivados para explorar mais o mundo do eletromagnetismo.

5.4.2 Aula 2

A segunda aula teve por objetivo apresentar aos alunos o conceito de eletroímã, conectando-o ao que se viu na aula anterior sobre o experimento de Oersted. No início dessa aula, após cumprimentar os alunos, enquanto faço o registro no quadro da data e disciplina, a pergunta inicial é colocada no quadro: Podemos ligar ou desligar um ímã? Essa pergunta retoma, de forma análoga à aula anterior, o vínculo entre eletricidade e magnetismo. Espera-se que apareça das discussões as ideias de que um ímã permanente não pode ser “desligado”, mas que, pela aula anterior, os alunos já sabem que a corrente elétrica gera campo magnético.

Ao finalizar a organização da sala e chamada, é lida, então, a pergunta inicial e foi solicitado a um aluno que começasse a leitura do material de apoio, que se inicia com os seguintes questionamentos: Você já viu aqueles ímãs gigantesos presos em guindastes? Como

que os ímãs que seguram esses materiais em determinado momento e os largam em outro? Depois disso, o material de apoio sugere retomar a aula anterior, onde a corrente elétrica e o campo magnético estão relacionados.

Aprendemos que quando a corrente elétrica flui por um fio, ela gera um campo magnético ao seu redor. Partindo desse princípio, imagine se o fio estiver em uma forma circular, como um espiral (solenóide), poderemos ter um campo magnético constante formado no interior desses fios. Se colocarmos um objeto metálico no interior desse solenóide percorrido por uma corrente elétrica, ele passará a se comportar como um ímã. Para ilustrar essa situação hipotética utilizei um vídeo demonstrativo sobre a construção de um eletroímã (<https://www.youtube.com/watch?v=7L5yzwWCdlM>). Esse experimento é baseado no material do Projeto Experimentos de Física com Materiais do Dia-a-Dia da UNESP/Bauru.

Após a exibição do vídeo de como construir um eletroímã com pregos e fios, fiz os seguintes questionamentos: Sabendo que uma corrente elétrica cria um campo magnético, é possível utilizar essa propriedade na construção de um ímã? Se for possível, descreva como o grupo cumpriria tal tarefa. Por que é necessário inserir um prego no interior do solenóide? O que é um material ferromagnético? O número de voltas influencia na potência do eletroímã? Colocando duas pilhas associadas em série obtemos a voltagem de 3V, se usarmos essa associação no lugar da pilha de 1,5V o eletroímã ficará mais forte?

Em sala, alguns estudantes reproduziram o experimento com prego, fio esmaltado, bateria, parafusos e clips de papel. Orientei-os a testar as variáveis propostas: quantas espiras eram necessárias para que o núcleo levantasse pequenas peças metálicas, como clips e parafusos; como a força magnética mudava quando mudavam a pilha (1,5V) ou a bateria (9V); e por que um núcleo de ferro era muito mais eficiente do que um núcleo de madeira ou se não houver um núcleo.

Em seguida, conduzi a atividade prática com o simulador PHET “Magnet and Electromagnets”: orientei os alunos a acessarem o simulador e escolherem a opção eletroímã. Expliquei que, com o simulador, cada grupo poderia montar virtualmente uma bobina, ajustar o número de voltas do fio e variar a intensidade da corrente, observando como essas alterações influenciavam a força magnética do eletroímã. Durante esse processo de experimentação virtual, solicitei aos alunos que respondessem as seguintes perguntas: Ao mover a bateria ao redor da bússola, o que acontece? O lado esquerdo do eletroímã é o extremo norte ou o extremo sul? Como você sabe? A intensidade do campo aumenta ou diminui à medida que você aproxima o medidor de campo magnético do eletroímã? O campo da bobina é maior na direção ao longo de seu eixo ou na direção perpendicular a ele?

Para concluir a segunda aula, pedi que cada aluno escrevesse em seu caderno uma resposta final para a pergunta “Podemos ligar e desligar um ímã?”, integrando todas as experiências: o campo magnético terrestre que orienta a bússola; o Experimento de Oersted demonstrando a relação entre corrente elétrica e magnetismo; a simulação PHET demonstrando as variáveis que influenciam a força de um eletroímã; e o vídeo que construía um eletroímã caseiro, evidenciando que qualquer pessoa pode “ativar” e “desativar” um ímã ao controlar a passagem de corrente em torno de um material ferromagnético. Dessa forma, ficou claro para todos que ligar e desligar um ímã é simples: bastaria conectar ou desconectar a corrente elétrica que percorre uma bobina em torno de um núcleo apropriado.

5.4.3 Aula 3

A terceira aula teve por objetivo consolidar os conceitos apresentados nas aulas anteriores. No início dessa aula, após cumprimentar os alunos, registrar a data e disciplina, escrevi a pergunta inicial no quadro: De onde vem a eletricidade da minha casa? Essa pergunta retoma a aula anterior em que, foi construído um eletroímã. No eletroímã, é possível inverter o campo magnético invertendo a corrente elétrica. De forma semelhante temos um motor elétrico, em que a corrente elétrica gera um movimento de uma bobina interagindo com um campo magnético externo através de um comutador.

Para demonstrar o funcionamento do motor, exibi um vídeo em que é construído um motor elétrico simples (<https://www.youtube.com/watch?v=1Egq5DhWDi8&t=7s>). Pedi que observassem a montagem de um pequeno motor de corrente contínua: uma bobina de fio de cobre é raspada em uma extremidade, montada em um suporte que permite giro livre próximo a um ímã permanente, e conectada a uma pilha.

Em seguida forneci aos alunos um roteiro de construção de motor elétrico e um kit contendo um pedaço de 1 metro de fio esmaltado, um ímã permanente, clips de papel para servirem de suporte, fita isolante, uma bateria de 1,5 V e uma lixa para fazer a comutação. Circulei pela sala auxiliando os grupos na construção de seus motores, alguns alunos não quiseram fazer o experimento, enquanto outros se mostraram empolgados. Aos grupos que sentiram dificuldades em realizar o experimento fui explicando passo a passo:

- Verificar as pontas da bobina: uma delas deve estar raspada em toda a circunferência. A outra, raspada apenas pela metade do comprimento, criando um ponto de interrupção de corrente a cada meia volta.

- Montar os contatos: fixar os cliques de maneira que eles toquem exatamente nas partes raspadas da bobina, permitindo que a corrente flua apenas quando a parte raspada completa estiver em contato.

- Aproximar o ímã: posicionar o ímã permanente de modo a criar um campo magnético estável próximo bobina, mas sem que ela encoste no ímã ao girar.

Enquanto os grupos montavam seus aparatos, circulei pela sala auxiliando em pequenos problemas como: alguns não raspavam o fio totalmente, fazendo o motor falhar, outros posicionavam a bobina desalinhada e a rotação não se mantinha. Quando alguém dizia “o motor não gira”, eu verificava o contato elétrico ou a distância entre bobina e ímãs, corrigindo junto com o aluno. Alguns grupos se mostraram empolgados ao ver a bobina dar a primeira volta, enquanto outros desanimaram momentaneamente quando o motor girava intermitentemente. Continuei enfatizando que, em motores reais, isso ocorre se houver mau contato no comutador ou atrito excessivo no eixo.

Em seguida, conduzi a atividade prática solicitando aos alunos que respondessem as perguntas de acordo com o vídeo ou o experimento do motor elétrico: O que poderia ocasionar falhas no funcionamento do motor elétrico visualizado no vídeo? Qual fenômeno seria observado caso seja inserida uma segunda pilha, associada em série, com a primeira no experimento? Por que uma das pontas do fio condutor é raspada por completo e a outra apenas em parte? Como relacionar o sentido da corrente elétrica no fio condutor com o movimento da bobina (espira)? Utilizando os conceitos mostrados nas últimas aulas, tente descrever como o motor de um carrinho de controle remoto funciona. No material didático deixei disponível um texto que auxilia os estudantes em possíveis dúvidas, tanto na realização do experimento, quanto na resolução das perguntas propostas:

Na segunda atividade da aula solicitei aos alunos que acessassem o simulador: Laboratório eletromagnético de Faraday, guia gerador, e comparem o que acontece aqui com o motor caseiro que vimos. Alguns alunos testaram variações de espiras, observando que, com poucas espiras, o LED piscava fraco; com muitas espiras, brilhava com estabilidade, mas a corrente diminuía pela resistência maior. Outros perceberam que, quando afastavam o primário do secundário a mais de 3 cm, a tensão no secundário caía rapidamente, demonstrando a limitação do acoplamento indutivo.

Em seguida pedi a eles que respondessem as seguintes perguntas: Ao movimentar o ímã no interior do solenoide, o que acontece com o brilho da lâmpada? O que ocorre quando o ímã é mantido em repouso? Algo diferente acontece se movimentarmos o solenoide? O que acontece com o sentido da corrente quando você move o ímã para trás e para frente? Com base

no que você aprendeu nos momentos anteriores, pense em maneiras de fazer a lâmpada acender. O que você observa? Aproximando o primário (eletroímã) do secundário (solenóide) do transformador, a tensão no secundário aumenta ou diminui?

Para concluir a aula, retomei a pergunta inicial “De onde vem a eletricidade da minha casa?” e conduzi um breve debate com os questionamentos: Como podemos relacionar o gerador virtual e o motor que vocês montaram aqui ao funcionamento de uma usina hidrelétrica? Como essa alta tensão é transformada em 127 V ou 220 V nas residências? E como o motor de um carrinho elétrico em casa acaba recebendo essa energia para funcionar? Ao final do debate sintetizamos uma resposta para a pergunta inicial: Um motor caseiro transforma eletricidade em movimento com bobinas e ímãs. Um gerador caseiro faz o contrário: gira um ímã para produzir eletricidade. Nas usinas, turbinas giram grandes geradores, criando alta tensão que viaja por cabos. Em subestações, essa tensão é reduzida para ir às casas, onde pode recarregar baterias ou mover motores de eletrodomésticos.

5.4.4 Aula 4

Ao iniciar a quarta aula, como sempre, cumprimentei os alunos, registrei data e disciplina no quadro e escrevi a pergunta motivadora: “É possível transmitir eletricidade sem fios?”. Relembrei que, ao longo da sequência, vimos como corrente gera campo magnético (Oersted), como podemos construir eletroímãs e motores, e como geradores convertem movimento em energia elétrica.

Na aula anterior, exploramos a indução eletromagnética em solenóides e transformadores com fios. Agora, a proposta era descobrir se era viável transferir energia sem fio, ou seja, sem contato metálico direto entre fonte e carga. Para fundamentar, retomei o trecho do material do aluno (Aula 04) que contextualiza a transmissão sem fio: “Conseguimos entender como funcionam os ímãs, como construir um ímã a partir da eletricidade e ainda como unir as duas coisas fazendo um motor”. Agora, imagine fazer isso na prática sem usar fios: será necessário um circuito muito complexo ou materiais de difícil acesso? A resposta é não. Observe como construir um aparelho indutor utilizando uma lâmpada fluorescente velha, um LED e fio esmaltado (<https://youtu.be/-oNUyQdgDM4>). No circuito apresentado, usa-se um oscilador de tensão encontrado em lâmpadas fluorescentes antigas: duas bobinas próximas transmitem energia uma à outra sem fios. Se as bobinas têm tamanhos diferentes, é possível reduzir bastante a tensão de entrada por meio do transformador; essa mesma base é usada em carregadores sem fio.”

Solicitei que revissem o texto e destacassem as palavras “oscilador de tensão” e “duas bobinas próximas transmitem energia uma à outra sem fios”. Em seguida, exibi o vídeo “Transmissão de energia sem fio com lâmpada fluorescente” (<https://youtu.be/-oNUyQdgDM4>). Pedi que anotassem e prestassem atenção em como as bobinas estão posicionadas em relação uma à outra, que faz o led acender sem fios de conexão, e que dispositivos atuais usam o mesmo princípio (carregadores sem fio, bases de escova de dentes, carregador de relógio).

Enquanto assistiam, destaquei: “Aqui, o gerador interno de lâmpada cria alta tensão oscilante, fazendo a bobina transmissora gerar campo magnético que varia rapidamente. A bobina receptora captura esse fluxo variável e converte em corrente, acendendo o tubo fluorescente.” Alguns alunos comentaram que esse oscilador era similar ao transformador, mas usando frequência muito maior do que em redes de distribuição.

Terminada a exibição, organizei-os em duplas e pedi que discutissem rapidamente: “Quais são as vantagens de usar indução sem fio? Quais limitações vocês identificaram?”. Eles mencionaram conveniência (sem necessidade de cabos), segurança (em áreas úmidas), e mobilidade nos dispositivos. Por outro lado, citaram perda de eficiência a distâncias maiores que alguns centímetros, interferência com outros dispositivos e o custo de circuitos osciladores.

Em seguida, conduzi a atividade prática em simulador PHET. Instruí que acessassem novamente o “Laboratório Eletromagnético de Faraday”, desta vez focando na guia “Transformador” e nas configurações de corrente alternada (AC):

1. **Modo DC (0 V no primário):** confirmaram que a lâmpada do secundário não acende, pois não há variação de fluxo.

2. **Modo AC (10 V no primário):** observaram que a lâmpada acende quando o solenoide primário gera campo oscilante; ao aproximar ou afastar o secundário, a tensão induzida varia, apagando ou acendendo o LED.

3. **Variação de frequência:** ajustamos de 10 Hz a 100 Hz e notamos que, quanto maior a frequência, mais estável era o brilho da lâmpada, mas também surgiam pequenos “piscamentos” devido a correntes parasitas.

4. **Distância entre bobinas:** aumentamos de 0 cm a 5 cm; emparelhamentos além de 3 cm já não conseguiam acender a lâmpada.

5. **Número de espiras do secundário:** testamos 5, 10 e 20 espiras; quanto maior o número de voltas, maior a tensão induzida, mas a resistência elétrica do fio aumentava, limitando a corrente máxima.

Enquanto trabalhavam, circulava pela sala reforçando: “Veja como, sem fio, a bobina primária em AC gera fluxo magnético variável, e a bobina secundária capta esse fluxo para induzir corrente. Trata-se do mesmo princípio de transformadores comuns, porém usando alta frequência para permitir acoplamento com distância.” Alguns alunos testaram variações, concluindo que para acender um LED bastavam 5 espiras no secundário; mas para alimentar um aparelho maior seria necessário delinear bobinas maiores e frequências ainda mais elevadas.

Para consolidar, solicitei que respondessem no Formulário 07 as seguintes perguntas: Por que a lâmpada não acende quando o primário está estático (modo DC)? Como a mudança para AC faz com que a lâmpada acenda sem conexão direta? Como o número de espiras no secundário altera a tensão induzida? Qual a influência da distância entre primário e secundário na corrente induzida? Como a frequência da corrente alternada afeta a eficiência da transmissão sem fio? Citem três dispositivos do dia a dia que utilizam acoplamento indutivo para transferência de energia.

Dessa forma foi possível chegar nas seguintes conclusões principais:

- Transmissão sem fio requer campo magnético variável (AC); em DC, não há indução.
- Tensão induzida depende da proporção de espiras e da intensidade/velocidade da variação de fluxo.
- Distância e frequência determinam a eficiência: quanto maior a frequência, melhor o acoplamento; quanto maior a distância, menor a eficiência.

Por fim, retomei a pergunta inicial “É possível transmitir eletricidade sem fios?” e promovi um debate com os seguintes questionamentos: Em que situações a transferência sem fio é vantajosa? Quais limitações ainda impedem uso em grandes distâncias ou altas potências? Quais futuros usos tecnológicos podem surgir dessa base?

Para o fechamento, conseguimos chegar em uma conclusão, integrando as experiências e o material do aluno: a eletricidade sem fio funciona quando uma bobina envia um campo magnético que faz outra bobina próxima gerar tensão. A eficiência depende da frequência da corrente, de quantas voltas cada bobina tem e da distância entre elas. Hoje, isso aparece em carregadores de celular sem fio, bases de escova elétrica e dispositivos médicos. Para aparelhos que exigem mais potência, é preciso melhorar o acoplamento magnético e usar frequências mais altas para reduzir perdas.

Como atividade de extensão opcional, sugeri que pesquisassem o uso de trens de levitação magnética (maglev), que aplicam princípios de indução e acoplamento indutivo para levantar e propulsionar vagões sem contato físico, relacionando à tecnologia de transmissão sem fio.

Dessa forma, encerramos a nossa sequência, aproveitando o material do aluno para mostrar como o eletromagnetismo vai além de fios e motores, interligando teoria, prática e aplicações tecnológicas contemporâneas.

6 ANÁLISE E RESULTADOS

A aplicação da sequência didática revelou um quadro bastante diverso de conhecimentos, concepções e lacunas entre os estudantes participantes, o que ilustra a importância de adotar estratégias contextualizadas e experimentais para o ensino do eletromagnetismo. A aplicação do pré-teste insere-se diretamente na etapa 2 das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), pois seu objetivo principal foi “criar situações-problema que levem o aluno a externalizar seu conhecimento prévio” (Moreira, 2006). Sob a perspectiva de Ausubel, a identificação e o reconhecimento do que o estudante já sabe (bem como sua disposição para aprender) constituem a base de qualquer aprendizagem significativa. A seguir, apresento a análise dos resultados do pré-teste articulada a essa perspectiva:

6.1 Revelação dos subsunçores

- Na questão em que se pedia para inferir quem atrai quem (ímã versus clip de papel), apenas 52,6 % dos alunos selecionaram corretamente “é o ímã que atrai o ferro”. Cerca de 42,1 % indicaram incorretamente que a atração do ímã pelo ferro seria mais intensa (equívoco sobre ação e reação), e 18,4 % acreditaram que ambos atraíam com a mesma “força” sem reconhecer que essa força é mútua e igual. Somente 5,3 % chegaram a pensar que “é o ferro que atrai o ímã”.

- Na pergunta sobre fragmentar um ímã em barra, 52,6 % sabiam que “dá-se origem a dois novos ímãs”, mas 23,7 % julgavam que seria possível “separar o polo Norte do polo Sul” e 13,2 % imaginavam “ímãs unipolares”, enquanto 18,4 % achavam que as partes perderiam a propriedade magnética.

- Ao questionar sobre onde uma bússola apontaria em torno de um ímã (posições A, B, C ou D da imagem na terceira questão do pré-teste em anexo), foram coletadas as respostas de forma explicativa, o que causou grande diversidade de respostas: a maioria inclinou-se pela opção D, mas muitos citaram A ou admitiram não entender, o que revelou um entendimento superficial de polos opostos e localização de linhas de campo.

- Sobre o efeito de um fio com corrente na agulha da bússola, foi solicitado que escrevessem uma resposta e mais da metade reconheceu que “a agulha se movimenta” (entendimento geral de campo magnético induzido), mas poucos detalharam que o desvio depende de intensidade e sentido da corrente. Aproximadamente 20 % afirmaram que “não sofre alteração” ou mostrou completo desconhecimento.

- Em relação ao uso de uma bússola na Lua, cerca de 90 % responderam corretamente que “não seria possível”, mas muitos justificaram de forma simplista (“só funciona na Terra”), sem evidenciar compreensão de que o campo magnético lunar é fraco e local.

- Na questão seguinte, envolvendo três barras de metal (AB, CD, EF), apenas 31,6 % responderam corretamente que “a barra CD não é um ímã” (na interação da barra AB, que é um ímã, atraindo CD de forma recíproca sem repulsão) e que 23,7 % responderam erroneamente que EF apresentaria repulsão de F para D. Muitas respostas dispersas mostraram dificuldade em diferenciar ímã (dipolo magnético permanente) de material ferromagnético (atraído, mas sem repulsão).

Esses resultados do pré-teste evidenciam, conforme Ausubel, que os alunos operam com concepções fragmentadas ou intuitivas sobre magnetismo. Ao permitir que cada estudante registrasse suas ideias sem interferência inicial, o pré-teste cumpriu seu papel de revelar esses subsunçores: noções relativas a “força” (interpretada por alguns como intensidade diferente na interação ímã e pedaço de ferro, não como par ação e reação), entendimento parcial do dipolo do ímã, confusão sobre orientação da bússola e conhecimento incipiente do campo magnético induzido por corrente elétrica.

6.1.1 Avaliação da disposição para aprender

- Ainda que houvesse erros conceituais, várias justificativas discursivas deixaram transparecer curiosidade: alguns alunos detalharam que “se o polo Sul estiver abaixo, a agulha aponta para cima”, ou “não sei, mas quero entender melhor”. Essas manifestações atestam predisposição (elemento central para Ausubel), pois mesmo quem errou demonstrou vontade de pensar sobre o fenômeno.

- Em diversas respostas (conforme respostas literais dos alunos: “não entendi muito dessa pergunta” ou “depende da intensidade da corrente”), nota-se que o aluno se vê motivado a buscar um sentido, ainda que careça de embasamento. Esse conjunto de indícios sinaliza a existência de condições internas (interesse e questionamento) que favorecem a implantação de uma UEPS, conforme Moreira.

6.1.2 Justificativa da UEPS e dos passos subsequentes

- O pré-teste enquadra-se exatamente aqui, pois permite ao professor identificar quais “aspectos declarativos e procedimentais” precisam ser enfatizados e quais “situações-problema” iniciais terão maior impacto para ativar a estrutura cognitiva de cada aluno.

- A partir dos equívocos detectados (por exemplo, confundir ação/reação magnética ou imaginar monopolos), o professor poderá elaborar, nas aulas seguintes, problemas introdutórios que explicitamente confrontem essas ideias. Por exemplo: propor um experimento de quebra de ímã para mostrar que cada pedaço mantém ambos os polos, ou usar uma simulação PhET em que o aluno posicione o ímã em várias orientações para observar o movimento da bússola antes de explicar formalmente o conceito de campo.

- Em termos de Ausubel, o pré-teste funciona como um “organizador antecipado inverso”: em vez de oferecer um resumo conceitual, revela o conjunto de ideias que os alunos carregam, servindo de “âncora” para as próximas intervenções instrucionais. O professor, assim, coloca-se em situação de construir pontes entre esses esquemas prévios e os novos conceitos declarativos (campo magnético, dipolo, lei de Oersted) e procedimentais (mapear linhas de campo, analisar repulsão/atração, prever rotações de agulha).

6.1.3 Implicações didáticas imediatas

- Dado o percentual considerável de alunos que imaginou ímãs unipolares ou acreditou em monopolos, foi imprescindível, nas próximas aulas, iniciar com uma demonstração simples (uso de limalha de ferro em torno de um ímã quebrado) para corrigir esse equívoco.

- O fato de muitos alunos reconhecerem corretamente que não se orienta na Lua com bússola indica um ganho potencial de motivação: pode-se explorar esse interesse contextual (conexão com astronomia) para aprofundar a ideia de que a existência e intensidade de campo magnético são distintas em cada corpo celeste.

6.2 Síntese da aprendizagem significativa do pré-teste

Ao fim do pré-teste, tornou-se evidente que a sala de aula era um “ambiente potencialmente significativo”, pois continha problemáticas concretas (equívocos bem delimitados) e uma disposição geral dos alunos em entender o fenômeno magnético.

Esses resultados (respostas dos alunos) forneceram dados a serem analisados para justificar a aplicação da sequência didática. Cada conceito a ser ensinado nas próximas aulas (dipolo, repulsão/atração, lei de Oersted, etc.) partirá da problematização de falhas detectadas no pré-teste, garantindo que a introdução de novos conteúdos se dê de forma significativa conforme a teoria de Ausubel, relacionada aos subsunçores de cada aluno.

Além disso, o registro dos erros e justificativas verbais oferece subsídios para elaborar questões de mediação individual (em dupla ou grupos) e para orientar comentários corretivos

que não se limitem a apontar o erro, mas a elaborar o raciocínio correto. Por exemplo, em vez de dizer: “isso está errado porque não existem monopolos”, o professor pode questionar ou exemplificar a quebra de um ímã ao meio, levando o aluno a perceber que são formados dois ímãs, cada um com seu dipolo magnético.

O pré-teste cumpriu o papel central da UEPS ao permitir identificar, com base na teoria de Ausubel, (a) os subsunçores já existentes, adequados ou não, na estrutura cognitiva dos alunos; (b) aferir a predisposição para aprender, revelada pelas justificativas discursivas e pelo interesse manifestado em “não saber, mas querer entender”; (c) orientar a seleção de situações-problema e organizadores prévios para as próximas aulas, de modo a construir de fato um ambiente de aprendizagem potencialmente significativo. A partir desse diagnóstico inicial, as lacunas conceituais poderão ser atacadas sistematicamente, respeitando-se sempre a sequência e a progressão definidas nas UEPS, de forma a transformar os equívocos detectados em oportunidades de aprendizagem.

6.3 - Formulário 01 (parte inicial da Aula 01)

A análise a seguir considera que as respostas coletadas correspondem às questões dos Formulário 01 aplicado durante a Aula 01, e não a um pré-teste isolado. Em cada seção destaco (a) os padrões de resposta, (b) as concepções equivocadas mais recorrentes e (c) o que esses resultados revelam sobre os subsunçores dos alunos, à luz da teoria de Ausubel e dos passos iniciais de uma UEPS. A partir do formulário 02, resumirei as respostas por intermédio de histogramas. Caso deseje as respostas detalhadas, elas estarão disponíveis em anexo.

6.3.1 - Pergunta 1. Movimento a bússola e observe o que acontece. Com base em seu conhecimento de como as bússolas funcionam, o que isso diz sobre o planeta Terra?

1. Padrões de respostas corretas (~75 %)

- “A Terra funciona como um grande ímã e tem um campo magnético que faz a bússola apontar para o norte magnético.”
- “A agulha se alinha ao campo magnético da Terra, indicando que nosso planeta tem polos magnéticos.”
- “Quando movemos a bússola, ela sempre volta a apontar para o norte, isso mostra que existe um polo magnético no hemisfério norte.”

Esses alunos captaram essencialmente o subsunçor “Terra como dipolo magnético”: reconhecem que o comportamento da agulha não depende de contato físico, mas sim de um

campo invisível gerado pelo núcleo terrestre. Observe que no padrão de respostas, existem pequenos equívocos, mas o raciocínio do aluno aponta para uma resposta correta.

2. **Concepções parcialmente corretas (~15 %)**

- “Diz que existe uma força magnética na Terra.”
- “Mostra que tem algum tipo de atração no norte do planeta.”
- “A bússola aponta para o norte porque lá existe um campo de atração que não sei bem explicar.”

Aqui já aparece a noção de “força à distância”, mas sem a diferenciação clara de “campo magnético terrestre” versus “campo gerado por ímã”. É um patamar intermediário: entendem que “há uma força” mas ainda não sabem detalhar como esse campo se estrutura no planeta.

3. **Concepções equivocadas ou lacunas (~10 %)**

- “Ela funciona por gravidade” ou “aponta para o sul geográfico.”
- Respostas vagas como “hmm, acho que indica algo a mais, não sei.”
- Alguns acreditam que “aponta sempre aquele lado porque o eixo da Terra vira o polo.”

Esses casos revelam concepções alternativas: confundem magnetismo com gravidade ou confundem polo magnético e polo geográfico. Portanto, precisarão de atividades específicas para separar “campo magnético” de “gravidade” e fixar o conceito de “norte magnético $\neq$ norte geográfico”.

6.3.2 - Pergunta 2. “Um ímã precisa tocar outro material para exercer uma força? Justifique.”

1. **Padrões de resposta corretos (~85 %)**

- “Não precisa tocar — o ímã possui um campo magnético que atua à distância.”
- “O campo magnético se estende ao redor do ímã, por isso atrai sem contato.”
- “Ele atrai materiais ferromagnéticos porque existe um campo invisível.”

Esses alunos já internalizaram bem o subsunçor “campo $\rightarrow$ ação à distância”. Sabem que a limalha forma linhas de campo sem precisar encostar.

2. **Concepções parcialmente corretas (~10 %)**

- “Não, mas quando está muito longe a força fica fraca.”
- “Ele só precisa estar próximo, não encostar, quando está longe quase não atrai.”

Reconhecem a ação à distância, e o decaimento da força, mas não identificou a existência de um campo magnético.

3. **Concepções equivocadas (~5 %)**

- “Sim, precisa encostar para puxar.”

- “Acho que só funciona se encostar porque não vejo nada no ar.”
- “Não, pois se ele estiver a distância não faz nada.”

Esses alunos ainda tratam magnetismo como “força de contato”. É necessário mostrar experimentos de limalha e simulações para que percebam empiricamente que o ímã atrai sem contato.

6.3.3 - Pergunta 3. “O que acontece quando os polos iguais de dois ímãs se aproximam cada vez mais?”

1. Padrões de resposta corretos (~95 %)

- “Eles se repelem, e a repulsão aumenta quando ficam mais próximos.”
- “Polos iguais criam força de repulsão que cresce à medida que a distância diminui.”

Quase todos conhecem a regra básica “polos iguais se repelem” e adicionam corretamente a ideia de “força aumenta com aproximação”.

2. Concepções equivocadas (~5 %)

- “Eles se atraem e depois se repelem.”
- “Acho que se aproximam e grudam, depois se soltam.”
- “Não sei, talvez fique equilibrado.”

Esses poucos alunos confundem repelir/atrair ou não souberam explicar. Será necessário rever a dinâmica das linhas de campo (mostrando que, em polos iguais, as linhas se afastam e geram um “empurrão”).

6.3.4 - Pergunta 4. “Com base no que você aprendeu sobre ímãs e outras leis naturais, você espera que os campos magnéticos sejam mais fortes perto do ímã ou mais longe? Por quê?”

1. Padrões de resposta corretos (~80 %)

- “Mais fortes perto do ímã porque a densidade de linhas de campo é maior.”
- “O campo decai com a distância (aproximação → intensidade maior).”
- “Segue algo parecido com a lei do inverso do quadrado: quanto mais longe, mais fraco.”

Esses alunos já incorporam o subsunçor “campo intensifica-se próximo à fonte” e até mencionam analogias com campos elétricos.

2. Concepções parcialmente corretas (~15 %)

- “Perto é mais forte, mas em certos pontos distantes também pode atrair.”
- “Depende de outras coisas, mas penso que é mais forte perto.”

Aceitam a ideia central, mas sugerem que “há pontos distantes” onde ainda haveria intensidade, demonstrando que precisam visualizar o decaimento contínuo do campo em modelos (simulação ou gráfico qualitativo) para concretizar o conceito.

3. Concepções equivocadas (~5 %)

- “É igual em qualquer lugar ao redor do ímã.”
- “Mais fraco perto porque o ímã consome toda a força, e mais forte longe.”

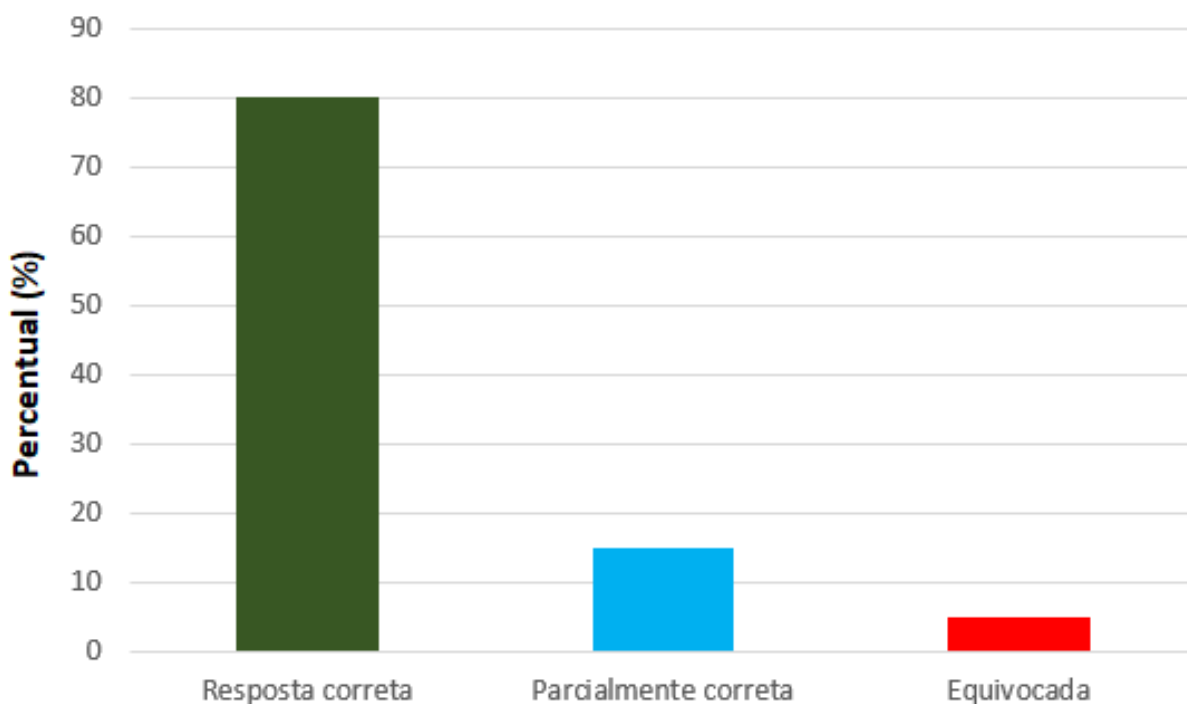
Aqui há uma clara confusão: interpretam o campo como constante ou até invertido. Requer demonstração com limalha ou simulação de gradientes de campo.

6.4 - Formulário 02 (parte final da Aula 01)

A análise a seguir refere-se às respostas do Formulário 02 coletadas durante a Aula 01 (não se trata de um pré-teste isolado). Para cada pergunta, apresento o histograma de distribuição das categorias de resposta, destaco os padrões de resposta majoritários e o que esses resultados revelam sobre os subsunçores prévios dos alunos, considerando a teoria de Ausubel e os primeiros passos de uma UEPS para guiar intervenções didáticas.

6.4.1 Pergunta 1. Qual a função de uma bússola? Como você imagina que ela é feita?

Figura 25: Respostas ao Formulário 02 - Pergunta 1

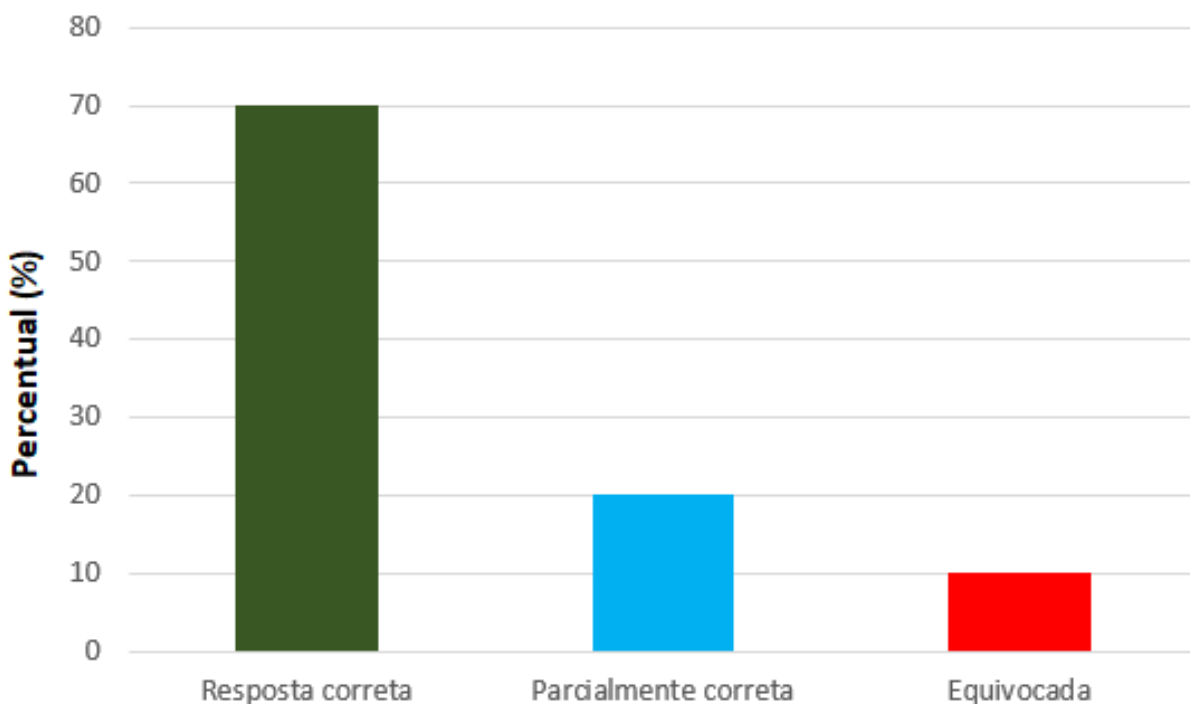


Fonte: Autor

Os dados mostram que a maioria dos alunos já possui um subsunçor bem estabelecido de que a bússola serve para indicar direção, com entendimento dos componentes básicos como agulha magnetizada, eixo e caixa. Um grupo menor demonstra compreensão da função geral, mas não detalha o mecanismo de equilíbrio e giro da agulha. Há ainda uma minoria que desconhece como a bússola é feita ou confunde seu funcionamento com outros campos (elétrico, gravitacional), indicando ausência de subsunçor sobre o princípio de alinhamento ao campo magnético terrestre.

6.4.2 Pergunta 2. O que acontece quando aproximamos a bússola do circuito do experimento (vídeo 2)?

Figura 26: Formulário 02 - Pergunta 2

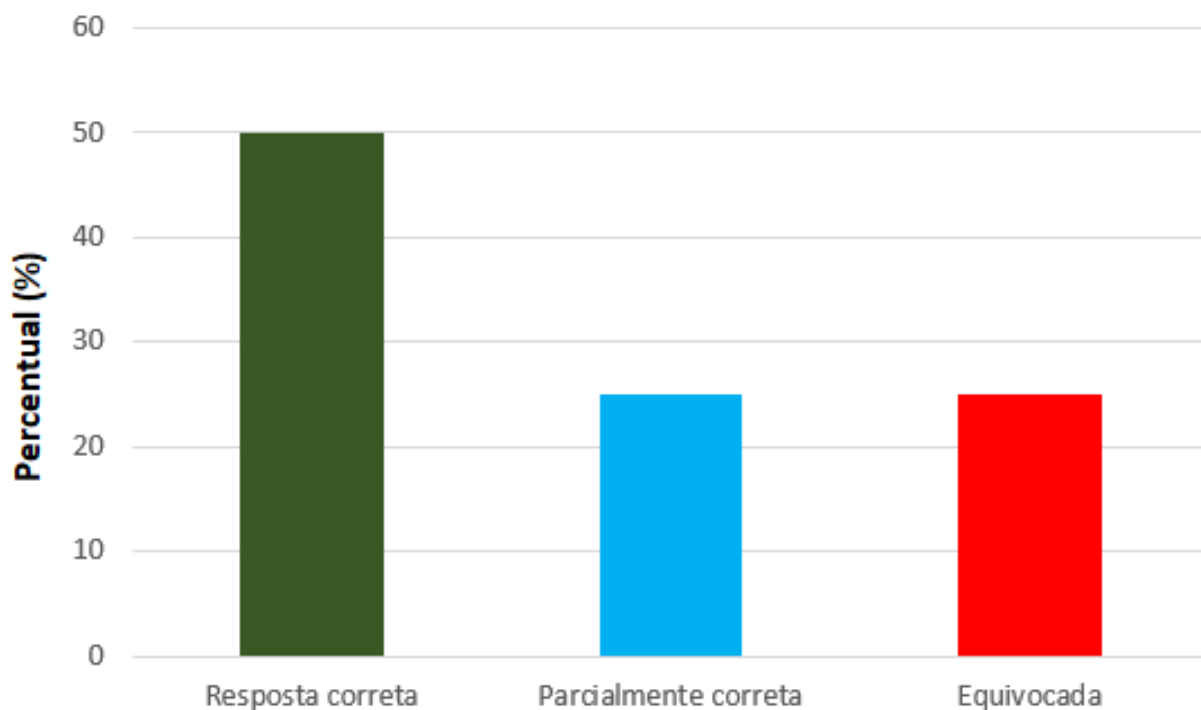


Fonte: Autor

Observa-se que grande parte dos alunos entende corretamente que a corrente no circuito gera um campo magnético que desvia a agulha da bússola. Outro contingente reconhece o efeito prático (“desorienta”, “oscila”) sem explicitar a origem no campo da corrente, mostrando subsunçor incompleto sobre a relação corrente–campo. Finalmente, uma parcela confunde campo de corrente com ímã permanente ou nega a existência de campo, revelando subsunçores equivocados que atribuem o desvio a atração fixa ou ignoram o fenômeno.

6.4.3 Pergunta 3. De acordo com o item 02, diga se o mesmo acontece com qualquer circuito. Explique.

Figura 27: Formulário 02 - Pergunta 3

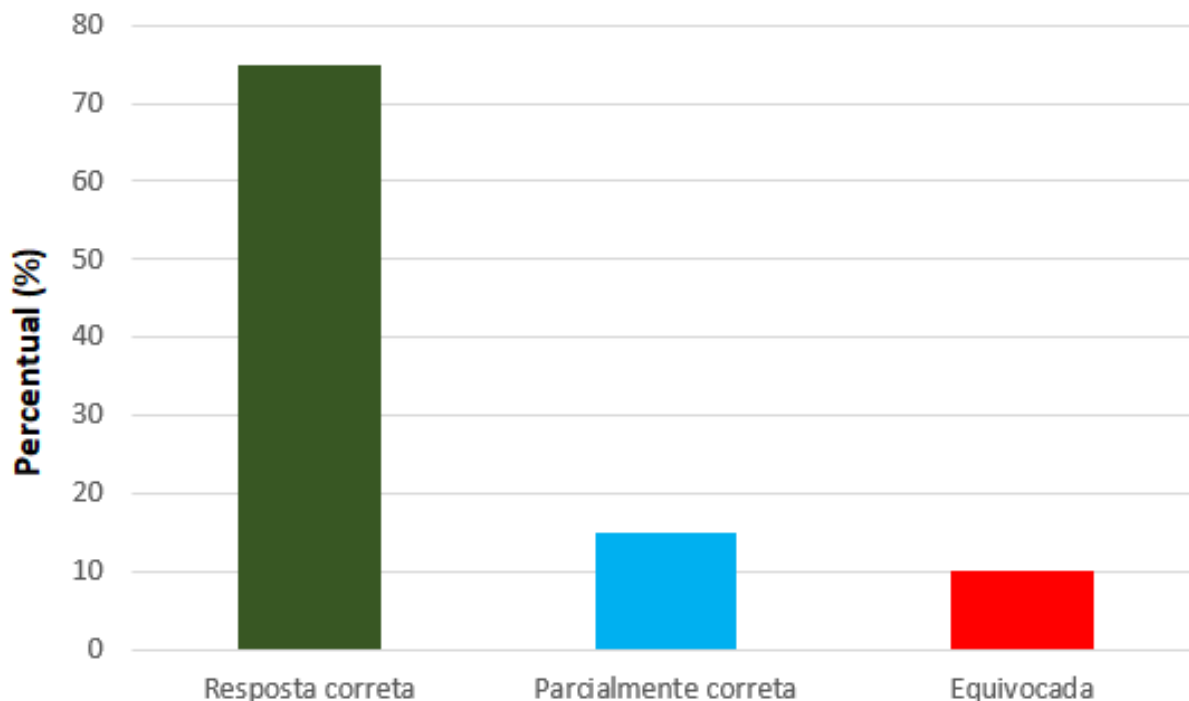


Fonte: Autor

Aproximadamente metade dos estudantes generaliza corretamente que qualquer circuito com corrente produz campo magnético e pode desviar a bússola, indicando que o subsunçor de Ampère qualitativo está emergindo. Cerca de um quarto já reconhece influência de intensidade da corrente e distância, sinal de subsunçor mais avançado sobre magnitude do campo. No entanto, também existe um grupo expressivo que crê que apenas certos circuitos ou materiais especiais geram efeito, demonstrando subsunçor equivocado que associa geração de campo a componentes magnéticos internos ou alta tensão. Além disso, observa-se que apenas uma minoria muito reduzida (cerca de 10 %) chega a relacionar explicitamente a direção do campo magnético à convenção da “regra da mão direita” ou à própria Lei de Lorentz, evidenciando uma lacuna conceitual importante quanto ao caráter vetorial do campo e sinalizando a necessidade de atividades que enfatizem tanto a presença quanto a orientação espacial do campo em torno do condutor.

6.4.4 Pergunta 4. O que acontece se invertermos a posição da pilha que alimenta o circuito do experimento?

Figura 28: Formulário 02 - Pergunta 4

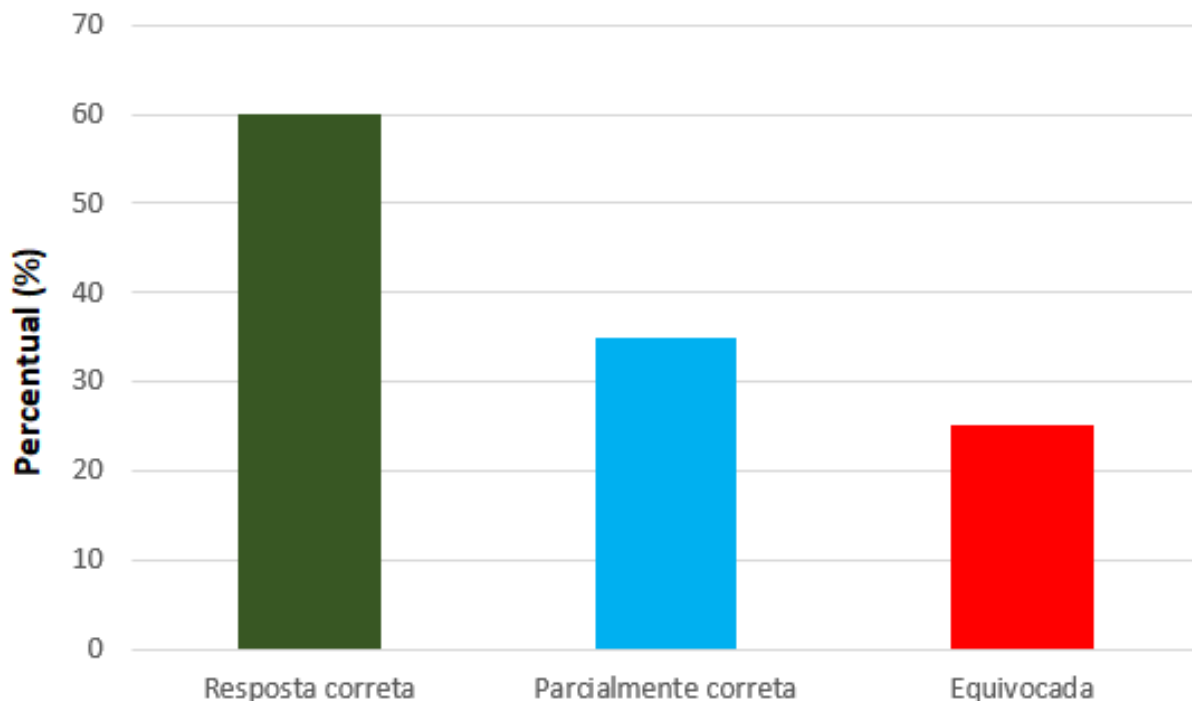


Fonte: Autor

A maior parte compreende que inverter a pilha inverte o sentido da corrente e, assim, o campo magnético muda de direção e faz a bússola desviar para o lado oposto, mostrando que o subsunçor sobre regra da mão direita e relação corrente–campo está bem formado. Outro grupo identifica a mudança de lado sem articular o mecanismo, evidenciando subsunçor incompleto que precisa explicitar “sentido da corrente → sentido do campo”. Finalmente, alguns confundem inversão de polaridade com desligar o circuito, revelando subsunçor equivocado que associa trocar pilha a interrupção de fluxo, em vez de apenas inversão de sentido. Observa-se ainda que apenas uma minoria reduzida (cerca de 15 %) consegue relacionar quantitativamente a intensidade da corrente com o grau de desvio da bússola, apontando para o potencial de avançar ao subsunçor quantitativo e sugerindo a inclusão de atividades de medição sistemática do desvio em função da corrente e da geometria do circuito.

6.4.5 Pergunta 5. Explique o motivo da interação ocorrer apenas quando o circuito é ligado ou desligado.

Figura 29: Formulário 02 - Pergunta 5



Fonte: Autor

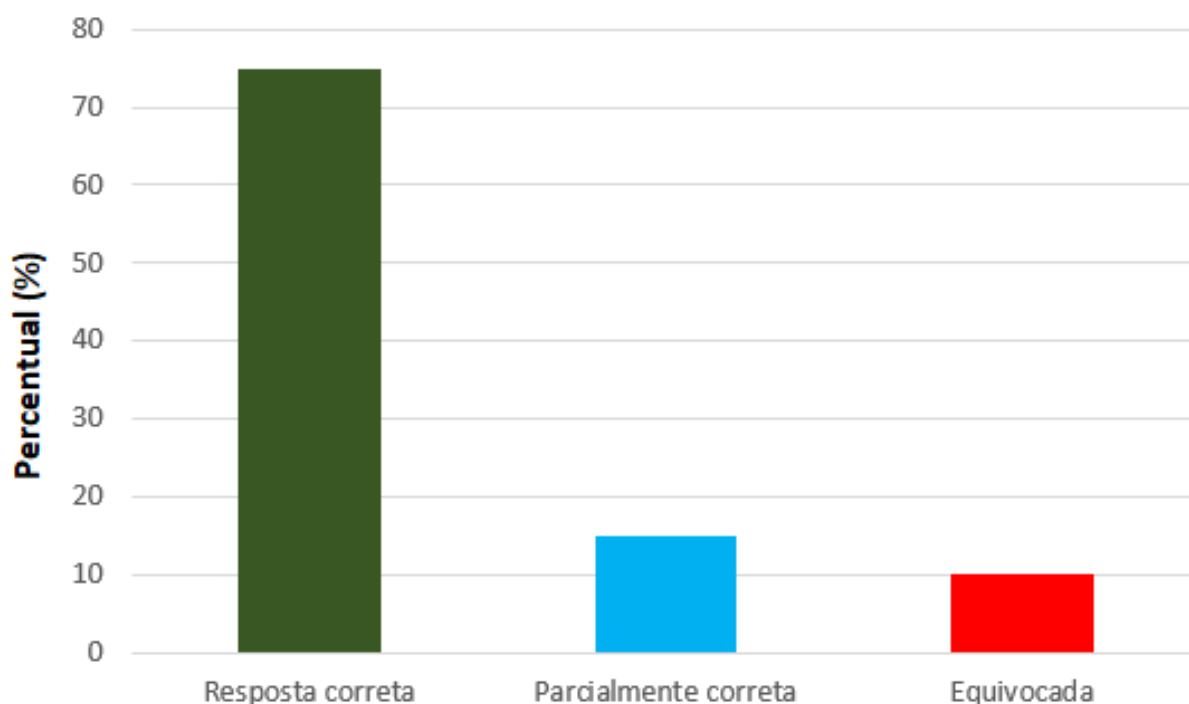
Os resultados indicam que a maioria já assimilou o subsunçor de que a interação ocorre apenas com corrente fluindo, isto é, quando o circuito está ligado há campo e desvio; quando desligado, o campo some e a bússola retorna passivamente. Uma parte dos alunos mistura estado estático com transição, acreditando que o efeito está ligado à variação do campo ao ligar/desligar, sem diferenciar claramente campo constante de ausência de campo. Há também quem suponha que desligar gera algum efeito ativo ou confunda retorno ao norte com fenômeno magnético, sinalizando subsunçor incorreto sobre “campo transitório” ou falta de distinção entre campo permanente e mudança de fluxo.

6.5 - Formulário 03 e 04 (Aula 02)

A seguir, apresento a análise das respostas coletadas nos Formulários 03 e 04 (Aula 02), questionamento a questionamento. Para cada pergunta, destaco histograma de distribuição das categorias de resposta, destaco os padrões de resposta majoritários e o que esses resultados revelam sobre os subsunçores prévios dos alunos, considerando a teoria de Ausubel e os primeiros passos de uma UEPS para guiar intervenções didáticas.

6.5.1 - Pergunta 1. Mova a bateria ao redor da bússola. O que acontece?

Figura 30: Formulário 03/04- Pergunta 1

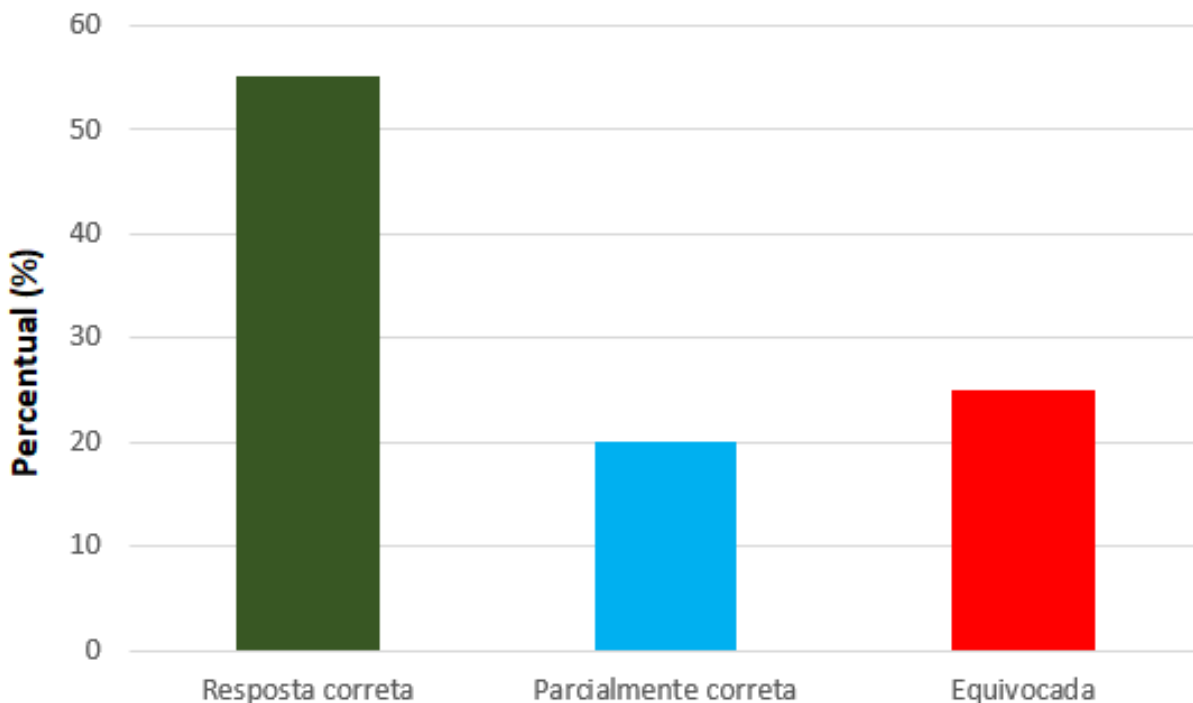


Fonte: Autor

Os resultados mostram que a maioria (~75%) já assimila o subsunçor de que a corrente elétrica gera campo magnético e pode desviar a bússola, pois extrapola o Experimento de Oersted para situações como movimentar uma bateria, mesmo sem circuito completo. No entanto, quem acredita que “bateria isolada não gera campo” ainda não assimilou que correntes mínimas ou campos internos de baterias podem influenciar a bússola. Além disso, equívocos como “a bateria atrai” ou “só em circuito fechado há campo” revelam confusão entre o campo magnético de um ímã permanente e o campo gerado por corrente elétrica, bem como a ideia equivocada de que o circuito precisa estar fechado de modo absoluto para existir qualquer campo. Observa-se ainda que apenas uma pequena parcela dos estudantes (aproximadamente 10 %) reconhece a influência da distância e da intensidade da corrente no grau de desvio da bússola, indicando oportunidade para avançar ao subsunçor quantitativo por meio de atividades de medição sistemática.

6.5.2 - Pergunta 2. O lado esquerdo do eletroímã é o extremo norte ou o extremo sul? Como você sabe?

Figura 31: Formulário 03/04- Pergunta 2

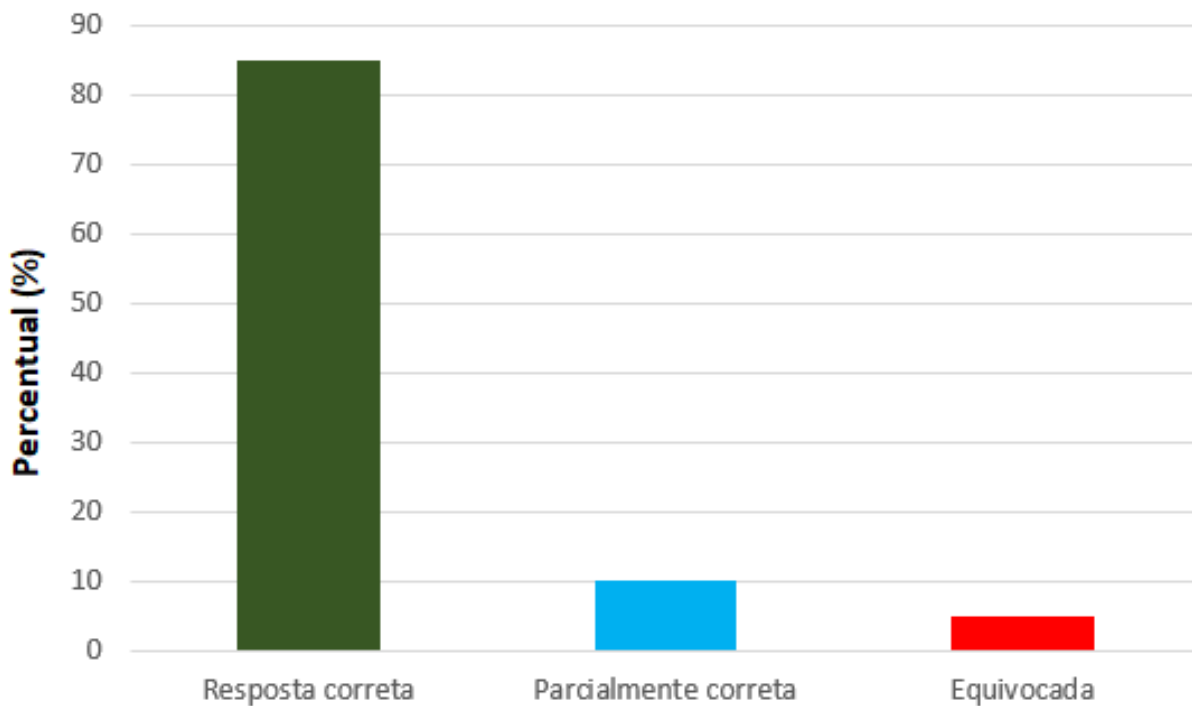


Fonte: Autor

Esses resultados revelam que cerca de 55% dos alunos já estabelecem a relação “sentido da corrente → regra da mão direita → identificação do polo oposto que atrai a bússola”, demonstrando compreensão sólida do mecanismo de inversão de polos. Aqueles que respondem “depende” indicam que captaram o princípio geral de que inverter a corrente inverte os polos, mas ainda não conseguem aplicar essa ideia ao caso específico apresentado no desenho ou simulação. A confusão entre “positivo/negativo” e “norte/sul” mostra que alguns alunos associam erroneamente o polo positivo da bateria ao polo norte de um ímã, misturando conceitos elétricos e magnéticos. Finalmente, quem justifica sem explicar, dizendo algo como “escolhi o norte porque o professor disse”, manifesta dependência de quem eles consideram a figura de autoridade em vez de transferir e aplicar o raciocínio, indicando necessidade de reforçar a autonomia conceitual por meio de atividades que exijam explicação do processo lógico.

6.5.3 - Pergunta 3. A intensidade do campo aumenta ou diminui à medida que você aproxima o medidor de campo do eletroímã?

Figura 32: Formulário 03/04- Pergunta 3

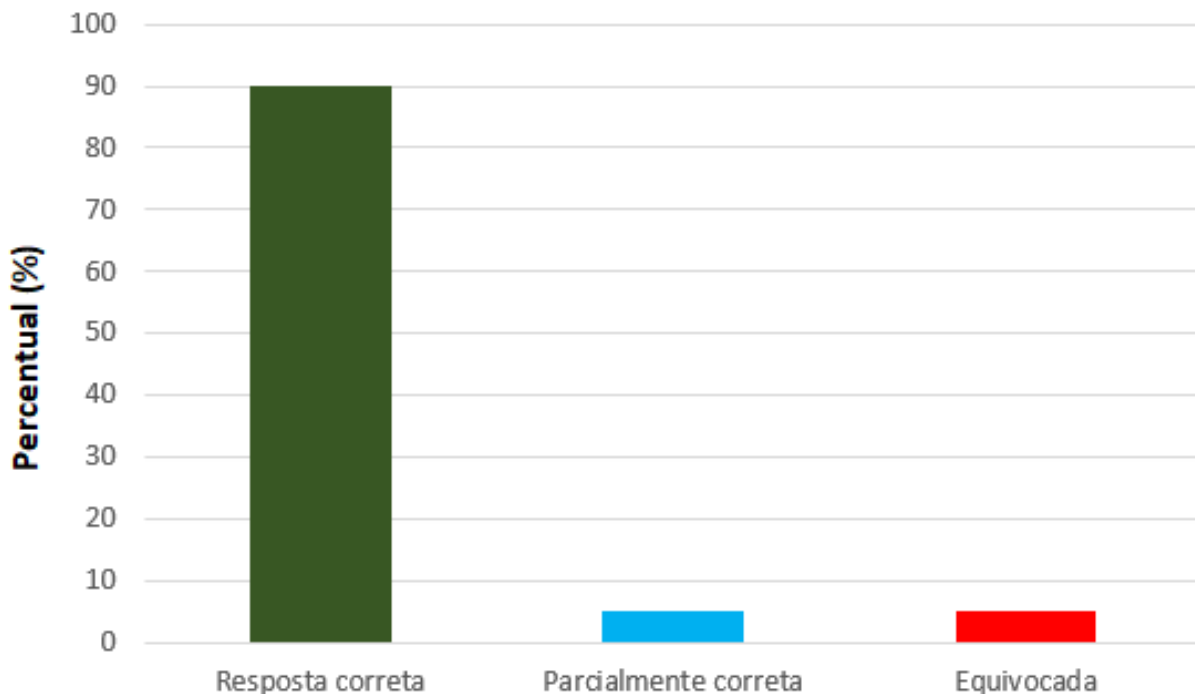


Fonte: Autor

Esses resultados revelam que o subsunçor “a intensidade do campo magnético decai com a distância” está bem consolidado em aproximadamente 85% dos estudantes, os quais reconheceram corretamente que o campo se enfraquece à medida que se afasta da fonte. Por outro lado, os equívocos observados (como afirmar que o campo é uniforme ou que sua intensidade não muda) indicam que uma pequena parcela da turma não conseguiu visualizar adequadamente o gradiente de campo, seja na simulação digital, seja no experimento prático. Além disso, as respostas que associam simultaneamente os efeitos da distância e da corrente elétrica mostram que esses alunos iniciaram uma compreensão mais ampla do fenômeno, mas ainda carecem de atividades específicas que os ajudem a distinguir com clareza o impacto de cada variável no comportamento do campo magnético.

6.5.4 - Pergunta 4. O campo da bobina é maior ao longo de seu eixo ou na direção perpendicular a ele?

Figura 33: Formulário 03/04- Pergunta 4

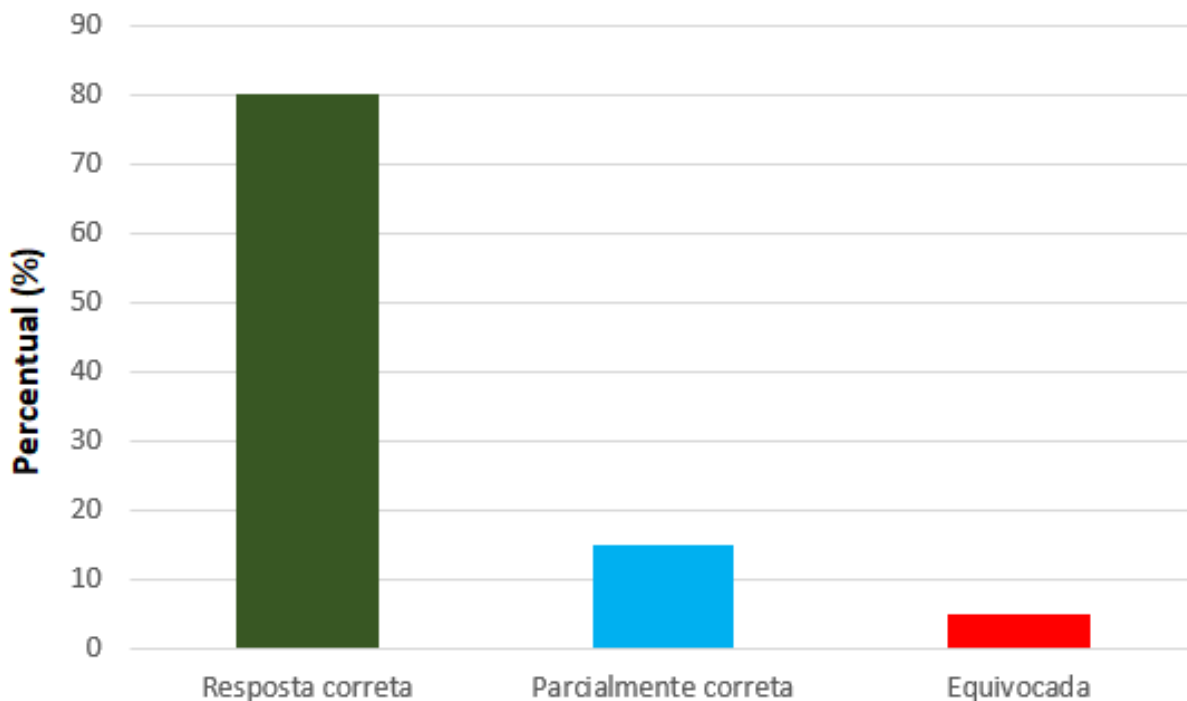


Fonte: Autor

A maioria dos alunos (cerca de 90%) já formou corretamente o subsunçor de que o campo magnético gerado por uma bobina é mais intenso ao longo do seu eixo (campo axial) do que nas regiões laterais (campo radial). Esse entendimento é compatível com o modelo de campo concentrado dentro de uma bobina ideal. Por outro lado, os equívocos como “o campo perpendicular é maior” sugerem que ainda é necessário reforçar, por meio de imagens, simulações ou demonstrações práticas, a visualização das linhas de campo se somando no eixo e se dispersando lateralmente. Além disso, a minoria que respondeu “depende da montagem” demonstra dificuldade em compreender que, embora a intensidade do campo varie com o número de espiras ou a corrente, a geometria básica do campo em uma bobina ideal se mantém invariável.

6.5.5 - Pergunta 5. Sabendo que uma corrente elétrica variável cria um campo magnético, é possível utilizá-la para construir um ímã? Descreva como o grupo cumpriria tal tarefa.

Figura 34: Formulário 03/04- Pergunta 5

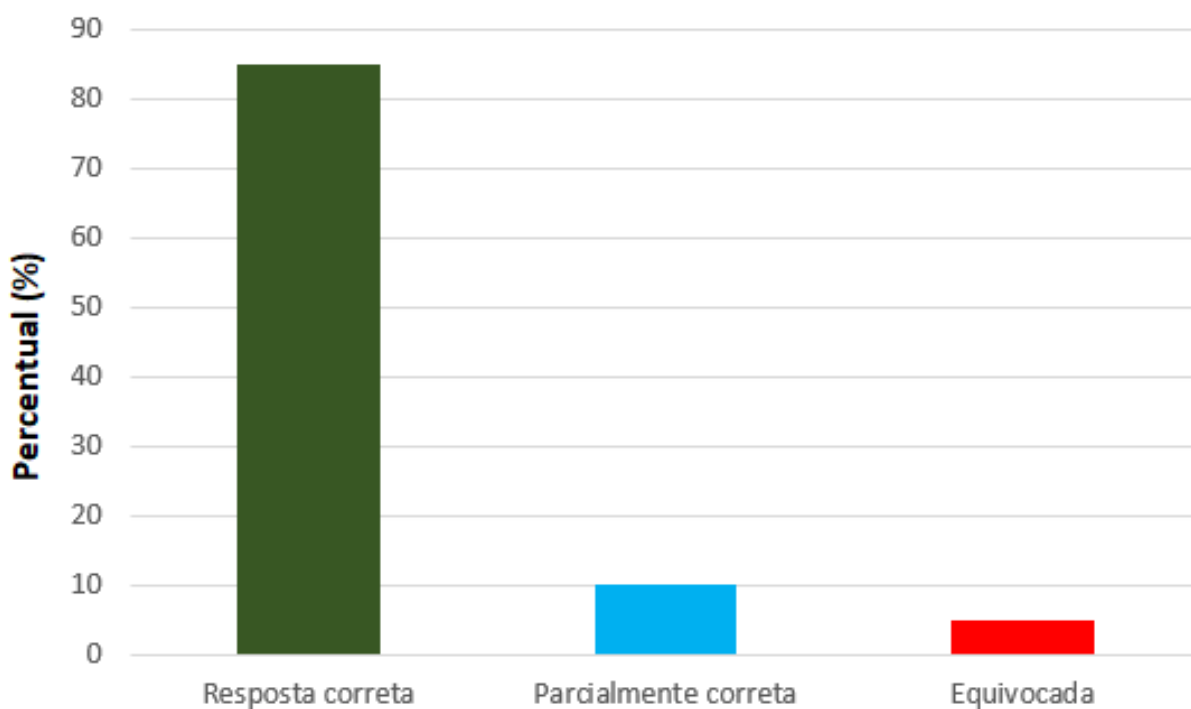


Fonte: Autor

A maioria dos estudantes já domina o subsunçor que relaciona a passagem de corrente elétrica à formação de um campo magnético em um eletroímã, e consegue descrever adequadamente o processo de construção: enrolar o fio ao redor de um núcleo, conectar a uma fonte e utilizar um material ferromagnético. No entanto, ainda há uma parcela que acredita que basta apenas enrolar o fio, sem compreender a função do núcleo de ferro na intensificação do campo magnético, o que aponta para a necessidade de abordar mais diretamente o papel dos materiais ferromagnéticos (como será explorado na pergunta seguinte). Já os poucos alunos que responderam que “não é possível fazer um eletroímã” demonstram ausência total do conceito e precisam de intervenções mais visuais e concretas, como a montagem em tempo real de um eletroímã simples em sala de aula.

6.5.6 - Pergunta 6. Por que é necessário inserir um prego no interior do solenoide?

Figura 35: Formulário 03/04- Pergunta 6

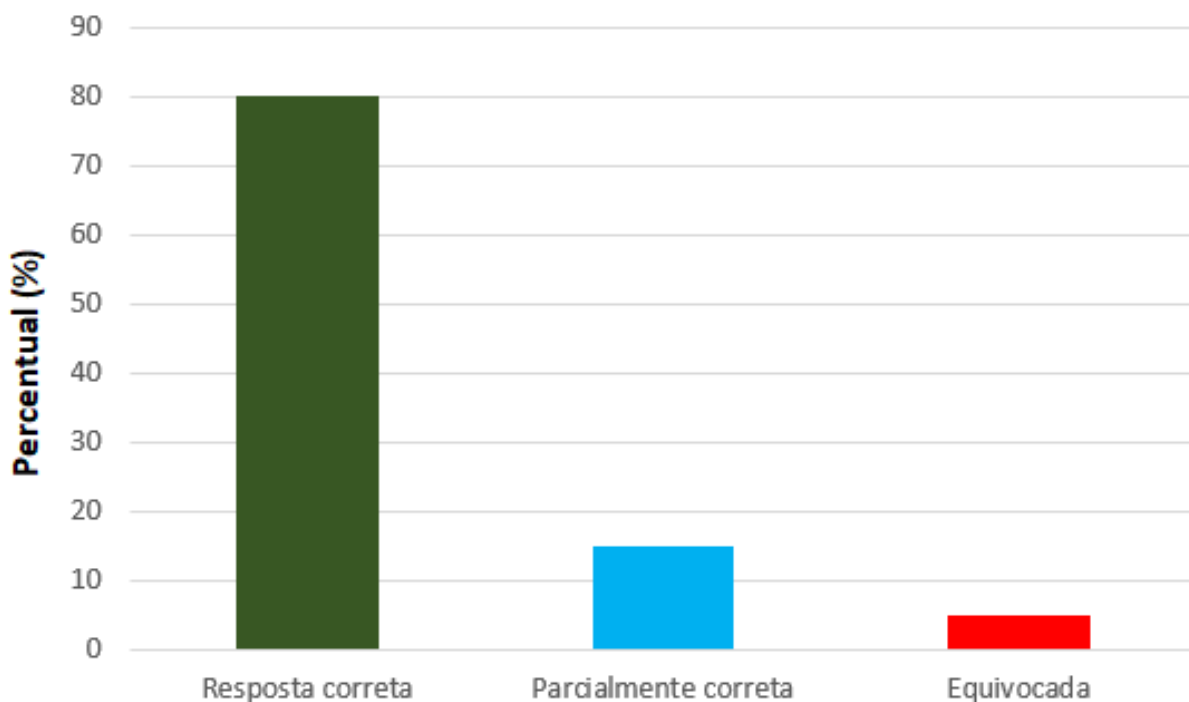


Fonte: Autor

Quase todos os estudantes já assimilaram o subsunçor de que o núcleo ferromagnético intensifica o campo magnético gerado por uma bobina, reconhecendo o ferro como um amplificador do campo em um eletroímã. No entanto, algumas respostas vagas, como “o ferro guia o campo”, indicam que, embora a intuição esteja presente, falta ainda a consolidação conceitual da ideia de permeabilidade magnética e do papel do ferro em concentrar as linhas de fluxo. Já os poucos equívocos, como os que veem o núcleo apenas como suporte físico para o fio, sugerem que esses alunos ainda não fizeram a conexão entre o material ferromagnético e a intensificação do campo, demandando uma retomada visual ou prática para consolidar essa relação.

6.5.7 - Pergunta 7. O que é um material ferromagnético?

Figura 36: Formulário 03/04- Pergunta 7

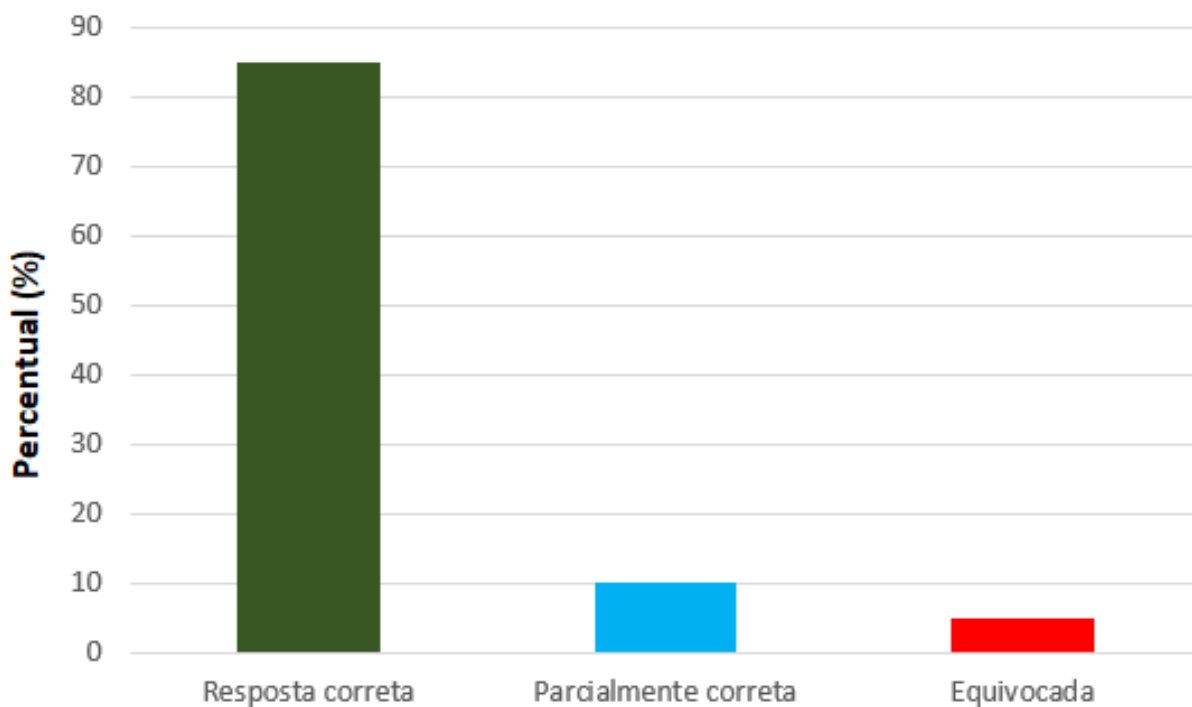


Fonte: Autor

A maior parte dos alunos já consolidou o subsunçor relacionado aos materiais ferromagnéticos, conseguindo descrever corretamente suas propriedades (como a organização dos domínios magnéticos) e citar exemplos como ferro, cobalto e níquel. Contudo, uma pequena parcela ainda confunde o conceito de “material ferromagnético” com o de “construção de um eletroímã”, ao associar diretamente um prego com fio enrolado como sendo, por si só, o material ferromagnético. Além disso, os que afirmam equivocadamente que “é um ímã” não distinguem entre a condição de um material capaz de ser magnetizado e um ímã permanente, o que indica a necessidade de atividades que destaquem essa diferença de maneira explícita, como experimentos comparativos entre materiais com e sem magnetização induzida.

6.5.8 - Pergunta 8. O número de voltas influencia na potência do eletroímã? Explique.

Figura 37: Formulário 03/04- Pergunta 8

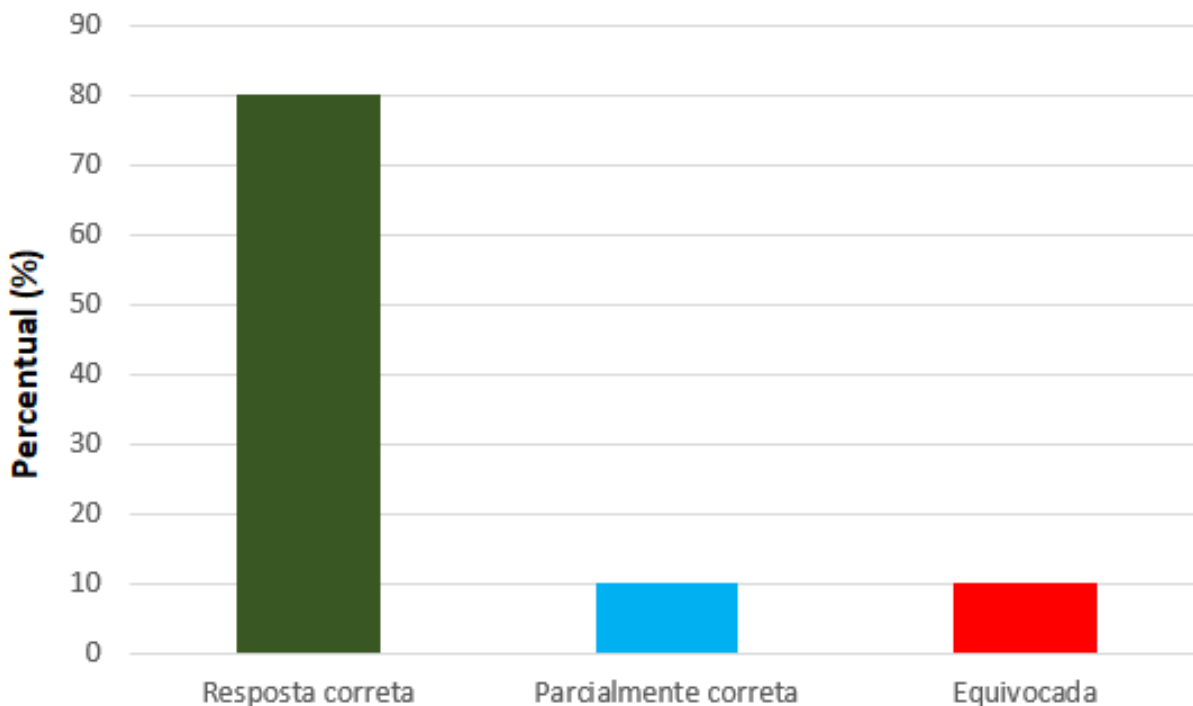


Fonte: Autor

A maioria dos alunos (cerca de 85 %) já consolidou o subsunçor segundo o qual o campo magnético gerado por um solenoide é diretamente proporcional ao número de espiras. Aqueles que mencionam “resistência” indicam um raciocínio mais avançado, ao relacionar corretamente o aumento do número de voltas com o possível aumento da resistência do fio - o que, por sua vez, afetaria a corrente e, portanto, o campo ($B \propto nI$). No entanto, esse conhecimento precisa ser sistematizado por meio da integração entre a lei de Ohm e o conceito de solenoide ideal, nos quais, para fins didáticos e simulações controladas, assume-se corrente constante. Já os equívocos apresentados demonstram que alguns alunos ainda pensam que “mais voltas” implicam diretamente em maior consumo da bateria, sem distinguir entre situações reais e modelos teóricos ideais, o que evidencia a necessidade de retomar a ideia de fonte ideal e de variáveis controladas nos experimentos.

6.5.9 - Pergunta 9. Colocando duas pilhas em série (3 V) em vez de 1,5 V, o eletroímã fica mais forte? Explique.

Figura 38: Formulário 03/04- Pergunta 9



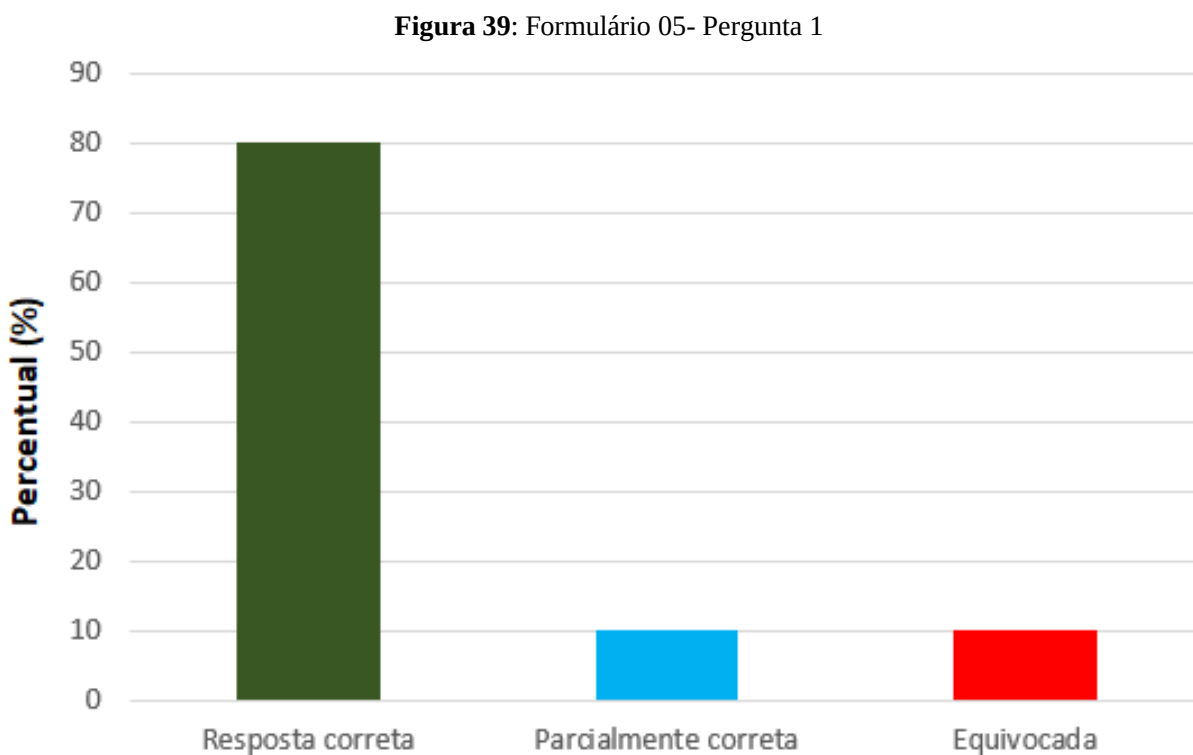
Fonte: Autor

Cerca de 80 % dos alunos já assimilaram o subsunçor de que o campo magnético gerado por um solenoide aumenta com a corrente elétrica, que por sua vez é proporcional à tensão aplicada, assumindo-se uma resistência constante ($B \propto I \propto V$). Alguns estudantes apresentaram um raciocínio mais sofisticado ao mencionarem fatores como resistência interna da fonte ou a possibilidade de saturação do núcleo, demonstrando uma compreensão inicial de que, na prática, há limites físicos que interferem na relação ideal entre tensão e intensidade do campo. Por outro lado, os alunos que afirmam que “pilhas em série não fazem diferença” evidenciam uma confusão comum entre aumento de tensão e aumento da duração da bateria. Esse equívoco aponta para a necessidade de diferenciar claramente, em aula, os conceitos de voltagem (como fator que intensifica o campo via corrente) e capacidade energética (duração), para que os alunos compreendam plenamente os efeitos da associação de fontes de alimentação em circuitos.

6.6 - Formulário 05 (Motor elétrico caseiro)

A análise a seguir refere-se às respostas do Formulário 05 coletadas durante a Aula 03 (não se trata de um pré-teste isolado). Para cada pergunta, apresento o histograma de distribuição das categorias de resposta, destaco os padrões de resposta majoritários e o que esses resultados revelam sobre os subsunçores prévios dos alunos, considerando a teoria de Ausubel e os primeiros passos de uma UEPS para guiar intervenções didáticas.

6.6.1 - Pergunta 1. Qual fenômeno seria observado caso fosse inserida uma segunda pilha em série com a primeira no experimento?



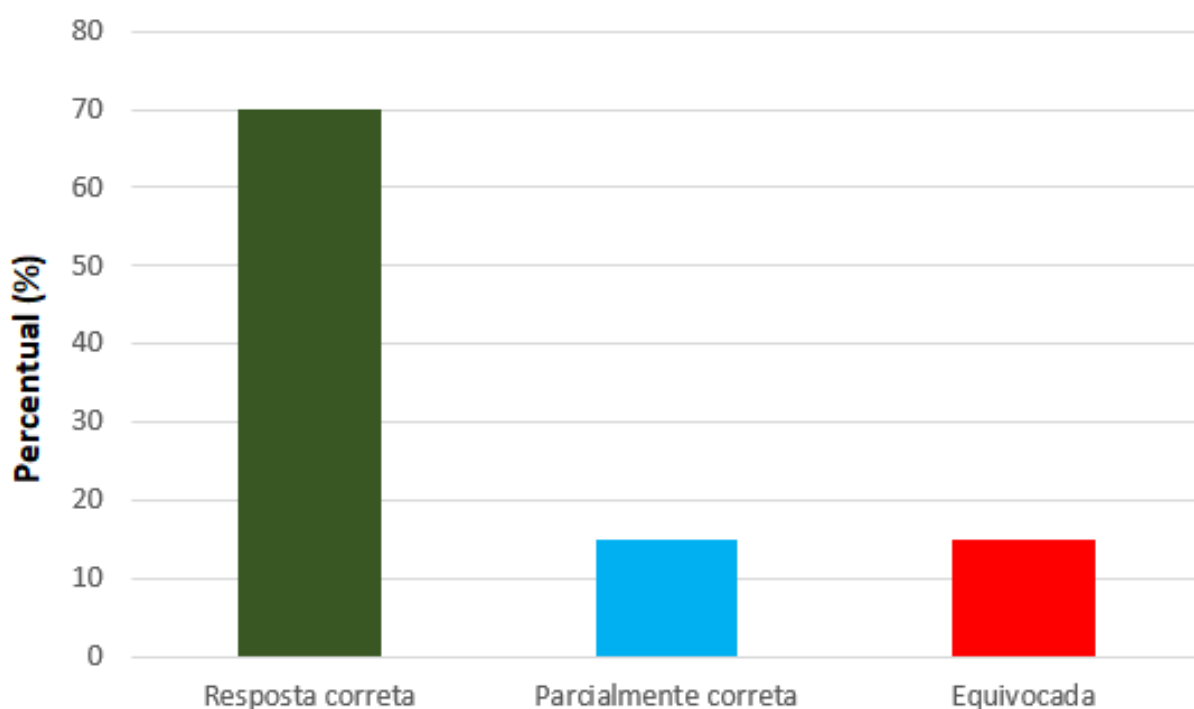
Fonte: Autor

Aproximadamente 80 % dos alunos já consolidaram o subsunçor de que o aumento da tensão (V) resulta em aumento da corrente elétrica (I), o que, por sua vez, intensifica o campo magnético (B) e faz com que o motor gire mais rapidamente (uma cadeia causal que vem sendo construída desde a exploração do solenoide). No entanto, há um grupo que, embora reconheça que adicionar pilhas eleva a voltagem, ainda não consegue relacionar esse aumento com os efeitos no desempenho do motor, especialmente no torque e na rotação do rotor. Outros demonstram uma confusão conceitual ao pensar que “mais pilhas em série” aumentam apenas a autonomia do circuito, e não sua intensidade. Além disso, a resposta “não faz diferença” pode

refletir experiências anteriores com resultados empíricos pouco perceptíveis (como falhas de contato, atrito ou limitações nos materiais) que levaram esses alunos a desacreditarem do princípio teórico. Isso aponta para a importância de realizar experimentos mais controlados e discutir explicitamente a relação entre tensão, corrente e desempenho de dispositivos eletromagnéticos.

6.6.2 - Pergunta 2. Por que uma das pontas do fio condutor é raspada por completo e a outra apenas em parte?

Figura 40: Formulário 05- Pergunta 2



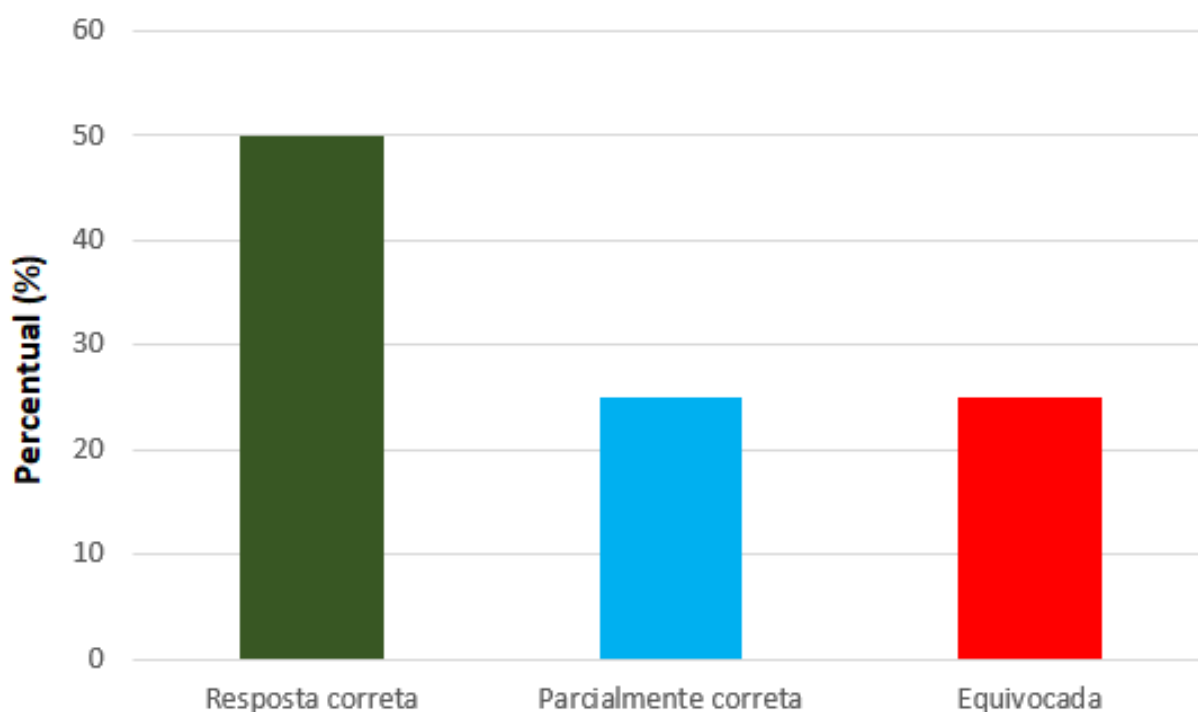
Fonte: Autor

Cerca de 70 % dos alunos já desenvolveram adequadamente o subunçor relacionado ao funcionamento do “comutador caseiro”, compreendendo que a raspagem de apenas meia volta na ponta dos fios permite a interrupção periódica da corrente, condição essencial para gerar torque contínuo no motor. Esse grupo demonstra uma compreensão funcional do mecanismo de reversão de polaridade que ocorre a cada meia volta da bobina. Já os alunos que mencionaram que o comutador serve apenas “para ligar e desligar” revelam um entendimento mais genérico, sabem que há uma função de controle da corrente, mas ainda não associaram essa função ao tempo e à dinâmica de rotação da bobina. Por fim, os que afirmaram que o comutador “evita curto” ou “serve para não balançar” mostram uma compreensão superficial,

indicando que ainda não perceberam a razão física por trás da raspagem parcial: permitir que o campo magnético mude de direção no momento apropriado e, assim, mantenha a rotação. Esses alunos precisam de intervenções mais específicas, como a análise quadro a quadro do funcionamento de motores simples, para visualizar o papel preciso do comutador na reversão do torque.

6.6.3 - Pergunta 3. Como relacionar o sentido da corrente elétrica no fio condutor com o movimento da bobina (espira)?

Figura 41: Formulário 05- Pergunta 3



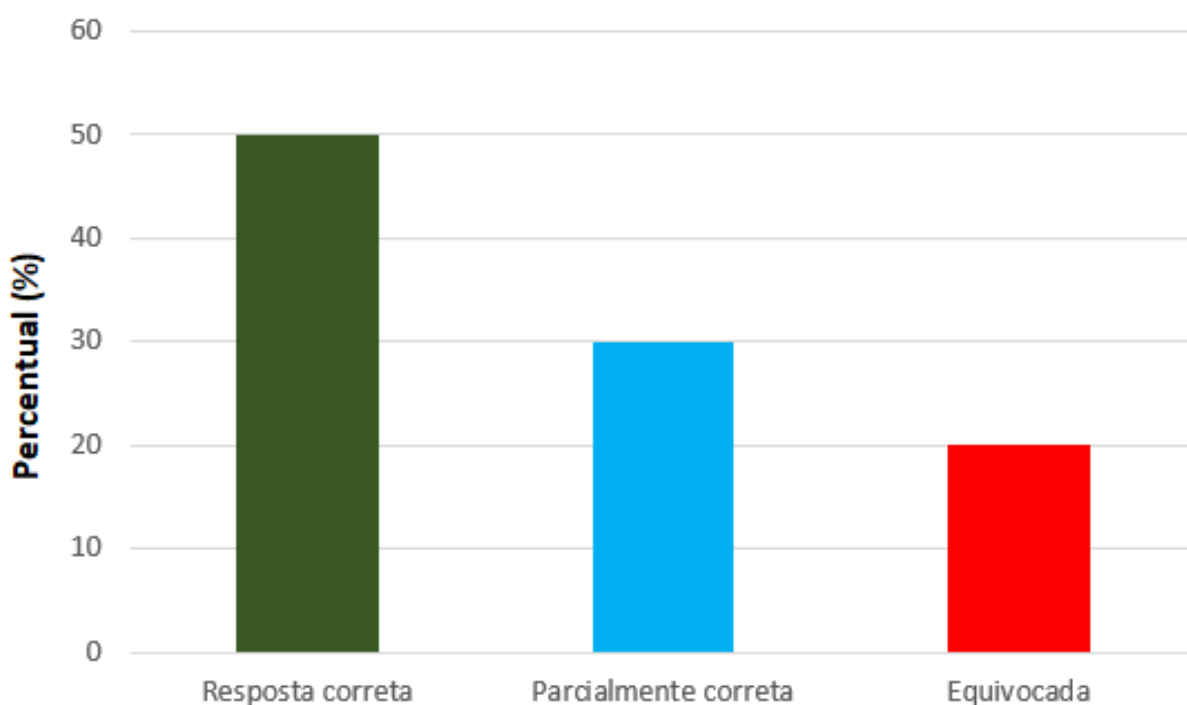
Fonte: Autor

Aproximadamente metade dos alunos (cerca de 50 %) já compreende corretamente a cadeia causal que rege o funcionamento de um motor elétrico simples: a corrente elétrica na bobina gera um campo magnético, que interage com o campo de um ímã fixo, produzindo torque e, conseqüentemente, rotação. Esse grupo demonstra domínio do subsunçor essencial para diferenciar o funcionamento de motores e geradores. Por outro lado, alunos que afirmaram que “o movimento gera corrente” revelam uma transferência indevida de conceitos vistos na simulação do gerador de Faraday, indicando que ainda não distinguiram claramente o papel ativo da corrente na geração de movimento (motor) do papel passivo da bobina em um gerador. Já as respostas que se limitam a mencionar a “regra da mão direita” sem explicitar seu uso no

contexto do torque magnético mostram que, embora esses alunos tenham memorizado o procedimento, ainda não compreenderam conceitualmente como essa regra se aplica à direção da força resultante e ao movimento da bobina. Para esses casos, é necessário promover atividades que comparem explicitamente motores e geradores, bem como exercícios práticos que obriguem os alunos a prever e justificar a direção do torque com base nas direções da corrente e do campo.

6.6.4 - Pergunta 4. Utilizando os conceitos mostrados nas últimas aulas, tente descrever como o motor de um carrinho de controle remoto funciona.

Figura 42: Formulário 05- Pergunta 4



Fonte: Autor

Cerca de metade dos alunos já foi capaz de realizar uma transposição significativa dos conceitos construídos ao longo das atividades com o motor caseiro para um sistema mais complexo, como o motor de um carrinho de brinquedo com controle remoto. Esse grupo demonstrou compreender a cadeia funcional completa, articulando os elementos “bateria → comutador → bobina + ímã → torque → rodas” no motor, bem como “controle remoto (RF) → receptor → circuito → motor” no sistema de acionamento. Por outro lado, respostas que se limitaram a expressões como “funciona por RF” ou apenas “bateria → motor” indicam um entendimento parcial: os alunos reconhecem os componentes do sistema, mas não

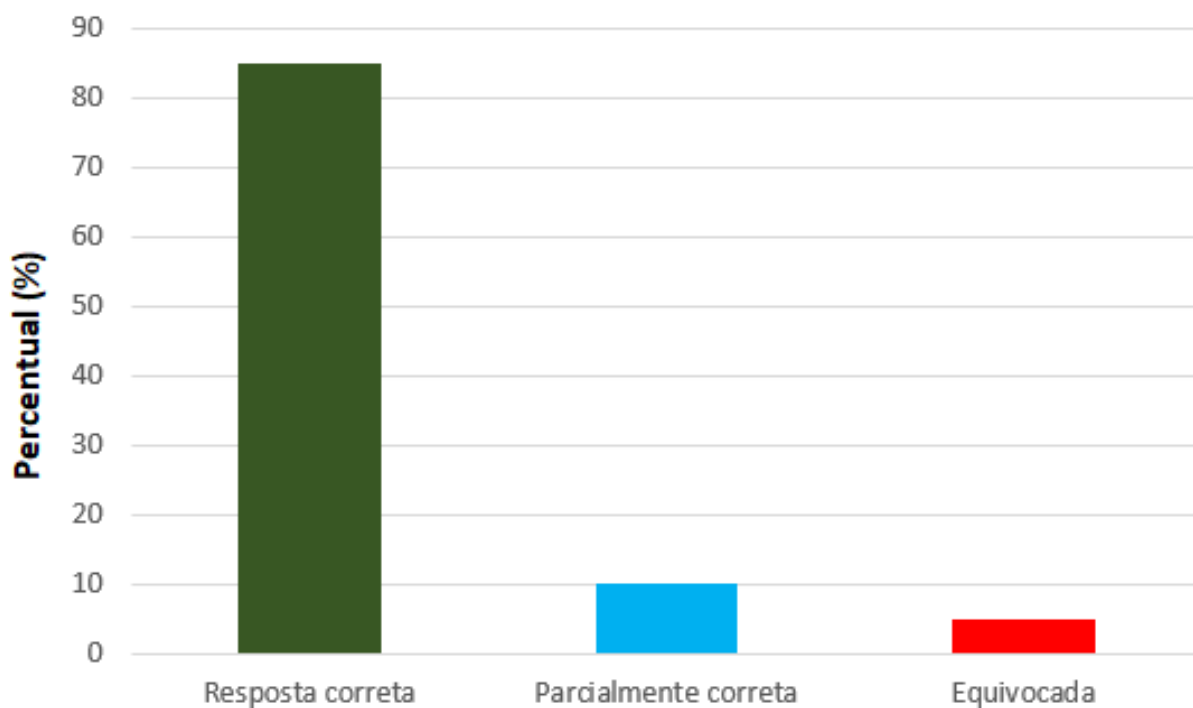
internalizaram o princípio eletromagnético que converte energia elétrica em movimento. Além disso, a menção equivocada a “infravermelho” como meio de comunicação evidencia uma confusão conceitual entre diferentes tecnologias de transmissão sem fio. Esses casos apontam para a necessidade de reforçar, nas aulas seguintes, a diferenciação entre os tipos de sinal (IR vs. RF) e de retomar, com apoio de vídeos ou desmontagem de brinquedos, os elementos internos dos motores DC, consolidando a compreensão integrada entre teoria e aplicação.

6.7 - Formulário 06

A análise a seguir refere-se às respostas do Formulário 06 coletadas durante a Aula 04 (não se trata de um pré-teste isolado). Para cada pergunta, apresento o histograma de distribuição das categorias de resposta, destaco os padrões de resposta majoritários e o que esses resultados revelam sobre os subsunçores prévios dos alunos, considerando a teoria de Ausubel e os primeiros passos de uma UEPS para guiar intervenções didáticas.

6.7.1 - Pergunta 1. Ao movimentar o ímã no interior do solenoide, o que acontece com o brilho da lâmpada? Explique.

Figura 43: Formulário 06- Pergunta 1

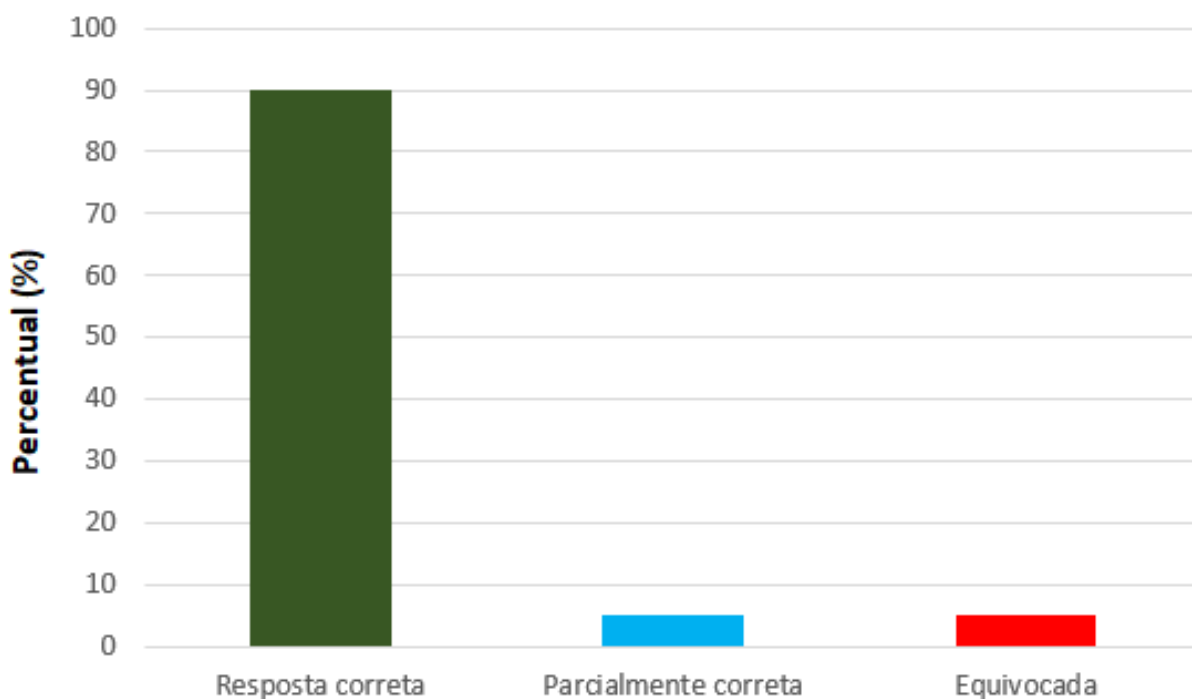


Fonte: Autor

A esmagadora maioria dos alunos já consolidou o subsunçor associado à Lei de Faraday: compreenderam que o movimento do ímã em relação à bobina provoca variação do fluxo magnético, o que, por sua vez, induz corrente elétrica e gera o brilho da lâmpada. Essa relação causal direta entre movimento, variação de campo e geração de corrente está bem estruturada na maior parte dos estudantes. No entanto, alguns alunos que responderam apenas com termos como “piscar” demonstram reconhecer que há uma oscilação no sistema, mas ainda não conectam essa oscilação à taxa de variação do fluxo, ou seja, à velocidade relativa entre ímã e bobina, o que impede uma compreensão quantitativa do fenômeno. Já os que mencionam “empurrar elétrons” como uma ação da força magnética confundem campo magnético com campo elétrico, revelando uma sobreposição conceitual que precisa ser trabalhada com atividades que destaquem as diferenças entre as duas forças e os mecanismos de atuação de cada uma nos fenômenos eletromagnéticos. A continuidade do trabalho deve enfatizar a distinção entre os campos e reforçar a ideia de que a corrente só aparece quando há variação temporal do campo magnético, ponto central da indução.

6.7.2 - Pergunta 2. O que ocorre quando o ímã é mantido em repouso? Algo diferente acontece se movimentarmos o solenoide? Explique.

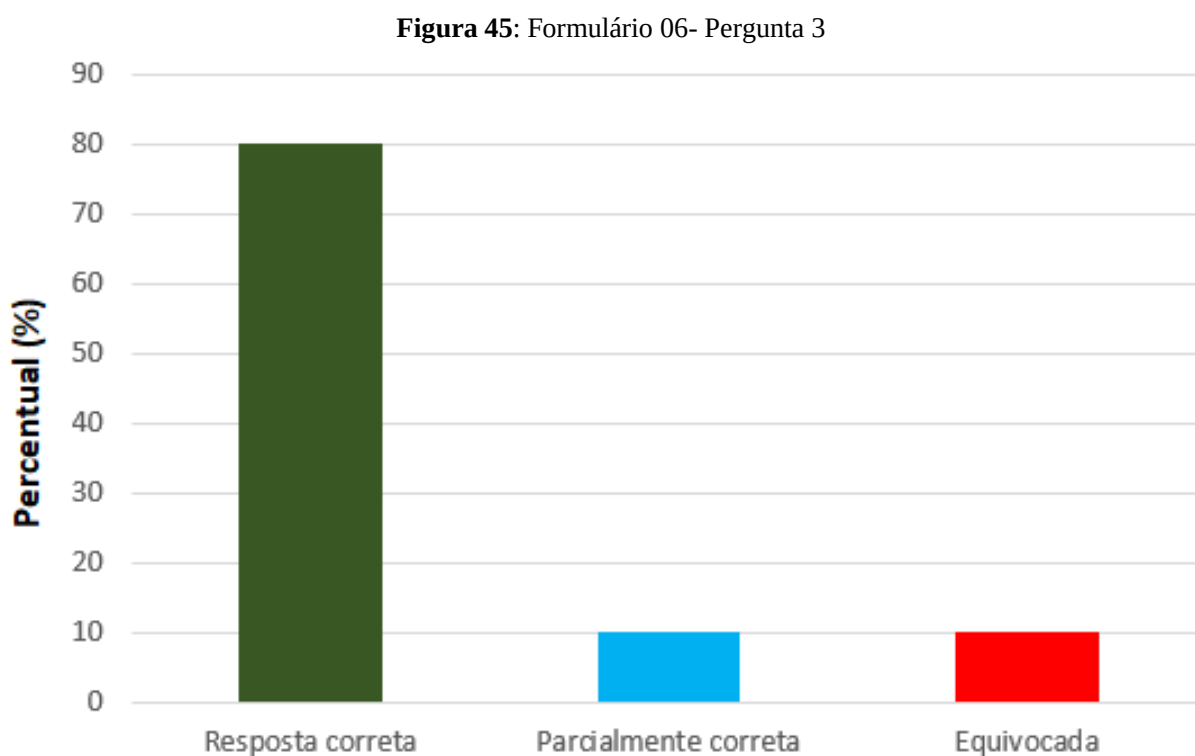
Figura 44: Formulário 06- Pergunta 2



Fonte: Autor

A grande maioria dos alunos já consolidou o subsunçor essencial da indução eletromagnética: reconhecem que é a variação do fluxo magnético (e não sua presença constante) que gera corrente elétrica, ou seja, fluxo constante implica ausência de força eletromotriz induzida (fem). Isso indica uma boa apropriação qualitativa da Lei de Faraday. No entanto, um pequeno grupo ainda não diferencia claramente campo constante de campo variável, sugerindo que associam a presença de qualquer campo a uma geração automática de corrente. Essa dificuldade evidencia a necessidade de reforçar, com simulações e experimentos comparativos, que apenas a variação no tempo do fluxo é capaz de gerar tensão. Além disso, há alunos que acreditam que o solenoide “funciona sozinho”, ou seja, que apenas o movimento gera corrente mesmo sem um circuito fechado, o que revela uma lacuna na compreensão do papel do circuito elétrico na condução da corrente induzida. Para esses casos, é importante retomar a ideia de que a indução pode até gerar tensão, mas sem um caminho completo (circuito fechado), a corrente não flui de forma mensurável, e, portanto, não se acende nenhuma lâmpada nem se realiza trabalho visível.

6.7.3 - Pergunta 3. O que acontece com o sentido da corrente quando você move o ímã para trás e para frente?

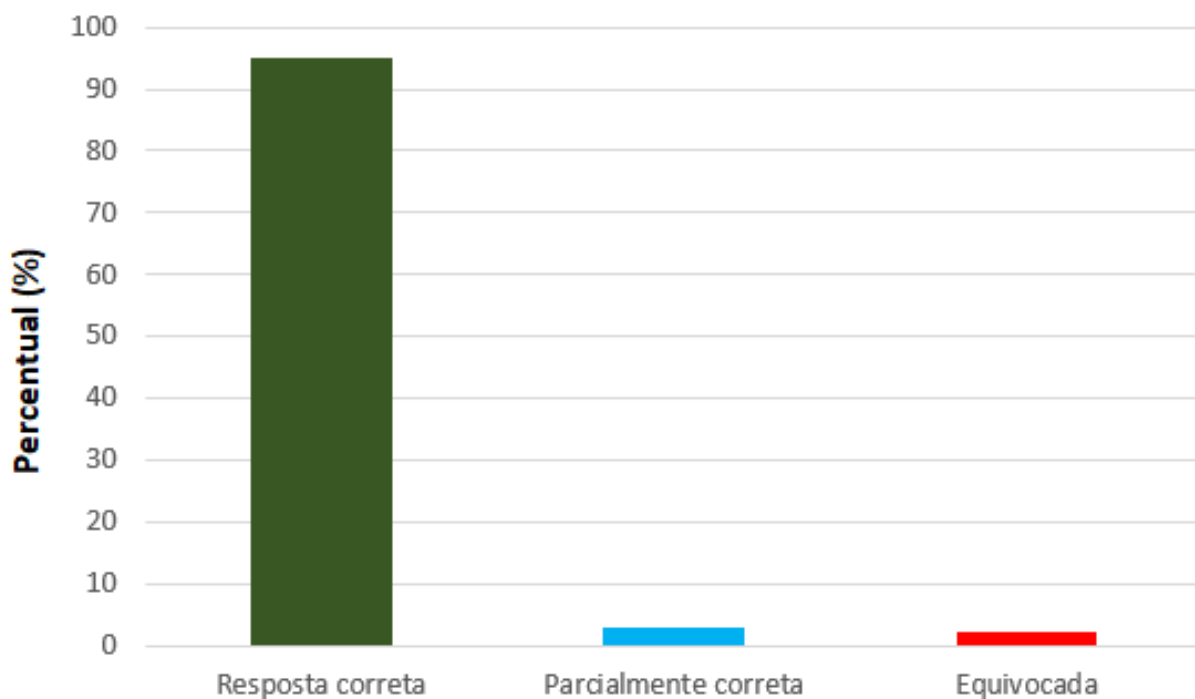


Fonte: Autor

Cerca de 80 % dos alunos já internalizaram adequadamente o subsunçor fundamental relacionado à Lei de Faraday: reconhecem que inverter o movimento do ímã leva à inversão da variação do fluxo magnético ($\Delta\Phi$), o que, por sua vez, inverte a força eletromotriz induzida (fem) e, conseqüentemente, o sentido da corrente gerada. Isso mostra um avanço significativo na compreensão do princípio que fundamenta a geração de corrente alternada. Por outro lado, os alunos que responderam apenas com a ideia de “piscar” demonstram ter percebido que há uma oscilação ou variação, mas ainda não conseguem diferenciar entre piscar por inversão de polaridade (troca de sentido da corrente) e piscar por simples interrupção ou oscilação de intensidade no mesmo sentido. Já os que afirmaram que “o sentido não muda” ainda confundem os conceitos de “intensidade variável” com “direção da corrente”, revelando que não consolidaram a ideia de que a inversão do movimento do ímã leva, necessariamente, à inversão da corrente induzida, ponto que deve ser trabalhado com representações visuais e experimentos controlados.

6.7.4 - Pergunta 4. Ajuste a fonte de corrente contínua (bateria) para 0 V e verifique se a lâmpada acende. Por quê?

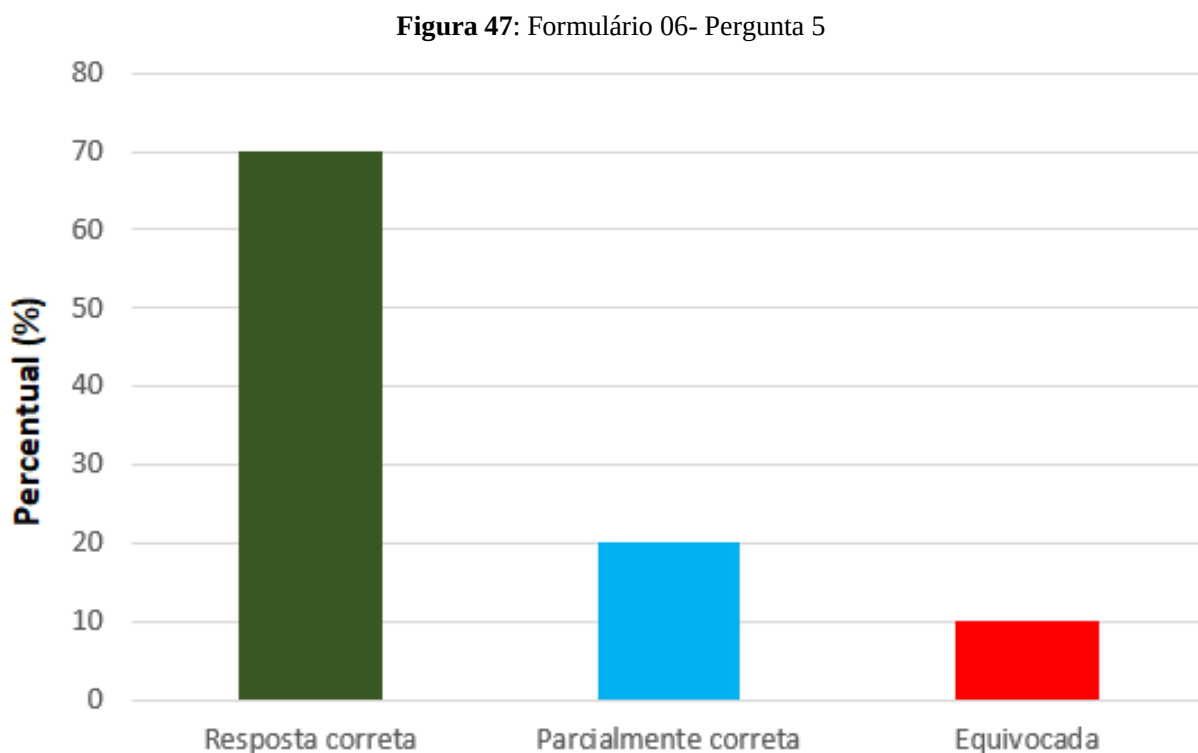
Figura 46: Formulário 06- Pergunta 4



Fonte: Autor

Quase todos os alunos já internalizaram com clareza o subsunçor “tensão como requisito mínimo para corrente contínua”, associando corretamente a presença de diferença de potencial (V) ao funcionamento de um circuito elétrico simples ao acendimento da lâmpada. Trata-se de um conceito fundamental bem consolidado. Os raros equívocos presentes, como interpretar que mesmo com o circuito aberto (0 V) ainda haveria alguma corrente residual ou brilho fraco da lâmpada, indicam confusão pontual entre carga armazenada e corrente elétrica sustentada. Esses casos isolados podem ser sanados com revisões rápidas sobre os conceitos de circuito fechado e continuidade de corrente, reforçando que sem tensão aplicada (e circuito completo), não há fluxo de elétrons.

6.7.5 - Pergunta 5. Ajuste a fonte de corrente contínua (bateria) para 10 V e o solenoide com 3 espiras; verifique se a lâmpada acende. E se movimentarmos a fonte ou o solenoide (aproximando ou afastando)? O que ocorre com o sentido da movimentação dos elétrons no interior do condutor do solenoide?



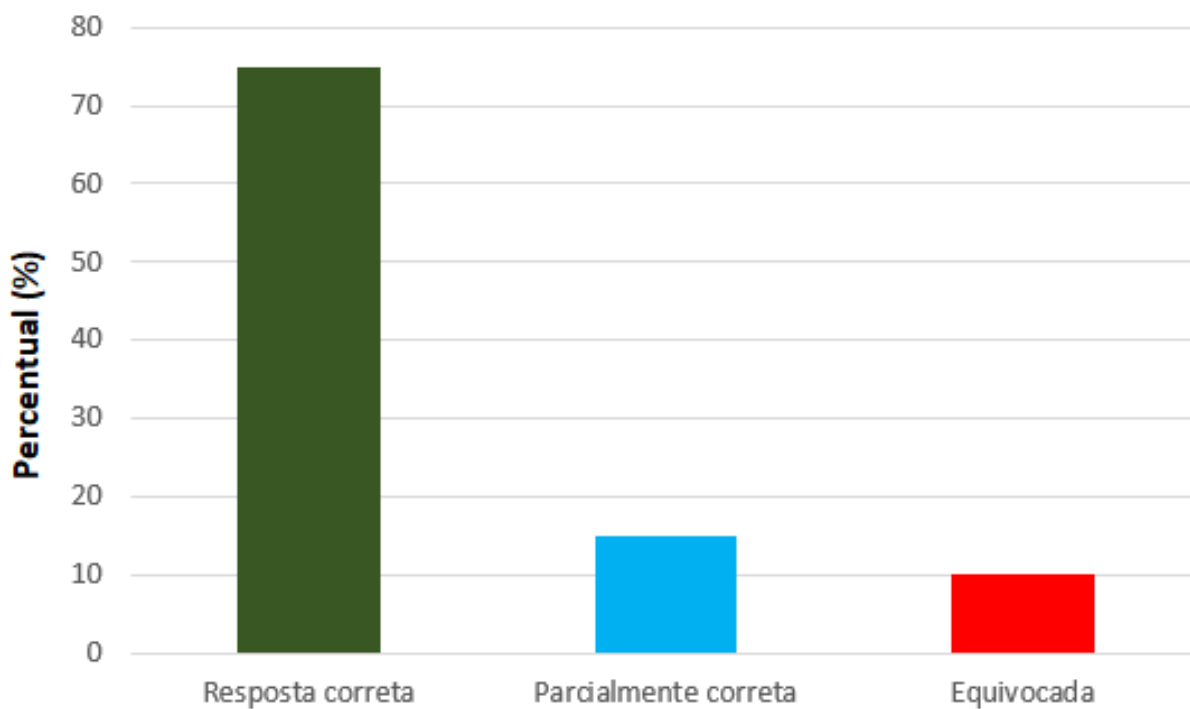
Fonte: Autor

A maioria, cerca de 70%, compreende o subsunçor de que 10 V em um solenoide de 3 espiras gera corrente contínua, o que faz a lâmpada acender, e sabe que ao mover o solenoide ocorre uma força eletromotriz (fem) induzida que pode reforçar ou antagonizar a corrente da

fonte, invertendo localmente o sentido dos elétrons. O grupo que acredita que o sentido dos elétrons não muda supõe que a força aplicada pelos 10 V domina totalmente qualquer pequena fem induzida; porém, em condições reais, dependendo da magnitude da variação do fluxo magnético ($d\Phi/dt$), a fem induzida pode até inverter parcial ou totalmente a corrente instantaneamente, caso $d\Phi/dt$ seja maior que V/R . Alguns confundem o circuito “conectado” com o circuito “movimentado”, pensando que, mesmo com 10 V, se moverem o solenoide a lâmpada pode apagar; na verdade, a fonte contínua mantém a lâmpada acesa, e a fem induzida apenas altera o valor total da corrente.

6.7.6 - Pergunta 6. “Com base no que você aprendeu nos momentos anteriores, pense em maneiras de fazer a lâmpada acender. Teste suas ideias. O que você observa? Explique.

Figura 48: Formulário 06- Pergunta 6



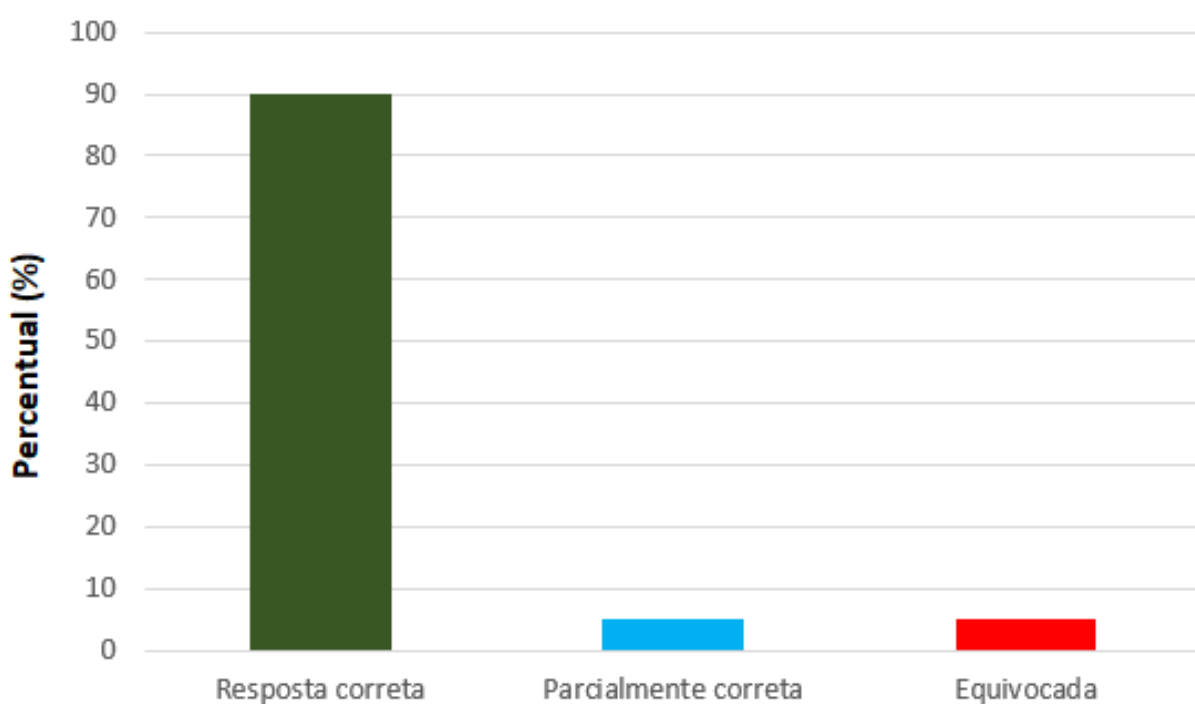
Fonte: Autor

A maioria compreendeu que existem duas vias principais para fornecer energia à lâmpada: a primeira é usar uma fonte de corrente contínua (CC) com tensão suficiente; a segunda é utilizar indução eletromagnética, seja movimentando um ímã e/ou solenoide, ou aumentando o número de espiras do solenoide. Um grupo de alunos entendeu que a corrente alternada (CA) em 220 V é uma forma de acender a lâmpada, mas não distingue claramente

entre “gerar essa CA via transformador” e “gerar CA via movimento do ímã no solenoide”. Além disso, alguns alunos ainda não associam que, em um circuito puramente indutivo, sem fonte de corrente contínua, a lâmpada só acende quando há variação no fluxo magnético; eles supõem erroneamente que bastaria apenas ligar o solenoide, mesmo sem o movimento do ímã.

6.7.7 - Pergunta 7. Aproximando o primário (eletroímã) do secundário (solenóide) do transformador, a tensão no secundário aumenta ou diminui? Justifique.

Figura 49: Formulário 06- Pergunta 7



Fonte: Autor

Quase todos compreendem que uma distância reduzida entre as bobinas resulta em um maior acoplamento magnético, o que gera uma tensão maior no secundário. Uma pequena parcela dos alunos confunde conceitos como “fluxo saturado” ou “proximidade” com fenômenos estranhos, como a ideia de que o “campo se esgota”. No entanto, de modo geral, eles entendem a lógica de que quanto mais linhas de campo magnético cortam o secundário, maior será a tensão gerada.

7. AVALIAÇÃO

Nesta proposta de avaliação, optou-se por acompanhar o processo de aprendizagem de forma contínua e reflexiva, em vez de focar só em provas classificatórias. Baseada na Aprendizagem Significativa e no modelo UEPS, a avaliação fez parte das atividades práticas. Observei o envolvimento dos alunos nos roteiros experimentais, registrei como responderam ao pré-teste, acompanhei a construção de conceitos nas aulas em grupo e avaliei a compreensão via depoimentos e autoavaliações. A ideia não foi só medir o resultado final, mas também identificar ideias prévias, acompanhar conflitos e progressos de entendimento, e ajustar imediatamente a mediação em sala.

O conjunto de avaliações incluiu: (a) um pré-teste para mapear conhecimentos e possíveis erros iniciais; (b) observação da participação e execução dos experimentos em equipe; (c) questionários durante e depois das atividades, estimulando argumentação e registro de hipóteses; (d) pós-teste conceitual para verificar os avanços; e (e) uma autoavaliação em que cada aluno falou sobre seu próprio aprendizado e sugeriu melhorias. Essa combinação tornou a avaliação formativa e diagnóstica, garantindo feedback constante e orientando ajustes na sequência de aulas para reforçar a aprendizagem de eletromagnetismo.

7.1 Pré-Teste: Diagnóstico de Conhecimentos e Conceitos Prévios

Antes de iniciar a UEPS, aplicou-se um pré-teste com perguntas como “Por que a bússola aponta para o Norte?” e “Para que serve um ímã?”, além de questões sobre atração entre ímãs e distância do campo magnético.

Pontos fortes identificados:

A maioria ($\approx 60\text{--}70\%$) sabe que “a Terra se comporta como um ímã” e que a bússola aponta para o Norte magnético.

Muitos entendem que “o campo magnético atua à distância” e que “pólos iguais se repelem / opostos se atraem”.

Principais dificuldades/equívocos:

1. **Igualdade das Forças de Atração:** Cerca de 17 % acreditaram que “a atração do ferro pelo ímã é mais intensa do que a atração do ímã pelo ferro” (que, na verdade, são sempre iguais).

2. **Ímã Partido:** Índice reduzido (15,6 %) sabia que “cada fragmento continua tendo polo Norte e polo Sul”; alguns (4,4 %) pensaram incorretamente em “ímãs unipolares”.

3. **Campo Magnético Interno ao Solenoide:** Antes das aulas, muitos alunos não distinguiam claramente quando o campo existe (corrente variável) ou pode ser nulo (corrente contínua estática).

4. **Uso de Bússola na Lua** (ausência de campo magnético lunar): quase todos desconheciam que “na Lua não haveria bússola válida”.

Esse pré-teste cumpriu o papel de organizador prévio (passo 3 das UEPS): trouxe à tona conhecimentos aceitos (ex.: Terra como “ímã gigante”) e tópicos ainda confusos (ex.: igual intensidade de atração, monopolos magnéticos, indução em DC versus AC). A partir dessas respostas, foi possível planejar as UEPS de modo a:

- Retomar o conceito de “campo magnético terrestre” e a regra da mão direita (aula 1).
- Enfatizar que “sempre há dois polos em um ímã” (aula 2).
- Explorar indução magnética em corrente contínua versus corrente alternada (aulas 3 e 4).

7.2 UEPS: Sequência Das Aulas

7.2.1 Aula 1 (Campo Magnético e Bússola)

Meta declarativa: Conceito de campo magnético como região que “atua à distância”.

Organizadores prévios: Vídeo de Oersted e simulador PHET “Magnet and Compass”.

Resultados esperados (tradução para a prática):

1. Alunos identificaram que a Terra (simulada) “age como um grande ímã” (pré-teste: base já aceita).
2. Observação de que “campo existe sem contato” (corrigiu-se qualquer ideia de que ímã precisa tocar).
3. Reconhecimento de interação entre correntes elétricas e desvio da bússola (primeiro contato prático com Oersted).

Evidências de aprendizagem significativa:

Após o vídeo e a prática, muitos passaram a descrever corretamente que “campo é mais forte perto da fonte e diminui com a distância” e que “a ação magnética acontece mesmo sem contato físico”.

7.2.2 - Aula 2 (Eletroímã)

Meta procedimental: Construir e manipular um eletroímã caseiro; usar o PHET “Magnet and Electromagnets”.

Organizador prévio: Pergunta “Podemos ligar/desligar um ímã?” remeteu à experiência de Oersted.

Resultados observados:

1. Com bobina e núcleo de ferro, alunos testaram “quantas espiras são necessárias” para atrair cliques, verificando que “ferro interno amplifica o campo”.
2. Ao associar pilhas em série, eles perceberam aumento de corrente e, conseqüentemente, de força magnética, corrigindo qualquer noção de que “voltagem não faz diferença”.
3. No simulador, resgataram que o “polo norte” de um eletroímã se determina pela regra da mão direita.

Evidências de aprendizagem significativa:

A partir das respostas ao formulário, a grande maioria passou a entender claramente que a intensidade do campo depende do número de voltas e da tensão, e que o núcleo de ferro concentra o campo.

Diminuiu-se a frequência de respostas como “ímã precisa tocar no material” ou “não dá para desligar um ímã permanente”.

7.2.3 - Aula 3 (Motor Elétrico e Indução em Solenoides)

Meta procedimental: Construir um motor de fio e cliques e usar o simulador “Laboratório Eletromagnético de Faraday”.

Organizador prévio: Pergunta “De onde vem a eletricidade da minha casa?” ligou motor → gerador → usina.

Resultados observados (formular 05):

1. Inserir pilha em série aumentava a velocidade do motor (→ entendeu que maior voltagem = maior corrente = maior campo).
2. Lâmina raspada em uma ponta e não na outra: alunos reconheceram, com certa variabilidade, que isso cria a comutação (liga/desliga) para manter o rotor girando.
3. Alunos relacionaram corretamente “sentido da corrente” e “movimento da bobina” (efeito da força de Lorentz).
4. Muitos passaram a descrever resumidamente como “motor de controle remoto” funciona por interação campo magnético/corrente.

Evidências de aprendizagem significativa:

Reduziu-se o número de respostas confusas quanto ao comutador (raspagem parcial), e a maioria percebeu que o sentido da corrente determina a direção de rotação.

No simulador de Faraday, observaram que “movimentar o ímã dentro do solenoide acende e mantém a lâmpada piscando” (corrente alternada versus estática).

7.2.4 - Aula 4 (Transmissão Sem Fio)

Meta declarativa e procedimental: Demonstrar que indução em AC de alta frequência permite transferir energia sem fio, reprise dos conceitos de transformador em corrente alternada.

Organizador prévio: Pergunta “É possível transmitir eletricidade sem fios?”

Resultados observados (formulário 06):

1. **Em DC: nada acontece** – alunos confirmaram que, com 0V, a lâmpada não acende.
2. **Em AC (10V, várias espiras):** o LED acende mesmo sem contato metálico, pois o fluxo magnético variável induz corrente no secundário.
3. Variação de frequência: brilho mais estável em frequências mais altas, mas surgiam “piscamentos” devido a correntes parasitas.
4. Distância entre bobinas: além de ≈ 3 cm, a tensão induzida cai tanto que o LED já não acende.

Evidências de aprendizagem significativa:

A maior parte dos alunos compreendeu que “só AC gera indução”; em DC, o campo é estático e não induz tensão no secundário”.

Eles também distinguiram como “mais espiras no secundário $\rightarrow$ tensão induzida maior (mas resistência interna maior)”.

Entenderam que “distância e frequência controlam a eficiência do acoplamento”: à medida que afastam, o LED pisca ou apaga.

7.3. Pós-Teste: Avaliação dos Conceitos Trabalhados

O pós-teste foi composto de questões conceituais que, juntas, verificam o alcance da aprendizagem significativa em relação ao conteúdo de magnetismo.

7.3.1 Atração ímã–ferro

Pergunta: “Uma criança aproxima um pedaço de ferro de um ímã. Quais afirmações são verdadeiras?”

Resultados principais:

“É o ímã que atrai o ferro” → (62,2 %)

“A atração do ferro pelo ímã é igual à atração do ímã pelo ferro” → (35,6 %)

Interpretação: Com a UEPS, 62 % fixaram a ideia correta de que somente o ímã gera o campo, embora apenas 35 % tenham destacado a igualdade das forças (princípio de ação–reação). Há necessidade de reforço adicional sobre a simetria das forças magnéticas.

7.3.2 Ímã partido ao meio

Pergunta: “Se um ímã de barra fosse partido, o que ocorreria?”

Resultados:

“Damos origem a dois novos ímãs” → 36 alunos (80 %)

“Separamos o polo Norte do polo Sul” → 7 alunos (15,6 %)

Interpretação: A grande maioria (80 %) compreendeu que cada pedaço continua sendo um ímã. Apenas 15 % ainda acreditam em “separar polos”, mostrando que a UEPS corrigiu essa concepção. Bastaria breves revisões ou exercícios adicionais para eliminar os 15 % remanescentes.

7.3.3 Posicionamento da bússola junto a um ímã de barra

Pergunta: “Em quais posições A ou D a extremidade norte da agulha apontará para o alto da página?”

Resultados: predominaram “A ou D” ($\approx$ 55–60 %)

Interpretação: Maioria entendeu que “polo norte da agulha aponta para polo sul do ímã”. Ainda há respostas dispersas, mas a maioria consolidou o conceito de polos opostos.

7.3.4 Bússola próxima a um fio com corrente

Pergunta: “O que ocorre se aproximar uma bússola de um fio que conduz corrente elétrica? A agulha muda?”

Resultados: quase todos responderam que “a agulha se move/devia devido ao campo magnético do fio”.

Interpretação: Quase 100 % assimilou a ideia de Oersted: corrente produz campo magnético que altera a bússola.

7.3.5 Uso de bússola na Lua

Pergunta: “Na Lua, sem campo magnético global, a bússola funciona?”

Resultados: cerca de 90 % (ou mais) responderam “Não; não há campo magnético lunar”.

Interpretação: Os alunos conseguiram transferir o conceito de “bússola depende de campo magnético” para uma situação não trivial, o que indica aprendizagem significativa.

7.3.6 Barras AB, CD, EF (detecção de magnetização)

Pergunta resumida: “Se AB não atrai EF, mas AB e CD se atraem; e A atrai E e repele F, o que podemos inferir?”

Opções e contagens

“A barra AB não está imantada.” → 18 alunos (40 %)

“A barra CD está imantada.” → 13 alunos (28,9 %)

“A extremidade E repele as extremidades A e B.” → 12 alunos (26,7 %)

“A extremidade E atrai as extremidades C e D.” → 13 alunos (28,9 %)

“A extremidade F atrai C e repele D.” → 7 alunos (15,6 %)

Interpretação:

Aproximadamente 40 % identificaram corretamente que AB não é imantada, pois A e B se comportam como “apenas atraem CDs” (que são polos opostos de um ímã).

Apenas 28,9 % reconheceram que CD está imantada — isto é, CD interage de forma característica com AB e EF.

Metade dos alunos assinalou corretamente “E atrai C/D” e “E repele A/B” (conclusão de que E é polo oposto de CD e igual a AB).

Poucos (15,6 %) identificaram corretamente o comportamento de F (“F atrai C e repele D”), ou seja, F é o polo oposto de D.

Ainda há dispersão de respostas, indicando que nem todos fixaram a ideia de “testar magnetização por interação de polos”.

7.3.7 Orientação da agulha no centro de um solenoide

Pergunta: “Dentro de um solenoide longo percorrido por corrente contínua, como são as linhas de indução?”

Resultados

“Retas paralelas ao eixo do solenoide” → (55,6 %) → resposta correta.

“Radiais com origem no eixo” → (24,4 %)

“Circunferências concêntricas” → (13,3 %)

“Hélices cilíndricas” → (4,4 %)

“Nenhum campo no interior” → (2,2 %)

Interpretação: Mais da metade entendeu que “no interior de um solenoide ideal, as linhas são paralelas ao eixo”. Algum equívoco permanece (cerca de 24 % acham que são

“radiais” ou “concêntricas”). Um reforço experimental ou desenho de linhas de campo no quadro seria suficiente para corrigir esse grupo.

7.3.8 Efeitos da corrente elétrica num fio condutor

Pergunta: “O que a corrente elétrica produz num fio condutor?”

Resultados

“Efeito Joule + campo magnético ao redor do fio” → (73,3 %) → resposta correta.

“Apenas campo magnético” → (8,9 %)

“Apenas campo magnético no interior do fio” → (8,9 %)

“Só se for corrente variável” → (8,9 %)

Interpretação: A maior parte (73 %) compreendeu que “além do campo magnético, há também efeito Joule (aquecimento)”. Ainda restam confusões sobre “campo unicamente interno” ou “aparece só em CA”.

7.3.9 Origem do campo magnético nos ímãs

Pergunta aberta: “Explique a origem do campo magnético nos ímãs.”

Respostas principais:

“Alinhamento dos spins/elétrons nos átomos” (variações dessa ideia) – cerca de 60 %.

“Movimento de cargas elétricas no interior dos átomos” – cerca de 30 %.

Outras menções genéricas a “movimento de elétrons” e “domínios magnéticos” – cerca de 10 %.

Interpretação: A maioria já interiorizou que “o magnetismo vem do alinhamento dos momentos magnéticos eletrônicos (spin + orbitais)”, mostrando progresso em relação ao pré-teste (onde isso mal aparecia).

7.3.10 Verdadeiro/Falso sobre várias afirmações

Enunciado resumido:

1. “Movimento a partir da eletricidade só funciona se o ímã for fixo e a bobina móvel” (Falso - basta campo e corrente interagirem; qualquer um pode estar fixo).
2. “Dois fios paralelos com correntes ficam sujeitos a forças magnéticas” (Verdadeiro).
3. “Campo de bobinas deve-se à corrente nos fios” (Verdadeiro).
4. “Linhas de campo magnético serem fechadas está relacionado à impossibilidade de separar polos N e S” (Verdadeiro).

5. “Intensidade da força magnética sobre um fio só depende da corrente no fio” (Falso - ela depende também do campo magnético ao redor, do comprimento de fio no campo e do ângulo entre corrente e campo).
6. “Dois fios paralelos com correntes em sentidos opostos se repelem por força elétrica entre eles” (Falso - o empuxo decorre da interação de seus campos magnéticos, não por força elétrica Coulombiana).

Distribuição resumida:

Afirmações 1,5 e 6: marcada erroneamente como verdadeiras por muitos (cerca de 40 %).

Afirmações 2,3 e 4: boa maioria ($\approx 70\%$) identificou como verdadeiras.

Interpretação: A maior parte compreendeu a origem de campos em bobinas e a interação entre fios paralelos. Entretanto, persistem dificuldades sobre “quais fatores influenciam a força magnética num fio” (item 5) e “a força entre dois fios é magnética, não elétrica” (item 6).

7.3.11 Terra como ímã

Pergunta: “Considere a Terra como um ímã. Quais sentenças são verdadeiras?”

- I. Polo Norte geográfico é polo Sul magnético (Verdadeiro).
- II. Polos magnéticos e geográficos coincidem – (Falso - há diferença entre polo geográfico e polo magnético real).
- III. Uma agulha imantada aponta seu polo Sul para o polo Norte magnético da Terra (Verdadeiro - o “norte” de uma bússola é, na verdade, o polo sul magnético local da agulha).”

Resultados:

“I e III são verdadeiras” $\rightarrow$ maioria ($\approx 60\%$).

“I, II e III” (todos) $\rightarrow$ poucos alunos ($\approx 15\%$).

“Apenas II” ou “Apenas III” e outras combinações ficaram com percentuais menores.

Interpretação: Foi consolidado por cerca de 60 % a ideia de que “o polo Norte geográfico é polo Sul magnético” (I) e que “o norte da bússola na verdade é polo sul magnético” (III). Restam dúvidas sobre diferenciação de “polo geográfico” vs. “polo magnético real” (item II).

7.4. Conclusões e Próximos Passos (Segundo as UEPS)

7.4.1 Diagnóstico inicial (Pré-Teste)

Revelou as concepções prévias (Terra como ímã, ação à distância, atração/repulsão de polos).

Destacou lacunas sobre forças iguais, monopolos, funcionamento em DC e AC, e bússola na Lua.

7.4.2 Construção de UEPS (Aulas 1–4)

Cada aula buscou mobilizar o conhecimento prévio (ex.: interesse pela bússola ou pelo motor caseiro) e introduzir incrementalmente o conteúdo em níveis de complexidade crescente (diferenciação progressiva e reconciliação integrativa).

Foram usadas situações-problema (vídeos de Oersted, construção de eletroímã, motor caseiro, simulador de transformador) que funcionaram como organizadores **prévios** e deram significado ao conteúdo.

7.4.3 Evidências de Aprendizagem Significativa

Houve redução drástica de respostas incorretas elementares (por ex., “ímã unipolar” passou de ~ 15 % no pré-teste para ~ 4 % no pós-teste).

Surgiram respostas mais elaboradas sobre “alinhamento de spins eletrônicos” (origem do magnetismo), “efeito Joule + campo ao redor de um fio”, “curtos circuitos DC não induzem tensão em transformadores”, etc.

A grande maioria compreendeu que “só AC variável induz tensão no secundário” e “a transmissão sem fio é possível via acoplamento indutivo em alta frequência”.

7.4.4 Lacunas Persistentes (Próximos Passos)

Igualdade das forças de atração: cerca de 35 % ainda não reconheceram que “força do ímã sobre o ferro = força do ferro sobre o ímã”. Sugere-se uma atividade focalizada em experimentos de pares de ímãs/ferros e análise vetorial das forças.

Campo magnético no interior de solenoides: cerca de 24 % ainda acreditam em “radiais/concêntricas” em vez de “linhas paralelas ao eixo”. Pode-se desenhar e simular de modo iterativo para reforçar.

Força magnética sobre fio: 26 % ainda ignoram o “efeito Joule + campo ao redor”. Breves demonstrações quantitativas de aquecimento versus força magnética corrigiriam isso.

Item Verdadeiro/Falso (Fatores de força em fio): 40 % não detectaram que “força sobre fio depende de corrente, campo magnético externo e comprimento do fio imerso no campo”. É necessário rever a equação da força magnética ($F=iL \times B$) com exemplos concretos.

7.5 Síntese Final (UEPS) - Recapitulação do Pré-Teste:

Identificação de ideias iniciais (que orientaram as UEPS).

7.5.1 Sequência Didática (diferenciação progressiva e reconciliação integrativa):

Aula 1: “Por que a bússola aponta para o Norte?” – Construção do conceito de campo magnético terrestre e de ação magnética à distância.

Aula 2: “Podemos ligar/desligar um ímã?” – Construção do eletroímã, influências de espiras e tensão.

Aula 3: “De onde vem a eletricidade da minha casa?” – Motor caseiro e gerador, reforço de corrente contínua versus indução em CA.

Aula 4: “É possível transmitir eletricidade sem fios?” – Indução em AC de alta frequência, simulador de transformador e aplicações práticas (carregadores sem fio, maglev).

7.5.2 Evidências de Aprendizagem Significativa:

A maioria dos alunos finalizou a sequência sabendo:

- Como e por que ímãs atraem ferros (forças iguais, polos inseparáveis).
- Que sempre existe um polo Norte e um polo Sul em qualquer fragmento de ímã.
- A relação direta entre número de voltas, corrente e intensidade do campo em um eletroímã.
- O funcionamento básico de um motor elétrico: corrente → campo magnético → força sobre bobina → movimento rotacional.
- A diferença entre indução em DC (campo estático, sem tensão induzida) e AC (campo oscilante, indução no secundário).
- Princípios de transmissão sem fio: bobina primária em AC de alta frequência transmite energia para bobina próxima sem contatos metálicos.

7.6 Avaliação da Sequência pelos alunos

7.6.1 Críticas e sugestões à sequência didática

Método e materiais

Muitos elogiaram a combinação de teoria e prática (“aulas bastante didáticas”, “interessante e diferenciado”), mas vários alunos sentiram falta de mais atividades práticas ou retiraram pouco aprendizado apenas com o material escrito (“porém um pouco confuso”, “as aulas foram boas, mas somente no caderno não aprendi muito”).

Houve reclamações sobre o registro em caderno (“o que digitamos não guardamos”, “o rendimento da turma e o registro no caderno é baixo”), indicando que disponibilizar fichas impressas ou slides para anotações poderia ajudar. Isso também indica uma certa passividade e dependência do professor, visto como responsável por entregar tudo pronto aos estudantes.

Ritmo e aprofundamento

Alguns acharam o conteúdo um pouco complexo para o tempo disponível (“conteúdo complexo”, “não consegui aprender muito”), sugerindo mais exemplos passo a passo ou maior detalhamento nos slides.

Foi mencionada falta de oportunidade para tirar dúvidas (“às vezes as dúvidas não foram tiradas”, “prefiro que o professor esclareça mais em vez de apenas pedir nossa opinião”), o que indica necessidade de reservar momentos específicos de perguntas e respostas durante cada aula.

Colaboração em dupla/grupo

Alunos ressaltaram que trabalharam com colegas (“minha colega me ajudou”, “fiz com minha dupla”), mas sugeriram envolver mais dinâmicas de grupo para que ninguém fique de fora.

Sugestões práticas

Mais demonstrações em laboratório ou com kits reais (como descobriram que “podemos ver um campo magnético usando a pilha”).

Fornecer listas de verificação ou roteiros impressos para acompanhar cada experimento.

7.6.2 O que aprenderam com a sequência didática

Conceitos básicos de magnetismo

Muitos citaram ter entendido melhor:

- **Bússola e campo magnético terrestre** (“a Terra tem um campo magnético e movimentou a bússola”).
- **Funcionamento de ímãs e polos** (“ímã tem sempre polos norte e sul”, “não se separam polos”, “ao dividir um ímã formamos novos polos”).

Eletromagnetismo aplicado

Aprenderam a construir e usar eletroímãs (“é possível criar um ímã com corrente elétrica”, “entendi o número de espiras e a voltagem no eletroímã”).

Compreenderam como funciona motor caseiro (“aprendi a fazer um motor com bobina, cliques e bateria”).

Reconheceram as condições para a indução em solenoides (“ao movimentar o ímã no solenoide, a lâmpada acende”; “fluxo magnético variável gera corrente”).

Aplicações práticas e tecnológicas

Perceberam que transmissão sem fio usa o mesmo princípio dos transformadores em AC de alta frequência (“carregadores sem fio, bases de escova de dente utilizam acoplamento indutivo”).

Entenderam relações gerais como “campo magnético existe mesmo sem contato” e “corrente elétrica gera campo magnético ao redor do fio”.

7.6.3 Importância percebida do trabalho

Quase todos afirmaram que a sequência foi importante e interessante:

Relevância didática

Destacaram que “nunca tínhamos feito experimentos antes”, “foi a primeira vez que algo diferente chegou na sala” e que o trabalho facilitou a compreensão de objetos do dia a dia (motor, bússola, carregadores sem fio).

Consideraram que “conhecimento nunca é demais” e que “teve perspectiva de como funcionam os objetos, não ficando só na teoria”.

Aprendizagem ativa

Muitos disseram que as aulas práticas tornaram o conteúdo “bem mais interessante do que ficar só no caderno” e que “este trabalho vai ser muito importante no futuro” justamente por mostrar aplicações concretas.

Aspecto motivacional

Houve elogios ao fato de “cada um cuidar do seu experimento”; sentem-se mais motivados quando podem “colocar a mão na massa” e não “apenas ler e escrever”.

7.6.4 Autoavaliação de participação e aprendizado

As notas e comentários variaram, mas há alguns padrões:

Participação ativa (notas 8 a 10 em geral)

Vários atribuem 10/10 (“100/10”, “nota 10”), relatando ter se envolvido nas práticas e ter conseguido “formular opinião própria”.

Alguns mencionaram que “tentei muito realizar as atividades” e que “aprendi bastante”.

Dificuldades de compreensão (notas 4 a 6)

Alguns deram nota 5/10 ou 4/10, dizendo que “tive dificuldade em alguns casos” e que “não compreendi muito bem o conteúdo” mesmo com os vídeos explicativos.

Houve quem falasse “eu não participei” e, portanto, não conseguiu absorver tanto quanto gostaria.

Trabalho em dupla/grupo

Alunos lembraram que “fiz com minha dupla, aprendi a formular respostas coerentes”, mas também notaram que na prova “ficou difícil lembrar tudo” (indicando que a prática sozinha não garante retenção completa).

7.7 Síntese e Recomendações Finais

7.7.1 Pontos Positivos

Aulas interativas, com muitos experimentos que ajudaram a ligar teoria e prática.

Uso de simuladores PHET e vídeos que tornaram o aprendizado mais dinâmico.

Vasto envolvimento da turma em construir eletroímãs e motores, o que concretizou conceitos abstratos.

7.7.2 Aspectos a Melhorar

Alocar momentos exclusivos para esclarecimento de dúvidas, evitando que respostas “coloque o que o aluno acha” fiquem confusas.

Equilibrar teoria e prática: disponibilizar material impresso (componentes, roteiro de experimento) para que todos registrem adequadamente, pois muitos reclamaram da “falta de registro no caderno”.

Reforçar conteúdos-chave: itens em que ainda há dúvida (“força magnética sobre fio”, “linhas de campo no interior de um solenoide”), talvez com mini-testes rápidos ou ilustrações guiadas.

7.7.3 Sugestões de Atividades Futuras

Mapear em sala de aula as **linhas de campo magnético** de um solenoide usando limalhas de ferro, reforçando visualmente onde são paralelas ao eixo.

Propor dramatizações ou debates breves em duplas/trios, em que cada grupo explique em 60 s um conceito (por ex., “por que um eletroímã fica mais forte com mais espiras?”), garantindo participação de todos.

Realizar pequenas avaliações formativas (questionários de múltipla escolha ou verdadeiro/falso) logo após cada bloco de conteúdo, para identificar e esclarecer equívocos imediatamente.

7.7.4 Integração com o Pré-Teste

As respostas do pré-teste indicaram que muitos já sabiam que “a Terra age como um ímã” e que “polos iguais se repelem/contrários se atraem”.

A sequência consolidou esses conhecimentos, mas mostrou lacunas residuais (ex.: igualdade das forças de atração, concepção de monopolos).

No futuro, inclua no pré-teste questões específicas sobre esses pontos para planejar atividades exatas que garantam compreensão plena desde o início.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi proposta para esta pesquisa de mestrado, uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para o ensino de eletromagnetismo no 3º ano do Ensino Médio, com foco em magnetismo e indução eletromagnética. Inspirado na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e nas diretrizes das UEPS de Moreira, iniciei pela aplicação de um pré-teste que evidenciou subsunçores consolidados e lacunas conceituais. Em seguida, conduzi atividades estruturadas como situações-problema, apoiadas em vídeos, simuladores interativos e experimentos práticos, de modo a estimular os alunos a externalizar e confrontar suas concepções e, assim, favorecer uma aprendizagem integrada em vez de mecânica. O pós-teste revelou avanços relevantes na compreensão, mas também indicou pontos a reforçar (por exemplo, igualdade das forças magnéticas, representação das linhas de campo em solenoides e detalhes sobre a interação de forças em condutores) orientando as próximas intervenções na sequência didática.

Ao examinar as respostas dos Formulários 01 e 02, identifiquei subsunçores bem consolidados, como: a Terra vista como dipolo magnético; compreensão de campo magnético como ação à distância; noção de que polos iguais se repelem e que o campo decai com a distância; entendimento de que corrente elétrica gera campo e desvia a bússola, invertendo-se ao inverter polaridade; e a ideia de que o campo existe enquanto havia corrente elétrica. Em contrapartida, surgiram concepções alternativas ou lacunas: confusão entre campo elétrico e campo magnético; crença de que inverter a pilha “desligava” o circuito; ideia de que nem todo condutor gerava campo; noções iniciais, mas imprecisas, sobre variação de campo e indução; e falta de distinção entre norte geográfico e norte magnético. Esses achados confirmaram que, após a primeira aula, o ambiente era potencialmente significativo: havia base prévia para aprofundamento. Planejei e implementei atividades de diferenciação progressiva que retomaram explicitamente essas ideias. Demonstrei internamente o funcionamento de uma bússola (componentes, montagem); utilizei limalha e ímã para evidenciar ação à distância e decaimento do campo; conduzi montagens práticas de circuito (pilha + fio + bússola) para mostrar que inverter polaridade somente inverte corrente, sem interrompê-la; empreguei simulações PHET e gráficos qualitativos para ilustrar decaimento de campo com distância e intensidade; e guiei discussões para diferenciar campo magnético de campo elétrico.

Os formulários 03 e 04 da Aula 02 confirmam que a confusão sobre função exata do núcleo de ferro; e menções à resistência interna e saturação ao variar tensão. Para essas lacunas, planejei e realizei atividades experimentais. Comparei o efeito sobre a bússola de mover apenas

a bateria desconectada versus em circuito; construí eletroímãs idênticos com e sem núcleo para evidenciar ganho de força; montei bobinas com diferentes números de voltas e medi quantos cliques erguiam para reforçar “mais espiras → campo mais forte”; conduzi exercícios visuais e práticos para fixar regra da mão direita e representação correta do campo; e explicitiei como a resistência interna da bobina afetava a corrente e, consequentemente, o campo.

Com os Formulários 05 (motor caseiro) e 06 (simulador de Faraday), identifiquei subsunçores consolidados: aumento de tensão resultava em maior corrente e torque; comutador caseiro via raspagem; princípio de funcionamento (interação de campo e movimento); e conhecimento geral de motores CC em brinquedos. As lacunas incluíam crença de que mais pilhas só aumentavam duração, não velocidade; confusão entre motor e gerador; entendimento parcial do comutador; e associação superficial com controle remoto, sem conectar ao eletromagnetismo. Conduzi demonstrações conjuntas de motor caseiro e motor real de brinquedo, com ênfase em cada componente (bobina, comutador, escovas, ímã permanente); propus exercícios de desenho das etapas de comutação; elaborei diagrama de blocos de sistema de controle remoto para situar onde atuava o campo magnético e onde atuava radiofrequência; e realizei experimentos comparativos de voltagens para discutir efeitos práticos (atrito, contato). No simulador de Faraday, verifiquei compreensão de que variação de fluxo gerava *fem* e corrente elétrica (lâmpada acendia quando $d\Phi/dt \neq 0$) e entendimento básico de transformador e acoplamento magnético. Identifiquei confusão entre corrente induzida e corrente da fonte (alguns pensavam que, sem fonte, mover solenoide bastaria para acender a lâmpada); dificuldade com inversão de corrente em presença de fonte CC; e falta de distinção entre transformador ideal e real. Para corrigir, realizei atividades comparativas de “movimentar solenoide vs. movimentar ímã” com e sem fonte CC, comparei transformador ideal e modelo real via simulações e propus exercícios qualitativos sobre variação de espiras e acoplamento.

Após a aplicação do produto, todo esse conhecimento deverá ser colocado no contexto de “sistemas energéticos reais” (usina → redes → subestações → transformadores → motores e geradores), de modo que o aluno perceba a aplicabilidade destes conceitos em larga escala e consolide de vez uma aprendizagem verdadeiramente significativa.

Assim, a aplicação das UEPS cumpriu seu papel:

1. Organizou o prévio (pré-teste),
2. Introduziu conteúdo de forma gradual e significativa (aulas práticas + simuladores),
3. Promoveu avaliação formativa contínua (formulários 01–06),
4. Levou a um pós-teste que evidenciou progressos e orientou intervenções futuras.

Dessa forma, integrando pré-teste e UEPS, avançamos rumo a uma compreensão efetiva do eletromagnetismo, preparando os alunos tanto para situações cotidianas (bússolas, carregadores sem fio) quanto para conceitos mais abstratos (num nível atômico e tecnológico).

Os alunos consideraram a sequência didática útil, motivadora e relevante, principalmente por trazer experimentos práticos que conectaram eletromagnetismo ao cotidiano. As críticas apontam sugestões concretas de mais oportunidades para tirar dúvidas e espaço para registro organizado (folhas de roteiro, slides) a fim de ampliar a retenção dos conceitos. No geral, a autoavaliação indica que a maioria dos estudantes participou bem e avalia positivamente o aprendizado, embora um grupo menor ainda necessite de reforço em certos conceitos-chaves para consolidar totalmente o conteúdo de eletromagnetismo.

9 REFERÊNCIAS

- ALARCÃO, I.. **Professores reflexivos em uma escola reflexiva**. São Paulo: Cortez Editora, 1996.
- AUSUBEL, D.P.. **Educational psychology: A cognitive view**. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- AUSUBEL, D.P.. **Aquisição e retenção de conhecimentos**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.
- BIZZO, N.. **Ciências: fácil ou difícil**. São Paulo: Ática, 1998.
- BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares ao Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias**. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.
- COUTO, R. V. L. **Astronomia no Ensino Médio: uma abordagem simplificada a partir da Teoria da Relatividade Geral**. 270f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.
- DEMO, P. **Educar pela pesquisa**. Campinas: Autores Associados, 1996.
- DEMO, P. **Formação permanente de formadores: educar pela pesquisa**. In: NÓVOA, A. (Org.). **Os professores e a sua formação**. Lisboa: Dom Quixote, 1999. p. 93–114.
- FERREIRA, M.; COUTO, R. V. L.; SILVA FILHO, O. L.; MARINHO, L. P.; MONTEIRO, F. F. Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, p. e20210157, 2021.
- GIANCOLI, D. C. **Physics for scientists and engineers with modern physics**. 4. ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc., 2009.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física 3 – Eletromagnetismo**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- HYPERPHYSICS. **Magnetic Susceptibilities of Paramagnetic and Diamagnetic Materials at 20 °C**. In: HyperPhysics – Condensed Matter. Georgia State University. Disponível em: <https://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Tables/magprop.html>. Acesso em: 27 fev. 2025.
- ITALPRO. **Sistema completo de eletroímãs + gerador + painel + comando à distância**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=WoCudP5bpil> e <http://www.italpro.com.br>. Contato: ital@italpro.com.br; Tel.: (11) 4148-2518.

LAVARDA, F. C. **Experimentos de Física para o Ensino Médio e Fundamental com materiais do dia-a-dia**. Disponível em: <http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/>. Acesso em: 19 ago. 2019.

MOREIRA, M. A. A Teoria de Aprendizagem de David Ausubel como sistema de referência para a organização de conteúdo de Física. **Revista Brasileira de Física**, v. 9, n. 1, 1979.

MOREIRA, M. A. **Uma abordagem cognitivista ao ensino da Física**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1983.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Editora da UnB, 1999.

MOREIRA, M. A. **Aprendizaje significativo: teoría y práctica**. Madrid: Visor, 2000.

MOREIRA, M. A. **Aprendizaje significativa crítica**. Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2005.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora da UnB, 2006.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e diagramas V**. Porto Alegre: Ed. do Autor, 2006.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. 2. ed. São Paulo: Centauro Editora, 2006.

MOREIRA, M. A. Unidades de ensino potencialmente significativas. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43–63, 2011.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 3. ed. ampl. [reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2023.

MOREIRA, M. A.; BUCHWEITZ, B. **Novas estratégias de ensino e aprendizagem**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1993.

MOREIRA, M. A.; CABALLERO, C.; RODRÍGUEZ, P. M. L. **Aprendizaje significativo: interacción personal, progresividad y lenguaje**. Burgos: Servicio de Publicaciones de la Universidade de Burgos, 2004.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. A. F. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Editora Moraes, 1982.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. A. F. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. 2. ed. São Paulo: Centauro Editora, 2006.

MUNDO EDUCAÇÃO. **Campo magnético**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/campo-magnetico.htm>. Acesso em: abr. 2025.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Learning how to learn**. New York: Cambridge University Press, 1984.

- SILVA, R. A.; OLIVEIRA, T. C. **Simuladores computacionais no ensino de Física: impactos na aprendizagem de eletromagnetismo**. Revista de Ensino de Ciências e Matemática, v. 10, n. 2, p. 85–102, 2019.
- PEREIRA, J. L.; SOUZA, F. R.; ALMEIDA, K. S. Vídeos educacionais como recurso didático no ensino de ciências: estudo de caso em escolas públicas. **Caderno de Pesquisa em Educação**, v. 12, n. 3, p. 45–64, 2020.
- PÉREZ GÓMEZ, A. I. **O pensamento prático do professor: a formação do professor como profissional reflexivo**. In: NÓVOA, A. (Org.). **Os professores e a sua formação**. Lisboa: Dom Quixote, 1999. p. 93–114.
- PEREZ, G. **Formação de professores de Matemática sob a perspectiva do desenvolvimento profissional**. In: BICUDO, M. A. V. (Org.). **Pesquisa em Educação Matemática: concepções e perspectivas**. São Paulo: Editora Unesp, p. 263–284, 1999.
- PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. **PhET: Interactive Simulations**. University of Colorado Boulder, Department of Physics. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/>. Acesso durante desenvolvimento e aplicação da sequência didática. 2023-2025.
- TIPLER, P. A. **Física volume 2 – Eletricidade e Magnetismo, Óptica**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física III – Eletromagnetismo**, Sears & Zemansky. 12. ed. São Paulo: Pearson/Addison Wesley, 2009.

APÊNDICES E ANEXOS

Produto Educacional	01
Formulários	13
Apêndice III - Análise das Respostas dos Formulários Detalhada.	19
Anexo I - Roteiro Experimental – Mapeamento do Campo Magnético	60
I Roteiro Experimental – Experimento de Oersted	61
Anexo III - Roteiro Experimental – Construindo um Ímã	62
Anexo IV - Roteiro Experimental – Motor Elétrico	63



Caderno de apoio para o ensino de tópicos de eletromagnetismo

Autoria: Esdras Santos de Oliveira

Orientação: Dr. Wytler Cordeiro dos Santos





Universidade Nacional de Brasília



Sociedade Brasileira de Física

MNPEF

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Prezado Professor/Aluno

Esse material foi desenvolvido com a intenção de auxiliar alunos e professores na aprendizagem de eletrodinâmica, utilizando como ferramenta uma sequência didática que assume o formato de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa que abrange desde conceitos iniciais de magnetostática, passando pelo eletromagnetismo, até aplicações práticas no cotidiano como a física presente em geradores e receptores.



Apresentação

De acordo com os parâmetros curriculares nacionais, existe a necessidade de aproximar o que os estudantes aprendem na escola de processos, dispositivos e situações presentes no seu cotidiano.

Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação.

Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas. É necessário também que essa cultura em física inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos técnicos ou tecnológicos do cotidiano doméstico, social e profissional. (2002, p.229).

Na sequência didática desenvolvida, a aprendizagem significativa de Ausubel assume a forma de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), proposta por Marco Antônio Moreira (2011), para o desenvolvimento dessa sequência didática os alunos necessitam de um contato prévio com a eletrodinâmica, mesmo que superficial para que seja possível o aprofundamento em temas do magnetismo e eletromagnetismo.



Orientações ao professor

Antes de iniciar a aplicação da sequência didática o professor deverá aplicar dois pré-testes, que servirão como guia sobre os conhecimentos prévios dos alunos para um melhor desenvolvimento da sequência didática.

Confira os formulários pelos links:

<https://forms.gle/Li4cnTyM2CXUiUiz8>



Objetivos

- Reconhecer o efeito magnético da corrente elétrica;
- Representar as linhas do campo magnético para um condutor retilíneo e para solenoides e relacionar com as linhas de campo magnético de um ímã;
- Reconhecer a interação entre forças magnéticas sobre condutores e correntes;
- Obter o sentido da força magnética;
- Entender o funcionamento de um motor elétrico, dínamo e semelhantes;

Conteúdos abordados

Campo magnético, Ímãs, indução eletromagnética, solenoide, força eletromagnética, diferença de potencial elétrico (DDP), corrente elétrica, circuito de corrente contínua e alternada, força magnética, Lei de Faraday, Lei de Lenz.

Materiais necessários

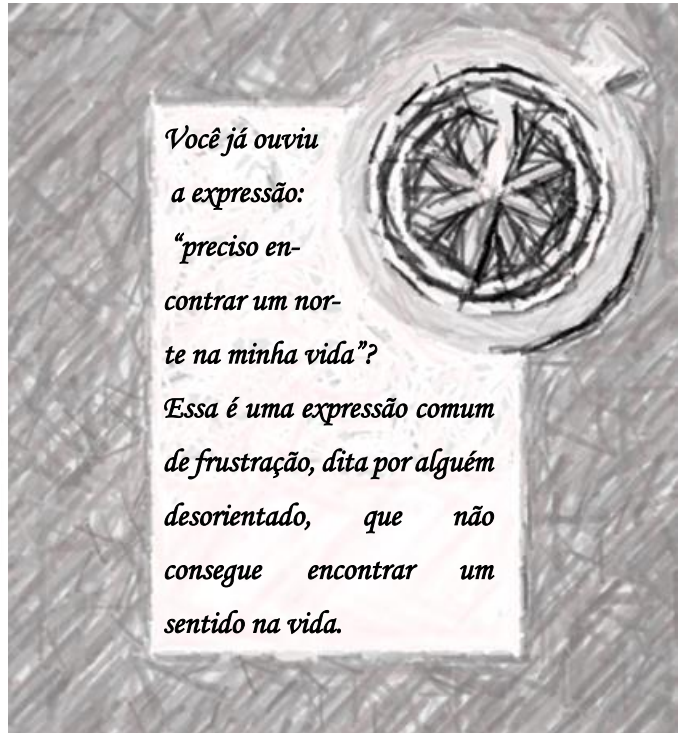
Bússolas, base de liquidificador, pregos de 90mm, clips de papel, grampos, fio esmaltado, pilhas elétricas (1,5V e 9,0V), ímãs, fio esmaltado, fita isolante, fio esmaltado, ímãs, papel, durex, fontes de alimentação.



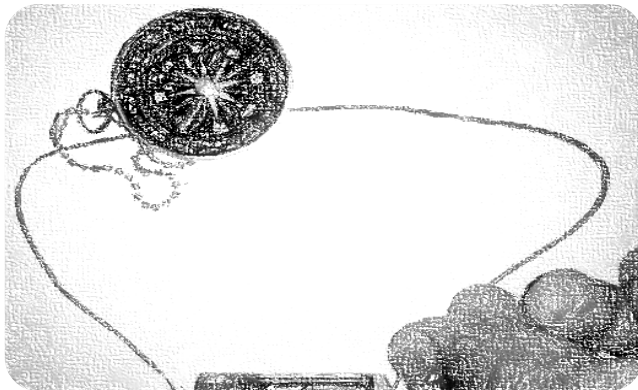
Aula 01 – O que faz uma bússola apontar para o norte?

A bússola é um aparelho que desde a antiguidade é utilizado para orientação geográfica. A principal característica desse aparelho é que sua agulha sempre aponta para o norte geográfico da Terra.

Você já parou para pensar o motivo desse fenômeno? O que existe no Norte do nosso Planeta com a capacidade de orientar todas as bússolas em uma mesma direção?



Os mais antigos registros da bússola a consideram apenas um aparelho de orientação geográfica; e sim, essa foi sua principal função, até que, em 1820, um professor a esqueceu sobre a mesa enquanto realizava um experimento de eletricidade.



Esse “acidente” (conhecido hoje como Experimento de Oersted) apresentou outra utilidade para a bússola; para compreender melhor o que aconteceu naquele dia precisaremos de um pouco mais de conhecimento sobre o campo magnético, para isso precisaremos apenas de um ímã, uma folha branca e limalha de ferro.

Ao colocar a folha sobre o ímã e distribuir a limalha em pequenas quantidades, é possível observar o formato do campo magnético, se essa demonstração for realizada utilizando o ímã feito barra, a configuração encontrada é bem semelhante ao campo magnético terrestre.

Nesse dia, ao ligar ou desligar seu experimento, ele percebeu que a agulha mudava de direção, a partir de então, a bússola passou a ter outras atribuições principalmente do ponto de vista experimental da Física. Esse professor era o Físico Hans Oersted.

Confira esse experimento no Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?>



Experimento Virtual

Acesse o simulador de campo magnético e de bússolas disponibilizado na plataforma PHET pelo link:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/magnet-and-compass

Brinque com o simulador, depois tente fazer atividades a seguir:

Coloque a bússola em diversas posições diferentes ao redor do ímã e tente explicar qual foi a orientação do ponteiro da bússola.

Clique no ícone "Ver dentro do ímã" e, em seguida, procure explicar o que foi observado.

Avalie seu aprendizado seguindo o link:

<https://forms.gle/wvVcR1haQjHz4BdL7>

Quando outro campo magnético, além do da Terra, se aproxima da agulha da bússola, este campo passa a interagir com esta, fazendo que sua agulha seja atraída ou repelida por este segundo campo.

A bússola é utilizada como "verificador" da existência de um campo magnético, quando desconfiamos que algum objeto está imantado, ou seja, se comporta de forma semelhante a um ímã.

Seguindo essa mesma lógica, podemos com a bússola verificar se há um campo magnético em torno de um fio condutor, quando por este passar uma corrente elétrica.

Pela convenção do eletromagnetismo, a orientação das linhas do campo magnético será sempre "saindo" do polo norte e "entrando" no polo sul. No caso do campo magnético terrestre temos que o polo sul geográfico é o polo norte magnético e o polo norte geográfico é o polo sul magnético.



Representação do planeta Terra e pequenas bússolas apontando sempre para o norte independente de sua posição no Globo terrestre. (imagem do autor).

Confira: <https://youtube/62O3-szEHg0>

Experimento Virtual

Você poderá observar a reprodução do experimento de Oersted, utilizando um circuito simples e uma bússola, poderemos observar o fenômeno que foi responsável por unir duas grandes áreas da física a eletricidade e o magnetismo.

Siga o link

<https://forms.gle/3YzZEABCsew7QV7e6>

O campo magnético que se forma em torno do fio é composto por linhas de campo circulares concêntricas, possui uma determinada orientação, para descobrir essa orientação utiliza-se da regra da mão direita.

Para utilizar a regra da mão direita deve-se com o polegar apontar no sentido da corrente, que flui do polo positivo para o polo negativo da pilha, flexionar os demais dedos fazendo um movimento circular no sentido de fechar a mão. O sentido do campo terá o mesmo sentido de rotação dos demais dedos. Então, pode-se imaginar que a ponta de seus dedos irá repelir o Norte e atrair o sul da agulha da bússola.

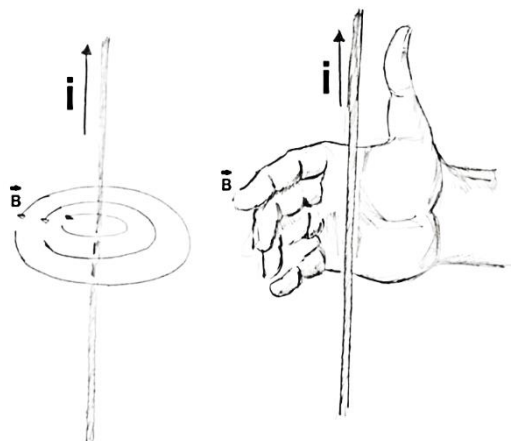


Figura 03 – Regra da mão direita, onde, i representa a corrente elétrica e B representa o campo magnético (imagem do autor)

Leia do artigo: **Uma proposta para ensinar os conceitos de campo elétrico e magnético: uma aplicação da história da física – Tópico IV.** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 24, Nº 4, 2012.

https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-47442002000400016&script=sci_abstract&tlng=pt



Aula 02 – Podemos ligar e desligar um ímã?

Você já viu aqueles ímãs gigantes presos em guindastes? Em alguns filmes, eles levantam até mesmo carros. Como que os ímãs que seguram esses materiais em determinado momento e os largam em outro?

Para responder a essas perguntas precisaremos retornar a aula anterior nela nós vimos que, a corrente elétrica e o campo magnético estão relacionados. Aprendemos que quando a corrente elétrica “corre” por um fio ela gera um campo magnético ao seu redor.



Eletroímã tirando sucata de um caminhão (Ital Produtos Industriais LTDA. 2013)



Partindo desse princípio, imagine se o fio estiver em uma forma circular, como um espiral, poderemos ter um campo magnético constante formado no interior desses fios.

<https://youtu.be/7L5yz>

Se colocarmos um objeto metálico no interior desse solenoide percorrido por uma corrente elétrica, ele passará a se comportar como um ímã.



Como iremos descobrir se um material é ou não um ímã?

Experimento Virtual

Na última aula observamos a reprodução do experimento de Oersted, agora nós poderemos reproduzir esse experimento em um ambiente virtual:

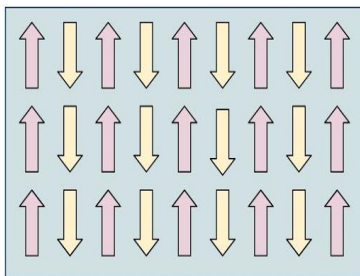
Faça diversos testes no simulador na aba Eletroímã.

Avalie seu aprendizado seguindo o link:

<https://forms.gle/8JT764E319EkeLdS7>

Todo material magnético possui o que conhecemos como polo Norte e polo Sul, sendo atraído ou repelido por outro material que possua a mesma propriedade, ou propriedades semelhantes.

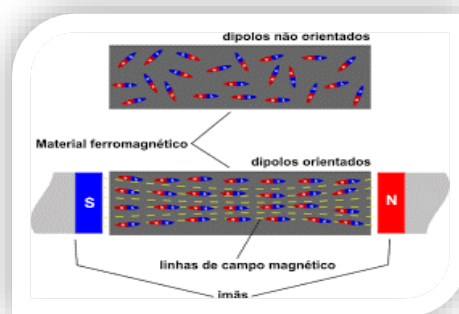




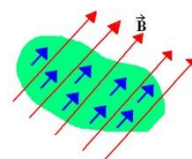
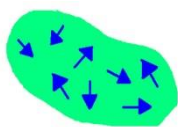
Microscopicamente, os materiais possuem pequenos ímãs, chamados de **dipolos magnéticos naturais** (spin). O que vai nos dizer se o objeto é ou não um ímã, será o alinhamento desses dipolos. Quando os dipolos do material estiverem alinhados naturalmente temos um ímã natural.

Quando diferentes materiais estiverem nas proximidades de um ímã, encontraremos três situações possíveis para eles, assim, os classificamos em: Ferromagnéticos, paramagnéticos e diamagnéticos.

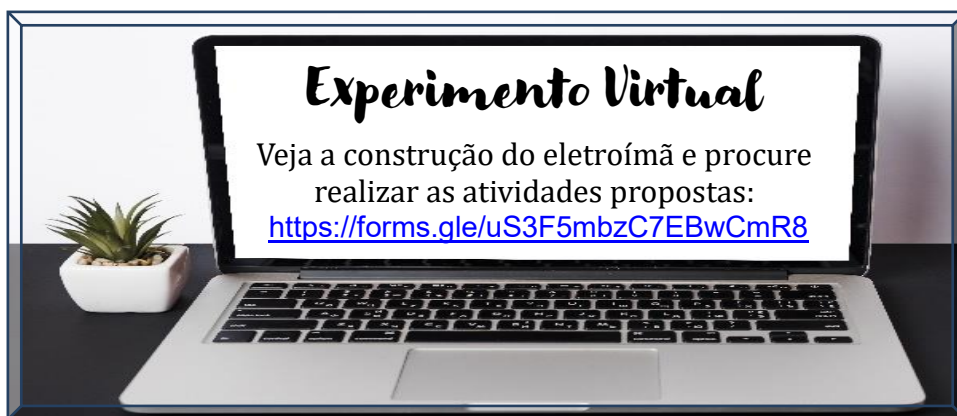
Ferromagnético: Na presença de um ímã externo, temos o alinhamento de todos os dipolos magnéticos do material fazendo-o se comportar como um ímã natural, sendo assim, atraído por um ímã natural. O ferro, o níquel e o cobalto são alguns exemplos de materiais ferromagnéticos.



Paramagnético: Na presença de um ímã externo, também teremos o alinhamento dos dipolos magnéticos do material, porém a intensidade é bem menor, cerca de 1000 vezes. Observar isso é muito difícil, sendo assim o material é fracamente atraído pelo ímã natural. Exemplos: vidro, alumínio e platina.

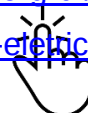


Diamagnético: Todo material pode ser considerado diamagnético, observar isso na prática é muito difícil porque nesse caso o material é muito fracamente repelido pelo ímã natural. A água, a prata, o ouro, o chumbo e o quartzo são alguns exemplos de materiais diamagnéticos.



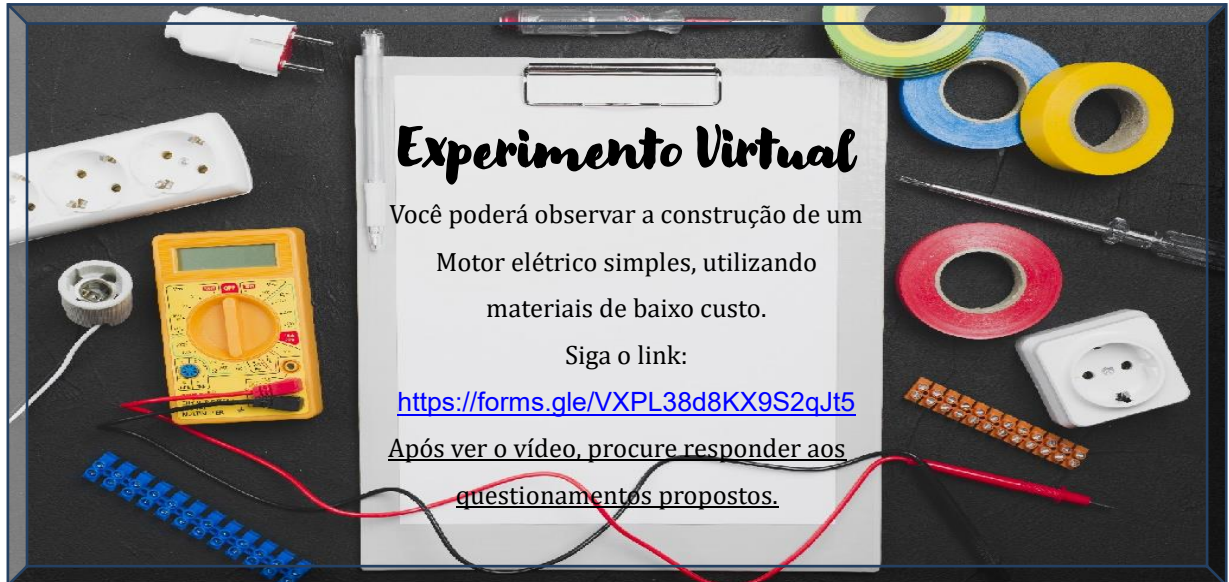
Leia do artigo: **Magnetismo e eletricidade**. Revista Ciência Hoje na escola, vol. 12, 2001.

<http://chc.org.br/magnetismo-e-eletricidade>



Aula 03 – De onde vem a eletricidade da minha casa?

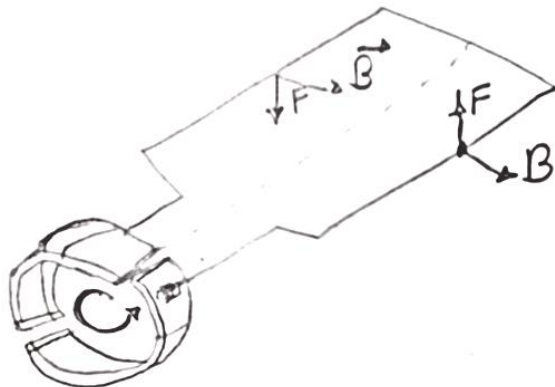
Diante do que foi demonstrado nas aulas anteriores, como a interação entre a eletricidade e o magnetismo, é possível agora construir um aparelho que transforma a energia elétrica em trabalho.

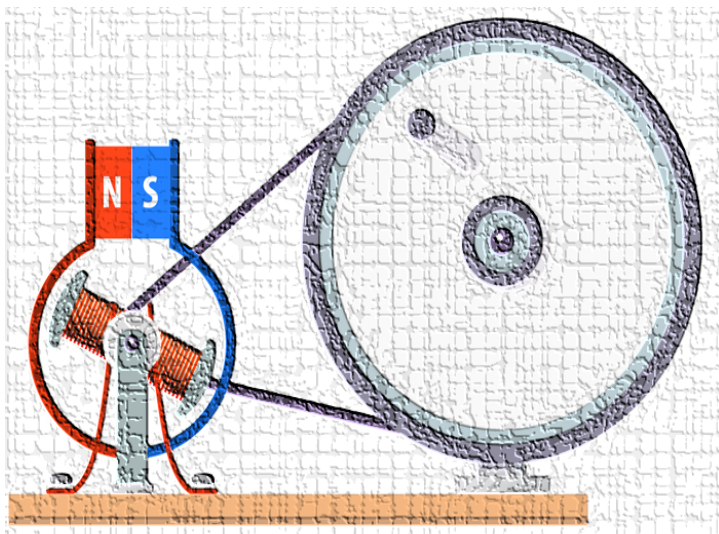


Segundo a teoria eletromagnética, transformar energia elétrica em energia mecânica é a função dos motores elétricos. Dentro desses motores encontram-se diversas espiras de material um condutor de eletricidade, protegido por um esmalte isolante, formando bobinas (solenóide) que, como vimos anteriormente, ao serem percorridas por uma corrente elétrica geram campo magnético, surgirá também nesse processo uma força magnética, produzida a partir da interação do solenoide com o campo magnético produzido por ímãs fixos ou por outras bobinas.

O imergir as espiras ou bobinas percorridas por correntes elétricas em um campo magnético externo, as espiras produzem um movimento mecânico, também chamado de efeito motor.

O movimento contínuo de rotação só permanecerá se a força magnética que faz um lado da espira subir F e a que faz descer F mudem de sentido para que a atração ou repulsão permaneçam sempre na mesma direção, mantendo assim o sentido da rotação.





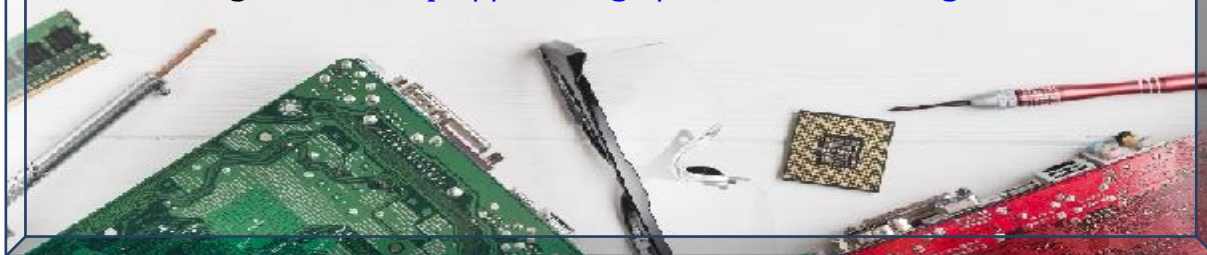
Podemos observar a inversão do sentido da corrente, para que isso ocorra com mais precisão são utilizados aparelhos chamados comutadores, ligados aos terminais da espira por meio de contatos. Se não houvesse os comutadores, a espira ficaria oscilando em um movimento similar ao de um pêndulo.

Em um motor simples podemos fazer a comutação através de um pequeno macete, que é raspar um lado da espira e do outro raspamos apenas a metade, haverá nesse caso um liga e desliga do circuito o processo de comutação estará completo.

Experimento Virtual

Acesse ao formulário abaixo e procure fazer as atividades propostas no simulador.

Siga o link: <https://forms.gle/GfFtKNbLYT8HKg5n7>



Leia do artigo: **Demonstre em aula: Força eletromotriz devida ao movimento.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física v. 16, n. 2: p. 246-248, ago. 1999.

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6816>



Aula 04 – É possível transmitir eletricidade sem fios?

Conseguimos entender como funcionam os ímãs, como construir um ímã que a partir da eletricidade e ainda como unir as duas coisas fazendo um motor.

Acho que agora já está mais claro como a eletricidade e o magnetismo se uniram para formar esse maravilhoso mundo do eletromagnetismo. O que mais podemos fazer com esse conhecimento adquirido?



Agora, imagine fazer isso na prática, será que é necessário um circuito muito complexo ou materiais de difícil acesso? A resposta é não. Veja como construir um aparelho indutor utilizando uma lâmpada fluorescente velha, um led e fio esmaltado: <https://youtu.be/-oNUyQdgDM4>.

Você observou a partir do vídeo que podemos transmitir a energia sem a utilização de fios, esse tipo de circuito apresentado é um oscilador de tensão encontrado nas quase extintas lâmpadas fluorescentes, duas bobinas dispostas próximas uma da outra fazem a transmissão da eletricidade sem a utilização de fios, se as bobinas têm tamanhos diferentes é possível reduzir bastante a tensão (Volts) de entrada no circuito por meio do transformador, o interessante é que essa mesma base pode ser utilizada para carregadores sem fio.

Momento de avaliar

Para sugestões e críticas sobre a sequência didática siga o link abaixo:

<https://forms.gle/FW2pKyUYV6V4WDcQ9>

Pós teste

<https://forms.gle/YtpbscfgPj12zXbt8>

Apêndice II – Formulários e Testes

Pré-teste/Pós teste



Pergunta 01 - A bússola é um aparelho utilizado há muitos anos para navegação e orientação. Esse aparelho foi inventado pelos chineses e tem a característica de apontar sempre para uma mesma direção, indicada como sendo o Norte. O que existe no Norte que possa explicar esse fenômeno?

Pergunta 02 - Uma criança, retirou o ímã de um alto falante com defeito. Enquanto brincava, aproximou um clip de papel ao ímã. Ao fazer isso o clip ficou "grudado" ao ímã, a que conclusão podemos chegar?



- () É o clip de papel que atrai o ímã
- () É o clip de papel que atrai o ímã
- () A atração de ambos é simultânea

Pergunta 03 - De acordo com a situação anterior

O clip tem mais "força" ao atrair o ímã

O ímã tem mais "força" a atrair o clip

O ímã e o clip se atraem com a mesma "força"



Pergunta 04 - Existem diversos tipos de formato de ímãs, um tipo que é muito utilizado nos Estados Unidos é o ímã em forma de barra cujas extremidades representam os pólos norte e polo sul do ímã. O que aconteceria caso um ímã desse tipo fosse partido ao meio?

- () separamos o pólo Norte do pólo Sul
- () obtemos dois ímãs apenas com o polo Norte ou Sul
- () damos origem a dois novos ímãs
- () as duas partes não perderiam a propriedade magnética

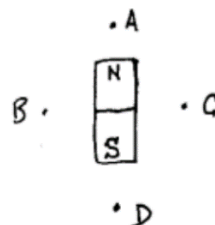
Pergunta 05 - Uma pequena bússola é colocada próxima de um ímã permanente. Em qual ou quais posições A, B, C e D próximo a um ímã devemos colocar a bússola para que ela aponte para parte superior do formulário?

() A

() B

() C

() D



Pergunta 06 - Sabe-se que a Lua, diferente da Terra, não possui um campo magnético. Sendo assim, poderia um astronauta, estando na Lua, se orientar ao longo de sua superfície usando uma bússola comum? Explique.

Pergunta 07 - Imagine uma situação em que se encontram três barras de metal aparentemente idênticas: AB, CD e EF.

A  B

C  D

E  F

Espera-se descobrir se essas barras estão, ou não estão imantadas (comportando-se como ímãs). Quando testamos de forma experimental aproximar as extremidades (pontas) A, B, C, D, E e F dessas barras podemos observar que:

- a extremidade A atrai as extremidades C e D;
- a extremidade B atrai as extremidades C e D;
- a extremidade A atrai a extremidade E e repele a F.

Expresse a sua conclusão, marcando a(s) alternativa(s) correta(s).

a barra AB não está imantada.

a barra CD está imantada.

a extremidade E repele as extremidades A e B.

a extremidade E atrai as extremidades C e D.

a extremidade F atrai a extremidade C e repele a extremidade D.

Pergunta 08 - O que aconteceria se aproximássemos uma bússola de um fio que circula uma corrente elétrica, a agulha da bússola pode se movimentar de uma maneira diferente ou simplesmente não sofre alteração na sua direção. Explique.

Pergunta 09 - O que faz o ímã atrair e repelir outros ímãs e atrair objetos metálicos?

Pergunta 10 - O que aconteceria se aproximássemos uma bússola de um fio que circula uma corrente elétrica?

Nada

A agulha da bússola se moveria bem pouco

O fio seria atraído pela bússola

A agulha da bússola se moveria muito

Outra _____

Formulário 01 – Simulador do Campo Magnético Terrestre

Acesse ao simulador PHET no link: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/magnet-and-compass. Clique no menu (do lado esquerdo) "Mostrar planeta Terra" e "Mostrar campo" e responda as perguntas abaixo.

1. Movimento a bússola e observe o que acontece. Com base em seu conhecimento de como as bússolas funcionam. O que isso diz sobre o planeta Terra?
2. Um ímã precisa tocar outro material para exercer uma força? Por que sim ou por que não?
3. O que acontece quando os polos iguais de dois ímãs se aproximam cada vez mais?
4. Com base no que você aprendeu sobre ímãs e de outras leis naturais, você espera que os campos magnéticos sejam mais fortes perto do ímã ou mais longe? Por quê?

Formulário 02 – Experimento de Oersted

Assista ao vídeo no Youtube seguindo o link: https://youtu.be/f_bsK0Y896Y, de acordo com o experimento do vídeo e com os assuntos discutidos na aula, responda as perguntas abaixo.

1. Qual a função de uma bússola? Como imagina que é feita?
2. O que acontece quando aproximamos a bússola do circuito do experimento presenciado a partir do vídeo?
3. De acordo com a resposta do item 02 diga se o mesmo acontecerá com qualquer circuito? Explique.

4.O que acontecerá se invertermos a posição da pilha que alimenta o circuito do experimento realizado?

5.Explique o motivo da interação ocorrer apenas quando o circuito é ligado ou desligado.

Formulário 03 – Simulador do experimento de Oersted e Eletroímã

Acesse ao simulador PHET no link: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/generator. Clique na guia Eletroímã, reduza as voltas da espira para apenas um e realize as atividades abaixo.

1. Mova a bateria ao redor da bússola. O que acontece?
2. O lado esquerdo do eletroímã é o extremo norte ou o extremo sul? Como você sabe?
3. Adicione o medidor de campo e mova-o ao redor do eletroímã. A intensidade do campo aumenta ou diminui à medida que você aproxima o medidor do eletroímã?
4. O campo da bobina é maior na direção ao longo de seu eixo ou na direção perpendicular a ele?

Formulário 04 – Construindo um ímã

Assista ao vídeo no Youtube seguindo o link: <https://youtu.be/7L5yzwWCdlM>, de acordo com o experimento do vídeo e com os assuntos discutidos na aula, responda as perguntas abaixo

- 1.Sabendo que uma corrente elétrica variável cria um campo magnético; é possível utilizar essa propriedade na construção de um ímã? Se for possível, descreva como o grupo cumpriria tal tarefa.
- 2.Por que é necessário inserir um prego no interior do solenoide?
- 3.O que é um material ferromagnético?
- 4.O número de voltas influencia na potência do eletroímã? Explique.
- 5.Colocando duas pilhas associadas em série obtemos a voltagem de 3 V, se usarmos essa associação no lugar da pilha de 1,5V o eletroímã ficará mais forte? Explique.

Formulário 05 – Motor Elétrico

Assista ao vídeo no Youtube seguindo o link: <https://youtu.be/1Egq5DhWDi8>, de acordo com o experimento do vídeo e com os assuntos discutidos na aula, responda as perguntas abaixo

- 1.O que poderia ocasionar falhas no funcionamento do motor elétrico visualizado no vídeo?
- 2.Qual fenômeno seria observado caso seja inserida uma segunda pilha, associada em série, com a primeira no experimento?
- 3.Por que uma das pontas do fio condutor é raspada por completo e a outra apenas em parte?
- 4.Como relacionar o sentido da corrente elétrica no fio condutor com o movimento da bobina (espira)?
- 5.Utilizando os conceitos mostrados nas últimas aulas, tente descrever como o motor de um carrinho de controle remoto funciona.

Formulário 06 – Simulador de Transformador e Solenoide

Acesse ao simulador PHET no link: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/generator. Clique na guia Solenoide e deixe todas as opções demarcadas como mostrado na figura.

1. Ao movimentar o ímã no interior do solenoide, o que acontece com o brilho da lâmpada? Explique.
2. O que ocorre quando o ímã é mantido em repouso? Algo diferente acontece se movimentarmos o solenoide? Explique
3. O que acontece com o sentido da corrente quando você move o ímã para trás e para frente? Agora abra a guia Transformador e deixe todas as opções desmarcadas, exceto "Mostra campo" e "Mostrar elétrons".
4. Ajuste a fonte de corrente contínua (bateria) para 0 V e verifique se a lâmpada acende. Por quê?
5. Ajuste a fonte de corrente contínua (bateria) para 10 V e o solenoide com 3 espiras, e verifique se a lâmpada acende. E se movimentarmos a fonte ou o solenoide (aproximando ou afastando)? O que ocorre com o sentido da movimentação dos elétrons no interior do condutor do solenoide?
6. Com base no que você aprendeu nos momentos anteriores, pense em maneiras de fazer a lâmpada acender. Teste suas ideias. O que você observa? Explique.

7. Aproximando o primário (eletroímã) do secundário (solenóide) do transformador, a tensão no secundário aumenta ou diminui? Justifique.

Formulário 07 – Avaliação do produto

Caro aluno;

Por favor responda as questões abaixo relacionadas a sequência didática aplicada.

1. Escreva suas críticas e sugestões a respeito da sequência didática aplicada.
2. O que aprendeu com essa sequência didática?
3. Você acredita que esse trabalho foi importante de alguma forma?
4. Faça sua autoavaliação quanto a participação e aprendizado na sequência didática.

Apêndice III - Análise das respostas dos Formulários detalhados

Formulário 02 (parte final da Aula 01)

Pergunta 1. “Qual a função de uma bússola? Como você imagina que ela é feita?”

1. Padrões de resposta corretos (~80 %)

- “Indicar a direção do norte magnético da Terra, auxiliando na orientação.”
- “É feita com uma agulha magnetizada que gira livremente sobre um eixo dentro de uma caixa, geralmente com uma rosa-dos-ventos.”
- “Tem uma agulha de metal magnetizada, equilibrada para que possa girar e apontar o norte.”

Esses alunos captaram a função essencial (“orientação”) e os componentes básicos (“agulha magnetizada”, “eixo”, “caixa/plástico”).

2. Concepções parcialmente corretas (~15 %)

- “Serve para se localizar e verificar campos magnéticos; é feita de ferro ou aço.”
- “Indica direções e funciona como instrumento de navegação; imagino que tenha um ímã preso numa base.”

Reconhecem a ideia geral, porém não mencionam detalhadamente o eixo ou o equilíbrio da agulha — ponto que pode ser trabalhado com demonstração prática da montagem.

3. Concepções equivocadas (~5 %)

- “Instrumento para localização, mas não sei como é feita.”
- “Ela funciona por campo elétrico ou por gravidade.”
- “Não sei explicar, só sei que aponta para o norte.”

Claramente faltam nesse grupo tanto definição de componentes quanto distinção completa entre “campo magnético” e “outros campos”. Serão direcionados a observar e desmontar (ou apenas visualizar) uma bússola real, para entender parte a parte.

Pergunta 2. “O que acontece quando aproximamos a bússola do circuito do experimento (vídeo 2)?”

1. Padrões de resposta corretos (~70 %)

- “A agulha se movimenta / se desvia porque o campo magnético da corrente interfere no campo terrestre.”
- “Ao aproximar, a bússola gira em direção ao fio energizado, indicando que há um campo magnético gerado pela corrente.”

- “Ela deixa de apontar para o norte verdadeiro e aponta para o campo do fio.”

Estes alunos já compreendem bem que “corrente $\rightarrow$ campo magnético $\rightarrow$ desvio da agulha”. Usei, em sala, simulação e experimento prático para reforçar esse padrão.

2. **Concepções parcialmente corretas (~20 %)**

- “A bússola se desorienta e não aponta para o norte.”
- “O ponteiro oscila e volta depois para o norte.”

Reconhecem o efeito, mas não explicitam “devido ao campo da corrente”. A distinção de “interferência do campo” precisa ser reforçada em novas atividades colaterais (por exemplo, comparar qualitativamente campo gerado por ímã permanente versus campo de corrente).

3. **Concepções equivocadas (~10 %)**

- “Ela aponta para o sul” (sem explicar por quê).
- “Fica parada, não se altera” (acredita que o vídeo era ficção).
- “Ela fica atraída como se fosse um ímã” (sem notar a diferença entre dipolo livre e ímã fixo).

Esses alunos confundem “campo de corrente” com “ímã permanente” ou sequer reconhecem a presença de campo. Há necessidade de demonstrar novamente, passo a passo, o circuito ligado, para que vejam in loco o desvio, reforçando que não se trata de um ímã fixo, mas de um campo dinâmico gerado pela corrente.

Pergunta 3. “De acordo com o item 02, diga se o mesmo acontece com qualquer circuito. Explique.”

49 respostas totais

1. **Padrões de resposta corretos (~50 %)**

- “Sim, qualquer circuito que conduza corrente elétrica cria campo magnético e pode desviar a bússola.”
- “Qualquer fio com corrente gera campo que interage — basta ter um circuito fechado.”

Esses alunos generalizaram corretamente a lei de Ampère de modo qualitativo: “corrente em condutor $\rightarrow$ campo magnético”.

2. **Concepções parcialmente corretas (~25 %)**

- “Depende da intensidade da corrente; se for muito fraca, talvez não desvie.”
- “Sim, mas só se estivermos próximos e a corrente for alta.”

Reconhecem a influência da magnitude do campo na visibilidade do efeito, o que já indica um subsunçor mais avançado: “intensidade varia com a corrente e com a distância”.

3. **Concepções equivocadas (~25 %)**

- “Não, apenas alguns circuitos específicos ou certos tipos de fio.”
- “Só acontece se o circuito tiver algum componente magnético dentro.”
- “Só se for um circuito de alta tensão.”

Isso mostra que alguns ainda pensam que “nem todo fio conduz ao mesmo tipo de campo” ou confundem condutividade elétrica com propriedades magnéticas do material. Será preciso enfatizar, nas próximas aulas, que qualquer condutor (cobre, alumínio, etc.) que transporte correntes definidas, por menor que sejam, gera linhas de campo ao redor.

Pergunta 4. “O que acontece se invertermos a posição da pilha que alimenta o circuito do experimento?”

1. **Padrões de resposta corretos (~75 %)**

- “Inverter a pilha inverte a direção da corrente, e o campo magnético se inverte, fazendo a bússola desviar para o lado oposto.”
- “Ao trocar a polaridade, o ponteiro muda de direção.”

Estes alunos captaram bem o subsunçor “sentido da corrente $\leftrightarrow$ sentido do campo” (a regra da mão direita foi apresentada justamente para reforçar isso).

2. **Concepções parcialmente corretas (~15 %)**

- “A bússola gira para outro lado, mas não sei dizer por quê exatamente.”
- “A direção muda, mas fica parecendo a mesma intensidade.”

Entendem o efeito de inversão, mas não explicitam o mecanismo. Podem ser levados a aplicar a regra da mão direita no experimento: posicionar o polegar no sentido da corrente e verificar se os demais dedos indicam o novo sentido do campo, consolidando verbalmente a relação.

3. **Concepções equivocadas (~10 %)**

- “Inverter a pilha faz o circuito não funcionar mais, então nada acontece.”
- “Fica sem corrente e não desvia.”

Esses alunos confundem “trocar polaridade” com “desligar o circuito”. É importante na próxima aula montar dois circuitos idênticos e apenas inverter a pilha, observando que a lâmpada (ou LED) continua acendendo, provando que a corrente continua fluindo, apenas no sentido contrário. Assim ficará clara a distinção “troca de sentido” versus “interrupção”.

Pergunta 5. “Explique o motivo da interação ocorrer apenas quando o circuito é ligado ou desligado.”

49 respostas totais

1. Padrões de resposta corretos (~60 %)

- “Porque, enquanto o circuito estiver ligado, há corrente elétrica que gera o campo; desligado, não há corrente, e o campo some.”
- “A interação só ocorre quando há fluxo de elétrons; ao desligar, não há campo magnético para afetar a bússola.”

Esses alunos assimilam “campo ocorre somente sob corrente” — subsunção chave para distinguir “campo constante de corrente” e “ausência de campo”.

2. Concepções parcialmente corretas (~25 %)

- “A interação ocorre somente quando o circuito está em transição (ligado/desligado), pois é quando o campo muda.”
- “Quando desliga, a bússola volta ao normal, então há interação de volta.”

Mostram noções iniciais de “campo variável → força transitória” (associando com indução), mas ainda não têm clareza de que, neste contexto, consideramos apenas “campo constante enquanto ligado” e “ausência de campo quando desligado”. Para esses alunos, é interessante fazer um experimento de ligar/desligar repetidamente, mostrando que o desvio é instantâneo quando liga e some quando desliga, sem gerar “campo próprio ao desligar” — evitando confundir com conceitos de indução de Faraday.

3. Concepções equivocadas (~15 %)

- “A interação ocorre quando está desligado porque a bússola tenta voltar ao norte.”
- “Só acontece quando está ligado porque a pilha não produz corrente quando desligada.” (confusão entre liga/desliga)
- “Ao desligar, tem tipo um efeito de repouso e interage para voltar.”

Esses alunos misturam “fenômeno de desvio” com “fenômeno de retorno” (recuperação do alinhamento terrestre), sem diferenciar causas. Será preciso, na próxima aula, reforçar:

- **Ligado → corrente → campo magnético constante → bússola desvia.**
- **Desligado → sem corrente → sem campo local → bússola retorna ao norte magnético terrestre.**

Evitar qualquer menção a “campo transitório” até consolidar que, no nosso escopo imediato, não trataremos de indução nem de variação temporal de campo além do momento de ligar/desligar.

Síntese geral (Formulários 01 e 02)

1. Subsunções consolidados

- **Terra como um dipolo magnético** (Form. 01, P1).
- **Campo magnético como ação à distância** (Form. 01, P2).
- **Polos iguais se repelem e campo decai com distância** (Form. 01, P3 e P4).
- **Corrente elétrica gera campo magnético que desvia a bússola** (Form. 02, P2).
- **Inversão de polaridade inverte corrente e campo** (Form. 02, P4).
- **Campo só existe enquanto houver corrente** (Form. 02, P5).

2. Principais concepções alternativas ou lacunas a tratar

- **Confusão entre campo magnético e campo elétrico:** vários alunos usam “campo elétrico” ao invés de “campo magnético” (Form. 01, P2 e Form. 02, P2).
- **Inverter pilha ≠ desligar circuito:** alguns pensam que trocar a pilha interrompe a corrente (Form. 02, P4).
- **Nem todo condutor gera campo magnético?:** dizer que “só alguns circuitos” geram efeito (Form. 02, P3).
- **Noções iniciais de “campo variável e indução”** surgem em Form. 02, P5, mas ainda sem clareza: aparecem ideias de “campo transitório” que podem confundir sem um aprofundamento específico de indução.
- **Distinção entre norte geográfico e norte magnético:** alguns alunos não fazem essa diferenciação (Form. 01, P1).

3. Implicações para as próximas aulas

- **Reforçar concretamente o funcionamento interno de uma bússola:** mostrar componentes (agulha magnetizada, eixo, base, caixa), desmontar ou usar um modelo para explicitar como ela é feita (Form. 02, P1).
- **Atividades de demonstração com limalha e ímã de barra** para confrontar quem pensa que “ímã precisa tocar” ou que “campo é constante em qualquer distância” (Form. 01, P2 e P4).
- **Experimentos práticos de circuito simples (pilha + fio + bússola),** ressaltando que “inverter polaridade inverte a corrente sem interrompê-la” (esclarecer Form. 02, P4).

- **Simulações PHET ou gráficos qualitativos** que mostrem como o campo gerado por corrente decai com a distância e depende da intensidade (Form. 02, P3 e P5).
- **Discussões guiadas sobre “campo magnético $\neq$ campo elétrico”**: exemplificar situações de campo elétrico (descarga estática, por exemplo) para diferenciá-lo do magnético.

4. Aproximação à UEPS (passos 2 e 3 de Moreira)

- Até aqui, a fase de **“criar situações-problema”** (passo 2) foi cumprida: todos os enunciados dos formulários permitiram aos alunos externalizar seus conhecimentos prévios, positivos ou alternativos.
- A partir das lacunas identificadas, podemos agora planejar **“situações-problema introdutórias”** (passo 3) para a próxima aula—por exemplo:
 - Problema sobre “Como montar sua bússola caseira?” usando limalha e agulha, para tratar da questão do “campo magnético atua à distância”.
 - Problema sobre “Qualquer fio gera campo magnético?” usando dois fios com correntes de intensidades diferentes para evidenciar que todos geram campo, mas em intensidades distintas.

5. Predisposição para aprender (elemento de Ausubel)

- Várias respostas mostram curiosidade explícita (p. ex., “não sei, mas quero entender por quê a pilha inverte o campo”).
- Mesmo quem apresentou equívocos demonstrou disposição a supor hipóteses (“Talvez só alguns circuitos façam isso”). Essa abertura ao questionamento é sinal de que os estudantes têm predisposição favorável para as intervenções seguintes — um requisito central para a aprendizagem significativa.

A seguir, apresento a análise das respostas coletadas nos Formulários 03 e 04 (Aula 02), questionamento a questionamento. Para cada pergunta, destaco:

1. Padrões de resposta corretos (com porcentagem aproximada),
2. Concepções parcialmente corretas ou incompletas,
3. Principais equívocos ou lacunas,
4. O que esses resultados revelam sobre os subsunçores prévios dos alunos e como devem orientar as próximas intervenções.

Pergunta 1 (“Mova a bateria ao redor da bússola. O que acontece?”)

1. Respostas corretas (~75 %)

- “A agulha da bússola muda de direção/desvia” ou “se move” (cerca de 39 respostas). Exemplos:
 - “Ao mover uma bateria ao redor de uma bússola, a agulha muda de direção devido ao campo magnético da corrente.”
 - “A bússola se movimenta porque a corrente elétrica produz um efeito magnético.”
 - “Mover a bateria faz a bússola se desviar, pois cria um campo magnético.”

Esses alunos captaram a ideia básica de que, mesmo “desconectada” (bateria sozinha), há alguma corrente interna mínima ou que o simples ato de movimentar o bloco metálico da bateria pode induzir variação de campo, interferindo na bússola.

2. Respostas parcialmente corretas ou incompletas (~15 %)

- “A agulha se mexe, mas não sei se é por causa da corrente” (aprox. 4 respostas).
- “Ela acompanha a bateria” ou “seguem a bateria” (aprox. 4 respostas), sem explicitar claramente “campo de corrente” versus “campo estático da bateria”. Essas respostas sugerem que o aluno percebeu que há alteração, porém não distingue se a corrente circula sem um circuito fechado ou supõe que a bateria gera campo mesmo desconectada.

3. Equívocos ou lacunas (~10 %)

- “Mover a bateria não causa nada, a bússola continua apontando para o norte” (aprox. 3 respostas).
- “Só ocorre desvio se a bateria estiver conectada a um circuito fechado” (aprox. 3 respostas iguais), entendendo que bateria isolada não gera campo.
- “A bateria atrai a bússola como um ímã” (1 ou 2 respostas), confundindo o ímã permanente com fonte de energia. Aqui, alguns acreditam que “sem circuito fechado não há campo”, ignorando que até fiação interna e campos residuais podem influenciar a agulha, ou simplificam demais: “bateria por si só não gera campo”. Outros misturam “atrair” (força de ímã permanente) com “interferir” (campo de corrente).

4. O que esses resultados revelam?

- A maioria ($\approx 75\%$) integra bem o subsunçor “corrente elétrica gera campo magnético e altera bússola”, pois extrapolou o Experimento de Oersted à situação de “bateria movida” mesmo sem circuito completo.
- Os que acham que “bateria isolada não gera campo” revelam não ter assimilado que correntes mínimas (ou mesmo campo interno de baterias) podem ser percebidos pela bússola.
- Os equívocos (“bateria atrai” ou “só em circuito fechado”) indicam que ainda há confusão entre:
 - campo magnético de ímã permanente versus campo gerado por corrente elétrica;
 - noção de “circuito fechado” como condição absoluta para haver qualquer campo.

Implicações para as próximas aulas:

- Mostrar empiricamente (com multímetro ou amperímetro) que baterias, mesmo isoladas, têm pequenos vazamentos de corrente ou campos residuais que já podem afetar a bússola perto.
- Esclarecer a diferença entre “campo permanente” de um ímã e “campo variável” gerado por correntes.
- Reforçar que, para efeito de eletroímã, consideraremos que a corrente percorrendo o fio — mesmo num circuito simples — é suficiente para gerar um campo percebido pela bússola.

Pergunta 2 (“O lado esquerdo do eletroímã é o extremo norte ou o extremo sul? Como você sabe?”)

1. Respostas corretas (~55 %)

- “Extremo sul” (≈ 28 respostas), geralmente justificando:
 - “Porque o polo norte da bússola é atraído e se alinha apontando para esse lado”
 - “Pelos movimentos da bússola/vídeo/por cores (vermelho = norte da agulha) apontando para o lado direito, logo o esquerdo é sul.”
 - “Usei a regra da mão direita: dedos fechados no sentido da corrente, polegar mostra polo norte; o oposto é o sul.”
Esses alunos aplicaram corretamente a regra qualitativa: o polo que atrai

a ponta norte da agulha é o sul, e identificaram esse “lado esquerdo” como sul por observarem a bússola se mover nessa direção.

2. Respostas parcialmente corretas (~20 %)

- “Depende da direção da corrente” (≈ 10 respostas), sem afirmar se, naquele caso específico, era norte ou sul.
- “É o norte, pois a bússola mostra que lado está atraindo” (≈ 5 respostas), mas sem explicar bem o porquê ou misturando norte geográfico com magnético.

Aqui, o aluno entende que “polo muda conforme corrente” mas não conseguiu aplicar ao exemplo concreto da simulação ou do experimento. Outros afirmaram “norte porque vi no quadro/teacher disse”, sem explicar mecanicamente.

3. Concepções equivocadas ou lacunas (~25 %)

- “O lado esquerdo é o extremo norte” (≈ 8 respostas), sem justificativa coerente.
- “Não sei / depende do que o professor disse” (≈ 5 respostas).
- “O polo sul é negativo, polo norte é positivo” (≈ 4 respostas), confundindo sinais elétricos com polos magnéticos.
- “Não é possível determinar sem ver a direção da corrente” (≈ 5 respostas).
- Esses estudantes não diferenciam claramente “polo norte da bússola” de “polo norte do eletroímã” e muitas vezes trocam “positivo/negativo” (pilha) com “norte/sul” (ímã). Há também falta de familiaridade com a regra da mão direita.

4. O que esses resultados revelam?

- Cerca de 55 % já conectam “sentido da corrente $\rightarrow$ regra da mão direita $\rightarrow$ identificação de polo oposto que atrai a bússola”.
- Os que dizem “depende” mostram ter entendido o princípio geral (“ao inverter corrente, inverte polos”), mas não conseguiram aplicá-lo ao desenho ou simulação apresentada.
- A troca “positivo/negativo $\rightarrow$ norte/sul” indica que alguns ainda pensam em “pólo positivo da bateria” como equivalente a “polo norte de um ímã”.
- Aqueles que afirmam sem explicação (“escolei o norte porque o prof. disse”) revelam dependência de autoridade, sem transferência do raciocínio.

Implicações para as próximas aulas:

- Reforçar a prática direta: “peça para cada dupla aplicar a regra da mão direita no experimento de simulação, determinando explicitamente qual lado é norte e qual é sul, sem usar pistas de cor”.

- Mostrar esquemas visuais (setas indicando sentido de corrente) e usar bússola real para verificar cada lado do eletroímã, obrigando o aluno a verbalizar “porque este lado é sul, pois ...”.
- Separar com clareza “polo positivo da bateria” (tensão elétrica) de “polo norte magnético” (orientação do campo magnético).

Pergunta 3 (“A intensidade do campo aumenta ou diminui à medida que você aproxima o medidor de campo do eletroímã?”)

1. Respostas corretas (~85 %)

- “Aumenta quando aproxima” (≈ 44 respostas).
- “Diminui quando afasta” (citadas em conjunto).
Exemplos:
- “À medida que você aproxima o medidor, o campo aumenta; se afasta, diminui.”
- “O campo é mais forte perto do eletroímã e decai com a distância.”

Esses alunos já interiorizaram bem que “campo magnético de eletroímã é mais concentrado nas proximidades do núcleo” e sabem relacionar isso à distância.

2. Concepções parcialmente corretas (~10 %)

- “Aumenta, mas varia conforme a corrente” (≈ 3 respostas).
- “Às vezes aumenta ou diminui dependendo de como movo o eletroímã” (≈ 2 respostas).

Esses reconhecem o padrão “perto $\rightarrow$ mais forte”, mas tentam associar simultaneamente à variação de corrente (vieram do Form. 04, P5). Ainda que estejam no caminho certo, misturam “distância” e “corrente” como fatores igualmente determinantes, sem especificar o peso de cada um.

3. Equívocos ou lacunas (~5 %)

- “Não sei / talvez não mude” (≈ 3 respostas).
- “O campo é uniforme, não muda com a distância” (≈ 2 respostas).

Esses alunos não perceberam o decaimento do campo ou presumem erroneamente que, dentro de certa faixa, o campo é “quase constante”. Isso exige demonstração mais quantitativa ou uma simulação em que se mostre medidas numéricas do campo a diferentes distâncias.

4. O que esses resultados revelam?

- O subsunçor “intensidade de campo magnético decai com a distância” está bem presente em cerca de 85 % dos estudantes.

- Os equívocos (“campo uniforme” ou “não muda”) sinalizam que uma parcela pequena não visualizou efetivamente o gradiente de campo durante a simulação ou o experimento prático.
- As respostas que misturam “distância” e “corrente” mostram que esses alunos já começaram a associar múltiplos determinantes do campo, mas precisam de atividades específicas para separar claramente “efeito da corrente” e “efeito da distância”.

Implicações para as próximas aulas:

- Elaborar tabelas ou gráficos (manualmente ou via planilha) medindo campo em diferentes pontos, levando o aluno a “ver números” e perceber visualmente o decaimento.
- Reforçar confrontos experimentais: manter corrente constante e variar apenas distância, depois manter distância fixa e variar corrente, isolando o efeito de cada fator.

Pergunta 4 (“O campo da bobina é maior ao longo de seu eixo ou na direção perpendicular a ele?”)

1. Respostas corretas (~90 %)

- “Maior ao longo de seu eixo” (≈ 47 respostas). Frases típicas:
 - “O campo é mais forte ao longo do eixo da bobina, pois as linhas se concentram e se alinham nessa direção.”
 - “Direção axial (ao longo do eixo) tem maior intensidade; na direção perpendicular é mais fraco e disperso.”

Esses alunos têm uma boa representação espacial do campo de solenoide, sabendo identificar o “axial” como ponto de maior densidade de linhas de campo.

2. Concepções parcialmente corretas (~5 %)

- “É mais forte no eixo, mas também existe campo na perpendicular” (≈ 3 respostas).

Aqui, o aluno reconhece o padrão “eixo > perpendicular” mas acrescenta que “há campo em ambos”, o que é correto, porém sem deixar claro qual é o mais intenso em cada situação. Ainda assim, sinaliza uma compreensão refinada: “campo existe nos dois sentidos, mas é concentrado no eixo”.

3. Equívocos ou lacunas (~5 %)

- “Maior na direção perpendicular ao eixo” (≈ 2 respostas).

- “Não sei / depende de como for montada a bobina” (≈ 3 respostas).

Esses demonstram entender mal a geometria do campo de um solenoide (ver erro “perpendicular é mais forte”). Haverá de usar diagramas ou filmagens de limalha dentro e fora de um solenoide para corrigir esse ponto.

4. O que esses resultados revelam?

- A maior parte ($\approx 90\%$) já formou o subsunçor “campo axial de bobina > campo radial”.
- Os equívocos (“perpendicular é maior”) indicam a necessidade de reforçar, por meio de imagens ou demonstrações, como as linhas de campo interno (ao longo do eixo) se somam, ao contrário das linhas laterais, que se dispersam.
- A minoria que diz “depende da montagem” revela que ainda não compreenderam que, para uma bobina ideal, há um padrão geométrico fixo, independente de número de espiras (exceto em intensidade).

Implicações para as próximas aulas:

- Usar cortes transversais de vídeo ou imagens onde apareçam limalhas dentro e fora do solenoide.
- Pedir que desenhem, em folha, a distribuição qualitativa do campo em ambos os sentidos e, em seguida, comparar com dados da simulação PHET que mostram medição em diferentes pontos espaciais.

Pergunta 5 (“Sabendo que uma corrente elétrica variável cria um campo magnético, é possível utilizá-la para construir um ímã? Descreva como o grupo cumpriria tal tarefa.”)

1. Respostas corretas ($\sim 80\%$)

- “Sim, enrolar fio em um núcleo ferromagnético e passar corrente para criar eletroímã” (≈ 36 respostas). Exemplos:
 - “Basta enrolar um fio condutor em volta de um prego de ferro e conectar a uma fonte de corrente, transformando o prego em ímã enquanto a corrente passar.”
 - “Enrolar um solenoide (bobina) em um núcleo de ferro e aplicar corrente; o núcleo se comporta como ímã.”
 Esses alunos entenderam perfeitamente o princípio de eletroímã: usar uma corrente variável na bobina para magnetizar temporariamente um material ferromagnético.

2. Concepções parcialmente corretas (~15 %)

- “Sim, mas usar correntes variáveis para ajustar a força do ímã” (≈ 5 respostas).
- “Usar um fio, mas não sei se precisa de um prego” (≈ 5 respostas).

Reconhecem que “corrente gera campo magnético” e “é possível fazer eletroímã”, mas não sabem se é essencial o núcleo de ferro ou imaginam que “qualquer condutor” bastaria. Apesar de não errar o princípio, precisam compreender melhor o papel do núcleo ferromagnético.

3. Equívocos ou lacunas (~5 %)

- “Não é possível” (≈ 2 respostas).
- “Sim, mas usando polos negativos e positivos de forma diferente” (1 resposta confusa).

Alguns não entenderam que “corrente variável” (mesmo contínua, mas variável em sentido de poder ligar e desligar) pode criar um campo igual ao de um ímã permanente. São casos minoritários, mas que indicam a necessidade de reafirmar na prática: “qualquer fio enrolado em material ferromagnético, com corrente, torna-se ímã”.

O que esses resultados revelam?

- A maioria já domina o conceito “corrente $\rightarrow$ eletroímã” e sabe descrever o passo a passo (enrolar, conectar, usar núcleo de ferro).
- Alguns pensam que basta “enrolar fio” sem núcleo ou não entendem o papel específico do material ferromagnético (o que remete à próxima pergunta).
- Os poucos que acreditam “não é possível” precisam de reforço mostrando, em tempo real, a construção de um eletroímã caseiro.

Implicações para as próximas aulas:

- Reforçar a experiência prática: cada dupla constrói seu próprio eletroímã com prego, fio esmaltado, pilha, observando que “sem prego” o efeito é muito fraco.
- Explorar o conceito de “corrente contínua (DC) versus corrente variável (AC)” — mas deixando claro, neste ponto, que basta que a bateria esteja ligada (mesmo DC) para “aproximar” o objeto metálico.
- Mostrar exemplos de aplicações (guindastes magnéticos industriais) para conectar com o enunciado inicial (“ímãs gigantes em guindastes, como ligam e desligam” — junção de teoria e cotidiano).

Pergunta 6 (“Por que é necessário inserir um prego no interior do solenoide?”)

1. Respostas corretas (~85 %)

- “Porque o prego (núcleo de ferro) amplifica/concentra o campo magnético, tornando o eletroímã mais forte” (≈ 38 respostas).
- “O prego é ferromagnético e alinha seus dipolos, somando ao campo gerado pela bobina.”

Esses alunos reconhecem que, sem material ferromagnético, o campo do solenoide seria fraco e que a presença de ferro aumenta drasticamente a intensidade, devido à alta permeabilidade.

2. Concepções parcialmente corretas ($\sim 10\%$)

- “Para guiar o campo para dentro do solenoide” (≈ 3 respostas), mas sem explicar claramente “maior densidade de linhas”.
- “Para que o núcleo se torne magnetizado, mas não sei exatamente como ajuda em levantar objetos.” (≈ 2 respostas).

Entendem que “serve para melhorar o campo”, mas não conseguem detalhar se “aumenta densidade de linhas” ou “torna o campo mais uniforme” – é um passo intermediário entre “campo $\times$ distância” e “função específica do núcleo”.

3. Equívocos ou lacunas ($\sim 5\%$)

- “Para preencher o espaço interno do solenoide” ou “para dar suporte ao fio” (≈ 2 respostas).
- “Não sei” (≈ 2 respostas).

Esses não associaram o conceito de “material ferromagnético” à função de “núcleo de um eletroímã” e precisam ver, em simulações e experimentos, a diferença prática entre “bobina vazia” e “bobina com prego de ferro”.

O que esses resultados revelam?

- Quase todos já sabem que “núcleo ferromagnético intensifica o campo”, correspondendo ao subsunçor “ferro como amplificador de campo de eletroímã”.
- As respostas vagas (“guia o campo”) indicam uma percepção aproximada, mas sem domínio da ideia de “permeabilidade magnética” ou “linhas de fluxo concentradas”.
- Os equívocos (“serve só para apoio do fio”) sugerem que há poucos alunos que ainda não estabeleceram relação entre “ferro” e “magnetização”.

Implicações para as próximas aulas:

- Fazer comparações diretas em sala: medir quantos cliques a bobina levanta sem prego versus com prego, para evidenciar empiricamente o ganho de força.

- Usar simulações que permitam trocar material do núcleo (ferro versus madeira) e visualizar a diferença na densidade de linhas de campo.

Pergunta 7 (“O que é um material ferromagnético?”)

1. Respostas corretas (~80 %)

- “Material que pode ser magnetizado, tem domínios magnéticos que se alinham sob campo externo” (≈ 36 respostas).
- “São substâncias como ferro, níquel e cobalto (e suas ligas) que, ao expor a campo magnético, apresentam forte magnetismo.”

Esses alunos já conhecem tanto exemplos (Fe, Co, Ni) quanto a característica estrutural (“domínios que se alinham”), inserindo o conceito no contexto de “por que prego funciona”.

2. Concepções parcialmente corretas (~15 %)

- “Material que é atraído por ímã e pode reter magnetização” (≈ 5 respostas).
- “Algo que age como um ímã natural” (≈ 2 respostas).

Reconhecem corretamente que “são atraídos por ímã” e “podem reter magnetização”, mas não sempre citam explicitamente “ferro, níquel ou cobalto”. Ainda assim, entendem a ideia de “alto magnetismo intrínseco”.

3. Equívocos ou lacunas (~5 %)

- “É um ímã” (≈ 2 respostas), confundindo “material ferromagnético” com “ímã permanente”.
- “É um prego enrolado a um fio” (1 resposta que remete a eletroímã, não ao material em si).
- “Não sei” (≈ 2 respostas).

Esses falham ao diferenciar “ímã permanente” de “material ferromagnético” não magnetizado inicialmente. Será necessário reforçar que “todo ímã permanente é ferromagnético, mas nem todo material ferromagnético é um ímã sem indução”.

O que esses resultados revelam?

- A maior parte sabe descrever tanto propriedades (domínios, alinhamento) quanto exemplos, mostrando que o subsunçor “ferro, cobalto e níquel como ferromagnéticos” está bem formado.
- Pequena parcela ainda pensa que “um prego enrolado a fio” é, em si, o material ferromagnético, misturando conceito de “forma de construção de eletroímã” com “natureza do material”.

- Os que dizem equivocadamente “é um ímã” não perceberam a diferença entre “material que pode ser magnetizado ao ser exposto a campo” e “próprio ímã permanente”.

Implicações para as próximas aulas:

- Mostrar fisicamente pedaços de ferro, cobre e plástico diante de ímã, realçando que “ferro” se comporta como ferromagnético e “plástico” não.
- Fazer exercícios de classificação: “quais materiais desta lista são ferromagnéticos?” para fixar a distinção.

Pergunta 8 (“O número de voltas influencia na potência do eletroímã? Explique.”)

1. Respostas corretas (~85 %)

- “Sim; mais voltas concentram mais linhas de campo magnético, aumentando a intensidade” (≈ 38 respostas).
- “Mais voltas $\rightarrow$ maior campo por mais espiras $\rightarrow$ eletroímã mais potente” (meses formulações equivalentes).

A esmagadora maioria entendeu que “o campo de um solenoide é diretamente proporcional ao número de espiras (voltas)”, captando o subsunçor chave: “ $N \uparrow \Rightarrow B \uparrow$ ”, desde que a corrente permaneça constante.

2. Concepções parcialmente corretas (~10 %)

- “Sim, mas depende também da corrente e da tensão” (≈ 4 respostas).
- “Mais voltas significa mais resistência, então talvez nem sempre seja melhor” (≈ 1 resposta evidente, mas avançada).

Esses alunos enxergam dois fatores: “mais voltas” e “intensidade de corrente” e, em um caso, levantam a questão de resistência (RAM), o que demonstra que já se apropriaram de uma visão mais completa: “N e I atuam juntos para determinar B”.

3. Equívocos ou lacunas (~5 %)

- “Não, pois o campo é definido pela tensão, não pelas voltas” (≈ 2 respostas).
- “Quanto mais voltas, mais gasta a bateria e fica fraco” (≈ 1 resposta).
- “Não sei” (≈ 2 respostas).

Alguns acreditam que “o importante é a tensão, não o número de voltas” ou que “mais voltas só consomem bateria sem aumentar o campo”, o que indica que não entenderam a relação qualitativa entre espiras e campo. Essas respostas requerem reforçar a ideia de “ $B \propto N \cdot I$ ” (para solenoide ideal).

O que esses resultados revelam?

- O subsunçor “campo de solenoide $\propto$ número de voltas” está consolidado em $\approx 85\%$ dos alunos.
- Quem menciona “resistência” já demonstra um entendimento mais profundo ($B \propto NI$, mas I depende de R , e R aumenta com voltass). Entretanto, é necessário organizar esse conhecimento integrando “lei de Ohm” e “solenóide ideal”.
- Os equívocos mostram que alguns interpretam “mais voltas” como sinônimo de “mais consumo da bateria”, sem perceber que “para fins de medição qualitativa, assumimos que I se mantém” (em simulações ou experimentos guiados, a fonte pode ser ideal).

Implicações para as próximas aulas:

- Propor atividade: montar dois solenóides, um com poucas espiras e outro com muitas, submetê-los à mesma tensão e medir quantos cliques cada um atrai, reforçando que “bobina com mais espiras levanta mais” (mesmo que a corrente sofra pequena queda).
- Elaborar gráficos qualitativos relacionando “ N ” e “ B ” (mantendo I constante) e, depois, “ N ”, “ R ” e “ I ” se quiser introduzir resistência.

Pergunta 9 (“Colocando duas pilhas em série (3 V) em vez de 1,5 V, o eletroímã fica mais forte? Explique.”)

1. Respostas corretas (~80 %)

- “Sim; 3 V aumenta a corrente no solenoide (assumindo mesma resistência), logo o campo magnético se intensifica e o eletroímã fica mais forte.” (≈ 36 respostas)
Exemplos típicos:
- “Uma voltagem maior gera corrente maior, aumentando o campo, portanto eletroímã fica mais forte.”
- “Com 3 V, a corrente dobra (ou aumenta), e $B \propto I$, então o eletroímã atrai mais.”

Esses alunos demonstram entender que “tensão $\uparrow \Rightarrow$ corrente $\uparrow \Rightarrow$ campo $\uparrow$ ” e, em consequência, “força do eletroímã $\uparrow$ ”.

2. Concepções parcialmente corretas (~10 %)

- “Sim, mas depende da resistência do fio” (≈ 3 respostas).
- “Se a pilha de 1,5 V já saturava de corrente, talvez não aumente muito” (≈ 2 respostas).

Reconhecem a dependência de “corrente $\rightarrow$ campo” mas também entendem (ou supõem) que há limites práticos de resistência interna. Essa percepção mais realista pode ser

aproveitada para introduzir depois tópicos de “regime estacionário versus saturação de núcleo” ou “limites de bateria”.

3. Equívocos ou lacunas (~10 %)

- “Não, porque 3 V consome mais energia e aquece a bobina, diminuindo a força” (≈ 2 respostas).
- “Não, porque duas pilhas em série não mudam força, apenas durabilidade” (≈ 2 respostas).
- “Não sei” (≈ 2 respostas).

Esses alunos interpretam equivocadamente que “mais tensão só aquece ou que não há diferença qualitativa” ou pensam que “voltagem em série só aumenta autonomia”. Indicam falta de compreensão de como “ $V \rightarrow I \rightarrow B$ ” se relacionam numa lei qualitativa.

O que esses resultados revelam?

- O subsunçor “ $B \propto I \propto V$ ” está presente em cerca de 80 % dos alunos (considerando R constante).
- Questões de resistência interna e saturação indicadas por alguns mostram que já há um nível de sofisticação: eles entendem que “não basta só tensão, também há limites práticos”.
- Os que insistem “pilhas em série não fazem diferença” misturam “mais voltagem = mais duração” (equívoco comum, mas que precisa ser corrigido).

Implicações para as próximas aulas:

- Repetir experimento com pilha de 1,5 V e com duas em série, medir corrente (com multímetro) e contar cliques atraídos, mostrando quantitativamente a diferença.
- Discutir brevemente a Lei de Ohm: $I = V / R$, evidenciando que para R constante (bobina), I dobraria e, com isso, B também aumentaria.

Síntese geral dos Formulários 03 e 04 (Aula 02)

1. Subsunçores bem estabelecidos

- “Corrente elétrica desloca a bússola” (Form. 03, P1): ≈ 75 % já entendem que o simples movimento da bateria ou de um fio energizado afeta a bússola.
- “É possível ligar e desligar um ímã (eletroímã)” (Form. 04, P5): ≈ 80 % sabem descrever o passo a passo (“enrolar fio, conectar, usar núcleo de ferro”).

- **“Núcleo ferromagnético intensifica campo”** (Form. 04, P6/7): $\approx 85\%$ compreendem que inserir prego de ferro aumenta a força do eletroímã e sabem listar exemplos de materiais ferromagnéticos (Fe, Ni, Co).
- **“ B (campo de solenoide) $\propto N$ (espiras)”** (Form. 04, P8): $\approx 85\%$ entendem que “mais voltas $\rightarrow$ campo mais forte”.
- **“ $B \propto I \propto V$ ”** (Form. 04, P9): $\approx 80\%$ associam o aumento de tensão ($1,5\text{ V} \rightarrow 3\text{ V}$) a “maior corrente $\rightarrow$ mais campo $\rightarrow$ maior força do eletroímã”.

2. Pontos de confusão ou lacunas a eliminar

- **Campo gerado por bateria isolada versus campo de circuito fechado** (Form. 03, P1): alguns acham que “sem circuito não há campo” ou “bateria atrai como ímã”.
- **Regra da mão direita e identificação de polos** (Form. 03, P2): quem diz “extremo esquerdo é norte” sem critério e quem troca “positivo/negativo” por “norte/sul” precisam de reforço prático e visual.
- **Percepção de decaimento de campo** (Form. 03, P3): a minoria que acha “campo uniforme” precisa de atividades que evidenciem gradiente de campo.
- **Geometria do campo na bobina** (Form. 03, P4): a pequena parcela que acha “perpendicular $>$ axial” deve revisar diagramas de limalha.
- **Função do núcleo de ferro** (Form. 04, P6/7): quem vê o prego apenas como “apoio” ou confunde “ímã” e “material ferromagnético” precisa de demonstrações diretas comparando bobina com e sem núcleo.
- **Resistência interna e saturação** (Form. 04, P8/9): alguns alunos já mencionaram a resistência crescente ao adicionar voltass, sinalizando que será importante esclarecer, nas próximas etapas, como “R da bobina” atua em “I” e, portanto, em “B”.

3. Predisposição para aprender (Ausubel)

- A maioria demonstrou curiosidade em justificar “por que aproxima a bateria e ela afeta a bússola?”, “como usar prego?”, “por que mais voltas?” — ou seja, mesmo quando não sabiam exatamente, formulavam hipóteses (por ex., “não sei, mas acho que...”).
- Essa disposição a criar hipóteses e se engajar em experimentos (“alguns grupos já reproduziram o eletroímã com materiais de baixo custo”) sinaliza que o ambiente está, de fato, “potencialmente significativo”: há motivação,

recolhimento de conflitos cognitivos e vontade de experimentar, conforme Ausubel recomenda.

4. Próximos passos na sequência UEPS

- **Reforçar atividades experimentais:**

- Comparar o efeito sobre a bússola de mover apenas a bateria versus conectar bateria a fio em “U” (destacar importância de corrente realmente fluindo).
- Construir dois eletroímãs idênticos em espiras, um com pré-voltas e outro sem núcleo, para evidenciar empiricamente o ganho de força.
- Montar bobinas com diferentes números de voltas, medir quantos cliques cada uma levanta, reforçando “ $N \uparrow \rightarrow B \uparrow$ ”.

- **Exercícios colaborativos de diferenciação progressiva:**

1. **Nível inicial:** identificar qual lado da bobina gera polo norte (usar apenas bússola).
2. **Nível intermediário:** variar número de espiras e ver mudança qualitativa de força (“o que acontece se colocarmos 5 voltas em vez de 20?”).
3. **Nível avançado:** analisar, com breves cálculos (ou gráficos qualitativos), como “ $I = V/R$ ” e “ $B \propto N \cdot I$ ” se combinam para determinar força, tratando o caso “1,5 V versus 3 V” e “bobina sem núcleo versus com núcleo de ferro”.

Essas atividades garantem que a UEPS (passos 4, 5 e 6 de Moreira) seja implementada respeitando a heterogeneidade dos subsunçores prévios:

- Aqueles que já sabem “B cresce com N” podem ajudar a explicar aos colegas;
- Quem ainda confunde “campo uniforme” será forçado a confrontar sua ideia ao medir em diferentes pontos;
- Quem acha que “inverter pilha = desligar” será confrontado quando vir a bobina continuar funcional apenas trocando polaridade.

A seguir, analiso as respostas dos **Formulários 05 e 06** (Aula 03). Para cada questão, apresento:

1. Padrões de resposta corretos (com porcentagem aproximada),
2. Principais respostas parcialmente corretas ou incompletas,
3. Equívocos mais recorrentes,
4. O que esses dados revelam sobre os subsunçores prévios dos alunos e como orientar as próximas intervenções.

Formulário 05 (Motor elétrico caseiro)

1. “Qual fenômeno seria observado caso fosse inserida uma segunda pilha em série com a primeira no experimento?”

1.1 Respostas corretas (~80 %)

- Cerca de **35 respostas** afirmaram que, ao adicionar a segunda pilha em série (passando de 1,5 V para 3 V), “a voltagem total do circuito aumenta”, resultando em **maior corrente**, “campo magnético mais intenso” ou “o motor gira mais rápido”. Exemplos típicos:
 - “Vai aumentar a tensão do campo magnético, fazendo com que ele gire mais rápido.”
 - “O aumento da corrente elétrica no circuito resulta em campo magnético mais forte e o motor funciona mais rápido.”
 - “Com duas pilhas em série, a voltagem aumenta, o que faz o motor girar com mais energia.”

Esses alunos entenderam corretamente que, mantida a mesma resistência, elevar de 1,5 V para 3 V fará a corrente crescer (Lei de Ohm) e, conseqüentemente, o campo dentro da bobina se intensificar, acelerando o rotor.

1.2 Respostas parcialmente corretas (~10 %)

- Cerca de **4 respostas** afirmaram que “a voltagem aumentaria” mas não explicaram claramente como isso afeta o motor (por exemplo, disseram “aumentaria a tensão” sem relacionar a “corrente” ou “velocidade do motor”).
- Outras **2 respostas** mencionaram “duas pilhas em série ligam polos positivos e negativos de forma X” (descrevendo a configuração séria) mas sem concluir qual seria o efeito no motor (por ex.: “duas pilhas são conectadas de forma que o polo positivo de uma fica ligado ao negativo da outra...”).

Nesses casos, o aluno conhece a conexão em série, mas não fez a ligação com o aumento de corrente/força magnética.

1.3 Equívocos ou lacunas (~10 %)

- **3 respostas** afirmaram incorretamente que “não faz diferença” ou que “na prática só aumenta a duração da bateria, não a força do motor”.
- **2 respostas** disseram “não sei” sem nenhuma justificativa;
- **1 resposta** mencionou “elas se atraem ou se repelem, dependendo do polo”, confusão entre interação de pilhas (elétrico) e polos de ímã.

Esses alunos não conectaram “voltagem maior $\rightarrow$ corrente maior $\rightarrow$ campo magnético maior”. Alguns confundem aspectos elétricos (durabilidade, atração entre polos de bateria) sem relacionar com o campo na bobina.

1.4 O que esses resultados revelam?

- Quem acertou ($\approx 80\%$) dominou o subsunçor “ $V \uparrow \Rightarrow I \uparrow \Rightarrow B \uparrow \Rightarrow$ motor mais rápido”, que já vem se formando desde a aula do solenoide.
- Os que disseram apenas “aumenta a tensão” mas não explicaram o efeito no motor mostram que sabem somar as pilhas, mas ainda não associam esse aumento de tensão com “mais corrente” e “mais torque no rotor”.
- Os que acreditam que “não muda a velocidade” revelam confusão entre “voltagem em série” (duração/autonomia) e “voltagem que alimenta o circuito” (intensidade de campo).
- A resposta “não faz diferença” pode indicar que, em experimentos anteriores, eles viram pouca variação de velocidade ao trocar a pilha, talvez por contato imperfeito ou atrito, mas não compreenderam o princípio teórico.

Implicações de ensino:

- **Demonstrar experimentalmente** num mesmo conjunto de materiais: motor caseiro com 1 pilha (1,5 V) versus 2 pilhas em série (3 V), medir qualitativamente a rotação (p. ex., contar voltas em 10 s).
- **Reforçar a relação $I = V/R$** : mostrar que, para R (resistência do fio) aproximadamente constante, dobrar a tensão dobra a corrente, dobrando o campo que gera torque.
- **Discutir possíveis limitações práticas**: atrito do eixo, contato não ideal no comutador, que podem mascarar diferenças muito grandes de velocidade em montagem amadora.

2. “Por que uma das pontas do fio condutor é raspada por completo e a outra apenas em parte?”

2.1 Respostas corretas (~70 %)

- Aproximadamente **31 respostas** explicaram que raspam completamente uma ponta para manter o contato elétrico contínuo, enquanto raspam apenas metade da outra ponta para interromper alternadamente o contato (funcionamento do **comutador caseiro**), de modo que o rotor gire sem ficar “travado” ou “balançando”. Exemplos:
 - “Uma ponta é raspada totalmente para conexão contínua; a outra só pela metade para que a cada meia volta haja interrupção, criando o comutador e permitindo o giro.”
 - “A raspagem parcial faz com que, num dos semiciclos de rotação, não haja contato e a bobina desmagnetize, permitindo a mudança de sentido e continuidade do giro.”
 - “Isso cria o efeito de ligar e desligar a cada meia volta: o motor sai de um polo para outro. Se raspássemos totalmente as duas, iria apenas balançar.”
- Esses alunos captaram a essência do comutador: sem a raspagem parcial, a bobina sempre estaria em curto e não haveria torque contínuo.

2.2 Respostas parcialmente corretas (~15 %)

- Cerca de **7 respostas** mencionaram “para ligar e desligar” ou “para um lado conduzir e outro não” sem explicar detalhadamente que isso ocorre apenas por meia volta da bobina.
- Outras **2 respostas** disseram “para evitar curto” ou “para garantir que só metade do fio conduza sempre” sem mencionar a “meia volta” ou a “alternância de contato”.

Esses alunos sabem que há uma razão de comutação, mas ainda não expressaram com clareza que a raspagem parcial ocorre justamente para interromper o circuito em cada meia revolução.

2.3 Equívocos ou lacunas (~15 %)

- **3 respostas** disseram algo como “para não ficar balançando demais” (sem ligar ao comutador), ou “para ter uma ponta negativa e outra positiva” (confundindo raspagem com geração de polos elétricos).
- **2 respostas** repetiram quase literalmente o enunciado “para garantir uma conexão limpa” ou “não sei” (sem explicar o motivo elétrico-mecânico).

Esses alunos não relacionaram a raspagem ao funcionamento do comutador; veem como mero detalhe físico (“raspar para o fio entrar no suporte”) ou confundem com conceito de polaridade da bateria.

2.4 O que esses resultados revelam?

- A maior parte ($\approx 70\%$) já formou o subsunçor “comutador caseiro” – isto é, sabe que uma ponta raspada apenas meia volta interrompe a corrente e cria torque contínuo.
- Os que disseram apenas “para ligar e desligar” sem detalhar tempo (meia volta) têm a noção geral, mas falta refinamento: ainda não entendem que a bobina só fica energizada num semiciclo e, no outro, necessita reverter o campo.
- Aqueles que acreditam que “evita curto” ou “para não balançar” revelam uma percepção superficial, sem apreender o porquê físico: não associaram a raspagem parcial ao momento exato de reversão de polaridade da força magnética.

Implicações de ensino:

- **Fazer um diagrama passo a passo:** mostrar em papel ou animação que, ao girar 180° , a parte raspada inteira permanece em contato, mas a parcela isolada impede a corrente por 180° , reverter o torque e continuar o giro.
- **Exibir um esquema de corte transversal da bobina** e destacar “parte raspada total” versus “raspagem parcial” para evidenciar como o comutador se comporta a cada meia rotação.
- **Atividade de dupla:** cada dupla desenha em sequência (4 quadros) o movimento da bobina, indicando exatamente quando o contato cessa e reinicia, para fixar o conceito de comutação.

3. “Como relacionar o sentido da corrente elétrica no fio condutor com o movimento da bobina (espira)?”

3.1 Respostas corretas ($\sim 50\%$)

- Cerca de **22 respostas** disseram que “o sentido da corrente cria um campo magnético na espira, que interage com o campo do ímã permanente, gerando uma força (torque) que faz a bobina girar”. Exemplos:
 - “O sentido da corrente no fio gera um campo magnético que interage com o campo do ímã permanente, e essa força de interação faz a espira girar.”
 - “Quando a corrente flui em determinada direção, surge uma força (pela regra da mão direita) que empurra a bobina; invertendo a corrente, inverte-se o movimento.”
 - “O movimento da bobina depende de como as direções de corrente e campo se cruzam: corrente para cima num lado atrai, no outro repele, gerando rotação.”

Esses alunos já articulam o princípio de funcionamento do motor: a interação entre o campo gerado pela espira e o campo estático do ímã permanente produz torque.

3.2 Respostas parcialmente corretas (~25 %)

- Aproximadamente **11 respostas** afirmaram que “depende da variação do fluxo magnético” ou “o movimento induz corrente” (usando termos mais apropriados a gerador, não a motor).
- Outras **3 respostas** citaram apenas a “regra da mão direita” sem explicar como isso se traduz em torque ou movimento da bobina.

Esses alunos sabem que “campo $\leftrightarrow$ corrente” estão relacionados e que existe a Lei de Lenz ou de indução, mas misturam conceitos de gerador e motor: pensam, por exemplo, que “ao mover a bobina, gera corrente”, quando o enunciado pedia o oposto (“corrente gera movimento”).

3.3 Equívocos ou lacunas (~25 %)

- **5 respostas** disseram “quando o ímã se move em relação à bobina, gera corrente” (inversão de motor e gerador).
- **5 respostas** afirmaram “não sei / depende de como for montado” sem relacionar “corrente $\rightarrow$ campo $\rightarrow$ força $\rightarrow$ movimento”.
- **3 respostas** apenas “usar a mão direita” (sem conectar com o torque nem com a orientação do ímã).

Essas colocações revelam que alguns alunos ainda não distinguiram claramente:

- O papel da **corrente induzida** (gerador) vs. a **corrente aplicada** (motor);
- O fato de que, num motor, **é a interação (força de Lorentz) entre dois campos** (o da bobina e o do ímã permanente) que gera torque.

3.4 O que esses resultados revelam?

- Metade dos alunos ($\approx 50\%$) já domina o subsunçor “I na bobina $\rightarrow$ campo magnético $\rightarrow$ interação com campo do ímã $\rightarrow$ torque $\rightarrow$ rotação”.
- Quem mistura “movimento $\rightarrow$ gera corrente” foi claramente influenciado pela atividade com o gerador (simulação de Faraday), demonstrando confusão entre os papéis de bobina e ímã em motor vs. gerador.
- As repostas genéricas “usar regra da mão direita” sem detalhar o mecanismo revelam que, embora saibam de memorização de regra, falta internalizar como ela se aplica ao torque.

Implicações de ensino:

- **Desenho esquemático em quadros:** passo a passo da bobina frente ao ímã — indicar direção de corrente, mostrar vetor força em cada braço da espira (Lei de Lorentz), demonstrando o torque resultante.
- **Experimento simplificado:** inverter manualmente a direção da corrente na bobina em montagem fixa (sem núcleo giratório), observar a inversão do sentido de empuxo num lado e de repulsão no outro.
- **Atividade de grupo:** cada grupo escreve, em frases curtas, os “três passos” que ligam corrente ao movimento, para garantir que abandone a confusão “motor ↔ gerador”.

4. “Utilizando os conceitos mostrados nas últimas aulas, tente descrever como o motor de um carrinho de controle remoto funciona.”

4.1 Respostas corretas (~50 %)

- Cerca de **22 respostas** descreveram adequadamente o funcionamento geral de um **motor DC com escovas e comutador**, alimentado por bateria, cujo campo da bobina interage com campo magnético fixo, gerando movimento nas rodas do carrinho. Além disso, mencionaram que “o carrinho recebe sinais de radiofrequência do controle, que aciona um circuito que regula a corrente no motor”. Exemplos típicos:
 - “O motor usa bobinas e um comutador para inverter corrente a cada semiciclo, interagindo com ímã fixo e transmitindo torque às rodas. O controle remoto envia sinais RF para o receptor, que alimenta o motor conforme o comando.”
 - “É um motor de corrente contínua: as escovas passam corrente para a bobina, que interage com ímã permanente, girando o eixo; o controle remoto, via ondas de rádio, varia a tensão aplicada, controlando velocidade e direção.”
 - “O carrinho converte energia elétrica (bateria) em torque no motor elétrico (bobina + ímã), e sinais do receptor definem qual tensão o motor recebe.”

Esses alunos conseguiram articular tanto o princípio eletromagnético do motor quanto a parte de controle remoto (RF → receptor → circuito → motor).

4.2 Respostas parcialmente corretas (~30 %)

- Aproximadamente **13 respostas** focaram apenas na parte de **radiofrequência e receptor**, falando que “o controle envia sinal de RF para o carrinho” sem detalhar como o motor funciona internamente (“lacuna no vínculo com gerador de torque”).
- Outras **1 resposta** começou a descrever “motor DC com corrente nas bobinas” mas logo passou a falar “através da pilha” sem relacionar ao comutador ou ao campo fixo do ímã.

Ou seja, esses alunos sabem reconhecer que “sinais de rádio” comandam o carro, mas não dominam o princípio de funcionamento eletromagnético do próprio motor DC.

4.3 Equívocos ou lacunas (~20 %)

- **5 respostas** repetiram quase literalmente: “funciona por radiofrequência onde o transmissor envia sinal de controle ao receptor que aciona o motor”, sem citar “motor DC” ou “princípio de bobina + ímã”; ficaram restritos ao controle remoto.
- **2 respostas** disseram “não sei responder” ou “ocorreu muito tempo atrás”, claramente sem conexão com o conteúdo.
- **2 respostas** descreveram “funciona por pulsos de radiação infravermelha” (confundindo IR com RF), o que demonstra falta de clareza sobre a tecnologia de controle remoto.

Esses alunos não conseguiram relacionar as aulas de “motor caseiro → gerador virtual” com uma aplicação real de motor DC em carrinho de brinquedo.

4.4 O que esses resultados revelam?

- Metade dos alunos já internalizou, de modo coerente, a transposição dos conceitos de motor caseiro para um motor de brinquedo mais sofisticado, reconhecendo a combinação “bateria → comutador → bobina + ímã → torque → rodas” e “controle remoto (RF) → receptor → circuito → motor”.
- Aqueles que se limitaram a “funciona por RF” ou “bateria → motor” mostram que identificam o sistema de controle, mas não compreendem o princípio eletromagnético do motor DC.
- A menção incorreta a “infravermelho” revela confusão entre tipos de sinal sem fio; convém reforçar a diferença entre IR e RF.

Implicações para as próximas aulas:

- **Mapear um motor DC real:** abrir (ou mostrar em vídeo) um motor pequeno de carrinho, destacando bobina, comutador, escovas e ímã permanente, para conectar com a montagem caseira.
- **Fazer um diagrama de blocos** do sistema “controle remoto → receptor → driver (transistor ou ponte H) → motor DC → rodas”, para que todos entendam como o sinal RF se converte em corrente para o motor.
- **Atividade de comparação:** colocar lado a lado o motor caseiro que eles construíram e um motor DC de brinquedo, pedindo que apontem semelhanças e diferenças (ex.: ambos têm comutador, mas o de brinquedo possui carcaça, engrenagens, eixo, escovas profissionais).

Síntese geral dos Formulários 05 (Aula 03, motor)

1. Subsúncões consolidados

“ $V \uparrow \Rightarrow I \uparrow \Rightarrow \text{torque} \uparrow$ ” (acrescentar pilha em série acelera o motor).

“Raspagem parcial no fio = comutador caseiro” (existe a necessidade de interromper corrente a cada meia volta).

“Corrente no fio cria campo; interação com campo do ímã gera torque $\rightarrow$ movimento” (princípio de funcionamento do motor).

“Motores de carrinho de controle remoto são motores DC com comutador, alimentados por bateria, controlados por sinal RF”.

2. Principais lacunas ou concepções alternativas

Alguns acreditam que “usar duas pilhas em série só aumenta duração, não a velocidade” (Form. 05 – Q1).

Confusão entre “motor” e “gerador” (muitos responderam como se a pergunta fosse de geração de corrente, não de movimento).

Falta de domínio completo da função de “raspagem parcial”: para uns é “evitar curto” ou “não deixar balançar” sem mencionar o comutador.

- Quem fala apenas em “controle remoto (RF)” sem mencionar como o motor usa princípios de eletromagnetismo no carrinho.

3. Orientações para as próximas etapas

- **Demonstração conjunta de motor caseiro e motor DC real** (de brinquedo), apontando cada componente: bobina, comutador, escovas, ímã permanente.
- **Exercício de desenho**: sequência de 4 a 5 quadros mostrando o que acontece na bobina a cada meia volta (liga/desliga).
- **Diagrama de blocos do sistema de controle remoto**: emissor RF $\rightarrow$ receptor $\rightarrow$ driver $\rightarrow$ motor $\rightarrow$ rodas, para fixar onde entra o conceito de “campo magnético” e onde entra “radiofrequência”.
- **Experimento comparativo de voltagens**: medir qualitativamente a rotação do motor caseiro com 1,5 V vs. 3 V, discutindo desigualdades práticas (atrito, contato instável).

A seguir, apresento a análise das respostas do **Formulário 06** (simulador de Faraday), questionamento a questionamento. Para cada item, indico:

1. Padrões de respostas corretas (com porcentagem aproximada);
2. Respostas parcialmente corretas ou incompletas;
3. Equívocos mais recorrentes;

4. O que esses resultados revelam sobre os subsunçores prévios dos alunos e como orientar as próximas intervenções.

1. “Ao movimentar o ímã no interior do solenoide, o que acontece com o brilho da lâmpada? Explique.”

1. Respostas corretas (~85 %)

- Cerca de 41 estudantes afirmaram que, ao mover o ímã dentro do solenoide, a lâmpada acende ou seu brilho varia conforme a velocidade do movimento. Em geral, dizia-se:
 - “Quanto mais rápido o ímã entra ou sai, maior a corrente induzida e mais intenso o brilho.”
 - “Se o ímã está em movimento, o fluxo magnético varia e gera corrente, acendendo a lâmpada; em repouso, a lâmpada apaga.”
 - “O brilho aumenta quando o ímã se aproxima e diminui quando se afasta, porque a variação do fluxo produz maior ou menor fem.”Esses alunos captaram com clareza o fenômeno de indução: a variação de fluxo magnético ($Vel. \uparrow \Rightarrow \Delta\Phi \uparrow$) gera fem induzida no solenoide, alimentando a lâmpada.

2. Respostas parcialmente corretas (~10 %)

- Aproximadamente 5 responderam que “a lâmpada pisca” ou “varia a luminosidade” mas sem explicitar a relação “movimento $\rightarrow$ variação de fluxo $\rightarrow$ corrente”. Diziam simplesmente “variação”, “pisca conforme o ímã se move”, sem indicar que “mais velocidade = mais brilho”.
- Outras 3 respostas citaram “acende porque a lâmpada recebe energia do movimento” (sem mencionar “corrente induzida”).

3. Equívocos ou lacunas (~5 %)

- Cerca de 2 respostas diziam “o ímã se movimenta e brilha, porque o ímã empurra elétrons”, confundindo “força magnética” com “campo elétrico” propriamente dito.
- 1 aluno afirmou “o brilho fica verde” (fenômeno irrelevante e não relacionado).
- 1 resposta resumiu “acende e apaga” sem mencionar “movimento $\rightarrow$ campo variável”.

4. O que esses resultados revelam?

- A esmagadora maioria já domina o subsunçor “movimentar ímã → variação de fluxo magnético → corrente induzida → brilho da lâmpada” (Lei de Faraday).
- Os que falam apenas em “piscar” sabem que há variação, mas ainda não vinculam essa variação à intensidade (velocidade do ímã).
- Os que confundem “empurrar elétrons” com “força magnética” revelam ainda mistura conceitual entre “campo magnético” e “campo elétrico”.

Implicações de ensino:

- Reforçar em sala que “a intensidade da fem depende da rapidez de variação do fluxo ($|d\Phi/dt|$)”, talvez exibindo um gráfico simplificado “velocidade do ímã” x “intensidade da corrente”.
- Promover uma pequena atividade prática (ou simulação numérica) em que o aluno movimenta o ímã em diferentes velocidades e anote valores de corrente (ou nível de brilho) para consolidar qualitativamente essa relação.

2. “O que ocorre quando o ímã é mantido em repouso? Algo diferente acontece se movimentarmos o solenoide? Explique.”

1. Respostas corretas (~90 %)

Cerca de 90% dos estudantes responderam que, mantendo o ímã parado dentro (ou próximo) ao solenoide, não se induz corrente, e, portanto, a lâmpada não acende. Quanto a movimentar o **solenoide** em relação ao ímã, quase todos afirmaram que o resultado é o mesmo: “sem variação de fluxo não há corrente” ou “se movemos o solenoide em torno do ímã, a lâmpada acende, pois há variação de fluxo magnético”. Exemplos:

- “Em repouso, nada acontece (lâmpada apagada). Se movimentar o solenoide em torno do ímã, há variação de fluxo e a lâmpada acende.”
- “Quando o ímã está parado, não há fem induzida; mas, se movimentarmos o solenoide para aproximar/distanciar, o efeito é o mesmo de mover o ímã: a lâmpada acende.” Esse grupo entendeu que “fluxo magnético só varia se houver movimento relativo entre ímã e bobina (solenoide)”.

2. Respostas parcialmente corretas (~5 %)

- Cerca de 3 respostas disseram “quando o ímã está parado, a lâmpada fica fraca” ou “fica piscando mesmo em repouso” – confundindo ruídos de simulação com fenômeno real.
- Outras 2 respostas afirmaram “o ímã em repouso ainda gera corrente contínua” (conceito errado: supõem que campo magnético constante já induz corrente).

Nesses casos, o aluno percebeu que não há ação completa, mas não entendeu que a **ausência de variação** impede totalmente a indução.

3. Equívocos ou lacunas (~5 %)

- **2 respostas** afirmaram “quando o ímã está parado, ele continua gerando corrente fraca” (ideia de fluxo estático produzindo corrente).
- **1 resposta** disse “se movimentarmos o solenoide sem conectar ao circuito, a lâmpada ainda acende” (confusão entre gerador e circuito aberto).
- **1 resposta** disse “o solenoide não muda nada” sem distinguir repouso de movimento.

4. O que esses resultados revelam?

- A grande maioria compreende o subsunçor “é necessária **variação** no fluxo magnético para que a corrente seja induzida; fluxo constante = corrente zero”.
- Um pequeno grupo não separa “campo constante” (sem tensão gerada) de “campo variável” (com tensão gerada), indicando necessidade de reforçar que **só a variação → fem induzida**.
- Quem pensa que o solenoide “funciona sozinho” em movimento sem circuito revela falta de compreensão de que o circuito deve estar fechado para haver corrente mensurável (mesmo que o solenoide se mova, se não há circuito, a lâmpada não acende).

Implicações de ensino:

- Utilizar analogia visual (por ex., imagine um carrossel que só gera vento quando gira, e parado não há vento): sem rotação → sem corrente.
- Pedir que desenhem dois cenários: (a) ímã parado, (b) bobina girando em torno de ímã, indicando a direção do fluxo e anotando “sem corrente” versus “com corrente”.
- Mostrar que, no simulador, se o circuito estiver aberto (lâmpada retirada), mesmo movimentando o solenoide, não se forma corrente efetiva; assim, reforçar conceito de “circuito fechado + variação de fluxo”.

3. “O que acontece com o sentido da corrente quando você move o ímã para trás e para frente?”

1. Respostas corretas (~80 %)

- Aproximadamente **80% dos alunos** afirmaram que, ao mover o ímã em sentido contrário, o sentido da corrente induzida *inverte*. Em geral, diziam:

- “Quando puxamos o ímã para dentro, a corrente entra num sentido; ao empurrar para fora, a corrente se inverte.”
 - “Cada vez que inverte o movimento (para frente/para trás), mudo a polaridade da fem e, portanto, inverte o sentido da corrente.”
 - “O sentido da corrente alterna conforme a direção do movimento do ímã, gerando corrente alternada se movermos repetidamente.”
- Esses alunos captaram a Lei de Lenz/Lei de Faraday: a polaridade da tensão depende de $d\Phi/dt$, e se $d\Phi$ muda de sinal, a corrente também muda.

2. Respostas parcialmente corretas (~10 %)

- Cerca de **4 respostas** afirmaram “o brilho pisca ou oscila” ao invés de “o sentido inverte”, mostrando que perceberam variação, mas não supõem que “o sentido de circulação de elétrons” se altera.
- Outras **2 respostas** disseram “a lâmpada acende e apaga conforme o movimento, mas não sei qual sentido” (sabem que muda, mas não souberam explicar).

3. Equívocos ou lacunas (~10 %)

- **3 respostas** afirmaram “o sentido da corrente permanece o mesmo, pois a lâmpada só acende” (ignorando que, ao inverter o movimento, a polaridade muda).
- **2 respostas** mencionaram “o sentido depende de como o solenoide está conectado, não do ímã” (não perceberam que o campo variável é quem determina a direção).

4. O que esses resultados revelam?

- Cerca de 80 % já possuem bem internalizado o subsunçor “inversão de movimento do ímã $\rightarrow$ inversão de $\Delta\Phi \rightarrow$ inversão da fem induzida $\rightarrow$ inversão do sentido de corrente” (é a base da corrente alternada em geradores).
- Quem se limitou a “pisca” percebeu variação, mas ainda não distingue “pisca = inverter polaridade” de “pisca = ligar/desligar no mesmo sentido”.
- Os que dizem “o sentido não muda” demonstram ainda confusão entre “variação de intensidade” e “mudança de direção” da corrente.

Implicações de ensino:

- **Exibir gráficos de tensão vs. tempo** gerados pelo simulador: ao mover o ímã, mostrar a curva positiva e, ao inverter movimento, mostrar a curva negativa.

- **Atividade de duplas:** cada dupla desenha dois vetores—um para movimento “para dentro” e outro para “para fora”—indicando o sentido da corrente em cada caso, fixando que “o sinal da derivada do fluxo” ($d\Phi/dt$) dita o sinal da fem.

4. “Ajuste a fonte de corrente contínua (bateria) para 0 V e verifique se a lâmpada acende. Por quê?”

1. Respostas corretas (~95 %)

- Praticamente todos os alunos disseram que “com 0 V não há diferença de potencial; não existe corrente e, portanto, a lâmpada não acende”. Exemplo típico:
 - “Com 0 V, não há tensão para empurrar elétrons; como não há corrente, a lâmpada permanece apagada.”
 - “Não acende porque a fonte está em zero volt: sem ddp, não há fluxo de corrente.”

2. Respostas parcialmente corretas (~3 %)

- 1 resposta afirmou “não acende, pois o ímã parado não induz corrente” (misturando o conceito anterior de indução com o de fonte de 0 V). A ideia está “quase lá”, mas faltou isolar que 0 V implica circuito sem tensão, independentemente de existir ou não ímã.

3. Equívocos ou lacunas (~2 %)

- 1 estudante disse “acende, porque o circuito tem energia residual” (conceito incorreto: não há energia sem tensão).
- 1 aluno respondeu “nao sei”.

4. O que esses resultados revelam?

- Quase todos já internalizaram que **tensão = requisito mínimo para corrente contínua**, o que gera a lâmpada acender. Esse é um subsunçor muito bem estabelecido.
- Raríssimos equívocos surgem de interpretar “circuito aberto” (0 V) como “ainda há corrente residual” ou “a lâmpada pode brilhar fraco”, mas são poucos.

Implicações de ensino:

- Embora o domínio seja alto, vale reforçar que, no simulador, 0 V corresponde a ausência total de diferença de potencial.
- Relacionar esse entendimento com “inversão do movimento do ímã”: mesmo que o ímã se mova, se a fonte estiver em 0 V e o circuito estiver aberto (não

fechado), a lâmpada não acende—diferenciar claramente “fonte de 0 V” vs. “fonte desconectada”.

5. “Ajuste a fonte de corrente contínua (bateria) para 10 V e o solenoide com 3 espiras; verifique se a lâmpada acende. E se movimentarmos a fonte ou o solenoide (aproximando ou afastando)? O que ocorre com o sentido da movimentação dos elétrons no interior do condutor do solenoide?”

1. Respostas corretas (~70 %)

- Cerca de 70% dos alunos afirmaram que, ao ajustar a bateria para 10 V e usar 3 espiras, a lâmpada acende (corrente fluindo no circuito). Quanto ao movimento relativo (aproximar/afastar fonte ou solenoide), disseram que “a variação de campo magnético induz corrente extra” e “o sentido dos elétrons é alterado conforme o movimento do ímã (ou solenoide)”. Exemplos:
 - “Com 10 V e 3 espiras, a lâmpada acende porque há corrente contínua. Ao movimentar o solenoide, acrescenta-se uma fem induzida; se aproximar, aumenta a intensidade, e o sentido dos elétrons se inverte quando solicitamos inversão de movimento.”
 - “A lâmpada acende fortemente. Movimentar o solenoide em relação ao ímã muda $d\Phi/dt$ e pode inverter ou reforçar a direção da corrente: aprende-se que, nesse caso, o campo da fonte contínua sofre interferência com o campo induzido.” Esses alunos entenderam que há superposição de correntes (fonte + induzida) e que o movimento relativo pode inverter parcialmente o sentido de circulação dos elétrons no solenoide.

2. Respostas parcialmente corretas (~20 %)

- Aproximadamente **9 respostas** afirmaram “com 10 V, a lâmpada acende e brilha, mas o movimento só altera a intensidade, não o sentido dos elétrons (mantém-se mesmo sentido CC)”. Esses pensam que, com corrente contínua dominante, a fem induzida é desprezível e não logra inverter o fluxo de elétrons, apenas alterar levemente a intensidade.
- **3 respostas** disseram “a lâmpada não acende se movemos o solenoide” (confundindo circuitos abertos e fechados).

- **2 respostas** alegaram “a lâmpada acende, mas o sentido dos elétrons só muda se a bateria inverter seus polos” (entendimento parcial: invertem-se polos de fonte e não do gerador por movimento).

3. Equívocos ou lacunas (~10 %)

- **3 respostas** afirmaram “a lâmpada não acende mesmo com 10 V” (suposição de montagem incorreta).
- **2 respostas** disseram “movimentando nada muda, pois já há 10 V constante”.
- **1 resposta** afirmou “os elétrons não se movem, pois a fonte é contínua” (conceito errado: corrente contínua implica movimento unidirecional de elétrons).

4. O que esses resultados revelam?

- A maioria ($\approx 70\%$) compreende o subsunçor “10 V em solenoide de 3 espiras $\rightarrow$ corrente CC $\rightarrow$ lâmpada acesa” e sabe que, ao mover o solenoide, sobrepõe-se uma fem induzida que pode reforçar ou antagonizar a corrente da fonte, invertendo localmente o sentido dos elétrons.
- O grupo que acha “o sentido dos elétrons não muda” está supondo que a força aplicada por 10 V domina totalmente qualquer pequena fem induzida; em condições reais, dependendo da magnitude de $d\Phi/dt$, a fem induzida pode até inverter parcial ou totalmente a corrente instantaneamente (se $d\Phi/dt > V/R$).
- Alguns confundem circuito “conectado” com circuito “movimentado”: acham que, mesmo com 10 V, se moverem o solenoide, a lâmpada pode apagar, mas na verdade a fonte contínua manterá a lâmpada acesa, apenas a fem induzida varia o total de corrente.

Implicações de ensino:

- Demonstrar “superposição de fem”: calcular qualitativamente cenários em que a fem induzida pode somar-se ou subtrair-se de $V=10\text{ V}$, explicando por que, em geral, a corrente CC prevalece mas pode haver pequenas flutuações de direção local em cada “meia fase” de movimento.
- Usar uma simulação ou experimento de bancada para mostrar que, se mover o solenoide muito rápido, a tensão induzida pode inverter o fluxo de elétrons mesmo em presença de 10 V fixa—isto é, o próprio gerador passa a fornecer corrente no sentido contrário à bateria em certos instantes.

6. “Com base no que você aprendeu nos momentos anteriores, pense em maneiras de fazer a lâmpada acender. Teste suas ideias. O que você observa? Explique.”

1. **Respostas corretas (~75 %)**

- Aproximadamente **36 respostas** listaram pelo menos uma estratégia válida (às vezes mais de uma), tais como:
 - “Mover o ímã dentro do solenoide” (gera indução);
 - “Variar o número de espiras” (mais espiras = maior tensão → acende);
 - “Aumentar a diferença de potencial da fonte CC” (usar bateria de maior voltagem);
 - “Mover o solenoide em torno do ímã” (efeito equivalente a mover o ímã).
 - “Usar corrente alternada ou colocar o solenoide dentro de um campo variável.”

Relataram ainda as observações: “a lâmpada só acende quando há variação de fluxo ou tensão suficiente; em repouso/apenas conexão CC sem variação do fluxo, a lâmpada permanece apagada”; “mais espiras → Led piscava com brilho mais estável”; etc.

2. **Respostas parcialmente corretas (~15 %)**

- Cerca de **7 respostas** sugeriram “acender com uma fonte de corrente alternada (220 V)” – tecnicamente fora do escopo do simulador, mas mostram uma ideia global de “usar corrente alternada para acender lâmpada”.
- **3 respostas** disseram “basta ligar a bateria e a lâmpada acende, não preciso mover nada” (omitiram que no circuito indutivo do simulador é necessário variar o fluxo ou ter fonte CC).

3. **Equívocos ou lacunas (~10 %)**

- **2 respostas** afirmaram “acender somente com transformador” (sem explicar como gerador de indução pode ser usado).
- **2 respostas** falaram em “usar calor” ou “usar energia térmica” (mistura conceitos completamente diferentes).
- **2 respostas** limitavam-se a “não sei” ou “não entendi”.

4. **O que esses resultados revelam?**

- A maioria compreendeu que **existem duas vias principais** para fornecer energia à lâmpada: (a) usar uma fonte CC de tensão suficiente; (b) usar indução eletromagnética (movimentar ímã e/ou solenoide, aumentar espiras).

- Um grupo entendeu que “corrente alternada em 220 V” é uma forma de acender lâmpada, mas sem distinguir claramente “gerar essa CA via transformador” vs. “gerar CA via movimento do ímã no solenoide”.
- Alguns alunos ainda não associam que, em um circuito puramente indutivo (sem fonte CC), só se acende a lâmpada quando o fluxo magnético varia; supõem erroneamente que “bastaria apenas ligar solenoide, mesmo sem movimento de ímã”.

Implicações de ensino:

- Propor um exercício de “inventário de estratégias” em grupo, em que cada dupla liste todas as maneiras (pelo menos três) de fazer a lâmpada acender, destacando prós e contras de cada uma (por exemplo, “metade dos espiras pode não gerar tensão suficiente, então precisamos de várias espiras ou movimento rápido”).
- Confrontar a ideia “usar CA da rede” mostrando que, de fato, “um transformador” é apenas um par de bobinas cuja primária vibra com corrente alternada, mas precise ser conectado a uma rede de 60 Hz; diferenciar claramente “fonte fixa” vs. “gerador por indução manual”.

7. “Aproximando o primário (eletroímã) do secundário (solenóide) do transformador, a tensão no secundário aumenta ou diminui? Justifique.”

1. Respostas corretas (~90 %)

- Cerca de **43 respostas** explicaram que “aproximando primário e secundário, o acoplamento magnético melhora, mais linhas de fluxo passam pelo secundário, gerando maior tensão” (Lei de Faraday). Exemplos:
 - “A tensão no secundário aumenta, pois mais fluxo magnético do primário alcança o secundário.”
 - “Ao aproximar, o acoplamento magnético é maior, logo a fem induzida cresce e a tensão no solenoide secundário sobe.”

2. Respostas parcialmente corretas (~5 %)

- **3 respostas** responderam “diminui” mas, em seguida, justificaram “porque o campo se esgota ao tentar atravessar dois enrolamentos muito próximos” (explicação errônea, mas supõem que proximidade possa gerar saturação ou cancelamento de linhas).

- **2 respostas** disseram: “não sei, talvez aumente ou diminua dependendo do número de voltas”. Embora não estejam firmes, perceberam que “número de espiras” pode influir no resultado.

3. Equívocos ou lacunas (~5 %)

- **1 resposta** afirmou “não muda, pois a tensão só depende da relação N_p/N_s , não da distância” (ignora acoplamento prático).
- **1 resposta** disse “fica verde” (não faz sentido).

4. O que esses resultados revelam?

- Quase todos compreendem que **distância reduzida → maior acoplamento magnético → tensão secundária maior**.
- Pequena parcela confunde “fluxo saturado” ou “proximidade” com fenômenos estranhos (“campo se esgota”), mas, de modo geral, entendem a lógica “quanto mais linhas de campo cortam o secundário → mais tensão”.

Implicações de ensino:

- Mostrar, via diagrama do simulador, **mapa de linhas de campo** quando primário e secundário estão juntos versus longe, visualizando que “quando afastados, boa parte do fluxo escapa e não chega ao secundário”.
- Confrontar o equívoco “tensão independe da distância” mostrando que, em teoria ideal de transformador perfeitamente acoplado, a relação N_p/N_s dita a tensão, mas que, sem proximidade, há perdas por dispersão de fluxo (transformador real).

Síntese Geral dos Formulários 05 e 06 (Aula 04)

1. Subsunçores consolidado

- **Motor caseiro:**
 - 1 pila → 1,5 V → bobina com comutador → interação de campo → rotação contínua.
 - 2 pilhas em série → 3 V → corrente maior → velocidade de rotação mais alta.
 - Raspagem parcial do fio → mecanismo de comutador (liga/desliga a cada meia volta).
- **Gerador virtual (simulador de Faraday):**
 - **Movimentar ímã dentro do solenoide** → variação do fluxo ($d\Phi/dt \neq 0$) → fem induzida → corrente → lâmpada acende.

- Ímã parado (solenóide parado) $\rightarrow d\Phi/dt = 0 \rightarrow \text{fem} = 0 \rightarrow$ lâmpada apagada.
- **Movimento inverso (para frente/para trás)** $\rightarrow$ inversão do sinal de $d\Phi/dt \rightarrow$ inversão do sentido da corrente (princípio da corrente alternada).
- **Fonte CC a 0 V** $\rightarrow$ circuito sem tensão $\rightarrow$ correntes nulas $\rightarrow$ lâmpada não acende.
- **Fonte CC a 10 V com 3 espiras** $\rightarrow$ componente CC mantém lâmpada acesa; movimento relativo pode gerar fem induzida que some ou se some à tensão de 10 V, provocando flutuações de corrente e, em casos extremos, até inverter localmente o sentido dos elétrons.
- **Aproximando primário do secundário (transformador)** $\rightarrow$ maior acoplamento magnético $\rightarrow$ mais fluxo cortando o secundário $\rightarrow$ tensão secundária aumenta.

2. Principais lacunas ou concepções alternativas

- Confusão entre “corrente induzida” e “corrente da fonte”: alguns presumem que, mesmo com fonte em 0 V, o movimento do solenóide sozinho seria suficiente para acender a lâmpada, sem notar que o circuito deve estar fechado e que a fonte 0 V não adiciona nada ao fluxo.
- Dificuldade em entender que **movimento relativo do solenóide inverte a corrente** mesmo em presença de fonte CC: alguns pensam que “com 10 V, a corrente nunca inverte, porque a fonte domina”.
- Pequeno grupo que não distingue “transformador ideal” (relação N_p/N_s pura) de “transformador real” (perdas e dispersão de fluxo) — por isso, acreditam que “distância não altera tensão”.
- Falta de clareza em quem diz “aumentar o número de espiras faz a lâmpada acender” sem explicar que “mais espiras = maior tensão induzida, pois mais voltas para o campo magnético variar”.

3. Predisposição para aprender (Ausubel)

- Em geral, as respostas mostram motivação para relacionar teoria e prática: a maioria testou movimentos, variações de espiras e de tensão, e observou diretamente o comportamento da lâmpada.
- As dúvidas remanescentes indicam que, ao criar situações de “movimentar solenóide” versus “movimentar ímã” e “usar fonte CC” versus “usar indução

isolada”, geram conflitos cognitivos que podem ser resolvidos por comparações dirigidas (por exemplo, “sem fonte vs. com fonte”).

4. Próximos passos na UEPS

- **Diferenciação Progressiva (Moreira):**

1. **Apresentação geral (nível mais inclusivo):** Revisitar o conceito de indução em termos puramente qualitativos (“movimento + bobina → corrente”) para consolidar nos que ainda misturam.

2. **Exemplos específicos (complexidade intermediária):** Mostrar dois cenários lado a lado:

- Bobina fixa + ímã variando velocidade → corrente proporcional a $d\Phi/dt$;
- Ímã fixo + bobina variando o posicionamento → mesmo efeito. Pedir que os alunos identifiquem qual configuração gera mais tensão, enfatizando que o que importa é a **variação do fluxo** e não o mero contato físico.

3. **Reconciliação integradora (nível mais alto):** Apresentar o transformador e o motor DC em contexto de sistemas de geração e utilização de energia (por ex., usina hidrelétrica → gerador → alta tensão → transformador → fornecimento residencial → motor de eletrodoméstico). Tarefa: cada grupo produza um “mapa conceitual” que conecte “motor caseiro”, “gerador virtual” e “transformador”, destacando fluxos energéticos e campos magnéticos em cada etapa.

- **Avaliação formativa contínua:**

- Observar em atividades práticas se cada aluno consegue identificar quando há **diferentes fontes de tensão** (fonte CC vs. fem induzida) e como isso afeta o circuito.
- Durante simulações em grupo, pedir que cada dupla explique oralmente, num minuto, “por que a lâmpada acende mais quando o ímã se move rápido” e “por que, mesmo com 10 V fixa, o movimento do solenoide pode inverter o sentido local da corrente”.

- **Avaliação somativa final:**

- Propor questões abertas que exigem integrar: “Você tem um sistema que consiste num motor elétrico alimentado pela rede (220 V), que precisa acionar um gerador mecânico para recarregar baterias. Descreva como você usaria conceitos de indução, número de espiras e transformadores para fazer isso de maneira eficiente, justificando cada passo.”

- Essa questão exigirá avaliar se o aluno compreendeu de forma integrada “campo ↔ corrente ↔ tensão ↔ torque ↔ transferência de energia via transformador”.

Anexo I – Roteiro Experimental – Mapeamento de Campo Magnético

Contexto

Nesse experimento vamos conhecer o campo magnético de um ímã por meio da visualização de suas linhas de força utilizando materiais simples do dia.

Tabela do material

- Ímãs (formatos diferentes)
- Limalha de Ferro
- Papel

Montagem

- Coloque um ímã sob uma folha de papel.
- Pulverize limalha de ferro levemente sobre o ímã e em torno dele.
- Observe a configuração das linhas de campo. Repita o experimento para outros formatos de ímãs que você tenha conseguido e para mais de um ímã sobre o papel ao mesmo tempo.

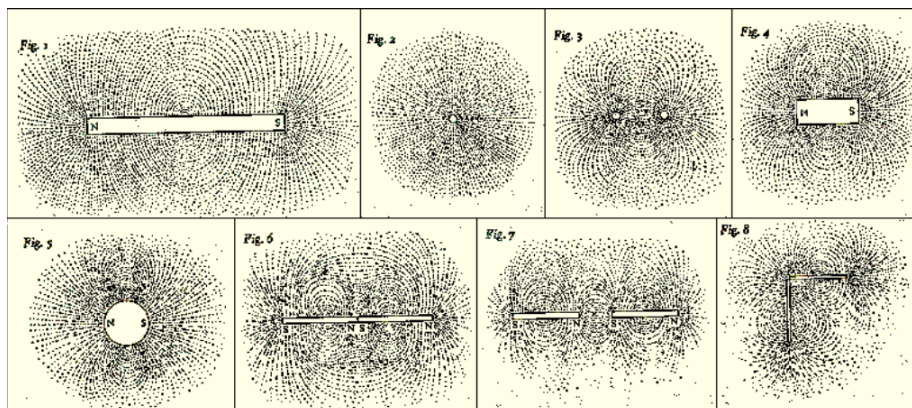


Figura 01 - Esquema de Montagem

Comentários

- Ao pulverizar a limalha de ferro sobre o ímã ou sobre o papel, dê pequenos "petelecos" na folha. Isto faz com que as limalhas se desprendam da folha e se alinhem com o campo, dando melhores resultados.

Anexo II – Roteiro Experimental – Experimento de Oersted

Contexto

Quando uma corrente elétrica atravessa um fio condutor, cria em torno dele um campo magnético. Este efeito foi verificado pela primeira vez por Hans Christian Oersted em abril de 1820. Ele observou que a agulha de uma bússola defletia de sua posição de equilíbrio quando havia próximo a ela um fio condutor pelo qual passava uma corrente elétrica.

Tabela do Material

- Um pedaço de fio condutor
- Pilha
- Bússola

Montagem

Coloque a bússola sobre uma mesa plana e longe da influência de campos magnéticos que não o terrestre, como o de alto-falantes, por exemplo.

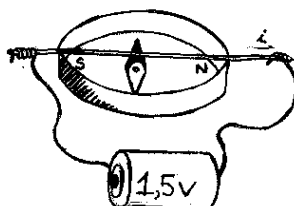
Coloque o fio sobre a bússola, no sentido de sua agulha.

Ligue o fio na pilha.

Comentários

O consumo de pilha é alto, pois, a corrente elétrica não tem resistência no percurso, ou seja, o circuito está em curto. Por isso, é aconselhável não deixar o circuito fechado por muito tempo desligando-o a cada demonstração. Outra maneira de resolver este problema é colocar uma resistência no circuito. Uma lâmpada de lanterna seria um bom resistor, mas daí serão necessárias duas pilhas, visto que uma lâmpada necessita de no mínimo 1,5 volts.

Esquema Geral de Montagem:



Anexo III – Roteiro Experimental – Construindo um Ímã

Contexto

Na aula anterior fomos apresentados a uma propriedade da corrente elétrica, que é, criar um campo magnético. Neste experimento teremos a oportunidade de construir um ímã que podemos desligar ou ligar, aumentar ou diminuir sua intensidade, um ímã com base elétrica, ou seja, um eletroímã.

Tabela do Material

- Fio esmaltado (0,5m a 1m)
- Pilha (tamanhos e intensidades variadas)
- 1 Prego grande (17x21 ou acima)
- Bússola
- Pregos pequenos
- Clipes de papel

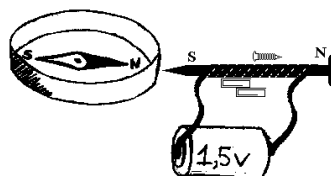
Montagem

- Primeiramente deve-se dar voltas em torno do prego com o fio esmaltado, tome cuidado para deixar as pontas livres, com pelo menos 2 cm de comprimento cada.
- Descasque ou raspe as pontas para que possam ser conectadas a pilha ou bateria.
- Agora é só ligar as pontas livres a pilha ou bateria.
- Utilize a bússola, clipes de papel e pregos pequenos para conduzir testes de eficiência do eletroímã.

Comentários

O consumo de pilha é alto, pois, a corrente elétrica não tem resistência no percurso, ou seja, o circuito está em curto. Por isso, é aconselhável não deixar o circuito fechado por muito tempo desligando-o a cada demonstração.

Esquema geral de montagem



Anexo IV – Roteiro Experimental – Motor Elétrico

Contexto

Com os conhecimentos adquiridos até aqui, podemos utilizar a energia elétrica associada ao ímã na produção de movimento, basicamente, transformaremos energia elétrica em movimento utilizando o motor que será construído pelos grupos.

Tabela do material

- Fio de cobre esmaltado (1m a 2m)
- Um objeto cilíndrico de cerca de 3 cm de diâmetro
- Tiras de lata
- Pilha (tamanhos e intensidades variadas)
- Ímã
- Clips de papel
- Fita isolante
- Lixa de madeira

Montagem

- Para fazer a bobina, enrola-se o fio de cobre num cano ou qualquer outro objeto cilíndrico, com cerca de 3 cm de diâmetro. Deve-se deixar livre duas pontas de aproximadamente 2 cm de comprimento, em cada extremidade, conforme a figura 01 a seguir.

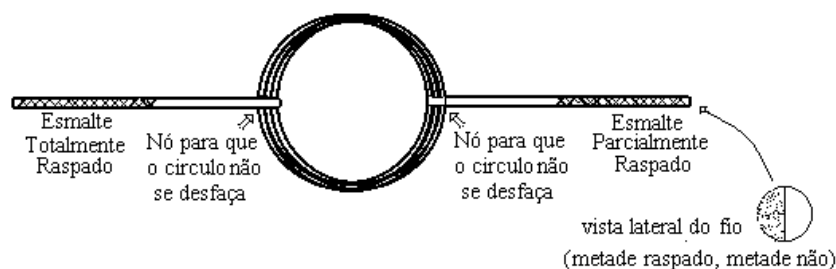


Figura 01 – Esquema de Montagem da bobina

- Deve-se raspar com uma lâmina todo o esmalte de uma das extremidades, dando uma volta completa.
- Após, para a outra extremidade, deve-se raspar o esmalte de meia volta do fio apenas. Se olhar de um lado da bobina ambas as pontas estarão raspadas e,

no outro lado da bobina somente uma das pontas fica raspada, desse modo a corrente elétrica vai fluir quando ambos os contatos estiverem nos clips e irá cessar quando o lado com a ponta não raspada ligar-se aos clips de papel, assim não haverá campo magnético em torno da bobina.

- Os suportes das bobinas serão feitos utilizando os clips de papel, eles serão dobrados e conectados a pilha ou bateria de modo que formem ganchos onde será inserida a bobina de modo que ele fique livre para girar.
- Agora, vamos ligar os fios de cobre com os clips de papel que estão conectados as pilhas, prestando atenção para não deixar a faixa esmaltada (sem lixar) das pontas da bobina em contato com os clips de papel.

Finalmente podemos aproximar o ímã ao circuito e observar o que acontece. Provavelmente não irá funcionar, então, dê uma pequena ajuda girando a bobina, se ainda assim não funcionar, discuta com seu grupo e reveja cada passo.

Comentários

Pode ser que o motor não funcione na primeira tentativa, devido a sua simplicidade, tenha paciência e realize alguns testes até que ele funcione adequadamente.

Há determinadas combinações de formas diferentes de se ligar os polos da bateria aos cliques e mesmo da posição da espira sobre os clips. Mas algumas poucas tentativas devem levar a uma das combinações corretas.