



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DA REDE NORDESTE DE**  
**ENSINO**  
**DOUTORADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA**

**FREDERICO ROZENDO DA SILVA**

**METODOLOGIAS ATIVAS E SEQUÊNCIA DIDÁTICA COMO FERRAMENTA NO**  
**PROCESSO DE APRENDIZAGEM DE ELETROMAGNETISMO**

**FORTALEZA**

**2025**

FREDERICO ROZENDO DA SILVA

METODOLOGIAS ATIVAS E SEQUÊNCIA DIDÁTICA COMO FERRAMENTA NO  
PROCESSO DE APRENDIZAGEM DE ELETROMAGNETISMO

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino da Rede Nordeste de Ensino (RENOEN), do Centro de Ciências, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ensino. Área de concentração: Ensino, Currículo e Processos de Ensino e Aprendizagem.

Orientador: Prof. Dr. Gilvandenys Leite Sales.

Coorientador: Prof. Dr. Gilberto Santos Cerqueira.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- S58m Silva, Frederico Rozendo da.  
Metodologias ativas e sequência didática como ferramenta no processo de aprendizagem de eletromagnetismo / Frederico Rozendo da Silva. – 2025.  
222 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ensino da Rede Nordeste de Ensino, Fortaleza, 2025.  
Orientação: Prof. Dr. Gilvandenys Leite Sales.  
Coorientação: Prof. Dr. Gilberto Santos Cerqueira.
1. Física - Estudo e ensino. 2. Metodologias ativas. 3. Eletromagnetismo. I. Título.
- CDD 370.7
-

FREDERICO ROZENDO DA SILVA

METODOLOGIAS ATIVAS E SEQUÊNCIA DIDÁTICA COMO FERRAMENTA NO  
PROCESSO DE APRENDIZAGEM DE ELETROMAGNETISMO

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino da Rede Nordeste de Ensino (RENOEN), do Centro de Ciências, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ensino. Área de concentração: Ensino, Currículo e Processos de Ensino e Aprendizagem.

Aprovado em: 28 / 08 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Gilvandenys Leite Sales (Orientador)

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

---

Prof. Dr. Gilberto Santos Cerqueira (Coorientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Francisco Herbert Lima Vasconcelos

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profª. Dra. Maria José Costa dos Santos

Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Jenner Barretto Bastos Filho

Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

---

Profª. Dra. Elsa Isabelinho Barbosa

Universidade de Évora (Uévora)



A Deus.

Aos meus pais, Fátima e Edson.

À minha esposa Jadna e aos meus filhos,  
Matheus (*in memoriam*) e Maria Júlia.

## AGRADECIMENTOS

A Jesus Cristo, pelo dom da vida e pelos constantes milagres realizados em minha trajetória.

Aos meus pais, Fátima e Edson, por me incluírem sempre em suas orações e por todo amor e apoio incondicional.

Às minhas irmãs e aos meus sobrinhos, pelo incentivo nos momentos de dificuldade e por sempre acreditarem em mim.

À minha esposa Jadna, por todo amor, paciência e dedicação, pilares fundamentais ao longo deste caminho.

Aos meus filhos, Matheus (*in memoriam*) e Maria Júlia, pelas alegrias e descobertas que tornaram e têm tornado a minha vida mais significativa.

Aos meus orientadores, professor Dr. Gilvandenys Leite Sales e professor Dr. Gilberto Santos Cerqueira, verdadeiros exemplos de compromisso com a educação e dedicação à docência.

Aos colegas do doutorado, pelo companheirismo, apoio mútuo e trocas enriquecedoras ao longo da caminhada acadêmica.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), por ter me acolhido e proporcionado um ambiente fértil para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

À banca examinadora, pelas contribuições valiosas que enriqueceram esta pesquisa.

Aos meus alunos, que aceitaram esse desafio comigo e foram parte fundamental desta jornada de aprendizagem.

À equipe gestora e aos colegas professores da escola campo desta pesquisa, pela colaboração, diálogo e pelo espaço de experimentação didática.

“Eu estarei com Cristo, e isso é o suficiente”.  
(Michael Faraday)

## RESUMO

As transformações tecnológicas, sociais e econômicas das últimas décadas impuseram novos desafios à Educação Básica, em especial ao ensino de Ciências e Física. Diante desse cenário, torna-se necessário adotar abordagens que favoreçam competências como pensamento crítico, resolução de problemas, colaboração e autonomia intelectual. Esta tese investigou os impactos de uma sequência didática fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), integrando a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), a Cultura Maker e a metodologia dos 6Cs no ensino de Eletromagnetismo no Ensino Médio. A pesquisa adotou delineamento quase-experimental de grupo único, realizada com quatro turmas da 3ª série de uma escola pública de tempo integral no Ceará. A intervenção incluiu pré-teste, pós-teste e questionário de satisfação, estruturando-se a partir do modelo teórico integrador SIGMA, que articula dimensões cognitivas, procedimentais e afetivas do processo de ensino e de aprendizagem. A amostra final contou com 73 estudantes que participaram integralmente das três etapas de avaliação. Os resultados quantitativos evidenciaram ganhos conceituais estatisticamente significativos. A análise de normalidade, conduzida pelo teste de Shapiro-Wilk, indicou ausência de distribuição normal nos dados ( $p < 0,05$ ). Diante disso, optou-se pelo teste não paramétrico de Wilcoxon, o qual confirmou a significância estatística ( $W = 1431$ ;  $p < 0,0001$ ) com um efeito de magnitude moderada ( $r = 0,33$ ). A análise qualitativa evidenciou altos níveis de engajamento discente, especialmente na ampliação da compreensão conceitual, valorização das práticas experimentais, estímulo à criatividade e fortalecimento do trabalho colaborativo. Conclui-se que a abordagem adotada promoveu o desenvolvimento cognitivo, atitudinal e social dos estudantes, confirmando o potencial pedagógico das metodologias ativas quando aplicadas de forma contextualizada, reflexiva e sintonizada com a realidade da escola pública. A pesquisa oferece subsídios teórico-metodológicos para o redesenho das práticas de ensino de Física no Ensino Médio.

**Palavras-chave:** ensino de física; metodologias ativas; eletromagnetismo.

## ABSTRACT

The technological, social, and economic transformations of recent decades have imposed new challenges on Basic Education, particularly on Science and Physics teaching. Faced with this scenario, it becomes necessary to adopt approaches that foster competencies such as critical thinking, problem-solving, collaboration, and intellectual autonomy. This thesis investigated the impacts of a didactic sequence based on the Theory of Meaningful Learning (TML), integrating Problem-Based Learning (PBL), Maker Culture, and the 6Cs methodology in Electromagnetism teaching on High School. The research adopted a single-group quasi-experimental design, conducted with four classes of 3rd year (12th grade) from a full-time public school in Ceará. The intervention included a pre-test, a post-test, and a satisfaction questionnaire, structured around the integrative theoretical model SIGMA, which articulates cognitive, procedural, and affective dimensions of the teaching-learning process. The final sample consisted of 73 students who fully participated in all three evaluation stages. The quantitative results revealed statistically significant conceptual gains. The normality analysis, conducted using the Shapiro-Wilk test, indicated the absence of a normal distribution in the data ( $p < 0.05$ ). Therefore, the non-parametric Wilcoxon test was chosen, which confirmed the statistical significance ( $W = 1431$ ;  $p < 0.0001$ ) with a moderate effect size ( $r = 0.33$ ). Qualitative analysis showed high levels of student engagement, especially in the expansion of conceptual understanding, appreciation of experimental practices, stimulation of creativity, and strengthening of collaborative work. It is concluded that the adopted approach promoted the students' cognition, attitudinal, and social development, confirming the pedagogical potential of active methodologies when applied in a contextualized and reflective manner, and according to the reality of public schools. The research provides theoretical and methodological contributions for the redesign of Physics teaching practices in High School.

**Keywords:** physics teaching; active methodologies; electromagnetism.

## RESUMEN

Las transformaciones tecnológicas, sociales y económicas de las últimas décadas han impuesto nuevos desafíos a la Educación Básica, en especial a la enseñanza de Ciencias y de Física. Ante este panorama, se hace necesario adoptar enfoques que favorezcan competencias como el pensamiento crítico, la resolución de problemas, la colaboración y la autonomía intelectual. Esta tesis investigó los impactos de una secuencia didáctica fundamentada en la Teoría del Aprendizaje Significativo (TAS), integrando el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), la Cultura Maker y la metodología de las 6Cs en la enseñanza de Electromagnetismo en la Educación Secundaria. La investigación adoptó un diseño cuasiexperimental de grupo único, realizada con cuatro clases de 3.º año de una escuela pública de jornada completa en Ceará. La intervención incluyó pretest, postest y un cuestionario de satisfacción, y se estructuró a partir del modelo teórico integrador SIGMA, que articula dimensiones cognitivas, procedimentales y afectivas del proceso de enseñanza y aprendizaje. La muestra final contó con 73 estudiantes que participaron íntegramente en las tres etapas de evaluación. Los resultados cuantitativos evidenciaron ganancias conceptuales estadísticamente significativas. El análisis de normalidad, conducido mediante la prueba de Shapiro–Wilk, indicó ausencia de distribución normal en los datos ( $p < 0,05$ ). En consecuencia, se optó por la prueba no paramétrica de Wilcoxon, la cual confirmó la significación estadística ( $W = 1431$ ;  $p < 0,0001$ ) con un efecto de magnitud moderada ( $r = 0,33$ ). El análisis cualitativo puso de manifiesto altos niveles de implicación estudiantil, especialmente en la ampliación de la comprensión conceptual, la valorización de las prácticas experimentales, el estímulo a la creatividad y el fortalecimiento del trabajo colaborativo. Se concluye que el enfoque adoptado promovió el desarrollo cognitivo, actitudinal y social de los estudiantes, confirmando el potencial pedagógico de las metodologías activas cuando se aplican de manera contextualizada, reflexiva y en sintonía con la realidad de la escuela pública. La investigación ofrece aportes teórico-metodológicos para el rediseño de las prácticas de enseñanza de Física en la Educación Secundaria.

**Palabras clave:** enseñanza de física; metodologías activas; electromagnetismo.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Síntese da revisão de literatura .....	35
Figura 2	– Metodologia PCMA ou 6Cs .....	37
Figura 3	– Metodologias Ativas .....	44
Figura 4	– Marco Teórico .....	50
Figura 5	– Mapa conceitual dos conceitos básicos da teoria de Ausubel .....	52
Figura 6	– Vê de uma pesquisa de ensino .....	52
Figura 7	– Avaliação dos alunos sobre o potencial da prática maker .....	57
Figura 8	– Estrutura do Modelo Teórico Integrador SIGMA .....	58
Figura 9	– Procedimentos Metodológicos .....	62
Figura 10	– Metodologia 6Cs .....	63
Figura 11	– Etapas da metodologia 6Cs (PCMA) .....	66
Figura 12	– Aprendizagem ativa .....	68
Figura 13	– Escola Estadual de Ensino Médio em Tempo Integral (EEMTI) .....	75
Figura 14	– Relação entre pesquisa e desenvolvimento .....	78
Figura 15	– Comparação entre as médias de pontuação no pré e pós-teste (n = 73) .....	90
Figura 16	– Sentimentos expressos pelos alunos após a implementação da pesquisa .....	93
Figura 17	– Avaliação dos alunos acerca do potencial do projeto no ensino do eletromagnetismo .....	94
Figura 18	– Interesse dos estudantes por novas aulas com a metodologia aplicada .....	95
Figura 19	– Percepção de significância da experiência pedagógica vivenciada .....	97
Figura 20	– Papel das práticas experimentais no desenvolvimento do projeto .....	100
Figura 21	– Avaliação geral do projeto pelos estudantes .....	101

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	–	Comparação entre metodologias ativas no ensino de Física .....	41
Quadro 2	–	Comparativo entre a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e o Ensino Tradicional .....	43
Quadro 3	–	Eixos do Modelo SIGMA e suas respectivas funções no processo didático .....	56
Quadro 4	–	Encontros com os alunos das 3 <sup>as</sup> séries .....	68
Quadro 5	–	Tarefas a serem desenvolvidas dentro e fora de sala de aula .....	69
Quadro 6	–	Tarefas a serem desenvolvidas pelo professor dentro e fora de sala de aula .....	70
Quadro 7	–	Instrumentos de coleta e estratégias de análise .....	74



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Estatísticas descritivas do pré-teste, pós-teste e ganho ( $n = 73$ ) .....	86
Tabela 2	– Resultados do ganho de Hake e tamanho do efeito ( $n = 73$ ) .....	86
Tabela 3	– Frequência e percentual de estudantes por tipo de variação no desempenho .....	87

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

6Cs	Acrônimo de Consolidação, Conscientização, Constatação, Comparação, Convergência e Confirmação
ABP	Aprendizagem Baseada em Problemas
AS	Aprendizagem Significativa
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CGI	Comitê Gestor da Internet no Brasil
EEMTI	Escola de Ensino Médio em Tempo Integral
EsM	Ensino sob medida
EUA	Estados Unidos da América
ISLE	Investigative Science Learning Environment
IpC	Instrução por colegas
JiTT	Just-in-Time Teaching
MEC	Ministério da Educação
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PCMA	Procedimento Cognitivo Metodológico de Apreensão
REAMEC	Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática
SAI	Sala de aula invertida
SD/6Cs	Sequência didática 6Cs
SIGMA	Significativo, Investigativo, Generativo, Maker e Adaptativo
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
TDICs	Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação
UFC	Universidade Federal do Ceará

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	17
2	DESAFIOS NO ENSINO E APRENDIZAGEM DA FÍSICA NO ENSINO MÉDIO .....	24
2.2	Barreiras conceituais e cognitivas .....	25
2.2.1	<i>Concepções alternativas e mudança conceitual</i> .....	25
2.2.2	<i>Deficiências em conhecimentos prévios</i> .....	26
2.2.3	<i>Dificuldades de abstração e modelagem</i> .....	26
2.3	Limitações pedagógicas e metodológicas .....	27
2.3.1	<i>Predomínio do ensino tradicional</i> .....	27
2.3.2	<i>Desarticulação entre teoria e prática</i> .....	27
2.3.3	<i>Contextualização e interdisciplinaridade</i> .....	28
2.3.4	<i>Limitações dos recursos didáticos</i> .....	28
2.4	Questões relacionadas à formação docente .....	29
2.4.1	<i>Deficiências na formação inicial</i> .....	29
2.4.2	<i>Carências na formação continuada</i> .....	29
2.4.3	<i>Isolamento profissional e falta de colaboração</i> .....	30
2.5	Condições estruturais e institucionais .....	30
2.5.1	<i>Infraestrutura física e material</i> .....	30
2.5.2	<i>Organização curricular e temporal</i> .....	31
2.5.3	<i>Condições de trabalho docente</i> .....	31
2.5.4	<i>Vulnerabilidade social dos estudantes</i> .....	32
2.6	Interrelações entre os desafios .....	32
2.7	Considerações do capítulo .....	33
3	REVISÃO DA LITERATURA .....	35
3.1	A metodologia 6Cs: fundamentos e aplicações para mudança conceitual no ensino de Física .....	36
3.2	Metodologias Ativas: panorama e escolha da ABP .....	40
3.3	Práticas experimentais com materiais alternativos: estratégias para a escola pública .....	45
3.4	Considerações finais da revisão de literatura .....	48
4	MARCO TEÓRICO .....	50

4.1	Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel .....	50
4.2	A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) como estratégia didática .....	52
4.3	A Cultura Maker como ambiente de aprendizagem ativa .....	53
4.4	Modelo Teórico Integrador TAS–ABP–Maker (SIGMA) .....	54
4.5	Considerações finais do marco teórico .....	57
5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	62
5.1	Metodologias de Ensino .....	62
5.1.1	<i>Sequência Didática 6Cs</i> .....	62
5.1.2	<i>Tópicos das metodologias ativas</i> .....	63
5.1.3	<i>Experimentos</i> .....	66
5.1.4	<i>Metodologia das aulas</i> .....	68
5.1.5	<i>Contexto da Intervenção Pedagógica</i> .....	71
5.2	Metodologias de Pesquisa .....	72
5.2.1	<i>Tipo de Pesquisa</i> .....	74
5.2.2	<i>Abordagem Qualitativa</i> .....	75
5.2.3	<i>Abordagem Quantitativa</i> .....	76
5.2.4	<i>As etapas da pesquisa</i> .....	78
5.2.5	<i>Coleta de dados</i> .....	79
5.2.6	<i>Estratégia de Análise dos dados</i> .....	80
5.2.7	<i>Aspectos Éticos</i> .....	82
6	RESULTADOS .....	87
6.1	Caracterização dos Participantes .....	87
6.2	Análise Estatística dos Efeitos Conceituais da Intervenção Didática .....	88
6.3	Comparação com estudos correlatos .....	89
6.4	Análise da Percepção dos Estudantes .....	90
6.4.1	<i>Dimensão Afetiva: Sentimentos Relatados</i> .....	90
6.4.2	<i>Dimensão Metodológica: Avaliação das Estratégias Utilizadas</i> .....	91
6.4.3	<i>Dimensão Conceitual: Percepções sobre a Aprendizagem</i> .....	92
6.4.4	<i>Conexões e Triangulação com os Dados Quantitativos</i> .....	92
6.5	Discussão dos Resultados à Luz dos Objetivos da Pesquisa .....	93
6.5.1	<i>Síntese dos Principais Achados</i> .....	93
6.5.2	<i>Interpretação à Luz dos Objetivos da Pesquisa</i> .....	94

6.5.3	<i>Articulação com o Referencial Teórico .....</i>	94
6.5.4	<i>Implicações Pedagógicas .....</i>	96
6.5.5	<i>Limitações do Estudo .....</i>	96
6.5.6	<i>Contribuições para a Área .....</i>	97
7	<b>CONCLUSÃO .....</b>	102
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	105
	<b>APÊNDICE A – PRÉ - TESTE E PÓS – TESTE .....</b>	119
	<b>APÊNDICE B – FORMULÁRIO TESTE SATISFAÇÃO – (Q-TESTE) – DISCENTES .....</b>	123
	<b>APÊNDICE C – MATERIAL DE APOIO .....</b>	128
	<b>APÊNDICE D – GUIAS EXPERIMENTAIS .....</b>	160
	<b>APÊNDICE E – ATIVIDADE ABP .....</b>	186
	<b>APÊNDICE F – ATIVIDADE SIMULAÇÕES .....</b>	197
	<b>APÊNDICE G – AULA MINISTRADA .....</b>	206
	<b>APÊNDICE H – MODELO TEÓRICO INTEGRADOR TAS-ABP-MAKER .....</b>	216
	<b>ANEXO A – PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP .....</b>	222

## 1 INTRODUÇÃO

As transformações tecnológicas, sociais e econômicas das últimas décadas têm imposto novos desafios à Educação Básica, em especial ao ensino de Ciências e Física. Segundo relatório da OCDE (2013), uma parcela significativa dos estudantes atualmente matriculados na Educação Básica exercerá, nas próximas décadas, profissões ainda inexistentes. Tal projeção evidencia a urgência de repensar os currículos escolares, de modo a privilegiar competências como pensamento crítico, resolução de problemas, colaboração e autonomia intelectual.

A educação científica no Brasil ainda enfrenta desafios estruturais, sobretudo no que se refere à alfabetização científica e à valorização da Física no Ensino Médio. Chaves e Shellard (2005) alertam que a consolidação da ciência no país não depende apenas da produção acadêmica, mas também de políticas de formação que fortaleçam a cultura experimental e promovam o engajamento dos jovens no estudo das ciências. Essa constatação reforça a relevância de investigar propostas metodológicas que aproximem teoria e prática, tornando o aprendizado de Física mais contextualizado e significativo.

No campo da Física, essas exigências tornam-se ainda mais complexas, sobretudo com relação ao ensino de conteúdos abstratos e que possuem elevada carga matemática, como o Eletromagnetismo. Enfrentar esse desafio requer não apenas o uso de recursos tecnológicos, mas também uma reestruturação metodológica, centrada no protagonismo discente e na interdisciplinaridade. Nesse sentido, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018) aponta para a necessidade de promover aprendizagens que transcendam a memorização de fórmulas, priorizando construções significativas ancoradas na experiência dos estudantes.

De acordo com o Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA), cerca de 78% dos estudantes brasileiros não atingem o nível básico em Ciências, o que indica uma dificuldade sistemática na aprendizagem de conteúdos científicos (PISA, 2018). No caso específico do Eletromagnetismo, pesquisas nacionais como a de Oliveira *et al.* (2021) mostram que mais de 60% dos estudantes do Ensino Médio mantêm concepções alternativas, mesmo após o ensino formal. Professores também relatam dificuldades recorrentes para contextualizar os fenômenos eletromagnéticos em sala de aula, seja pela abstração conceitual, seja pela ausência de equipamentos laboratoriais (Sales *et al.*, 2020).

Nesse cenário, o uso de metodologias ativas tem ganhado espaço como alternativa ao modelo tradicional de ensino. Tais metodologias valorizam o papel ativo dos alunos na construção do conhecimento, por meio de atividades que envolvem investigação,

experimentação, discussão em grupo e resolução de problemas. Michael e Model (2003), por exemplo, destacam que a aprendizagem ativa ocorre quando os alunos têm a oportunidade de construir, testar e discutir ideias em ambientes colaborativos. Feynman (2008), por sua vez, enfatiza que compreender significa ser capaz de explicar com as próprias palavras, um princípio essencial das metodologias centradas no aluno.

A literatura especializada, no entanto, ressalta que a eficácia dessas metodologias depende de múltiplos fatores contextuais, como a formação docente, o tempo pedagógico disponível, a infraestrutura da escola, a cultura institucional e a coerência entre planejamento, execução e avaliação. Assim, a presente pesquisa adota uma postura crítica frente à tendência de considerar tais metodologias como soluções universais para os desafios da educação.

Do ponto de vista teórico, esta pesquisa adota como referencial principal a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), proposta por David Ausubel. Essa teoria defende que a aprendizagem ocorre de forma significativa quando os novos conteúdos se conectam, de maneira não arbitrária e substancial, a conceitos previamente existentes na estrutura cognitiva do aluno, os chamados *subsunçores*. A aprendizagem, nesse modelo, é concebida como um processo interno de reorganização conceitual, que exige a ativação de conhecimentos prévios e a proposição de situações que favoreçam a ancoragem de novas ideias a estruturas mentais já consolidadas.

A partir dessa base teórica, a presente pesquisa propõe o planejamento, a aplicação e a análise de uma sequência didática para o ensino de Eletromagnetismo no Ensino Médio, estruturada com base na metodologia 6C's, articulada à Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e à Cultura Maker. A proposta incorpora práticas experimentais com materiais de baixo custo, recursos digitais interativos e atividades colaborativas, buscando promover uma aprendizagem significativa que respeite o contexto e as condições reais da escola pública.

Apesar do reconhecimento do potencial pedagógico das sequências didáticas (SDs), especialmente quando associadas a metodologias ativas como a ABP, ainda são escassas as investigações que abordam sua implementação articulada à Cultura Maker, sobretudo no contexto do ensino de Eletromagnetismo no Ensino Médio. Revisões sistemáticas recentes apontam a eficácia das SDs para a promoção da aprendizagem significativa e do pensamento crítico, mas também evidenciam desafios metodológicos e estruturais relacionados à formação docente, à mediação pedagógica e à avaliação de impactos (Dall'Acqua; Mano, 2024; Silva; Sales; Cerqueira, 2025). Ao mesmo tempo, estudos de caso, como a aplicação do modelo 6C's, sugerem avanços relevantes quando tais abordagens são combinadas, mas também apontam limitações quanto à heterogeneidade do perfil discente, à gestão do tempo pedagógico e à

superação de concepções alternativas (Melo; Sales; Cerqueira, 2023; Coutinho, 2024). Nesse cenário, emergem lacunas importantes quanto à sistematização, à experimentação e à avaliação integrada dessas estratégias em contextos escolares reais.

A prática experimental no ensino de Física ocupa lugar de destaque, dado o caráter empírico dessa ciência. De acordo com Bernstein (1999), a educação científica deve integrar componentes conceituais e experimentais. Uma aula com demonstrações teóricas pode ser significativamente aprimorada por um experimento, especialmente quando esse experimento se relaciona com o cotidiano do aluno e suas práticas laborais.

Nesse sentido, a inserção de materiais alternativos e de baixo custo na produção de experimentos didáticos tem se mostrado uma estratégia eficaz para estimular o interesse dos estudantes. Muitos passam a perceber que materiais descartáveis de uso doméstico podem ser reutilizados como ferramentas para demonstrar conceitos físicos relevantes.

Para os professores, essa abordagem representa uma solução prática frente à ausência de laboratórios bem equipados nas escolas públicas. Além disso, isso contribui com a política de gestão de resíduos sólidos, ao promover o reaproveitamento de materiais. A literatura educacional também corrobora a importância dessa estratégia: Fonseca e Maidana (2013) e Picilo e Rampinelli (2014) discutem experiências bem-sucedidas na elaboração e aplicação de experimentos de baixo custo nas diversas áreas da Física.

Considerando esse contexto, esta pesquisa propõe a construção e aplicação de um modelo teórico integrador — o modelo SIGMA —, cujos eixos (Significativo, Investigativo, Generativo, Maker e Adaptativo) resultam da articulação entre fundamentos da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, a metodologia da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), o modelo dos 6C's e os princípios da Cultura Maker. A originalidade do modelo reside na forma como essas dimensões são organizadas e operacionalizadas, de maneira interdependente, formando uma estrutura pedagógica cíclica que orienta o planejamento, a mediação e a avaliação das práticas de ensino. Trata-se, portanto, de uma proposta que transcende a simples junção de estratégias, constituindo um referencial didático próprio, contextualizado à realidade da escola pública e voltado à promoção de uma aprendizagem ativa, significativa e situada.

## **1.1 Problema de pesquisa**

Apesar do crescente interesse acadêmico pelas sequências didáticas (SDs) no ensino de Física, ainda persistem lacunas importantes quanto à sua aplicação efetiva em



conteúdos complexos, como o Eletromagnetismo, especialmente quando se busca integrá-las a metodologias ativas e à Cultura Maker. Revisões sistemáticas recentes indicam que, embora as SDs favoreçam avanços na aprendizagem conceitual e no engajamento discente, sua eficácia depende fortemente de fatores como a mediação docente, a infraestrutura disponível, a intencionalidade pedagógica e a coerência entre teoria e prática (Silva; Sales; Cerqueira, 2025; Moura; Franco; Dias, 2022).

Diante desse cenário, torna-se relevante investigar como uma proposta didática estruturada com base na metodologia 6C's (PCMA), articulada à Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e à Cultura Maker, pode contribuir para superar os limites apontados pela literatura e observados nas práticas escolares.

Assim, a pergunta central que orienta esta pesquisa é: *Como a integração entre a metodologia 6C's, a ABP e a Cultura Maker impacta a aprendizagem significativa de conteúdos de Eletromagnetismo no Ensino Médio, considerando indicadores conceituais e as percepções dos estudantes?*

## 1.2 Hipóteses

H<sub>0</sub>: A integração entre 6C's, PBL e Cultura Maker não promove aprendizagem significativa em Eletromagnetismo.

H<sub>1</sub>: A integração entre 6C's, PBL e Cultura Maker promove aprendizagem significativa em Eletromagnetismo.

## 1.3 Justificativa

Esta pesquisa justifica-se pela necessidade de enfrentar os desafios contemporâneos do ensino de Física, especialmente no tema de Eletromagnetismo, em que 62% dos estudantes do Ensino Médio mantêm concepções alternativas persistentes (Oliveira *et al.*, 2021). O cenário educacional brasileiro, marcado por 78% dos alunos abaixo do nível básico em Ciências no (PISA, 2018) e por 73% das escolas públicas sem laboratórios de Física (INEP, 2022), demanda abordagens didáticas que superem as limitações estruturais e que mantenham o rigor científico.

A integração entre a sequência didática 6C's, a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a Cultura Maker configura-se como uma alternativa viável por, pelo menos, três razões: (1) alinha-se às diretrizes da BNCC (Brasil, 2018), ao desenvolver competências como pensamento crítico e resolução de problemas, ultrapassando a mera memorização de

fórmulas; (2) aproveita os recursos disponíveis, como o acesso de 89% dos estudantes a *smartphones* (CGI, 2024), para aplicar estratégias ativas com respaldo empírico (Freeman *et al.*, 2014), adaptadas à realidade das escolas públicas; e (3) promove a sustentabilidade por meio da Cultura Maker, ao transformar materiais recicláveis em recursos didáticos, em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010).

Do ponto de vista teórico, a pesquisa se ancora em dois pilares: (1) a Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel (1968), que enfatiza a organização lógica e progressiva dos conteúdos com base na ativação de conhecimentos prévios; e (2) os princípios do *Design Thinking* aplicados à Cultura Maker, que orientam a proposição de soluções criativas, colaborativas e contextualizadas no processo de ensino e de aprendizagem. Essa articulação visa responder, de forma crítica, à objeção levantada por Selwyn (2017) ao que chama de “solucionismo tecnológico” na educação, reconhecendo, ao mesmo tempo, as potencialidades e as limitações concretas da escola pública.

Do ponto de vista metodológico, esta pesquisa contribui para o rigor científico da área ao empregar métricas estatísticas consolidadas internacionalmente. A análise de normalidade dos dados foi realizada por meio do teste de Shapiro-Wilk, que indicou ausência de distribuição normal. Dessa forma, aplicou-se o teste não paramétrico de Wilcoxon para amostras pareadas, o qual permitiu verificar a significância estatística dos ganhos. O *r* de efeito (*r*) foi utilizado para quantificar a magnitude prática dos efeitos, enquanto o ganho normalizado de Hake possibilitou comparações com outros estudos da área, conforme padrões estabelecidos na literatura de ensino de Física (Hake, 1998).

A originalidade deste estudo reside no enfrentamento de uma lacuna identificada na literatura. Embora revisões sistemáticas (Helle *et al.*, 2006) atestem a eficácia de metodologias ativas, são escassas as pesquisas que: (a) aplicam a sequência 6C's ao ensino de Eletromagnetismo; (b) integram de forma articulada a ABP com a Cultura Maker; e (c) avaliam impactos multidimensionais — conceituais, procedimentais e atitudinais — em contextos escolares reais.

Os resultados esperados poderão subsidiar políticas públicas, ao apresentar estratégias didáticas replicáveis em escolas com infraestrutura limitada, e contribuir com a formação docente, por meio de protocolos pedagógicos que conciliam inovação e realismo escolar.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo Geral

Analisar os efeitos da integração entre a metodologia 6C's, a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a Cultura Maker no processo de ensino e de aprendizagem de Eletromagnetismo no Ensino Médio, por meio de uma sequência didática voltada à promoção da aprendizagem significativa e ao fortalecimento do protagonismo discente.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as contribuições da proposta de integração da 6C's, Cultura Maker e da ABP para a aprendizagem conceitual do Eletromagnetismo, por meio da análise comparativa entre os resultados do pré-teste e do pós-teste de alunos no Ensino Médio;
- Identificar os desafios e as potencialidades da proposta, considerando os aspectos como mediação docente, infraestrutura escolar e adequação ao currículo de Física;
- Apresentar as percepções dos estudantes sobre a experiência didática, com ênfase no engajamento, na autonomia e na relevância dos conteúdos trabalhados.

## 1.5 Questões da pesquisa

A partir do contexto, da problemática e da justificativa apresentadas nos tópicos anteriores, formulam-se as seguintes questões de pesquisa, tendo em vista que, segundo Helle, Tynjala e Olkinuora (2006), são escassos os estudos com metas factíveis e aplicáveis à realidade escolar:

1. Como a integração entre a sequência didática 6C's, metodologias ativas e situações contextualizadas de Física pode favorecer a aprendizagem significativa de conceitos de Eletromagnetismo no Ensino Médio?
2. Quais evidências de aprendizagem significativa — conceituais, procedimentais e atitudinais — podem ser observadas após a implementação da proposta?
3. A integração entre a sequência didática 6C's, a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), a Cultura Maker e situações de Física contextualizadas é mais eficaz na promoção da aprendizagem significativa do que o ensino tradicional baseado em aulas

expositivas seguidas de resolução de exercícios?

Diante dessas questões, esta pesquisa busca investigar os impactos da integração entre a metodologia 6Cs, a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a Cultura Maker no ensino de Eletromagnetismo, considerando os desafios e possibilidades do contexto da escola pública.

O próximo capítulo discute os principais desafios enfrentados por professores e estudantes no processo de ensino e de aprendizagem da Física no Ensino Médio, contextualizando a problemática que fundamenta esta investigação.

## 2 DESAFIOS NO ENSINO E APRENDIZAGEM DA FÍSICA NO ENSINO MÉDIO

### 2.1 Panorama Inicial dos Desafios

O ensino de Física no Ensino Médio enfrenta múltiplos desafios que comprometem o desempenho acadêmico dos estudantes e a eficácia da prática docente. Esses desafios formam um conjunto complexo e interligado, amplamente documentado na literatura educacional nacional e internacional, abrangendo desde questões cognitivas e conceituais até limitações estruturais e formativas, típicas do contexto da escola pública brasileira.

A persistência de obstáculos históricos e estruturais no ensino de Ciências, em especial da Física, ajuda a compreender os baixos desempenhos observados por estudantes brasileiros em avaliações internacionais como o PISA. Esses resultados, que colocam o país em posições preocupantes, não apenas evidenciam lacunas na aprendizagem formal, mas também refletem um afastamento crescente dos jovens em relação às carreiras científicas e tecnológicas (OCDE, 2023).

No caso particular do Eletromagnetismo, essas dificuldades tendem a se intensificar por três razões principais. Primeiro, pela natureza altamente abstrata dos conceitos envolvidos, que escapam à observação direta e exigem raciocínio físico-matemático sofisticado (Dori; Belcher, 2004). Segundo, pela necessidade de lidar com ferramentas matemáticas avançadas, como vetores, derivadas e integrais, muitas vezes pouco dominadas pelos estudantes (Bollen; Van Kampen; De Cock, 2015; Lin; Maries; Singh, 2016). Terceiro, pela exigência de visualizar, mentalmente ou com apoio didático, fenômenos tridimensionais e invisíveis, como linhas de campo ou variações de fluxo magnético. Tais barreiras, no entanto, podem ser atenuadas com o uso de estratégias pedagógicas que favoreçam a concretização dos conceitos, como simulações digitais, modelagem com objetos manipuláveis e experimentação com materiais acessíveis e representações físicas (Huang *et al.*, 2008).

Para uma compreensão sistemática dessas problemáticas, este capítulo organiza os principais entraves em quatro eixos interligados:

- (1) barreiras conceituais e cognitivas dos estudantes;
- (2) limitações pedagógicas e metodológicas;
- (3) questões relacionadas à formação docente; e
- (4) condições estruturais e institucionais da escola pública.

Essa categorização, embora didática, reconhece que tais desafios operam de forma sistêmica, influenciando-se mutuamente e demandando abordagens integradas para sua

superação, entendidas aqui como ações pedagógicas articuladas que combinem estratégias didáticas, formação docente, recursos materiais e reorganização curricular, visando enfrentar simultaneamente os múltiplos fatores que impactam o ensino de Física.

## **2.2 Barreiras conceituais e cognitivas**

### ***2.2.1 Concepções alternativas e mudança conceitual***

Um dos obstáculos mais documentados no ensino de Física refere-se às concepções alternativas que os estudantes desenvolvem sobre fenômenos naturais antes mesmo do ensino formal. Essas concepções, também denominadas na literatura como “conceitos espontâneos” ou “teorias ingênuas”, constituem explicações intuitivas que, embora coerentes com a experiência cotidiana, frequentemente contradizem os modelos científicos aceitos (Viennot, 2001; Clement, 2000). No contexto brasileiro, estudos de Oliveira *et al.* (2021) e Oliveira e Morais (2019) evidenciam que essas ideias prévias estão amplamente disseminadas entre estudantes do Ensino Médio, especialmente em temas como eletricidade e magnetismo, reforçando a necessidade de abordagens pedagógicas que considerem tais concepções na mediação didática.

Estudos como os de Vidal *et al.* (2021) e Barroso *et al.* (2018) demonstram que essas concepções são especialmente resistentes à mudança no campo do Eletromagnetismo. Conceitos fundamentais como campo elétrico, campo magnético, indução eletromagnética e corrente elétrica são frequentemente compreendidos por meio de analogias inadequadas ou modelos mentais equivocados. Por exemplo, muitos estudantes conceituam a corrente elétrica como um “fluido” que se consome durante o percurso, ou interpretam o campo magnético como uma propriedade exclusiva dos ímãs, não o relacionando com correntes elétricas. Dega (2018) investigou o entendimento conceitual de estudantes em Eletromagnetismo e concluiu que concepções alternativas permanecem mesmo após a instrução formal, reforçando a dificuldade de superação dessas ideias espontâneas a partir do ensino tradicional. Isso evidencia a resistência desses conceitos construídos e a necessidade de estratégias pedagógicas específicas para enfrentá-los.

A persistência dessas concepções alternativas pode ser explicada pelos modelos teóricos de mudança conceitual propostos por Posner *et al.* (1982) e refinados por Strike e Posner (1992). Segundo esses autores, a mudança conceitual ocorre quando os estudantes experimentam uma insatisfação com suas concepções prévias, ao mesmo tempo em que

percebem que as novas concepções são inteligíveis, plausíveis e férteis. No entanto, esse processo é complexo e raramente ocorre de forma linear, exigindo estratégias pedagógicas específicas que confrontem diretamente as concepções inadequadas. Nesse sentido, a presente pesquisa busca articular esses princípios teóricos à proposta metodológica da sequência didática desenvolvida, promovendo situações de aprendizagem que incentivem a reflexão crítica, o conflito cognitivo e a reorganização conceitual dos estudantes.

### ***2.2.2 Deficiências em conhecimentos prévios***

Oliveira *et al.* (2021) identificaram que mais de 60% dos estudantes do Ensino Médio mantêm concepções alternativas sobre Eletromagnetismo, mesmo após o ensino formal. Essa estatística revela não apenas a dificuldade conceitual inerente ao tópico, mas também deficiências nos conhecimentos prévios necessários para sua compreensão adequada, como noções de eletricidade básica, entendimento qualitativo de circuitos simples, princípios da mecânica clássica e familiaridade com representações gráficas e vetoriais que permitam a interpretação de interações físicas em diferentes sistemas.

O Eletromagnetismo demanda domínio de conceitos matemáticos complexos: vetores, derivadas, integrais e equações diferenciais. Além disso, requer habilidades de visualização espacial para compreender a orientação e interação entre campos elétricos e magnéticos. Muitos estudantes chegam ao Ensino Médio com lacunas significativas em matemática básica, especialmente em conteúdos como álgebra, trigonometria, geometria vetorial e resolução de equações, o que compromete sua capacidade de construir modelos mentais adequados para os fenômenos eletromagnéticos.

### ***2.2.3 Dificuldades de abstração e modelagem***

A natureza abstrata dos conceitos eletromagnéticos impõe desafios cognitivos adicionais. Diferentemente da Mecânica, onde os estudantes podem observar diretamente movimentos e forças, o Eletromagnetismo lida com entidades invisíveis, cuja compreensão pode ser facilitada por recursos didáticos como simulações computacionais interativas, uso de limalhas de ferro para visualização de linhas de campo, modelos tridimensionais manipuláveis e experiências com sensores magnéticos simples (campos, cargas, fluxos) que exigem alto grau de abstração conceitual.

Essa dificuldade é agravada pela necessidade de coordenar múltiplas

representações: gráficas, matemáticas, verbais e pictóricas. Chi *et al.* (1994) demonstram que estudantes novatos frequentemente falham em estabelecer conexões entre essas diferentes representações, o que pode ser enfrentado, por exemplo, com a utilização articulada de mapas conceituais, tarefas que envolvam a tradução entre gráficos e equações, e atividades práticas que combinem linguagem matemática e verbal em contextos experimentais, limitando sua capacidade de aplicar conhecimentos teóricos na resolução de problemas práticos.

## **2.3 Limitações pedagógicas e metodológicas**

### ***2.3.1 Predomínio do ensino tradicional***

Apesar das recomendações das diretrizes curriculares nacionais e dos avanços da pesquisa em Educação em Ciências, o ensino de Física no Brasil ainda é predominantemente caracterizado pela abordagem tradicional, centrada na transmissão de conteúdos pelo professor (Moreira, 2011; Nardi *et al.*, 2005).

Embora a pesquisa em Física no Brasil tenha avançado, há um descompasso entre a produção científica e a formação dos estudantes da Educação Básica. Conforme destacam Chaves e Shellard (2005), a ausência de uma cultura científica sólida e a pouca valorização da experimentação escolar dificultam o desenvolvimento de competências críticas e investigativas entre os jovens. Esse cenário justifica a necessidade de modelos pedagógicos inovadores, como o SIGMA, capazes de integrar dimensões cognitivas, procedimentais e atitudinais para responder às lacunas históricas do ensino de Física.

Essa metodologia, baseada em aulas expositivas seguidas de resolução de exercícios algorítmicos, revela-se especialmente limitada no ensino de Eletromagnetismo, em que a compreensão conceitual demanda que os estudantes estabeleçam relações entre abstrações teóricas e fenômenos não observáveis diretamente (Viennot, 2001; Belcher; Dori, 2004). Nesse contexto, a repetição mecânica de fórmulas dificulta a construção de significados, comprometendo a aprendizagem de conceitos como campo elétrico, indução ou fluxo magnético. Isso limita significativamente o engajamento dos estudantes e oferece poucas oportunidades para a construção ativa do conhecimento (Ausubel, 2003; Freire, 1996).

Santos e Sousa (2021) realizaram um levantamento em escolas públicas de três estados brasileiros e identificaram que 73% das aulas de Física seguem o padrão tradicional: exposição teórica, demonstração de fórmulas e aplicação em exercícios descontextualizados. No ensino de Eletromagnetismo, essa abordagem é especialmente problemática, pois a



compreensão conceitual é mais importante que a manipulação algorítmica de equações.

### **2.3.2 Desarticulação entre teoria e prática**

A escassez de atividades experimentais constitui outro obstáculo significativo ao ensino eficaz de Física. Segundo dados do INEP (2022), aproximadamente 73% das escolas públicas brasileiras não possuem laboratórios de Física adequadamente equipados, ao passo que apenas 12% dos professores relatam usar experimentos regularmente em suas aulas.

Sales (2010) evidencia que a ausência de práticas investigativas sistemáticas gera desinteresse e dificulta a construção de significados conceituais pelos estudantes. Tal constatação converge com os resultados de diagnósticos recentes e reforça a necessidade de sequências didáticas estruturadas em torno de problemas e práticas experimentais, como as implementadas neste estudo.

Essa carência é particularmente prejudicial no caso do Eletromagnetismo, pois impede a realização de experimentos fundamentais que poderiam ser conduzidos com recursos simples, como a visualização de linhas de campo magnético com limalhas de ferro, a construção de um eletroímã com prego, fio e bateria, ou a montagem de um motor elétrico básico com materiais recicláveis. Fenômenos como indução eletromagnética, força de Lorentz e propagação de ondas podem ser explorados por meio de práticas acessíveis e impactantes (Menezes; Oliveira, 2020). A ausência dessas experiências priva os estudantes de oportunidades valiosas para observar, questionar e construir modelos explicativos a partir de evidências empíricas (Galiazzi *et al.*, 2001; Hodson, 1994).

### **2.3.3 Contextualização e interdisciplinaridade**

Outro problema metodológico frequentemente identificado é a apresentação descontextualizada dos conteúdos de Eletromagnetismo. Muitos professores abordam conceitos como força eletromotriz, transformadores ou motores elétricos sem estabelecer conexões claras com aplicações tecnológicas, questões energéticas contemporâneas ou outras disciplinas do currículo.

Santos *et al.* (2024) analisaram 150 planos de aula de professores de Física do Ensino Médio e identificaram que apenas 23% incluíam elementos de contextualização social ou tecnológica, e menos de 15% propunham conexões interdisciplinares. Essa desarticulação contribui para que os estudantes percebam a Física como um conjunto de fórmulas abstratas,

em vez de uma ferramenta para compreender o mundo. A inserção de projetos interdisciplinares envolvendo Matemática, Química ou Geografia, bem como a utilização de estudos de caso sobre problemas energéticos atuais, pode aproximar os conteúdos de Eletromagnetismo da realidade dos alunos, reforçando sua relevância e aplicabilidade. sem relevância para suas vidas ou para a compreensão do mundo contemporâneo.

### ***2.3.4 Limitações dos recursos didáticos***

A predominância do livro didático como principal, e por vezes único recurso instrucional, ainda impõe limitações ao ensino de Eletromagnetismo (Gouvêa, 2008; Garcia, 2012). Embora os materiais aprovados pelo PNLD tenham evoluído em aspectos gráficos e organizacionais, estudos mostram que essas obras continuam a adotar sequências lineares e prescritivas, pouco sensíveis à diversidade de estilos de aprendizagem dos estudantes e às necessidades da construção conceitual (Pereira; Ostermann, 2009).

Além disso, a falta de familiaridade de muitos professores com recursos digitais, como os simuladores do PhET, o aplicativo *Algodo* ou plataformas como *Tinkercad Circuits* e *GeoGebra*, limita a incorporação de práticas mais visuais, interativas e exploratórias. Segundo dados do TIC Educação (CGI, 2024), o uso pedagógico dessas tecnologias ainda é restrito nas escolas públicas, especialmente nas disciplinas de Ciências da Natureza, o que reduz o potencial das simulações e experimentos virtuais na mediação de conceitos abstratos da Física.

Conforme destaca Silva, Sales e Alves (2018), o ensino tradicional tende a privilegiar a transmissão de conteúdos de forma expositiva, reduzindo as oportunidades de investigação e de experimentação pelos estudantes. Tal constatação reforça a necessidade de abordagens inovadoras, como o modelo SIGMA, que articula metodologias ativas e experimentação maker.

## **2.4 Questões relacionadas à formação docente**

### ***2.4.1 Deficiências na formação inicial***

A formação inicial dos professores de Física no Brasil apresenta lacunas significativas. Essas deficiências impactam diretamente a qualidade do ensino na educação básica. Rezende *et al.* (2004) identificaram que muitos cursos de licenciatura ainda seguem o modelo “3+1”. Neste modelo, a formação pedagógica é relegada aos últimos semestres.

Consequentemente, há articulação insuficiente entre conhecimento específico e conhecimento pedagógico do conteúdo. Isso se reflete em práticas pouco integradas em sala de aula, nas quais o professor, mesmo dominando o conteúdo de Eletromagnetismo, encontra dificuldades para traduzi-lo em estratégias didáticas acessíveis, como o uso de analogias, experimentos de baixo custo ou atividades de modelagem conceitual, fundamentais para a aprendizagem significativa de conceitos abstratos.

Essa fragmentação é particularmente problemática no caso do Eletromagnetismo, que demanda não apenas domínio conceitual aprofundado, mas também conhecimentos e estratégias didáticas específicas para abordar conceitos abstratos e matematicamente complexos. Muitos professores relatam insegurança para planejar e conduzir atividades experimentais, projetos investigativos ou abordagens baseadas em resolução de problemas (Jelicic; Planinic; Planinisic, 2017). De fato, um estudo recente mostrou que docentes que adotam metodologias ativas no ensino de Eletromagnetismo, incluindo laboratórios ou kits manipuláveis, reportaram maior satisfação e confiança (Ukoh, 2021), mas ainda enfrentam barreiras, como falta de formação e apoio institucional, que limitam sua atuação didática.

#### ***2.4.2 Carências na formação continuada***

A formação continuada dos professores de Física também apresenta limitações estruturais. Programas de capacitação são frequentemente esporádicos, descontextualizados e focados em aspectos teóricos em detrimento da prática pedagógica (Rezende; Lopes; Egg, 2004).

Uma possível reestruturação incluiria a promoção de formações continuadas baseadas em oficinas práticas, acompanhadas de mentorias entre docentes e desenvolvimento de materiais didáticos voltados ao contexto real das escolas públicas. Além disso, muitos professores enfrentam dificuldades para participar de cursos de atualização devido à sobrecarga de trabalho, às limitações financeiras e à falta de incentivos institucionais (Sfredo; Borges; Alves, 2021).

#### ***2.4.3 Isolamento profissional e falta de colaboração***

O isolamento profissional dos professores de Física é outro fator que limita o desenvolvimento de práticas inovadoras. Diferentemente de outras áreas, em que há tradição de trabalho colaborativo, muitos professores de Física atuam isoladamente em suas escolas, sem

oportunidades regulares de troca de experiências, planejamento conjunto ou reflexão coletiva sobre a prática. Essa realidade foi destacada por Rezende, Lopes e Egg (2004), ao identificarem no discurso docente a ausência de mecanismos institucionais que favoreçam a cooperação entre pares.

Estratégias como comunidades de prática, grupos de estudo interdisciplinares, planejamento coletivo e participação em redes de formação podem contribuir para superar esse isolamento, especialmente em áreas complexas como o Eletromagnetismo.

## **2.5 Condições estruturais e institucionais**

### ***2.5.1 Infraestrutura física e material***

As condições estruturais das escolas públicas brasileiras impõem barreiras significativas à implementação de metodologias inovadoras no ensino de Física. Dados do Censo Escolar 2022 revelam que apenas 27% das escolas públicas de Ensino Médio possuem laboratórios de Ciências adequadamente equipados, e menos de 40% têm acesso regular à internet de alta velocidade.

No caso do Eletromagnetismo, a falta de recursos é especialmente limitante. Embora seja possível amenizar esse problema com soluções econômicas, como kits didáticos feitos artesanalmente, reaproveitamento de materiais recicláveis para montar circuitos simples e experimentos usando objetos do dia a dia, essa escassez impede a realização de atividades essenciais. Entre elas estão a observação da indução eletromagnética, a construção de motores simples e a demonstração da propagação de ondas eletromagnéticas. Como resultado, os professores acabam focando principalmente no ensino teórico, o que reduz muito as chances de aprendizagem prática.

### ***2.5.2 Organização curricular e temporal***

A organização curricular rígida, com cargas horárias reduzidas para a Física (tipicamente 2 aulas semanais), também limita as possibilidades de inovação metodológica. Professores relatam pressão para “cumprir o programa”, o que os leva a priorizar a cobertura de conteúdos em detrimento do aprofundamento conceitual ou da implementação de atividades mais complexas, como projetos investigativos ou construção de protótipos (Rezende; Lopes; Egg, 2004; Sfredo; Borges; Alves, 2021). Estratégias como o uso de unidades temáticas

integradoras poderiam conciliar a necessidade de cobertura curricular com a aprendizagem significativa.

Além disso, a fragmentação disciplinar dificulta abordagens interdisciplinares que poderiam enriquecer o ensino de Eletromagnetismo por meio de conexões com a Matemática, a Química, a Geografia (geomagnetismo) ou a História da Ciência (Rezende; Lopes; Egg, 2004).

### **2.5.3 Condições de trabalho docente**

As condições de trabalho dos professores de Física no Brasil também constituem obstáculos à inovação pedagógica. Sfredo *et al.* (2021) documentaram que a maioria dos professores trabalha em múltiplas escolas, tem cargas horárias excessivas e dispõe de pouco tempo para planejamento e preparação de materiais didáticos.

Essa realidade é particularmente impactante para o ensino de Eletromagnetismo, tornando essencial que instituições de ensino adotem medidas como a redução da carga horária extraclasse, a valorização do tempo de planejamento e a criação de espaços institucionais colaborativos, como núcleos pedagógicos ou centros de desenvolvimento docente. A preparação de experimentos, a elaboração de simulações ou o desenvolvimento de projetos maker demanda tempo considerável de planejamento, o que muitos professores não conseguem dedicar sem suporte adequado (Rezende; Lopes; Egg, 2004).

### **2.5.4 Vulnerabilidade social dos estudantes**

Muitos estudantes das escolas públicas enfrentam situações de vulnerabilidade social que exigem adaptações pedagógicas específicas. Estratégias como o ensino híbrido com apoio de materiais impressos, roteiros investigativos simplificados, flexibilização de prazos e valorização de saberes prévios podem contribuir para aumentar o engajamento e a permanência desses estudantes em propostas que envolvam conteúdos desafiadores como o Eletromagnetismo.

Questões como a necessidade de trabalhar para complementar a renda familiar, a falta de apoio educacional em casa e preocupações com segurança reduzem significativamente o tempo e a energia disponíveis para estudos mais exigentes cognitivamente (Sfredo; Borges; Alves, 2021; Santos; Sousa; Moura, 2024). Ademais, estudos como o de Marasco e Dreyfuss (2020) revelam que o status socioeconômico está diretamente associado à oferta e ao acesso ao

ensino de Física, evidenciando desigualdades estruturais no acesso à disciplina.

No caso do Eletromagnetismo, esses fatores são particularmente relevantes, pois a disciplina demanda estudo regular, resolução de problemas complexos e desenvolvimento de habilidades de abstração que requerem condições adequadas de concentração e apoio. A eficácia de sessões laboratoriais ativas, mesmo com recursos simples, como simulações PhET, já foi demonstrada como fundamental para tornar esses conceitos mais acessíveis (Lindberg; Vidor, 2022).

## **2.6 Interrelações entre os desafios**

É importante reconhecer que os desafios aqui categorizados não operam de forma isolada, mas constituem um sistema complexo de fatores interrelacionados. As concepções alternativas dos estudantes, por exemplo, são mantidas e reforçadas por metodologias de ensino inadequadas, como o uso predominante de aulas expositivas descontextualizadas e a ênfase na resolução mecânica de exercícios. Tais abordagens dificultam a superação de concepções intuitivas e não científicas (Duit; Treagust, 2003; Nair; Sawtelle, 2018).

Essas abordagens podem ser revistas mediante a adoção de estratégias mais ativas e centradas no estudante, como o uso de experimentos com materiais acessíveis, roteiros investigativos, atividades interdisciplinares e integração de tecnologias digitais — estratégias que, por sua vez, estão condicionadas por limitações na formação docente e por condições estruturais adversas (Rojas, 2009).

Nesse contexto sistêmico, a integração entre a metodologia 6C's, a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a Cultura Maker emerge como uma resposta articulada que busca, simultaneamente, confrontar concepções alternativas por meio de situações-problema autênticas (ABP), desenvolver habilidades práticas e criativas (Cultura Maker) e organizar a aprendizagem de forma progressiva e significativa (6C's), considerando as limitações estruturais da escola pública brasileira. Revisões recentes apontam que a articulação entre essas abordagens em propostas como sequências didáticas integradas pode favorecer a aprendizagem significativa em contextos desafiadores (Quintana-Ordorika *et al.*, 2024).

## **2.7 Considerações do Capítulo**

A análise dos desafios aqui apresentados revela a complexidade e a multidimensionalidade dos problemas que afetam o ensino de Física no Ensino Médio

brasileiro. No caso específico do Eletromagnetismo, esses desafios são potencializados pela natureza abstrata dos conceitos, pelas demandas matemáticas elevadas e pela necessidade de recursos experimentais que frequentemente não estão disponíveis (Duit; Treagust, 2003; Barroso; Rubini; Silva, 2018).

Contudo, essa análise também aponta caminhos promissores para a superação desses obstáculos. Estratégias como a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), a incorporação da Cultura Maker e o uso de experimentos com materiais de baixo custo emergem como alternativas viáveis que podem, simultaneamente:

- Confrontar as concepções alternativas dos estudantes, por meio de experiências cognitivamente desafiadoras (Duit; Treagust, 2003);
- Promover o engajamento ativo dos estudantes na construção do conhecimento (Nair; Sawtelle, 2019);
- Superar as limitações de infraestrutura, a partir de soluções criativas e de baixo custo (Quintana-Ordorika *et al.*, 2024);
- Contextualizar conteúdos a partir de aplicações práticas e relevantes (Andrade; Barbosa, 2022);
- Desenvolver competências requeridas para o século XXI, como colaboração, criatividade e pensamento crítico (Fullan, 2013).

A proposta de integração entre essas abordagens, fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa e estruturada na metodologia 6C's, busca justamente articular essas potencialidades, considerando as limitações do contexto escolar brasileiro, mas também explorando suas possibilidades para tornar o ensino mais significativo, participativo e conectado com a realidade dos estudantes.

O próximo capítulo apresenta a revisão da literatura que fundamenta essa proposta integrativa, detalhando os princípios e características de cada uma das abordagens metodológicas propostas e sua articulação para o ensino de Eletromagnetismo.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo revisa três pilares teóricos essenciais para a proposta didática: (1) a metodologia 6C's, que fornece a estrutura para mudança conceitual; (2) as metodologias ativas, que potencializam o engajamento discente; e (3) as práticas experimentais com materiais acessíveis, que vinculam teoria e aplicação. A articulação desses eixos, sintetizada na Figura 1, busca superar desafios específicos do ensino de Eletromagnetismo em contextos públicos, onde a carência de recursos e a complexidade dos conceitos demandam abordagens inovadoras.

Figura 1 – Síntese da revisão de literatura



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre as estratégias para promover mudança conceitual em Física, destaca-se a metodologia 6C's (Sales, 2005), que estrutura o aprendizado em etapas cognitivas. Sua aplicação no Eletromagnetismo é promissora, dada a necessidade de superar concepções alternativas persistentes nesse tema (Oliveira *et al.*, 2021). A seguir, detalhamos seus fundamentos.

#### 3.1 A metodologia 6Cs: fundamentos e aplicações para mudança conceitual no ensino de Física

Neste tópico será apresentada, inicialmente, a revisão de literatura relacionada às

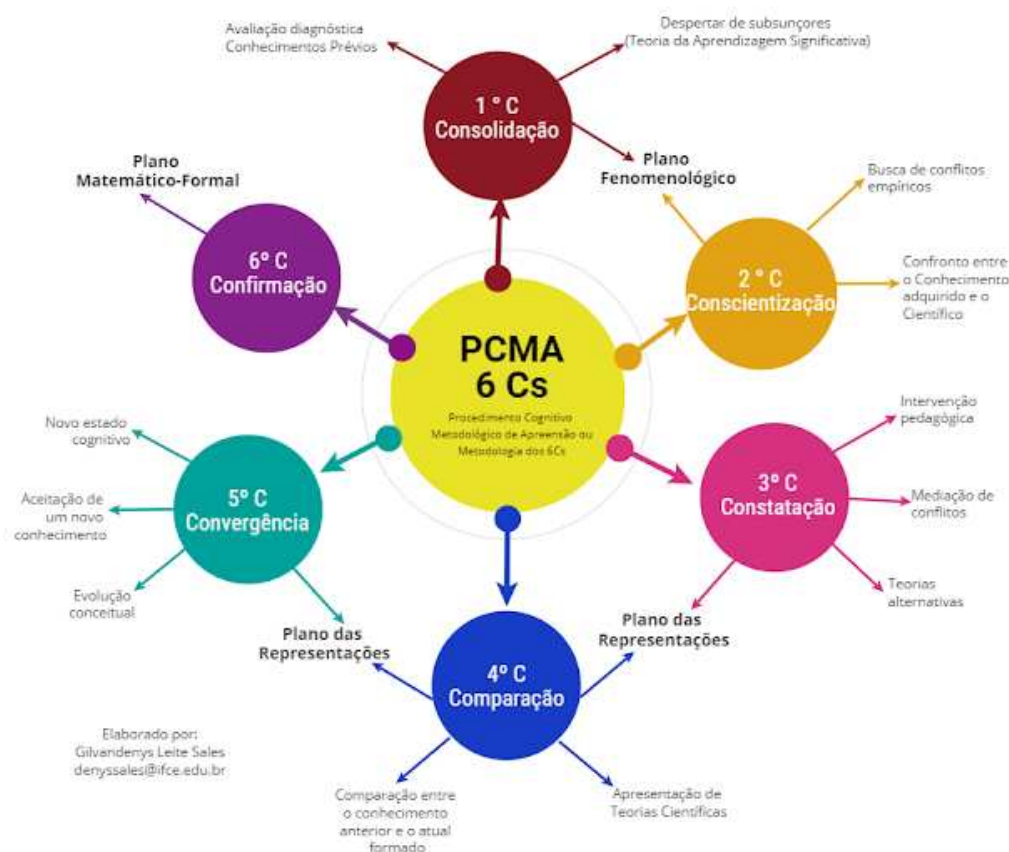


pesquisas que utilizam a metodologia 6Cs. A metodologia dos 6Cs, acrônimo de Consolidação, Conscientização, Constatação, Comparação, Convergência e Confirmação, proposta por Sales (2005; 2019), propõe uma metodologia que aborda as mudanças conceituais no ensino de Física.

Costa *et al.* (2021) discute em seu trabalho os aspectos estruturais e pedagógicos do PCMA (Procedimento Cognitivo Metodológico de Apreensão) ou metodologia 6Cs no ensino de Física. A metodologia dos 6Cs foi desenvolvida por Sales (2005), tendo por base os trabalhos de Medviediev (1996) e Pozo (1998), com o intuito de conceber uma estratégia de ensino capaz de promover mudanças conceituais dos alunos na aprendizagem da Física. O PCMA já foi utilizado para o ensino de Óptica Geométrica por Silva *et al.* (2015), e na área de Física Moderna e Contemporânea por Santos (2017). Inicialmente com 5Cs, o PCMA ganhou mais um “C” para ficar consoante aos planos propostos no trabalho de Medviediev (1996).

No estudo de Medviediev (1996) encontramos os seguintes planos: 1) Plano Fenomenológico; 2) Plano das Representações; e 3) Plano Matemático-Formal, conforme o disposto na Figura 2.

Figura 2 – Metodologia PCMA ou 6Cs



No Plano Fenomenológico, onde estão alocados os 1º e 2º “C”s, a atenção tem seu foco nas fases de contato e observação das experiências, bem como dos objetos que o aluno traz consigo. Neste momento, os conhecimentos adquiridos durante a vida pelo aluno são de suma importância, pois são essas vivências que trarão ou não conflitos com o que será exposto em sala de aula. Neste plano, o aluno entra em contato direto com o conceito científico/conceitual por meio de experimentos.

Já no Plano das Representações Mentais, onde encontramos os 3º, 4º e 5º “C”s, o aluno, com base nos seus conhecimentos prévios, amplifica seus esquemas de assimilação mental, de forma que consiga interpretar o que está sendo exposto tendo por base os conhecimentos anteriormente citados (3º C Constatação das Concepções Alternativas).

Neste momento o professor tem papel fundamental, no sentido de intermediar as situações de conflitos teóricos que surgem no desenrolar das exposições teórico/práticas, conduzindo o aluno no caminho do pensamento científico (4º C Comparação com Teorias Científicas). À medida em que as novas teorias e/ou conceitos são associados aos conhecimentos prévios dos alunos, gera-se uma mudança conceitual, que será significativa se for consistente com teorias respaldadas cientificamente, tendo como consequência o que se chamou de “uma evolução conceitual prévia” por parte dos alunos (5º C Convergência para uma evolução conceitual).

Finalmente, no Plano Matemático-Formal, onde se encontra o 6º C, o trabalho tem seu foco na fase da confirmação por meio de fórmulas. A presente fase tem o intuito de elucidar a relação existente entre a mudança conceitual ocorrida por parte do aluno e às teorias científicas, por meio de símbolos, fórmulas e gráficos (6º C Confirmação por meio formal). O fato de se acrescentar uma sexta fase ao presente percurso metodológico ocorreu mediante a necessidade de potencializar as mudanças conceituais do aluno. Segundo Ausubel (2012), a Aprendizagem Significativa é o processo em que uma nova informação relaciona-se com os conhecimentos pré-concebidos e estruturados.

Por conseguinte, para se ter uma compreensão mais clara da sequência didática e suas seis fases, apresenta-se sua estrutura conforme contribuições de Sales (2005; 2011; 2014; 2019), Santos (2017; 2019), Silva e Júnior (2019) e Mourão (2020):

1ª Fase – Consolidação dos conhecimentos prévios: “certificação de que o aluno já domina e sabe as teorias e conceitos ligados [...] [ao conteúdo a ser ensinado]” (Silva *et al.*, 2015; Sales, 2019). Neste primeiro momento, o aluno leva para o ambiente de ensino suas vivências e convicções, em que aquilo que foi adquirido no cotidiano será fundamental para as fases seguintes. No processo de ensino e de aprendizagem de Física, o professor depara-se muitas

vezes com o senso comum e com os saberes preexistentes dos alunos e, levar esses detalhes em consideração, torna a incorporação de novos conhecimentos um processo mais simples, em que o próprio aluno e seus saberes se tornam o centro do processo de aprendizagem. Atividades como pré-testes, arguições, rodas de conversa, mapas mentais são de suma importância neste momento, em que o processo de ancoragem da aprendizagem significativa mostra sua importância.

2ª Fase – Conscientização dos conflitos empíricos: “para modificar seus esquemas, o aluno precisa perceber a situação conflitiva entre os conceitos clássicos [e os novos conceitos]” (Silva *et al.*, 2015; Sales, 2019). Este é o momento em que o professor deve assumir um certo protagonismo, pois será ele quem proporcionará de forma planejada, seja mediante experimentos, simulações, bem como outros tipos de aparatos pedagógicos, as situações que causarão “conflitos”; ou seja, situações em que o estudante colocará à prova as suas teorias e concepções próprias em relação a uma nova teoria que está sendo apresentada.

3ª Fase – Constatação das concepções alternativas: “auxiliado pelo professor, faz-se uma reestruturação teórica na busca de teorias alternativas para melhor justificar o fenômeno em estudo” (Silva *et al.*, 2015; Sales, 2019). Passada a fase da percepção dos conflitos, vem o momento em que eles devem ser superados. Cabe a alunos e professores a proposição de situações que possam sanar os questionamentos propostos pelas atividades apresentadas na fase anterior. Com as atividades propostas, o aluno será capaz de criar conexões que permitam progredir de forma conceitual, fazendo com que essas conexões tornem a aprendizagem mais significativa.

4ª Fase – Comparação com teorias científicas: “formulam-se e apresentam-se as novas teorias advindas [...] [da Acústica, Ondulatória e Oscilação]” (Silva *et al.*, 2015; Sales, 2019). Neste momento pode-se voltar ou associar esses novos conceitos aos estudados anteriormente. Por exemplo, os conceitos de Força e Campo da Mecânica são importantíssimos para a compreensão dos conceitos iniciais do Eletromagnetismo, como Força Elétrica e Campo Elétrico. Pode-se utilizar recursos e/ou princípios que contribuam com a assimilação do conteúdo exposto de forma clara e objetiva, sempre de forma planejada, privilegiando os conteúdos e conceitos trabalhados naquele momento.

5ª Fase – Convergência para uma evolução conceitual: “auxiliado pelo uso do [recurso pedagógico], o aluno modifica então suas concepções prévias” (Silva *et al.*, 2015; Sales, 2019). Nesse momento, o que se espera do aluno é uma “evolução” conceitual decorrente das fases trabalhadas anteriormente. Mais uma vez a utilização dos recursos pedagógicos demonstram sua importância, pois é por meio deles que os alunos demonstrarão de forma

perceptível a sua compreensão e evolução.

6ª Fase – Confirmação por meio de fórmulas (Sales, 2019). Depois de trabalhar o específico e garantir que o aluno o compreenda conceitualmente, seja ele mecânico, eletromagnético, térmico ou outro, o estudante deve organizar o que foi aprendido em diferentes formatos, como gráficos, diagramas, tabelas, ou, quando necessário, interpretar os dados obtidos. É importante destacar a crítica de Mazur (2015, p. 7) à ideia de simplesmente aplicar “receitas”, ou seja, escolher um valor e inseri-lo em uma fórmula para resolver problemas, sem levar em conta os “conceitos subjacentes” que fundamentam essa aplicação.

A proposta metodológica dos 6Cs, desenvolvida por Sales (2005; 2019), tem sido aplicada com sucesso no ensino de Ciências, especialmente quando combinada com a resolução de problemas contextualizados e a aprendizagem investigativa. Em uma revisão sistemática recente, Silva, Sales e Cerqueira (2025) identificaram que sequências didáticas que usam metodologias ativas, como experimentação e trabalho em grupo, melhoraram a autonomia, o desempenho conceitual e as habilidades investigativas dos alunos. Segundo os autores, essa abordagem favorece tanto uma aprendizagem significativa quanto o protagonismo dos estudantes, principalmente em escolas públicas. Com base nisso, o modelo dos 6Cs mostra-se uma estrutura eficaz para reorganizar as etapas do ensino, promovendo momentos de desafio cognitivo, construídos de conceitos e consolidações do conhecimento.

A fim de criar uma abordagem metodológica aplicável a contextos de educação formal e não formal, Melo, Sales e Cerqueira (2023) usaram a sequência didática 6Cs. Essa metodologia foi empregada em uma exposição científica no Museu de Anatomia da Universidade Federal do Ceará, que oferecia atividades interativas e lúdicas. Os autores afirmam que a aplicação da sequência didática nesse formato de exposição validou e avaliou uma metodologia inovadora para o ensino de anatomia humana.

A metodologia 6Cs já serve como um itinerário para a evolução conceitual, mas sua eficácia é aprimorada quando combinada com estratégias de aprendizagem ativa (Helle *et al.*, 2006). Ao posicionar o aluno como protagonista, essas metodologias facilitam a assimilação dos conceitos trabalhados nas fases da 6Cs. As principais abordagens adotadas nesta pesquisa serão discutidas a seguir.

### **3.2 Metodologias Ativas: panorama e escolha da ABP**

As metodologias ativas têm se consolidado como alternativas ao ensino tradicional, especialmente em disciplinas como a Física, marcadas historicamente pelo alto grau de

abstração e pelo desinteresse discente. Essas abordagens propõem a centralidade do aluno no processo de aprendizagem, valorizando a autonomia, a resolução de problemas, o pensamento crítico e a colaboração (Moran, 2015; Bacich; Moran 2018). O uso das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) tem potencializado essas estratégias, ao ampliar as possibilidades de acesso, produção e compartilhamento de conhecimentos em ambientes escolares diversos.

Entre as diversas metodologias ativas mencionadas na literatura, destacam-se a Sala de Aula Invertida (*Flipped Classroom*), o Ensino Sob Medida, a Instrução por Pares (*Peer Instruction*), a Aprendizagem Baseada em Projetos (*Project-Based Learning*) e o *Just-in-Time Teaching*. Rosa e Kalhil (2019), em uma revisão de dissertações e teses publicadas entre 2009 e 2019, observaram o crescimento das pesquisas envolvendo essas abordagens no ensino de Física, com destaque para a Instrução por Pares. Os autores ressaltam que parte significativa dos trabalhos analisados foi conduzida em cursos de mestrado profissional, concentrados principalmente nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, e evidenciam o papel das TDICs como elemento estruturante das propostas didáticas inovadoras.

A literatura especializada evidencia que a adoção de metodologias ativas de ensino potencializa a construção de aprendizagens significativas, sobretudo quando articuladas a sequências didáticas intencionalmente planejadas. Dentre as estratégias mais destacadas nesse contexto, figuram abordagens como o Instrução por Pares, o Ensino Sob Medida, a Sala de Aula Invertida e a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), as quais, além de estimular o engajamento discente, favorecem a autonomia e a reflexão crítica no processo de aprendizagem.

Outros estudos, como o de Santos (2017), exploram a combinação de diferentes estratégias, como o Ensino Sob Medida, a Sala de Aula Invertida e a Instrução por Pares, na tentativa de superar as limitações do modelo tradicional. Já Montanher (2012) empregou a Aprendizagem Baseada em Casos (ABC) no ensino de Física, obtendo resultados promissores em relação ao desenvolvimento de habilidades como argumentação e pensamento crítico. Essas experiências reforçam a diversidade de caminhos metodológicos possíveis, mas também apontam para a necessidade de articulação com os contextos escolares reais e as condições concretas de ensino.

Para melhor compreensão das especificidades das metodologias ativas mais referenciadas na literatura sobre o ensino de Ciências e Física, no Quadro 1 apresenta-se uma síntese comparativa de suas principais características, vantagens e limitações:

Quadro 1 – Comparação entre metodologias ativas no ensino de Física

Metodologia	Características principais	Pontos fortes	Limitações
<b>ABP (Aprendizagem Baseada em Problemas)</b>	Centrada em problemas reais; requer investigação em grupo	Favorece análise crítica, contextualização e protagonismo	Exige planejamento e mediação ativa do docente
<b>Sala de Aula Invertida</b>	Estudo prévio dos conteúdos; uso do tempo de aula para aprofundar	Mais tempo para debate e experimentação	Exige autonomia discente e acesso digital
<b>Instrução por Pares</b>	Explicações entre pares após testes conceituais curtos	Desenvolve argumentação e reforça aprendizagem	Requer ambiente seguro e bem estruturado
<b><i>Just-in-Time Teaching</i></b>	Alunos realizam tarefas antes da aula; feedback orienta a aula	Aumenta participação e personaliza o ensino	Requer recursos digitais e logística de correção

Fonte: Elaborado pelo autor.

Estudos recentes na área de ensino de Ciências Exatas têm destacado o impacto positivo de metodologias ativas na aprendizagem. Araújo *et al.* (2016) constataram que a implementação da Instrução por Pares no ensino de circuitos elétricos promoveu avanços conceituais significativos, com ganhos de aprendizagem normalizados (*Hake gain*), variando entre 43% e 86%. Os resultados reforçam a relevância da mediação docente e da interação colaborativa entre discentes como elementos fundamentais para a construção do conhecimento.

De modo convergente, Ribeiro *et al.* (2019) investigaram a integração do Ensino sob Medida com a resolução de problemas abertos em Física I, observando não apenas maior engajamento dos estudantes, mas também uma evolução no pensamento crítico e na capacidade de aplicação teórico-prática. O estudo ressalta ainda a contribuição da avaliação formativa contínua como ferramenta essencial para o acompanhamento e a potencialização do processo de aprendizagem.

No contexto do Ensino Superior, estudos recentes têm demonstrado o potencial transformador de metodologias ativas quando adequadamente integradas. Huguenin (2022), por exemplo, implementou uma abordagem híbrida que articulou a Sala de Aula Invertida com a Instrução por Pares em disciplinas de Física, obtendo resultados notáveis: a taxa de aprovação dos discentes triplicou, saltando de 20% para 70%, enquanto se observou um crescimento significativo nos indicadores de participação e engajamento discente. Tais achados corroboram a eficácia de estratégias pedagógicas baseadas em ciclos didáticos estruturados (pré-aula, aula e pós-aula), as quais promovem uma aprendizagem mais ativa e autorregulada.

Essa perspectiva também é reconhecida no trabalho de Mota (2020), que ao aplicar esse modelo organizacional no ensino de Física II para cursos de Engenharia, constatou melhorias expressivas em três dimensões fundamentais: aprendizagem percebida (84%), motivação (81%) e autonomia (78%).

Os resultados desses estudos não apenas validam a importância do planejamento didático intencional, mas também destacam como a combinação de metodologias ativas pode potencializar o desempenho acadêmico e fomentar competências cognitivas e socioemocionais essenciais à formação profissional. No entanto, é importante destacar que a adoção de metodologias ativas não deve ser vista como solução universal. A literatura aponta que sua eficácia está fortemente condicionada a fatores como formação docente, tempo pedagógico, coerência entre teoria e prática e intencionalidade pedagógica (Paiva *et al.*, 2016; Aguiar *et al.*, 2020). Além disso, estudos como o de Studart (2019) oferecem uma análise crítica dos principais modelos de “ensinagem” ativa, destacando seus pontos fortes e limitações, bem como fontes relevantes de apoio pedagógico, como o portal PhysPort.

Para a presente pesquisa, optou-se pela adoção exclusiva da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), por sua compatibilidade com os pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, que enfatiza os conhecimentos prévios e a organização lógica dos conteúdos. A ABP permite criar situações-problema contextualizadas, que demandam do estudante o uso ativo de seus esquemas conceituais, promovendo ancoragens significativas e mobilizando competências como análise, síntese, aplicação e reflexão.

A articulação entre a ABP e a argumentação tem se mostrado um caminho promissor, como exemplificado em uma atividade realizada em sala de aula na qual os alunos, divididos em grupos, receberam um problema envolvendo a construção de um sistema de segurança residencial utilizando sensores magnéticos. A resolução exigia pesquisa, debate e apresentação de uma proposta argumentativa que justificasse o funcionamento físico do sistema, mobilizando conceitos de campo magnético, indução e corrente elétrica. Essa dinâmica favoreceu o desenvolvimento de competências argumentativas e a consolidação conceitual por meio da problematização e da colaboração, visando promover a construção de um conhecimento crítico e reflexivo nas aulas de Física.

Como demonstrado por Almeida e Chiaro (2023), o ambiente colaborativo e dialógico propiciado pela ABP favorece o desenvolvimento de ações discursivas argumentativas, especialmente quando mediado por um tutor que compreende e, intencionalmente, estimula esses movimentos. Tais interações levam os estudantes a refletirem sobre seus próprios pensamentos, acionando mecanismos metacognitivos autorregulatórios,

como manutenção, elaboração e reconstrução de ideias, fundamentais para um aprendizado significativo e para o fortalecimento da autonomia intelectual dos alunos.

Diante das características apresentadas, torna-se oportuno sintetizar as principais diferenças entre a Aprendizagem Baseada em Problemas e o ensino tradicional, conforme demonstrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Comparativo entre a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e o Ensino Tradicional

Aspecto	Ensino Tradicional	Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP)
<b>Papel do aluno</b>	Receptor passivo de informações	Protagonista ativo na construção do conhecimento
<b>Papel do professor</b>	Transmissor de conteúdo	Mediador, facilitador da aprendizagem
<b>Organização do conteúdo</b>	Sequência linear, por tópicos	A partir de situações-problema
<b>Ênfase pedagógica</b>	Memorização e repetição	Investigação, análise e resolução de problemas
<b>Avaliação</b>	Foco em provas escritas e resultados finais	Foco em processo, reflexão e aplicação prática
<b>Integração com a realidade</b>	Fraca contextualização	Forte conexão com o cotidiano e o mundo do aluno
<b>Colaboração</b>	Atividades predominantemente individuais	Trabalho em grupo e aprendizagem cooperativa

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Barrows e Tamblyn (1980), Duch, Groh e Allen (2001); Almeida e Chiaro (2023).

Além disso, a ABP se alinha aos objetivos desta pesquisa ao favorecer a interdisciplinaridade, o protagonismo discente e a superação de concepções alternativas, especialmente no ensino de tópicos complexos como o Eletromagnetismo. Quando articulada à metodologia 6Cs e à Cultura Maker, essa abordagem constitui um arranjo didático capaz de enfrentar os desafios impostos pelo contexto da escola pública, sem abrir mão da densidade conceitual nem da intencionalidade pedagógica.

Studart (2019) oferece uma análise crítica dos principais modelos de metodologias ativas, destacando seus pontos fortes e limitações, além de indicar recursos relevantes para o ensino de Física, como o portal *PhysPort* e os trabalhos de Meltzer e Thornton (2012). Tais contribuições reforçam a necessidade de contextualizar as práticas pedagógicas à realidade escolar, respeitando as especificidades locais.

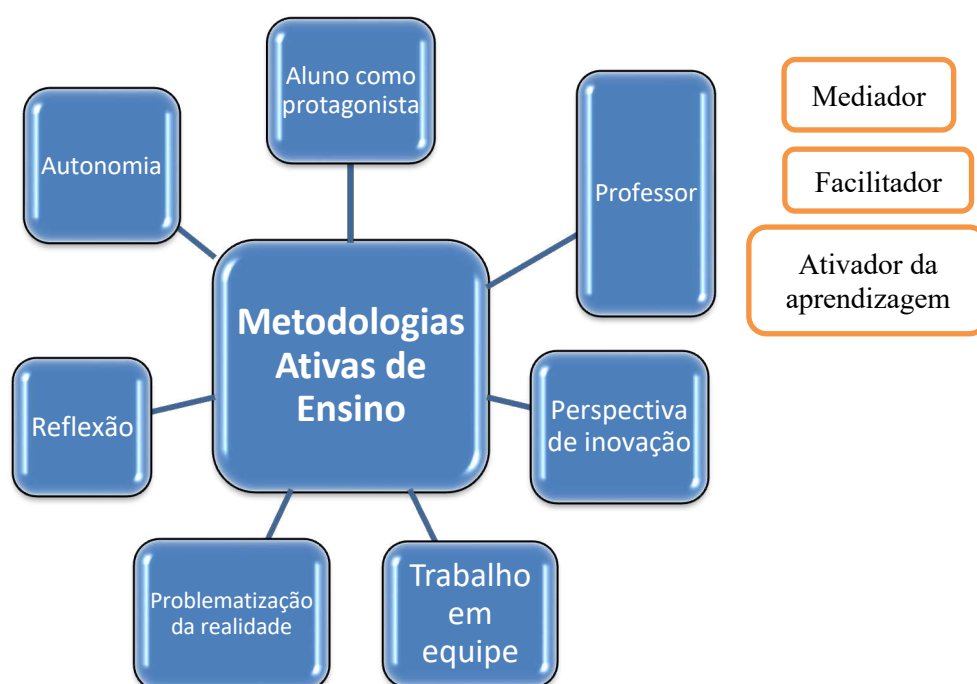
O uso das metodologias ativas e das tecnologias digitais aplicadas ao ensino têm se



mostrado relevante para enfrentar problemas persistentes no ensino de Física, como a evasão escolar, o desinteresse discente e o baixo aproveitamento do tempo em sala de aula (Aguiar *et al.*, 2020; Sales *et al.*, 2020).

Na Figura 3 apresenta-se uma síntese dos principais modelos de metodologias ativas discutidos na literatura, construída a partir da análise das abordagens mais citadas nos estudos revisados, combinada com uma sistematização original desenvolvida no contexto desta pesquisa, posicionando a ABP como estratégia central deste estudo.

Figura 3 – Metodologias Ativas



Fonte: Elaborado pelo autor.

As metodologias ativas, por si só, não garantem a compreensão de fenômenos físicos complexos sem a mediação de atividades práticas (Araújo; Abib, 2003). Nesse sentido, a experimentação, especialmente com materiais acessíveis, emerge como elemento central para concretizar tanto as etapas dos 6Cs quanto os princípios das metodologias ativas, conforme será explorado na próxima seção.

Estudos recentes têm reforçado a eficácia das metodologias ativas no ensino de Física, tanto no ensino superior quanto na Educação Básica. Silva, Sales e Castro (2018), ao aplicarem a gamificação em turmas do Ensino Médio, observaram um ganho de Hake significativamente maior no grupo experimental (0,38) em comparação ao grupo controle (0,11), evidenciando o potencial de estratégias lúdicas na promoção da aprendizagem

conceitual. Quibao *et al.* (2018), por sua vez, relataram, em uma amostra de 599 estudantes universitários, um ganho de Hake de 0,38 com o uso da *Peer Instruction*, frente a 0,19 em aulas expositivas. Esses resultados convergem com os de Medeiros Júnior. *et al.* (2024), cuja meta-análise apontou a efetividade das simulações interativas PhET em diversos tópicos da Física. De modo complementar, Araújo, Ximenes e Romeu (2024), ao integrarem uma abordagem investigativa no ensino do experimento de Young no Ensino Médio, obtiveram um ganho de Hake de 0,75, ressaltando a importância da mediação docente em práticas ativas e contextualizadas.

Esses achados sustentam a opção metodológica desta pesquisa por articular a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), a metodologia 6Cs e práticas experimentais acessíveis como estratégias para favorecer a aprendizagem significativa no ensino de Eletromagnetismo.

A literatura também ressalta os benefícios pedagógicos das abordagens ativas quando aplicadas de forma planejada e reflexiva. Oliveira (2009) demonstrou que a aprendizagem ativa, organizada em torno de projetos interdisciplinares e avaliações formativas sistemáticas, contribui para uma integração eficaz entre conhecimentos teóricos e suas aplicações práticas. Tal sinergia amplia a relevância dos conteúdos científicos e os ressignifica como ferramentas intelectuais aplicáveis a situações reais, favorecendo o protagonismo estudantil e a internalização dos conceitos.

### **3.3 Práticas experimentais com materiais alternativos: estratégias para a escola pública**

A prática experimental ocupa lugar de destaque no ensino de Física, dado o caráter empírico dessa ciência. Segundo Bernstein (1999) e Hodson (2014), a aprendizagem torna-se mais eficaz quando articulada a experiências concretas e contextualizadas, associadas a conceitos abstratos. Nesse sentido, o uso de experimentos em sala de aula contribui para a consolidação de conhecimentos, principalmente quando esses experimentos dialogam com a realidade cotidiana dos estudantes.

Felder e Brent (2003) destacam que, para o desenvolvimento de habilidades cognitivas e procedimentais, é necessário que o ambiente escolar ofereça condições para sua promoção. Os laboratórios e as atividades experimentais cumprem esse papel, desde que sejam planejados e conduzidos com intencionalidade pedagógica e clareza de objetivos, permitindo aos estudantes compreender quais competências estão sendo trabalhadas.

Guimarães (2009) reforça essa perspectiva ao afirmar que, no ensino de Ciências, a

experimentação pode ser uma estratégia eficaz para a construção de problemas reais, possibilitando a contextualização dos conteúdos e o estímulo ao questionamento e à investigação. Isso adquire importância ainda maior quando se considera a escassez de laboratórios nas escolas públicas brasileiras, situação que demanda alternativas viáveis e eficazes.

Nesse contexto, o uso de materiais alternativos e de baixo custo para a elaboração de experimentos apresenta-se como solução prática e acessível. Além de ampliar o engajamento discente, ao mostrar que elementos do cotidiano, como objetos descartáveis, podem ser transformados em instrumentos de exploração científica, essa estratégia também contribui para os princípios da sustentabilidade, em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010). Estudos como os de Fonseca e Maidana (2013), na área de Óptica, e Picilo e Rampinelli (2014), com foco em Mecânica, relatam experiências exitosas na construção de aparatos experimentais de baixo custo em diferentes áreas da Física, promovendo o envolvimento dos alunos e a superação de dificuldades conceituais.

Silva (2020) descreve uma experiência realizada em uma escola de Ensino Médio no Ceará, em que foram utilizados aparatos experimentais de baixo custo para o ensino de Eletromagnetismo. Os resultados apontaram maior envolvimento dos alunos, melhora no desempenho acadêmico e participação mais ativa nas atividades propostas, mesmo diante de limitações estruturais.

Estudos como o de Oliveira *et al.* (2022), embora adotem metodologias distintas, como o *Investigative Science Learning Environment* (ISLE), reforçam o potencial da experimentação na promoção da aprendizagem conceitual. Nessa pesquisa, foram utilizados kits portáteis e materiais de fácil aquisição para o ensino da indução eletromagnética. Ainda que a metodologia empregada não seja utilizada na presente pesquisa, a experiência serve como referência para destacar o papel ativo do aluno no processo de investigação e a possibilidade de realizar práticas significativas com recursos acessíveis.

Parreira e Dickman (2020) investigaram a percepção de professores e estudantes sobre os objetivos das aulas experimentais. Apesar de divergências quanto às abordagens, houve consenso sobre a importância das práticas laboratoriais para promover maior participação discente e fortalecer a conexão entre teoria e prática.

Já Oliveira (2010, p. 141-146) apresenta, em seu estudo, um breve resumo acerca dos principais objetivos das atividades experimentais aplicadas ao ensino de ciências, a saber:

- motivar e despertar a atenção dos alunos;
- desenvolver a capacidade de trabalhar em grupo;

- desenvolver a iniciativa pessoal e a tomada de decisão;
- estimular a criatividade;
- aprimorar a capacidade de observação e de registro de informações;
- aprender a analisar dados e propor hipóteses para os fenômenos;
- aprender conceitos científicos;
- detectar e corrigir erros conceituais dos alunos;
- compreender a natureza da ciência e o papel do cientista em uma investigação;
- compreender as relações entre ciência, tecnologia e sociedade;
- aprimorar habilidades manipulativas;

Nesse sentido, Moraes e Silva Júnior (2015) conduziram uma pesquisa que buscou articular a prática experimental à Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Os autores concluem que os experimentos didáticos favorecem a ancoragem de novos conhecimentos a estruturas cognitivas preexistentes, tornando a aprendizagem mais duradoura e significativa. Para eles, é fundamental que o estudante consiga relacionar os conceitos teóricos com situações do seu cotidiano de forma prática e reflexiva.

Estamos convencidos que a prática experimental é uma ferramenta bastante útil no ensino aprendizagem de ciências, em especial a Física. Pois os conhecimentos adquiridos teoricamente em sala devem proporcionar ao aluno a capacidade de conciliar o seu cotidiano à teoria de forma prática e pedagógica, expondo suas ideias, pensamentos e críticas (Moraes; Silva Júnior, 2015, p. 66).

A valorização dos conhecimentos prévios também aparece em estudos que utilizam materiais de fácil aquisição, articulando-se à proposta de conectar saberes cotidianos com conceitos científicos por meio da experimentação, tais como instrumentos musicais ou objetos domésticos, na realização de experimentos. Jesus e Sasaki (2014), por exemplo, demonstram que uma pilha comum e uma câmera de celular foram suficientes para a construção de um experimento eficaz sobre rolamentos em superfície plana, mostrando que é possível realizar atividades experimentais mesmo na ausência de laboratórios especializados.

A escolha de materiais de baixo custo, tais como uma pilha média comum e uma câmera de celular, revelou-se suficiente para a realização de um experimento de boa qualidade para o estudo de rolamentos sobre uma superfície horizontal. Mesmo em escolas onde não existam laboratório de Física, o professor pode reproduzir um experimento na própria sala de aula, sem a necessidade de equipamentos ou sensores sofisticados (Jesus e Sasaki, 2014, p. 5)

Embora diferentes metodologias possam ser utilizadas no ensino com práticas

experimentais, é importante frisar que, nesta pesquisa, a abordagem adotada será exclusivamente a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), articulada à metodologia 6Cs. O estudo de Oliveira *et al.* (2022), que empregou a metodologia *Investigative Science Learning Environment* (ISLE), é citado apenas como referência ilustrativa do potencial da experimentação com kits portáteis. A proposta da presente pesquisa, no entanto, ancora-se na articulação entre ABP, 6Cs e Cultura Maker, fundamentada nos princípios da aprendizagem significativa.

A literatura analisada evidencia que a prática experimental, quando planejada de forma intencional, como se propõe nesta pesquisa com a construção de experimentos acessíveis de Eletromagnetismo articulados à metodologia 6Cs e à ABP, pode promover não apenas a compreensão de conteúdos abstratos, mas também o engajamento dos estudantes no processo de aprendizagem. Ainda assim, são raras as propostas pedagógicas que integram, de forma sistemática, práticas experimentais, metodologias ativas e teorias cognitivas em contextos escolares reais. A presente pesquisa busca justamente preencher essa lacuna, alinhando sua proposta didática às condições materiais e pedagógicas da escola pública.

### 3.3 Considerações finais da revisão de literatura

A análise da literatura evidencia que tanto a metodologia 6Cs quanto as metodologias ativas, como a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a Cultura Maker, apresentam potencial para promover aprendizagens mais significativas, colaborativas e contextualizadas. Do mesmo modo, as práticas experimentais, especialmente com materiais de baixo custo, são apontadas como estratégias viáveis para favorecer a motivação dos estudantes e a compreensão conceitual no ensino de Física.

Contudo, observa-se uma lacuna na literatura no que se refere à integração sistemática desses elementos em uma sequência didática estruturada, que combine, de forma articulada em etapas complementares, o uso de metodologias ativas, a experimentação com materiais acessíveis e estratégias fundamentadas na aprendizagem significativa, em propostas pedagógicas aplicáveis ao contexto da escola pública. A presente pesquisa propõe justamente essa articulação, ancorando-se nos fundamentos da Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel (1968), e em evidências recentes que reforçam a importância de abordagens híbridas no ensino de Ciências.

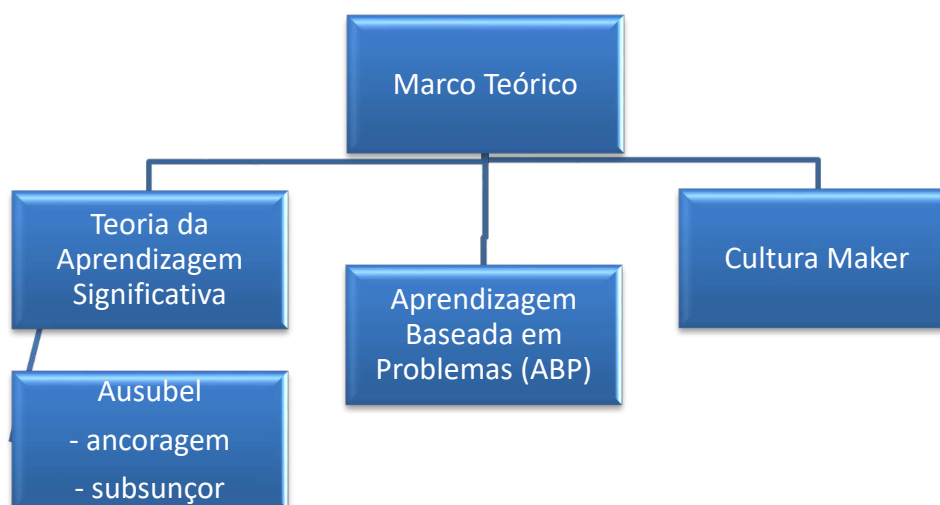
Nesse sentido, destaca-se o estudo de Gonçalves (2023), que propõe uma formação docente integrada ao uso de metodologias ativas e tecnologias digitais, destacando a

importância da intencionalidade pedagógica e da mediação docente na construção de práticas inovadoras. Essa abordagem reforça os princípios norteadores da presente pesquisa, ao apontar caminhos para a formação crítica do professor e para a utilização consciente de estratégias como a ABP e a Cultura Maker e do uso de metodologias ativas e tecnologias digitais, com vistas a promover uma aprendizagem mais autônoma, contextualizada e conectada à realidade dos estudantes. Tal perspectiva converge com a proposta desta pesquisa, que busca alinhar inovação pedagógica à viabilidade prática no ambiente escolar.

## 4 MARCO TEÓRICO

Neste capítulo apresenta-se o marco teórico que fundamenta esta pesquisa, servindo de alicerce para a construção e validação do Modelo Teórico Integrador SIGMA. Para além da descrição de referenciais consagrados, o texto estabelece um diálogo crítico entre a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a Cultura Maker, articulando esses aportes para sustentar a proposta pedagógica desenvolvida. A profundidade desta fundamentação é crucial, já que nela reside a coerência entre os fundamentos cognitivos, procedimentais e atitudinais que orientaram a sequência didática aplicada no ensino de Eletromagnetismo. Além disso, a discussão vincula-se explicitamente às competências e habilidades da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), o que assegura a relevância curricular e a legitimidade acadêmica da proposta. Tais referenciais estão sintetizados na Figura 4.

Figura 4 – Marco Teórico



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.1 Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel

A Teoria da Aprendizagem Significativa foi criada pelo professor **emérito** da Universidade de Columbia, em Nova Iorque, David Ausubel, em meados da década de 1960. Ausubel, médico-psiquiatra de formação, dedicou sua carreira acadêmica à psicologia educacional. Seu principal conceito é a Aprendizagem Significativa (AS), definida como:

Um processo através do qual uma nova informação se relaciona, de maneira substantiva (não-literal) e não arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo. Neste processo a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel chama de “conceito subsunçor” ou, simplesmente “subsunçor”, existente na estrutura cognitiva de quem aprende (Moreira, 2009, p. 8).

Ausubel distingue três tipos gerais de aprendizagem: cognitiva, afetiva e psicomotora. A aprendizagem cognitiva refere-se ao armazenamento organizado de informações na estrutura cognitiva. A aprendizagem afetiva decorre de experiências internas, como satisfação ou medo, muitas vezes associadas à aprendizagem cognitiva. A aprendizagem psicomotora envolve habilidades musculares adquiridas por meio da prática. Ainda que foque na aprendizagem cognitiva, Ausubel reconhece a interdependência entre os três domínios.

Para que a aprendizagem significativa (AS) ocorra, são necessários três fatores: (i) disposição do aluno para aprender; (ii) conhecimentos prévios adequados para ancoragem; e (iii) materiais potencialmente significativos. Moreira (2009) destaca três conceitos centrais na teoria: materiais potencialmente significativos, organizadores prévios e subsunçores.

Materiais didáticos significativos devem ser relevantes para o público-alvo e apresentar relações claras com a estrutura cognitiva do aprendiz. A aprendizagem significativa ocorre quando o aluno consegue atribuir sentido à nova informação, conectando-a aos seus conhecimentos e experiências anteriores. Em contraste, a aprendizagem mecânica se dá quando novas informações são memorizadas sem conexão com o conhecimento existente (Moreira, 2009).

Dois princípios fundamentais orientam o planejamento de conteúdos: a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. A diferenciação progressiva consiste na apresentação inicial de ideias gerais, que são posteriormente detalhadas. “A reconciliação integrativa busca estabelecer relações entre ideias, evidenciando semelhanças e diferenças” (Moreira, 2009, p. 65).

Quando os alunos não possuem conhecimentos prévios suficientes para ancorar o novo conteúdo, recomendam-se organizadores prévios. Estes funcionam como pontes entre o que o aluno já sabe e o novo conhecimento (Lino; Fusinato, 2011; Machado, 2015).

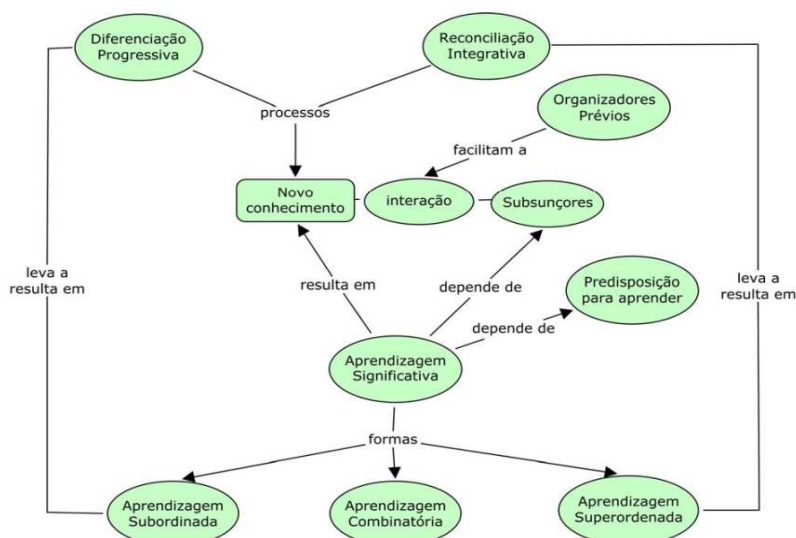
Conforme Moreira (2008; 2012), os organizadores prévios constituem recursos instrucionais apresentados antes do conteúdo de aprendizagem, funcionando como pontes cognitivas entre o que o aluno já sabe e aquilo que precisa saber para atribuir significado ao novo conhecimento. Essa estratégia reforça a centralidade dos conhecimentos prévios, princípio fundamental da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, e se materializa no modelo



SIGMA por meio das perguntas norteadoras e dos experimentos introdutórios que antecedem a formalização teórica dos conceitos de Eletromagnetismo.

Para facilitar a AS, Novak propõe o uso de mapas conceituais (Figura 5) e Gowin, o diagrama em V (Figura 6). Os mapas conceituais representam visualmente relações entre conceitos, enquanto o diagrama em V permite identificar conceitos, teorias, metodologias e registros envolvidos na construção do conhecimento (Moreira, 2012).

Figura 5 – Mapa conceitual dos conceitos básicos da teoria de Ausubel.



Fonte: Adaptado de Moreira e Buchweitz (1993).

Figura 6 – V de uma pesquisa de ensino.



Fonte: (Moreira, 2012, p.12).

Por fim, o subsunçor é o elemento central da teoria de Ausubel. Ele representa o conhecimento prévio que permite a ancoragem de nova informação. A relação não é de submissão, mas de mútua transformação: a nova informação adquire sentido e o subsunçor se torna mais rico em significado (Moreira; Massoni, 2015).

#### **4.2 A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) como estratégia didática**

A Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) é uma abordagem pedagógica centrada no aluno, que organiza o processo de ensino em torno da resolução de problemas contextualizados. Desenvolvida inicialmente na Universidade de McMaster, no Canadá, na década de 1960, por Barrows e Tamblyn (1980), a ABP vem sendo adaptada para diversas áreas do conhecimento, incluindo o ensino de Ciências e de Física na Educação Básica.

Nessa abordagem, os estudantes enfrentam situações-problema autênticas que requerem a mobilização de saberes prévios e a busca ativa por novas informações. O papel do professor é de mediador e orientador, auxiliando na organização do pensamento e na análise crítica das soluções propostas (Mizukami, 2004).

A articulação entre a ABP e a Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel (1968), evidencia-se quando os problemas apresentados funcionam como organizadores prévios que ativam os subsunçores cognitivos dos estudantes. Ao lidar com situações desafiadoras, os alunos são incentivados a reinterpretar suas concepções e a integrar novos significados ao seu repertório, favorecendo a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, conforme os mecanismos descritos por Ausubel.

Segundo Duch, Groh e Allen (2001), a ABP estimula competências como pensamento crítico, trabalho em equipe, tomada de decisão e autonomia intelectual — aspectos fundamentais para o ensino de tópicos complexos como o Eletromagnetismo. Dessa forma, sua integração à sequência didática estruturada pela metodologia 6Cs contribui para promover uma aprendizagem ativa, crítica e alinhada às necessidades da escola pública.

#### **4.3 A Cultura Maker como ambiente de aprendizagem ativa**

A Cultura Maker é um movimento educacional contemporâneo que estimula a aprendizagem por meio da experimentação, do erro construtivo, da prototipagem e do compartilhamento de soluções criativas, com ênfase na produção manual e no uso de materiais acessíveis. De acordo com Martinez e Stager (2013), esse movimento resgata a importância do

“aprender fazendo” (learning by doing) como estratégia para promover o engajamento dos estudantes e a aprendizagem significativa.

No ambiente escolar, a Cultura Maker tem se mostrado eficaz na promoção da autonomia, da colaboração e da aplicação prática de conhecimentos abstratos. Na área da educação científica, contribui para aproximar teoria e prática ao possibilitar que os estudantes construam dispositivos, manipulem materiais e observem fenômenos físicos em situações concretas (Peppler; Halverson; Kafai, 2016).

Embora não configure uma metodologia de ensino formal, a Cultura Maker pode ser integrada como ambiente de aprendizagem que potencializa o desenvolvimento de propostas baseadas em metodologias ativas, como a ABP. Quando aliada à metodologia 6Cs, essa abordagem favorece a problematização, a exploração empírica e a formalização conceitual de forma criativa e colaborativa.

Além disso, o uso de materiais recicláveis e de baixo custo está em consonância com os princípios de sustentabilidade e com as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010), agregando uma dimensão ética e ambiental à prática educativa. Em contextos escolares marcados por limitações estruturais, como é o caso de muitas escolas públicas brasileiras, essa perspectiva representa uma alternativa viável e transformadora (Santos; Rodrigues, 2021).

#### **4.4 Modelo Teórico Integrador TAS–ABP–Maker (SIGMA)**

A partir da fundamentação teórica apresentada nas seções anteriores, esta pesquisa propõe um modelo teórico integrador denominado SIGMA – Significativo, Investigativo, Generativo, Maker e Adaptativo, que articula três eixos complementares: a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a Cultura Maker como um ambiente de experimentação prática e inovação pedagógica. O modelo emerge como uma síntese autoral, construída a partir da aplicação da proposta em uma escola pública, e tem por finalidade orientar práticas didáticas que promovam a aprendizagem significativa de conteúdos de Eletromagnetismo.

Em consonância com os achados de Sales (2010), que destaca a importância da articulação entre atividades experimentais, problematização e mediação docente, o modelo SIGMA propõe um arranjo integrador no qual a aprendizagem significativa é mobilizada por meio de problemas contextualizados e práticas experimentais Maker, garantindo a conexão entre teoria, prática e engajamento discente.

Em convergência com os princípios do ensino híbrido, que articula espaços, tempos e metodologias em prol de uma aprendizagem mais significativa e personalizada (Christensen; Horn; Staker, 2013), o modelo SIGMA combina a aprendizagem significativa (TAS), a problematização (ABP) e a prática Maker. Essa integração permite a criação de um ambiente pedagógico flexível, investigativo e centrado no estudante, garantindo não apenas o desenvolvimento conceitual, mas também o protagonismo e a autonomia no processo de aprendizagem.

O eixo cognitivo do modelo é sustentado pela Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel, que valoriza os conhecimentos prévios dos alunos e defende a organização lógica e progressiva dos conteúdos como condição essencial para que novas informações sejam ancoradas em estruturas mentais já existentes. Essa base teórica é incorporada à proposta desde o planejamento da sequência didática até os mecanismos de avaliação, assegurando a coerência epistemológica com os objetivos de aprendizagem propostos.

Em consonância com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018), o Modelo SIGMA (Significativo, Investigativo, Generativo, Maker e Adaptativo) foi delineado para articular os objetos de conhecimento do Eletromagnetismo ao desenvolvimento das competências específicas e das habilidades da área de Ciências da Natureza, transcendendo a abordagem fragmentada e promovendo uma aprendizagem profundamente significativa e contextualizada.

O modelo integra três eixos complementares – a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a Cultura Maker – para criar um ambiente pedagógico que espelhe os pressupostos da BNCC. Nesse contexto, a sequência didática sobre Eletromagnetismo, organizada em torno de situações-problema, abordou os seguintes objetos de conhecimento:

- Eletrostática e Corrente Elétrica;
- Campo Magnético e Força Magnética;
- Indução Eletromagnética.

Essa abordagem permite o desenvolvimento de competências e habilidades que capacitam os estudantes a:

- Investigar ativamente (Competência Específica 3), formulando hipóteses e testando-as por meio de experimentação prática com materiais de baixo custo e

simulações digitais (PHET), mobilizando a habilidade (EM13CNT301) para compreender as interações entre correntes elétricas e campos magnéticos.

- Analisar implicações tecnológicas e socioambientais (Competência Específica 1), avaliando o impacto e a aplicação de dispositivos como motores, geradores e transformadores em seu contexto local e global, conforme previsto na habilidade (EM13CNT107).
- Comunicar e representar descobertas (Competência Específica 3), utilizando múltiplas linguagens (esquemas, gráficos, protótipos físicos e relatórios) para articular e divulgar seus resultados, alinhando-se à habilidade (EM13CNT303).
- Engajar-se em debates criticamente (Competência Específica 3), avaliando questões públicas relacionadas à geração e ao consumo de energia, conforme incentivado pela BNCC (p. 549-550), desenvolvendo assim a habilidade (EM13CNT301) para analisar as implicações sociais, ambientais e econômicas do eletromagnetismo.

Dessa forma, o modelo SIGMA não apenas organiza o processo didático sob a perspectiva da aprendizagem significativa, mas também operacionaliza as competências e habilidades requeridas pela BNCC. Por meio de uma prática pedagógica que é simultaneamente investigativa (ABP), contextualizada (Generativa) e mão na massa (Maker), o modelo garante relevância curricular, consistência pedagógica e, sobretudo, o protagonismo do estudante na construção de um conhecimento crítico e aplicado, essencial para o seu projeto de vida e para a sociedade.

A dimensão metodológica é representada pela Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), que assume papel central na mediação do processo formativo. A resolução de situações-problema contextualizadas, inspiradas em desafios reais, permite aos estudantes mobilizar saberes prévios, investigar alternativas, formular hipóteses e tomar decisões colaborativamente. A ABP, nesse modelo, funciona como eixo organizador das atividades, promovendo o protagonismo discente e alinhando-se à lógica das etapas da metodologia 6Cs.

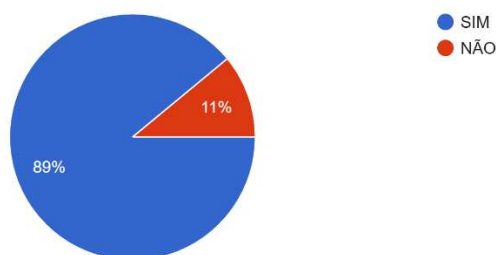
A Cultura Maker, por sua vez, integra o modelo como componente de validação prática e reconciliação conceitual, especialmente na etapa final da sequência didática (Confirmação). Ao propor a construção de dispositivos e experimentos com materiais acessíveis, reutilizáveis e sustentáveis, essa abordagem potencializa a aprendizagem experiencial, estimula a criatividade e conecta o conteúdo científico ao cotidiano dos alunos. Em um contexto educacional marcado por limitações estruturais, como é o caso de muitas

escolas públicas brasileiras, a dimensão Maker atua não apenas como solução prática, mas também como estratégia pedagógica de empoderamento estudantil.

A prática Maker foi um dos elementos mais valorizados pelos estudantes. A resposta à questão “Você acredita que a prática Maker pode potencializar a sequência didática 6Cs?” mostrou ampla concordância entre os participantes. Esse dado corrobora a dimensão “Maker” do modelo SIGMA, validando empiricamente sua inserção no processo de ensino e de aprendizagem (Figura 7).

Figura 7 – Avaliação dos alunos sobre o potencial da prática Maker

Você acredita que a inserção da prática Maker (construção de modelos) pode potencializar a Sequência Didática 6C's?  
82 respostas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em consonância com essa proposta, Cavalcanti *et al.* (2024) demonstraram que a utilização de laboratórios abertos, combinada a simuladores e a estratégias de design educacional, favorece o protagonismo estudantil e estimula o pensamento investigativo. Tais práticas correspondem diretamente às dimensões investigativa e Maker do modelo SIGMA, promovendo uma aprendizagem ativa mesmo em contextos escolares com infraestrutura limitada.

Andrade e Viana-Barbosa (2022) observaram, ao aplicarem uma sequência de ensino sobre estática, que a progressão de atividades com base na investigação e na colaboração promoveu avanços expressivos no domínio conceitual e no raciocínio físico. Essa abordagem se alinha aos pilares investigativo, generativo e adaptativo do modelo SIGMA, que busca integrar diferentes dimensões da aprendizagem ativa de modo articulado e progressivo.

O modelo SIGMA propõe, portanto, uma articulação coerente entre esses três elementos: o conhecimento estruturado pela TAS, a ação pedagógica centrada na ABP e a experimentação colaborativa viabilizada pela Cultura Maker. Tal combinação não é linear nem

estranque, mas dialógica e cíclica, permitindo que o percurso de aprendizagem avance por meio de retomadas, ajustes e reconstruções conceituais mediadas pelo professor.

A literatura sobre a didática da Física tem ressaltado a importância de metodologias que promovam a participação ativa dos estudantes e a conexão entre conceitos e práticas (Silva; Sales; Alves, 2018). Nesse sentido, o modelo SIGMA alinha-se a essas recomendações, oferecendo uma abordagem integradora que articula a aprendizagem significativa, a problematização e a Cultura Maker.

O modelo SIGMA também se articula com propostas contemporâneas, como o ciclo PODS, associado à sala de aula invertida, conforme discutido por Timóteo, Oliveira e Tarouco (2025). Nesse modelo, cada etapa do ciclo ativa habilidades específicas dos alunos, reforçando a importância de estruturas sequenciais e adaptativas na aprendizagem ativa. A integração entre planejamento, protagonismo e mediação qualificada, proposta no SIGMA, encontra, assim, respaldo na literatura recente.

A Figura 8 sintetiza graficamente os cinco eixos constituintes do modelo SIGMA e suas respectivas funções no processo de ensino e de aprendizagem de Eletromagnetismo:

Figura 8 – Estrutura do Modelo Teórico Integrador SIGMA



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para aprofundar a compreensão sobre os eixos constitutivos do modelo, o Quadro 3 detalha suas principais funções pedagógicas.

Quadro 3 – Eixos do Modelo SIGMA e suas respectivas funções no processo didático

<b>Eixo</b>	<b>Função Pedagógica</b>
<b>Significativo</b>	Promover conexões entre novos conteúdos e conhecimentos prévios significativos
<b>Investigativo</b>	Estimular a curiosidade científica por meio de problemas, hipóteses e pesquisas
<b>Generativo</b>	Ampliar e reorganizar esquemas conceituais por meio da mediação ativa do professor
<b>Maker</b>	Favorecer a materialização dos conceitos por meio da experimentação com materiais acessíveis
<b>Adaptativo</b>	Ajustar o percurso didático com base na mediação, avaliação contínua e nas respostas dos alunos

Fonte: Elaborado pelo autor.

A dimensão adaptativa do modelo SIGMA também encontra respaldo empírico. Silva, Pastorio e Lopes (2022), ao aplicarem metodologias ativas para o ensino das Leis de Newton em um projeto de Residência Pedagógica, observaram que a capacidade do docente de ajustar estratégias em tempo real, com base nas dúvidas e ritmos dos estudantes, foi decisiva para os avanços conceituais e para o engajamento do grupo.

A proposta do modelo SIGMA também dialoga com as recomendações da Sociedade Brasileira de Física (Chaves; Chellard, 2005), que enfatiza a experimentação, a interdisciplinaridade e a inovação tecnológica como caminhos para tornar o ensino de Física mais atrativo e relevante. Ao articular a Teoria da Aprendizagem Significativa, a ABP e a Cultura Maker, o SIGMA materializa essas diretrizes, favorecendo a aprendizagem ativa e a aproximação dos estudantes a práticas investigativas alinhadas às demandas contemporâneas.

Essa proposta integradora foi implementada e analisada a partir de uma sequência didática planejada com base na metodologia 6Cs, adaptada para incorporar os elementos do modelo SIGMA. Os dados coletados por meio de pré-teste, pós-teste e questionário de avaliação permitiram observar indícios relevantes de reconciliação entre teoria e prática, da ampliação da compreensão conceitual e do engajamento discente. A análise desses dados será apresentada no capítulo seguinte, à luz dos pressupostos deste modelo, visando avaliar sua eficácia e limitações no contexto investigado.

#### 4.5 Considerações Finais do Marco Teórico

A fundamentação teórica apresentada neste capítulo sustenta a proposta didática desta pesquisa a partir de três eixos complementares: a Teoria da Aprendizagem Significativa



(TAS), de David Ausubel; a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP); e a Cultura Maker como ambiente de aprendizagem experimental. A articulação desses elementos visa responder aos desafios persistentes do ensino de Física, especialmente no tópico de Eletromagnetismo em contextos escolares com limitações estruturais.

A Teoria da Aprendizagem Significativa oferece um arcabouço cognitivo robusto para compreender como o aluno assimila novos conhecimentos com base em estruturas conceituais pré-existentes. A valorização dos subsunçores, dos organizadores prévios e da diferenciação progressiva é compatível com os objetivos de ensino-aprendizagem da Física, particularmente em conteúdos de alta abstração como o Eletromagnetismo. Essa perspectiva assegura que o ensino se organize de forma lógica, progressiva e significativa, respeitando os ritmos cognitivos dos estudantes (Ausubel, 1968; Moreira, 2006).

A escolha pela ABP como metodologia ativa principal desta pesquisa se justifica por sua forte aderência aos pressupostos ausubelianos e por seu potencial de mobilizar conhecimentos prévios em contextos reais. A ABP favorece o engajamento discente por meio da resolução de situações-problema contextualizadas, possibilitando a reconstrução conceitual em etapas orientadas para a solução. Essa característica torna a ABP especialmente adequada para ser integrada à proposta da metodologia 6Cs, estruturando um percurso investigativo e participativo no processo de ensino (Almeida; Chiaro, 2023; Duch; Groh; Allen, 2001).

A Cultura Maker, por sua vez, é incorporada não como metodologia autônoma, mas como um ambiente de aprendizagem ativo que potencializa a prática experimental e a aplicação de conceitos físicos com materiais acessíveis e reutilizáveis. Em contextos educacionais marcados pela escassez de recursos, como a escola pública, essa abordagem contribui para tornar a aprendizagem mais concreta, participativa e conectada à realidade dos estudantes (Gonçalves, 2023; Oliveira *et al.*, 2024). Além disso, estimula o desenvolvimento de competências como criatividade, pensamento crítico e colaboração, essenciais para a formação científica contemporânea.

Embora a literatura educacional evidencie que TAS, ABP e Cultura Maker apresentam resultados promissores de forma isolada, ainda são escassas as pesquisas que propõem a integração sistemática dessas três dimensões em contextos reais de ensino de Física. A presente pesquisa busca preencher essa lacuna por meio da proposição do Modelo Teórico Integrador SIGMA

Esse modelo representa uma síntese original e funcional das bases teóricas da pesquisa. A dimensão Significativa ancora-se na TAS, assegurando a construção lógica e cumulativa do conhecimento; a dimensão Investigativa, vinculada à ABP, favorece o

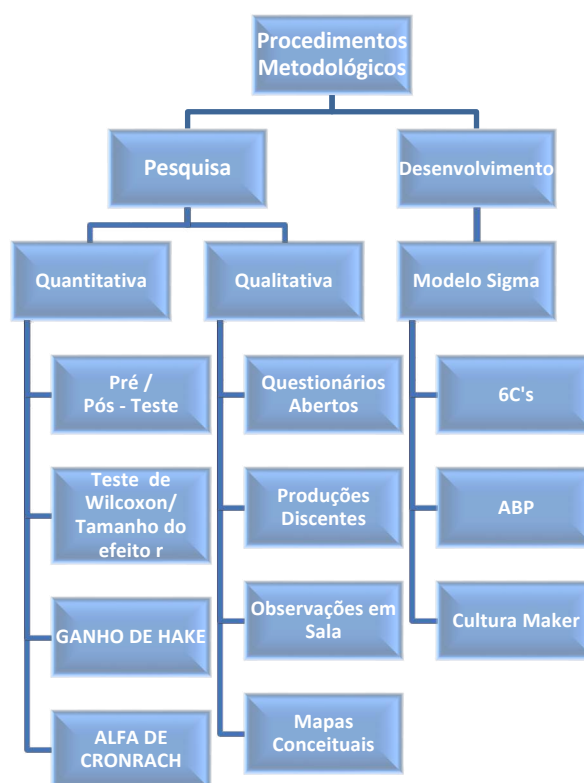
enfrentamento de situações-problema reais; a Generativa valoriza a produção de sentidos pelos alunos; a Maker introduz a ação prática com materiais acessíveis; e a Adaptativa responde às condições reais das escolas públicas, permitindo ajustes conforme o contexto.

O modelo SIGMA, portanto, configura um caminho metodológico e epistemológico que alinha rigor teórico à aplicabilidade prática. Ele será utilizado como base para a organização da sequência didática e para a análise dos dados coletados, conforme detalhado nos capítulos seguintes.

## 5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo apresentam-se os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa, detalhando a abordagem teórico-metodológica, os métodos de ensino empregados na aplicação da proposta didática e os instrumentos utilizados para a coleta, análise e interpretação dos dados. A estrutura geral do percurso metodológico está sintetizada na Figura 9.

Figura 9 – Procedimentos Metodológicos



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.1 Metodologias de Ensino

#### 5.1.1 Sequência Didática 6Cs

A estratégia de ensino utilizada nesta pesquisa foi baseada na sequência didática estruturada pela metodologia 6Cs (Sales, 2005; 2019), também conhecida como Procedimento Cognitivo Metodológico de Apreensão (PCMA). Essa metodologia, fundamentada nos trabalhos de Medviediev (1996) e Pozo (1998), tem como objetivo promover mudanças conceituais no ensino de Física por meio de etapas progressivas que articulam cognição,

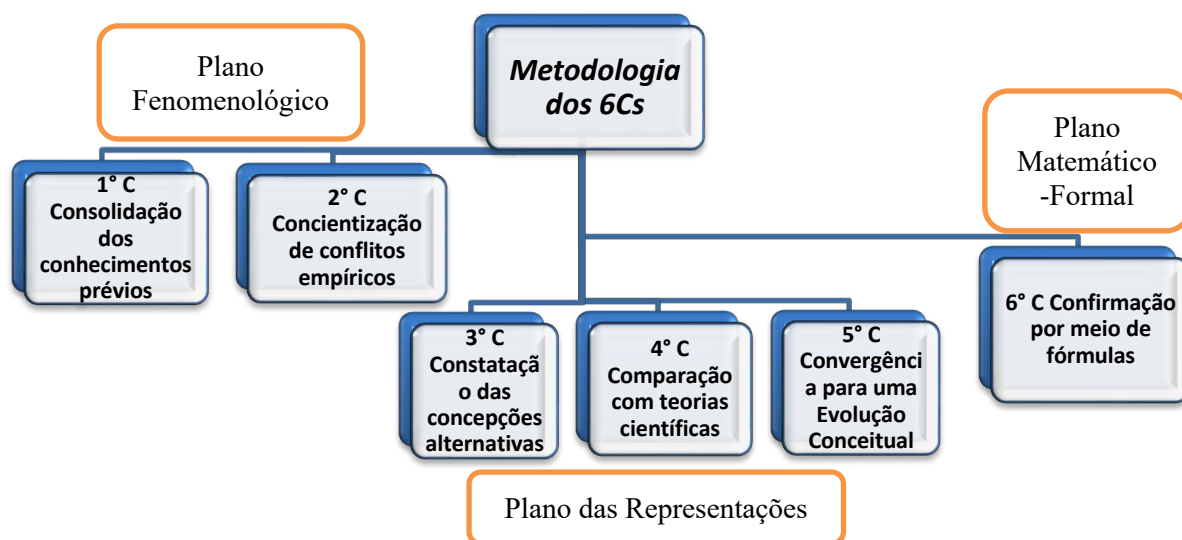
conflito conceitual e formalização científica.

A sequência didática foi aplicada ao conteúdo de Eletromagnetismo em turmas de 3º ano do Ensino Médio de uma escola pública de tempo integral localizada no município de Pacatuba (CE). A proposta foi desenvolvida em um modelo quase-experimental e envolveu a participação voluntária de alunos organizados em quatro turmas, totalizando 110 estudantes. Todos foram convidados a participar da pesquisa e passaram pelas etapas da intervenção didática, incluindo o pré-teste, a aplicação da sequência 6Cs integrada às metodologias ativas e práticas experimentais e o pós-teste.

O planejamento das aulas contemplou momentos de acolhimento, explicação da proposta e escuta das percepções dos alunos sobre o percurso didático. A metodologia 6Cs foi incorporada de forma articulada à ABP e à Cultura Maker, por meio de práticas experimentais com materiais acessíveis e adaptados ao contexto da escola pública.

Na Figura 10 apresenta-se uma síntese visual da metodologia 6Cs, com suas seis fases articuladas a uma progressão cognitiva.

Figura 10 – Metodologia 6Cs



Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir, apresentam-se as seis fases da metodologia 6Cs, com as respectivas estratégias didáticas aplicadas na abordagem do conteúdo de Eletromagnetismo.

*Fase 1. Consolidação dos Conhecimentos Prévios:* Esta etapa tem como objetivo identificar e ativar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre os conceitos fundamentais do Eletromagnetismo. A partir de vivências pessoais, experiências escolares anteriores e

percepções cotidianas, os alunos são convidados a expressar suas concepções iniciais sobre os fenômenos abordados.

Para isso, são utilizadas estratégias como a aplicação de pré-testes diagnósticos, dinâmicas de sondagem, discussões exploratórias e a elaboração de mapas conceituais. O mapeamento dessas concepções é essencial para orientar o planejamento didático e garantir as condições para a ancoragem significativa, conforme os princípios da teoria de Ausubel.

Fase 2. Conscientização de Conflitos Empíricos: Esta fase busca provocar nos estudantes um confronto entre suas concepções prévias e os conceitos científicos formalizados, de modo a gerar conflitos cognitivos produtivos. Por meio da apresentação de situações-problema, experimentos, demonstrações e recursos multimídia, os alunos entram em contato com fenômenos que desafiam suas explicações intuitivas ou as do senso comum.

Nessa etapa, foi utilizada uma abordagem histórica do Eletromagnetismo, destacando descobertas e personagens marcantes, com o objetivo de evidenciar as rupturas conceituais que marcaram o avanço científico. Essa estratégia estimula o questionamento, o desconforto produtivo e a necessidade de reestruturação conceitual, preparando os alunos para as etapas seguintes da sequência didática.

Fase 3. Constatação das Concepções Alternativas: Nesta fase, o foco está em auxiliar os estudantes a reconhecerem conscientemente suas concepções alternativas e a iniciá-las em um processo de reestruturação conceitual. Por meio da mediação do professor/pesquisador, os alunos são conduzidos à revisão de suas ideias iniciais, articulando-as com conteúdos científicos mais adequados à compreensão dos fenômenos estudados.

Para isso, foram utilizados materiais didáticos problematizadores, atividades interativas e experimentos que favorecem a discussão crítica. Os conteúdos abordam não apenas definições formais, mas também desafios históricos enfrentados por cientistas e aplicações contemporâneas da eletricidade e do magnetismo. Essa abordagem amplia o repertório explicativo dos alunos e prepara o terreno para a comparação sistemática com as teorias científicas consolidadas, etapa seguinte da metodologia 6Cs.

Fase 4. Comparação com Teorias Científicas: Nesta etapa, os estudantes são expostos a explicações científicas sistematizadas, permitindo a comparação entre suas concepções anteriores e os modelos teóricos aceitos pela comunidade científica. O objetivo é favorecer a reorganização conceitual com base em evidências, na lógica interna e na aplicabilidade dos conceitos formais.

A mediação do professor/pesquisador é fundamental neste momento, orientando os alunos na análise comparativa entre suas hipóteses iniciais e as leis da Física, como a Lei de

Faraday, a Lei de Lenz e o Efeito Hall. Para isso, foram utilizados recursos diversos, como vídeos, textos científicos, experimentos e simulações, de modo a promover uma compreensão mais profunda dos fenômenos eletromagnéticos. Essa etapa reforça a importância da consistência teórica e da justificativa empírica na construção do conhecimento científico, conduzindo os estudantes à superação de explicações intuitivas e à apropriação de modelos mais robustos.

Fase 5. Convergência para uma Evolução Conceitual: Esta etapa marca o momento em que os estudantes, após as fases de ativação, conflito e reorganização conceitual, demonstram sinais de internalização dos novos conhecimentos. A expectativa é de que ocorra uma evolução dos esquemas cognitivos, evidenciada pela capacidade de explicar fenômenos, resolver problemas e aplicar conceitos de maneira mais precisa e fundamentada.

Para consolidar esse processo, foram utilizados jogos didáticos, práticas experimentais e discussões orientadas, que permitiram que os alunos expressassem as novas compreensões construídas durante a sequência didática.

A avaliação da aprendizagem foi realizada por meio de um pós-teste, com o objetivo de identificar indícios de mudança conceitual em relação ao desempenho inicial. Essa análise será detalhada nos capítulos seguintes.

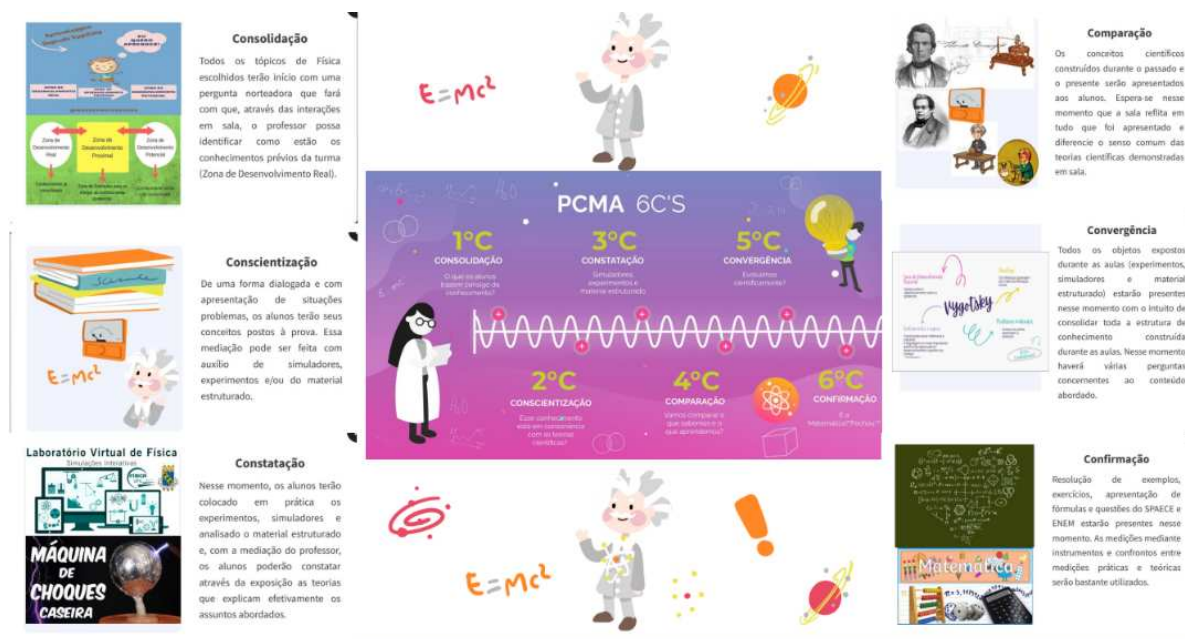
Fase 6. Confirmação por meio de Fórmulas: Nesta fase, busca-se formalizar os conceitos previamente construídos por meio de representações matemáticas e científicas, como fórmulas, gráficos, tabelas e esquemas. O objetivo é estabelecer uma ponte entre a compreensão conceitual e a linguagem formal da Física, permitindo que os estudantes expressem os fenômenos eletromagnéticos com precisão e significado.

Essa etapa reconhece a dificuldade comum dos alunos em lidar com a abstração matemática, especialmente quando esta não está vinculada a experiências concretas. Por isso, a mediação docente prioriza a construção contextualizada das fórmulas, relacionando-as aos experimentos vivenciados em sala de aula.

Os alunos são incentivados a interpretar os dados obtidos, organizar informações e representar suas observações de maneira formal, promovendo a consolidação da aprendizagem e o desenvolvimento da competência científica.

A sequência didática proposta nesta pesquisa foi estruturada com base nas etapas da metodologia 6Cs, conforme ilustrado na Figura 11. Essa representação gráfica evidencia a progressão cognitiva dos estudantes desde a ativação dos conhecimentos prévios até a formalização conceitual, contemplando os três planos de desenvolvimento: fenomenológico, representacional e formal.

Figura 11 – Etapas da metodologia 6C's (PCMA)



Fonte: Elaborado pelo autor, com base em Sales (2005; 2019).

### 5.1.2 Tópicos das Metodologias Ativas

A sequência didática proposta neste estudo está fundamentada na metodologia 6Cs (Sales, 2005), cuja estrutura se organiza em seis etapas cognitivas: Consolidação, Conscientização, Constatação, Comparação, Convergência e Confirmação. Para potencializar o impacto dessa estrutura na aprendizagem dos estudantes, a proposta foi articulada à Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), em consonância com os pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel (1968).

A ABP orienta a organização dos conteúdos a partir de problemas contextualizados, elaborados com base em situações próximas à realidade dos estudantes. Esses problemas funcionam como organizadores prévios, ativando conhecimentos prévios e promovendo a necessidade de reelaboração conceitual (Barrows; Tamblyn, 1980). São aplicados principalmente nas fases iniciais da sequência didática, como Consolidação e Conscientização.

Ao longo das etapas, os estudantes são incentivados a investigar, levantar hipóteses, testar soluções e reorganizar suas concepções. Esse processo favorece a diferenciação progressiva dos conceitos científicos e a construção de significados ancorados na experiência. O papel do professor é o de mediador do percurso investigativo, orientando a sistematização das informações e a construção de relações entre fenômenos e modelos científicos.

A proposta também incorpora princípios da Cultura Maker, sobretudo no

planejamento e realização de atividades experimentais com materiais de baixo custo e reutilizáveis. Essas práticas foram concebidas como ambientes de aprendizagem colaborativos e criativos, nos quais os estudantes constroem protótipos e testam ideias de forma concreta. Essa abordagem, especialmente relevante em contextos com limitações estruturais, contribui para a materialização dos conceitos físicos e está em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010).

A articulação entre a metodologia 6Cs, a Aprendizagem Baseada em Problemas e a Cultura Maker visa criar uma experiência didática significativa, investigativa e viável, na qual o estudante atua como sujeito ativo da própria aprendizagem e o conhecimento científico se conecta diretamente ao seu contexto cotidiano.

Segundo Halloun, Abou e Hestenes (1985), o ensino de Física ainda é amplamente marcado pela adoção de metodologias tradicionais centradas na transmissão unidirecional de conteúdos. Nessa abordagem, o professor assume o papel de expositor, enquanto os estudantes permanecem como receptores passivos da informação, com pouca ou nenhuma interação dialógica.

Essa prática, embora difundida, tende a limitar o desenvolvimento de concepções físicas consistentes com os modelos científicos aceitos, privilegiando a resolução mecânica de problemas algorítmicos em detrimento da compreensão conceitual. Em resposta a essa limitação, pesquisadores e professores têm buscado metodologias que favoreçam maior engajamento dos estudantes e o aprofundamento do entendimento científico.

As metodologias ativas, nesse contexto, destacam-se por promover a participação efetiva dos alunos em situações que exigem leitura crítica, formulação de hipóteses, discussão em grupo, tomada de decisão e construção coletiva do conhecimento.

Diversos estudos reforçam os impactos positivos das metodologias ativas na aprendizagem em Ciências e Física. Von Korff *et al.* (2016) demonstraram que essas abordagens favorecem significativamente o desempenho acadêmico dos estudantes, especialmente em termos de compreensão conceitual. Prince (2004), por sua vez, destacou o aumento do engajamento dos alunos, a construção de ambientes colaborativos e a melhoria da retenção de conteúdos.

No contexto brasileiro, Lopes (2016) evidenciou que o uso de metodologias ativas no ensino superior tem promovido ganhos conceituais mensuráveis, contribuindo para a superação de dificuldades históricas no ensino de Física. Esses resultados corroboram a escolha metodológica desta pesquisa, que articula a metodologia 6Cs, a ABP e a Cultura Maker como estratégias integradas de promoção da aprendizagem significativa.

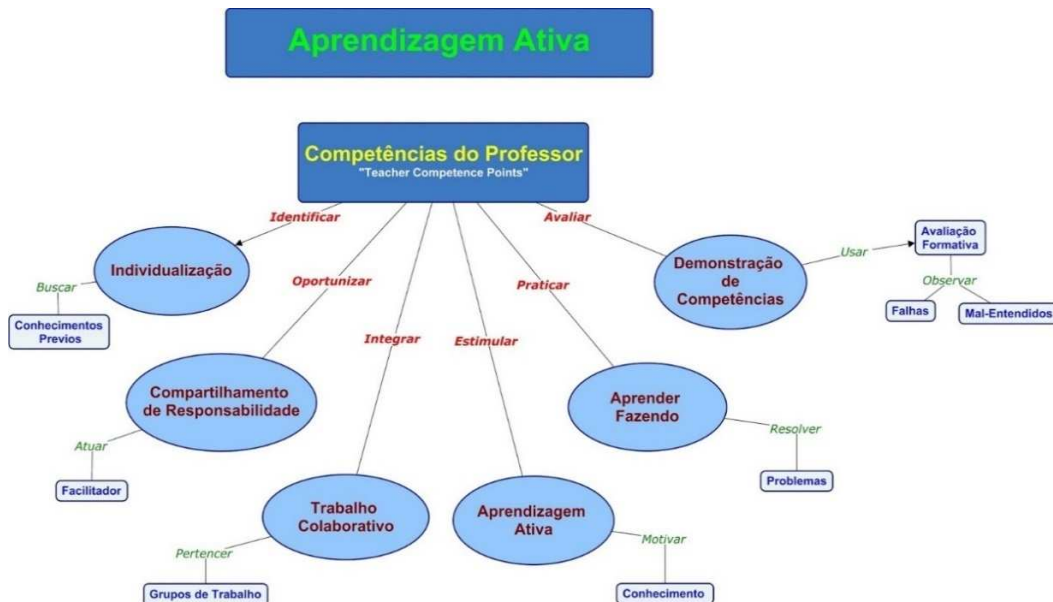


Para que o aluno se envolva ativamente no processo de aprendizagem, é necessário que ele participe de forma efetiva de atividades como leitura, escrita, formulação de perguntas, discussões em grupo e resolução de problemas. Além disso, deve ser estimulado a desenvolver operações cognitivas de ordem superior, como análise, síntese, avaliação e tomada de decisão (Bonwell; Eison, 1991; Silberman, 1996).

As estratégias de aprendizagem ativa caracterizam-se por envolver o estudante tanto na execução de tarefas quanto na reflexão sobre o que está fazendo, promovendo a construção significativa do conhecimento. Nesse ambiente, o aluno interage de forma contínua com o objeto de estudo por meio de múltiplas linguagens — oral, escrita, prática — e assume o papel de protagonista em seu percurso formativo.

Ao professor cabe o papel de mediador e facilitador da aprendizagem, criando condições para a autonomia intelectual dos estudantes, por meio da seleção de materiais potencialmente significativos, da mediação dialógica e da diversificação de estratégias didáticas (Figura 12).

Figura 12 – Aprendizagem ativa



Fonte: <https://oficinaaprendizagemativacefor.blogspot.com/2017/05/blog-post.html>.

Independentemente da estratégia adotada, a promoção da aprendizagem ativa exige o engajamento das funções mentais superiores dos estudantes, como o raciocínio, a reflexão, a observação, a interpretação e a interação. Essas habilidades, em conjunto, constituem dimensões essenciais do desenvolvimento cognitivo e, segundo Pecotche (2011), refletem a

manifestação ativa da inteligência no processo de aprendizagem.

O que caracteriza um ambiente de aprendizagem ativa não é apenas a atividade em si, mas também a atitude mental envolvida: pensar sobre o que se faz, conectar ideias, confrontar hipóteses e construir sentido. Essa postura se contrapõe à atitude passiva comumente associada ao ensino tradicional, centrado na memorização e na reprodução.

Além dos aspectos cognitivos, dois fatores desempenham papel fundamental na aprendizagem ativa: os sentimentos e a mediação docente. As emoções positivas, como curiosidade, bom humor, disposição e alegria na interação entre pares, contribuem para tornar o ambiente mais propício à aprendizagem significativa. O professor, por sua vez, deve assumir uma postura ativa e intencional, selecionando materiais potencialmente significativos, diversificando estratégias, conhecendo o perfil dos alunos e mediando esse processo com sensibilidade pedagógica e criatividade.

### ***5.1.3 Experimentos***

As práticas experimentais propostas nesta pesquisa têm como objetivo proporcionar aos estudantes oportunidades concretas de observar, manipular e testar conceitos de Eletromagnetismo, favorecendo a construção de significados por meio da experiência. Fundamentadas na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1968), essas atividades visam promover a ancoragem de novos conteúdos em estruturas cognitivas previamente existentes, tornando a aprendizagem mais substantiva e duradoura.

Em consonância com a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), os experimentos foram concebidos como parte do processo investigativo iniciado por situações-problema contextualizadas. Após o levantamento de hipóteses e a busca por soluções, os estudantes são convidados a realizar experimentações que permitam verificar ou refinar suas ideias, contribuindo para a diferenciação progressiva dos conceitos e para a reorganização de concepções alternativas. Essa etapa corresponde, principalmente, às fases de Constatação, Comparação e Convergência da metodologia 6Cs (Sales, 2005).

A realização dos experimentos é viabilizada por meio do uso de materiais alternativos e de baixo custo, respeitando as condições estruturais da escola pública e estimulando, ao mesmo tempo, a criatividade e a autonomia dos estudantes. Essa abordagem está alinhada aos princípios da Cultura Maker, compreendida como um ambiente propício à aprendizagem ativa, colaborativa e prática, no qual os alunos podem explorar ideias, construir protótipos e estabelecer conexões entre teoria e realidade.

Além de ampliar o engajamento discente, a estratégia experimental contribui para a formação científica ao permitir que conceitos abstratos, como campo elétrico, força magnética e indução eletromagnética, sejam representados por meio de atividades simples, acessíveis e replicáveis. O uso de materiais recicláveis, como fios de cobre, pilhas, pregos, papel-alumínio e ímãs, reforça o caráter sustentável da proposta e está em consonância com as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010).

Diversos autores têm apontado a importância das práticas experimentais no ensino de Física, como estratégia para tornar a aprendizagem mais significativa e para aproximar o conhecimento científico da realidade do aluno (Araújo; Abib, 2003; Thomaz, 2000). De acordo com esses autores, o ensino por meio da experimentação não apenas ilustra conteúdos, mas também pode solucionar dificuldades persistentes ao tornar visíveis fenômenos muitas vezes abstratos. Tal abordagem contribui para a formação de cidadãos críticos, capazes de compreender os avanços tecnológicos como resultado de uma construção histórica da ciência.

As práticas experimentais foram integradas de forma orgânica às diferentes fases da sequência didática 6Cs. Dependendo da etapa, os experimentos foram utilizados com diferentes finalidades: como demonstração inicial de um fenômeno, como atividade de verificação de hipóteses, ou ainda como parte de investigações conduzidas pelos próprios alunos. Essa intencionalidade metodológica está em consonância com a proposta de Araújo e Abib (2003), que identificam cinco enfoques recorrentes nas práticas experimentais: Ênfase Matemática, Grau de Direcionamento, Uso de Novas Tecnologias, Cotidiano e Montagem de Equipamentos.

Na presente pesquisa, foram utilizados diversos aparatos experimentais, tais como: uma fonte variável construída com peças reaproveitadas de computador; circuitos em série e em paralelo; a Ponte de Wheatstone; uma minibobina de Tesla; dispositivos para demonstrar o Efeito Hall; além de bobinas, bússolas, ímãs e tubos de PVC e de cobre, empregados nas demonstrações das Leis de Faraday e de Lenz.

A escolha desses experimentos buscou contemplar diferentes objetivos didáticos, promovendo a articulação entre as dimensões conceitual, procedimental e atitudinal da aprendizagem. Acredita-se que o uso planejado e variado de práticas experimentais, sejam elas demonstrativas, de verificação ou investigativas, favorece um ambiente formativo mais engajador e inclusivo, que respeita os saberes prévios dos estudantes e amplia suas possibilidades de construção do conhecimento científico.

### 5.1.4 Metodologia das aulas

A intervenção pedagógica foi aplicada em quatro turmas de 3ª série do Ensino Médio (turmas A, B, C e D), totalizando dez encontros em cada turma. As aulas foram organizadas a partir de uma sequência didática fundamentada na metodologia 6Cs/PCMA (Sales, 2005), integrada à Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e à Cultura Maker. A proposta esteve ancorada nos pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel (1968), priorizando a organização lógica dos conteúdos, a valorização dos conhecimentos prévios e a contextualização das aprendizagens.

O professor-pesquisador atuou simultaneamente como docente e observador, conduzindo as atividades com intencionalidade pedagógica e promovendo momentos de investigação, discussão e experimentação. Cada encontro teve duração média de 1h40min (exceto os dias de aplicação de testes), com distribuição semanal de três horas-aula por turma.

A seguir (Quadro 4), apresenta-se a síntese da organização didática:

Quadro 4 – Encontros com os alunos de 3ªs séries

Encontro	Duração	Atividades
1º	50 min	Apresentação da pesquisa e dos objetivos pedagógicos. Sensibilização dos estudantes quanto à proposta investigativa.
2º	50 min	Aplicação do pré-teste conceitual sobre Eletromagnetismo, visando identificar conhecimentos prévios e concepções alternativas.
3º	1h40min	Apresentação da sequência didática e introdução à proposta. Exposição dialogada sobre associação de resistores, com experimentos utilizando instrumentos simples (pilhas, fios, multímetros). Fases de Consolidação e Conscientização (6C's).
4º	1h40min	Experimentos guiados com base em roteiros. Resolução colaborativa de exercícios, constatação/comparação de concepções.
5º	1h40min	Estudo e construção de eletroímãs com materiais de baixo custo. Articulação entre teoria e prática. Uso de textos de apoio.
6º	1h40min	Introdução teórica ao motor elétrico e conceitos de força magnética. Leitura dirigida e atividades exploratórias.
7º	1h40min	Demonstração do funcionamento de motores e introdução à indução eletromagnética (Faraday e Lenz), com experimentos de bobinas e galvanômetros.
8º	1h40min	Exploração de simuladores digitais guiados por roteiros específicos. Integração entre simulação e experimentação física.
9º	1h40min	Atividade Maker: cada grupo construiu um dispositivo-resposta ao problema inicial da ABP com materiais recicláveis. Apresentação e defesa oral das soluções. Fases de Convergência e Confirmação.
10º	100 min	Aplicação do pós-teste e do questionário de avaliação da experiência.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os materiais utilizados incluíram:

- Guias experimentais com linguagem acessível e desafios de observação;
- Textos de apoio teórico organizados por temas: resistores, eletroímãs, motores e indução;
- Simuladores digitais (como PhET e Vascak);
- Problema gerador estruturado pela ABP, com espaço para investigação e resposta em grupo;
- Materiais recicláveis e de baixo custo para construção dos experimentos e protótipos finais.

Essa organização metodológica buscou equilibrar rigor conceitual com criatividade pedagógica, promovendo o protagonismo discente por meio da investigação orientada, da resolução de problemas e da experimentação. Além das atividades em aula, o planejamento foi organizado em etapas conforme o Quadro 5:

Quadro 5 – Tarefas a serem desenvolvidas dentro e fora de sala de aula

<b>Etapas</b>	<b>Atividade</b>	<b>Descrição</b>	<b>Recursos</b>	<b>Avaliação</b>	<b>Metodologia dos 6Cs</b>
<b>1</b>	Introdução ao Problema	Apresentação do problema central da ABP	Textos, vídeos, casos fictícios ou reais.	Participação e compreensão inicial	Consolidação
<b>2</b>	Identificação de Conhecimentos Prévios	Discussão e pré-teste	Brainstorming, mapeamento conceitual	Análise diagnóstica	Consolidação
<b>3</b>	Formulação de Hipóteses	Levantamento de hipóteses e perguntas	Discussões, escrita coletiva	Coerência e relevância	Conscientização
<b>4</b>	Pesquisa e Coleta de Dados	Levantamento e testes com experimentos	Internet, livros, experimentos	Pertinência dos dados	Constatação
<b>5</b>	Análise e Interpretação	Relacionamento dos dados com a teoria	Gráficos, tabelas, comparação	Capacidade de análise	Comparação
<b>6</b>	Discussão em Grupo	Socialização das descobertas	Grupos de debate	Qualidade das interações	Comparação
<b>7</b>	Desenvolvimento de Soluções	Resolução do problema da ABP	Roteiros, simulações, experimentos	Criatividade e aplicabilidade	Convergência
<b>8</b>	Apresentação Final	Defesa oral e apresentação do protótipo	Apresentações, debates	Clareza e domínio conceitual	Convergência/ Confirmação
<b>9</b>	Reflexão Final	Análise crítica da aprendizagem	Ensaaios, diário, questionário	Pós-teste e avaliação qualitativa	Confirmação

Fonte: Elaborado pelo autor.

As atividades do professor serão divididas conforme o quadro 6.

Quadro 6 – Tarefas a serem desenvolvidas pelo professor dentro e fora de sala de aula

<b>Atividades extraclasse</b>	<b>Atividades em aula</b>
<b>Preparação dos materiais didáticos</b>	Introdução dialogada com situações-problema (máx. 40 min)
<b>Envio dos materiais por Moodle e grupo das equipes</b>	Aplicação de atividades com orientação contínua
<b>Análise das dúvidas para adaptação do plano de aula</b>	Correção em tempo real com feedback formativo
<b>Correção prévia das atividades entregues</b>	Avaliação diagnóstica e formativa

Fonte: Elaborado pelo autor.

A condução metodológica priorizou o engajamento dos estudantes e o desenvolvimento da autonomia intelectual por meio de uma abordagem ativa e contextualizada. O professor assumiu o papel de mediador, favorecendo um ambiente de construção coletiva do conhecimento, em que os alunos foram incentivados a pensar, testar e apresentar soluções significativas para os problemas propostos.

### **5.1.5 Contexto da Intervenção Pedagógica**

A presente pesquisa foi desenvolvida em uma escola pública de Ensino Médio em tempo integral situada no município de Pacatuba (CE), escolhida intencionalmente por reunir características compatíveis com os objetivos da investigação: turmas de tempo integral da 3ª série do Ensino Médio, infraestrutura básica para a realização de atividades experimentais simples e adesão institucional ao projeto. A escola contava, em 2024, com aproximadamente 420 estudantes distribuídos em 12 turmas, sendo quatro delas da 3ª série, totalizando cerca de 160 alunos matriculados.

A proposta pedagógica foi implementada nessas quatro turmas, garantindo a participação integral da 3ª série e permitindo uma análise comparativa entre grupos distintos quanto ao engajamento, desempenho e percepção dos estudantes. A escolha por contemplar todas as turmas teve como objetivo assegurar a equidade no acesso à experiência formativa, bem como ampliar a base de dados qualitativos e quantitativos a partir de diferentes perfis de

turmas. A diversidade de contextos internos possibilitou observar como a proposta metodológica, fundamentada na metodologia 6Cs, na Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e nos princípios da Cultura Maker, se adaptou a grupos com distintas dinâmicas escolares.

A intervenção foi aplicada ao longo do segundo semestre letivo de 2024, com distribuição semanal de três horas-aula por turma (duas aulas de Ciências da Natureza para o Enem e uma aula de Física), totalizando dez encontros planejados por grupo. As atividades foram conduzidas pelo professor-pesquisador, que também atuou como mediador e observador participante, promovendo momentos de sensibilização, investigação, construção conceitual e experimentação prática, conforme delineado na sequência didática proposta.

Esse contexto de implementação representou um ambiente desafiador e autêntico para o desenvolvimento da pesquisa, pois refletiu condições reais de uma escola pública com recursos limitados, mas com potencial para inovação pedagógica. A intencionalidade metodológica buscou justamente articular os pressupostos teóricos da aprendizagem significativa com práticas viáveis e replicáveis, contribuindo para a formação crítica e ativa dos estudantes.

Figura 13 – Escola de Ensino Médio em Tempo Integral



Fonte: Elaborada pelo autor.

## 5.2 Metodologias de Pesquisa

Esta pesquisa caracterizou-se como um estudo de natureza aplicada, com abordagem mista (quali-quantitativa) e delineamento quase-experimental, conforme Thomas e Nelson (2012). Tratou-se de um estudo de grupo único com aplicação de pré-teste e pós-teste,

cujo objetivo foi avaliar os efeitos de uma proposta didática estruturada para o ensino de Eletromagnetismo no Ensino Médio.

Embora o pesquisador tenha atuado diretamente como professor das turmas envolvidas, a investigação não assumiu caráter etnográfico, uma vez que não houve imersão prolongada nem foco na análise das práticas culturais da comunidade escolar. A coleta de dados foi pontual e orientada pela avaliação de uma intervenção previamente planejada.

A adoção de uma abordagem mista justificou-se pela necessidade de integrar dados quantitativos e qualitativos, de modo a obter uma compreensão mais ampla dos efeitos da proposta. De acordo com Creswell (2010), estudos com métodos mistos são particularmente adequados em contextos aplicados, como o da escola pública, pois possibilitam a triangulação de dados e maior validade interpretativa. Nesse sentido, a pesquisa buscou analisar os efeitos de uma sequência didática baseada na metodologia 6Cs (Sales, 2005), articulada à Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e aos princípios da Cultura Maker, sobre a aprendizagem significativa de conteúdos de Eletromagnetismo.

O delineamento quase-experimental foi adotado devido à impossibilidade de controle total das variáveis educacionais no ambiente escolar. Não houve aleatorização dos participantes, mas foi possível comparar indicadores de aprendizagem antes e após a intervenção didática, por meio da aplicação de pré-testes e pós-testes, além da análise de registros qualitativos.

A dimensão quantitativa da pesquisa permitiu avaliar o desempenho conceitual dos estudantes com base em testes diagnósticos aplicados antes e após a sequência didática. A dimensão qualitativa complementou os achados a partir da análise das percepções dos estudantes, dos registros de aula e das observações sistemáticas realizadas durante a implementação.

A coleta de dados foi organizada em três etapas:

1. Diagnóstico inicial: aplicação de um pré-teste conceitual sobre Eletromagnetismo, com foco na identificação de concepções alternativas e no mapeamento dos conhecimentos prévios dos estudantes.
2. Implementação da sequência didática: desenvolvimento das atividades fundamentadas nos princípios da ABP e da metodologia 6C's, com integração de práticas experimentais e situações-problema contextualizadas.
3. Avaliação dos resultados:
  - Pós-teste conceitual: aplicado ao final da sequência, com estrutura equivalente ao pré-teste, para aferir a evolução conceitual.



- Questionário de percepção discente: com questões abertas e fechadas, voltado à análise do engajamento, compreensão e opinião dos estudantes sobre a proposta.
- Registros de observação: realizados pelo pesquisador durante os encontros, com foco no comportamento, na participação e nas dúvidas recorrentes dos alunos.

Os dados quantitativos foram analisados por meio de estatística descritiva (médias, medianas, frequências e comparação entre pré-testes e pós-testes). A verificação dos pressupostos para testes paramétricos, realizada pelo teste de Shapiro-Wilk, indicou que os dados não apresentavam distribuição normal ( $p < 0,005$ ). Diante disso, optou-se pela aplicação de testes inferenciais não paramétricos, utilizando-se o teste de Wilcoxon para amostras pareadas, a fim de avaliar a significância dos ganhos. Já os dados qualitativos foram tratados com base na análise de conteúdo, conforme Bardin (2016), a partir de categorias emergentes dos questionários e das observações de sala de aula.

A intervenção foi realizada com quatro turmas da 3ª série do Ensino Médio em uma escola pública da rede estadual, situada na Região Metropolitana de Fortaleza (CE). A seleção das turmas ocorreu por conveniência, de acordo com a disponibilidade da escola e a concordância da equipe gestora. A participação dos alunos foi voluntária, mediante autorização institucional e consentimento dos responsáveis legais, conforme os princípios éticos da pesquisa com seres humanos.

A seguir (Quadro 7), apresenta-se uma síntese das etapas da pesquisa, com os respectivos instrumentos utilizados, tipos de dados coletados, objetivos de análise e estratégias metodológicas adotadas para o tratamento dessas informações:

Quadro 7 – Instrumentos de coleta e estratégias de análise

<b>Etapas</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Tipo de Dado</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Análise prevista</b>
<b>Diagnóstico inicial</b>	Pré-teste conceitual	Quantitativo	Identificar concepções alternativas e nível inicial de compreensão	Estatística descritiva
<b>Implementação didática</b>	Observações de aula	Qualitativo	Registrar comportamento, dúvidas e participação	Análise de conteúdo (Bardin, 2016)
<b>Avaliação final</b>	Pós-teste conceitual	Quantitativo	Verificar evolução na aprendizagem conceitual	Estatística descritiva / Teste de Wilcoxon (W)
<b>Avaliação final</b>	Questionário de percepção discente	Qualitativo	Compreender a opinião dos alunos sobre a proposta	Análise de conteúdo (Bardin, 2016)

Fonte: Elaborada pelo autor.

### **5.2.1 Tipo de Pesquisa**

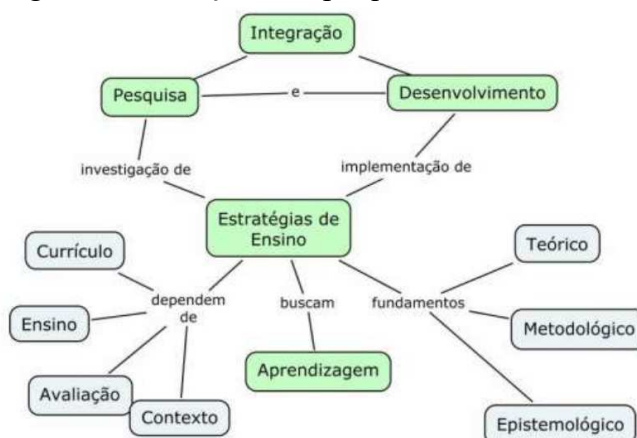
Este estudo caracterizou-se como uma pesquisa de natureza aplicada, com delineamento quase-experimental e suporte qualitativo, envolvendo um grupo único composto por quatro turmas da 3ª série do Ensino Médio em uma escola pública estadual. Foram utilizados instrumentos quantitativos (pré-testes e pós-testes) para mensurar os ganhos conceituais dos estudantes, bem como instrumentos qualitativos (questionários abertos e observações de sala de aula) para interpretar percepções, engajamento e reações dos participantes durante a intervenção.

De acordo com Araújo, Veit e Moreira (2004), promover melhorias significativas no ensino de Ciências não se resume à elaboração de materiais didáticos inovadores. É fundamental que o desenvolvimento instrucional esteja articulado a pressupostos teóricos consistentes e a pesquisas que investiguem os processos de ensino e aprendizagem. Nessa perspectiva, a presente proposta combinou o desenvolvimento de uma sequência didática com a pesquisa sistemática sobre seus efeitos formativos, tanto conceituais quanto atitudinais.

Conforme destacam Ostermann e Rezende (2009), projetos de desenvolvimento em ensino referem-se à criação de inovações didáticas, como materiais, sequências e estratégias, e são comumente encontrados em trabalhos de conclusão de mestrado profissional. Por outro lado, Moreira (2004) caracteriza a pesquisa em ensino de Ciências como uma atividade de produção de conhecimento sobre ensino, aprendizagem, currículo e formação docente, inserida em um quadro teórico-epistemológico que mantém o conteúdo científico como elemento constitutivo.

A presente tese considera que há uma relação dialógica entre desenvolvimento didático e pesquisa em ensino, alinhando-se à visão proposta por Santarosa (2011). A sequência didática elaborada não foi apenas um recurso aplicado, mas parte de um processo investigativo com objetivos científicos e educacionais articulados. Essa articulação está sintetizada na Figura 14:

Figura 14 – Relação entre pesquisa e desenvolvimento



Fonte: Santarosa (2011).

### 5.2.2 Abordagem Qualitativa

A abordagem qualitativa da presente pesquisa permitiu interpretar os significados atribuídos pelos estudantes à experiência vivida durante a aplicação da sequência didática, com especial atenção ao engajamento, à compreensão dos conceitos e às percepções sobre a proposta metodológica adotada. O corpus qualitativo foi composto por questionários abertos, observações de sala de aula e produções escritas dos estudantes.

É importante destacar que, apesar da presença do pesquisador em campo e da ênfase na interpretação das experiências escolares, o estudo não se caracteriza como etnográfico. Não houve imersão prolongada nem investigação de práticas culturais ou simbólicas da escola. O foco da investigação recaiu sobre os efeitos pedagógicos da intervenção, não sobre as dinâmicas institucionais ou culturais do ambiente escolar.

A pesquisa qualitativa, conforme Moreira (2003), tem como interesse central os significados que os participantes atribuem às suas ações e interações em contextos sociais específicos. Parte-se do princípio de que a realidade não é objetiva tampouco independente, mas socialmente construída e mediada pelas experiências dos sujeitos. Assim, o pesquisador preocupa-se mais com a compreensão do que ocorre em sala de aula do que com a identificação linear de causas. Essa abordagem valoriza a reflexividade, tanto do pesquisador quanto dos participantes, e exige uma análise detalhada e justificada dos dados (Araújo, 2009).

No âmbito do Ensino de Física, essa perspectiva é particularmente relevante, pois considera a aprendizagem como um processo de negociação de significados, envolvendo conceitos científicos, linguagem escolar e experiências pessoais. Muitas vezes, os significados atribuídos pelos estudantes aos conceitos da Física divergem daqueles aceitos pela comunidade

científica. Como apontam Toulmin (1977) e Vergnaud (1988), torna-se essencial que o professor atue como mediador dessa negociação, para que haja convergência entre os significados conotativos (pessoais) e denotativos (socialmente compartilhados).

A análise qualitativa foi orientada pela metodologia de análise de conteúdo, conforme Bardin (2016), considerando categorias emergentes a partir dos dados. A coleta de dados incluiu registros no diário de bordo, materiais produzidos pelos estudantes e anotações das discussões ocorridas durante as aulas. A credibilidade dos achados, como apontam Massoni e Moreira (2006), esteve relacionada à qualidade da análise, que exigiu síntese, organização e destaque dos elementos mais relevantes à luz dos objetivos da pesquisa.

### ***5.2.3 Abordagem Quantitativa***

A abordagem quantitativa da presente pesquisa fundamentou-se na produção de indicadores objetivos e comparáveis, com base na mensuração de padrões observáveis. Seu foco recaiu sobre tendências coletivas no desempenho conceitual dos estudantes, sem, contudo, desconsiderar os aportes qualitativos da investigação. Nesse contexto, o uso de instrumentos válidos e fidedignos foi essencial para garantir a consistência e a confiabilidade dos dados obtidos.

De acordo com Moreira (2003), a fidedignidade de um instrumento refere-se à sua estabilidade e precisão. Um teste é considerado fidedigno quando produz resultados consistentes sob as mesmas condições de aplicação. Para verificar a consistência interna do teste conceitual utilizado nesta pesquisa, foi calculado o coeficiente alfa de Cronbach, indicador estatístico que estima o grau de correlação entre os itens de um instrumento, os quais supostamente medem um mesmo construto. Conforme Moreira e Rosa (2002), valores de alfa superiores a 0,70 são considerados satisfatórios em pesquisas educacionais, especialmente quando o foco envolve atitudes ou concepções; valores acima de 0,85 são recomendáveis para instrumentos mais estruturados e homogêneos.

O teste conceitual apresentou um coeficiente alfa de Cronbach de 0,734, indicando boa consistência interna. Esse valor está dentro do intervalo recomendado para pesquisas educacionais com foco em habilidades cognitivas e conceituais (Moreira; Rosa, 2002), sugerindo que os itens do instrumento apresentam coerência interna satisfatória e avaliam de forma consistente o mesmo construto conceitual.

A análise foi realizada com base nas respostas dos estudantes da 3ª série de uma Escola de Ensino Médio em Tempo Integral, garantindo uma amostra adequada ao critério

sugerido por Silveira, Moreira e Axt (1989), que recomendam ao menos cinco respondentes por item do instrumento, a fim de reduzir a influência da flutuação estatística sobre o resultado do coeficiente.

Embora não tenha sido possível realizar uma validação formal por especialistas externos, por limitações de tempo e logística, a construção do teste conceitual baseou-se em documentos curriculares oficiais, livros didáticos amplamente utilizados na rede pública e princípios conceituais da Teoria da Aprendizagem Significativa. Reconhece-se que a validação de conteúdo por pareceristas contribuiria para reforçar a validade interna do instrumento, sendo essa uma indicação para estudos futuros.

A validade interna foi assegurada por meio da aplicação de um delineamento quase-experimental com grupo único e de pré-teste e pós-teste, possibilitando a comparação dos resultados antes e depois da intervenção. A validade externa, entendida como a possibilidade de generalizar os resultados para outras populações ou contextos, não foi um objetivo desta pesquisa. Os dados analisados se referem exclusivamente às turmas participantes, e nenhuma inferência foi feita para além do grupo investigado.

A análise dos dados quantitativos foi realizada com apoio de dois tipos de estatística, conforme Dancey e Reidy (2007):

*Estatística descritiva:* utilizada para sintetizar os dados, calcular médias e frequências, comparar os resultados do pré-teste e do pós-teste e estimar a fidedignidade do instrumento com base no alfa de Cronbach.

*Estatística inferencial:* utilizada para verificar se as diferenças entre os resultados iniciais e finais foram estatisticamente significativas. Inicialmente, a normalidade da distribuição dos dados foi avaliada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Uma vez constatada a violação do pressuposto de normalidade ( $p < 0,05$ ), optou-se pela aplicação do teste não paramétrico de Wilcoxon para amostras pareadas.

A aplicação do mesmo teste conceitual no início e ao final da sequência visou garantir a comparabilidade entre os dados. Ainda assim, conforme aponta Ausubel (2002), um dos principais indícios de aprendizagem significativa é a capacidade de os alunos aplicarem os conceitos aprendidos em contextos diferentes daqueles em que foram ensinados. Para avaliar essa dimensão, buscou-se uma triangulação entre os dados quantitativos e os qualitativos, a fim de compreender não apenas se houve avanço conceitual, mas como esse avanço se manifestou nas ações, discursos e percepções dos estudantes durante a intervenção.

### **5.2.4 As etapas da pesquisa**

A investigação foi desenvolvida a partir de um conjunto de etapas organizadas de modo a garantir coerência entre os objetivos, a fundamentação teórica e os procedimentos metodológicos adotados. As etapas seguiram a seguinte ordem:

1. Revisão da literatura sobre a metodologia 6Cs, metodologias ativas (com ênfase na Aprendizagem Baseada em Problemas) e práticas experimentais com materiais acessíveis no ensino de Física;
2. Estudo dos conteúdos de Eletromagnetismo previstos para o 3º ano do Ensino Médio, conforme a BNCC e os materiais didáticos utilizados na rede pública estadual do Ceará;
3. Elaboração da sequência didática, integrando os princípios da metodologia 6Cs, da ABP e da Cultura Maker, com inserção de atividades experimentais de baixo custo;
4. Construção do teste conceitual (pré-teste e pós-teste) com base em documentos curriculares oficiais e referenciais teóricos sobre aprendizagem significativa, abordando os conceitos-chave da unidade de Eletromagnetismo;
5. Aplicação do instrumento a uma amostra de estudantes, com o objetivo de calcular o coeficiente alfa de Cronbach e verificar a fidedignidade do teste;
6. Refinamento do instrumento com base na análise estatística, considerando o desempenho dos itens e sua contribuição à consistência interna do teste;
7. Implementação da sequência didática nas quatro turmas da 3ª série em uma Escola Estadual de Ensino Médio em Tempo Integral (EEMTI), incluindo a aplicação do pré-teste, o desenvolvimento das atividades e a aplicação do pós-teste;
8. Aplicação de questionários abertos e registro de observações sistemáticas, com o objetivo de compor o corpus qualitativo da pesquisa;
9. Análise dos dados quantitativos e qualitativos, com base em estatística descritiva e inferencial, análise de conteúdo e triangulação dos resultados;
10. Produção de artigos científicos, com base nos dados obtidos e nas reflexões teórico-metodológicas geradas ao longo da investigação.

### **5.2.5 Coleta de dados**

A coleta de dados foi conduzida com base em um delineamento quase-experimental para amostras temporais equivalentes, conforme proposto por Campbell e Stanley (1979). Nesse modelo, múltiplas observações (representadas por “O”) foram realizadas em momentos

distintos, intercaladas pela aplicação de um tratamento pedagógico específico (“X”), conforme o esquema a seguir:

$$O_1 \text{ X } O_2 \text{ X } O_3 \text{ X } O_4 \text{ X } O_5 \text{ X } O_6$$

Essas observações abrangeram tanto instrumentos quantitativos quanto qualitativos, utilizados de forma integrada ao longo da intervenção.

A abordagem adotada privilegiou o uso complementar de métodos qualitativos e quantitativos, conforme a perspectiva de Eisner (1981), que defende a necessidade de múltiplos olhares para a compreensão do fenômeno educativo. Para o autor, o uso de uma única lente metodológica compromete a profundidade analítica do estudo: “olhar através de uma só lente nunca proporcionou muita profundidade de campo” (Eisner, 1981, p. 13).

Nesse sentido, os instrumentos utilizados foram organizados da seguinte forma:

*(i) Instrumentos Quantitativos:*

- Pré-teste e pós-teste conceituais: compostos pelas mesmas questões, aplicados antes e após a intervenção didática, visando aferir o desempenho conceitual dos estudantes, identificar concepções alternativas e avaliar possíveis indícios de aprendizagem significativa.
- Prova final objetiva e discursiva: incorporada como parte da avaliação somativa escolar, e também analisada em sua dimensão diagnóstica.

*(ii) Instrumentos Qualitativos:*

- Questionários de percepção discente: com questões abertas e fechadas sobre a experiência vivenciada, o engajamento e a avaliação da metodologia.
- Mapas conceituais e mentais: elaborados pelos estudantes durante a sequência didática, permitindo identificar estruturas cognitivas e reorganizações conceituais.
- Resolução de situações-problema: analisadas com base na argumentação e na coerência conceitual mobilizada.
- Roteiros de experimentação e relatórios em grupo: como expressões da apropriação conceitual e da integração com a prática.
- Autoavaliações e diários de bordo: utilizados como fonte de metacognição e de registro reflexivo do processo de aprendizagem.
- Observações sistemáticas: realizadas pelo professor-pesquisador ao longo da intervenção, com o registro de comportamentos, interações, dúvidas frequentes e indicadores de engajamento.

A coleta permitiu uma abordagem abrangente do fenômeno investigado, com dados triangulados para responder às questões de pesquisa. Os dados quantitativos foram submetidos

à análise estatística descritiva e inferencial, enquanto os qualitativos foram tratados segundo os princípios da análise de conteúdo (Bardin, 2016), permitindo a identificação de categorias emergentes e padrões interpretativos consistentes.

### ***5.2.6 Estratégias de Análise dos dados***

A análise dos dados coletados nesta pesquisa teve como objetivo responder à questão central do estudo: Como a integração entre a metodologia 6Cs, a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a Cultura Maker impacta a aprendizagem significativa em Eletromagnetismo no Ensino Médio? Para isso, adotou-se uma abordagem mista, com o intuito de integrar evidências quantitativas e qualitativas de forma complementar e triangulada.

#### ***5.2.6.1 Análise dos dados quantitativos***

Os dados quantitativos provenientes dos pré-testes e pós-testes foram analisados por meio de estatística descritiva, com cálculo de médias, desvios-padrão e porcentagens de acertos por questão, visando identificar ganhos conceituais, persistência de dificuldades e padrões de desempenho. Para verificar a significância estatística das diferenças entre os testes, a normalidade dos dados foi primeiramente avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk. Uma vez que o pressuposto de normalidade não foi atendido ( $p < 0,005$ ), optou-se pela aplicação do teste não paramétrico de Wilcoxon para amostras pareadas.

A fidedignidade do teste conceitual foi avaliada com base no coeficiente alfa de Cronbach, que apresentou o valor de 0,734, indicando boa consistência interna. Embora não tenha sido possível realizar validação formal por especialistas externos, o instrumento foi elaborado com base em documentos curriculares oficiais, materiais didáticos amplamente utilizados na rede pública e fundamentos da Teoria da Aprendizagem Significativa. Essa estratégia foi adotada para assegurar a validade de conteúdo mínima necessária à análise quantitativa.

#### ***5.2.6.2 Análise dos dados qualitativos***

Os dados qualitativos, oriundos de questionários abertos, observações do professor-pesquisador, roteiros experimentais, apresentações das equipes, autoavaliações e registros reflexivos, foram submetidos à análise de conteúdo, conforme Bardin (2016). As informações



foram organizadas em categorias temáticas emergentes, articuladas aos fundamentos da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, a fim de interpretar indícios de reorganização conceitual ao longo da sequência didática.

As produções escritas e orais dos estudantes (relatórios, apresentações, contratos de trabalho em grupo) também foram analisadas pela “técnica de frequência de ocorrência” (Bardin, 2011, p. 54), identificando a presença, ausência e evolução de conceitos-chave ao longo do processo. Essa análise visou diferenciar manifestações de aprendizagem significativa de situações de simples memorização mecânica.

Os mapas conceituais e mentais elaborados pelos estudantes foram avaliados com base nos critérios propostos por Novak e Gowin (1984), considerando-se: (i) o número de proposições válidas, (ii) os níveis hierárquicos, (iii) as ligações cruzadas, (iv) os exemplos concretos e (v) a comparação com um mapa de referência elaborado pelo professor. Essa estratégia permitiu inferir tanto a estrutura cognitiva dos estudantes quanto a profundidade da compreensão conceitual construída durante a intervenção.

#### *5.2.6.3 Integração dos dados (triangulação)*

A triangulação dos dados oriundos de diferentes fontes visou a construir uma compreensão mais ampla e confiável do fenômeno estudado, conforme defende Eisner (1981), ao propor uma abordagem de “visão binocular” do processo educativo. A análise integrada buscou revelar não apenas os efeitos da proposta didática no desempenho conceitual, mas também os impactos sobre os aspectos atitudinais, procedimentais e metacognitivos da aprendizagem em Física.

#### *5.2.7 Aspectos Éticos*

A presente pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal do Ceará (CEP/UFC), em conformidade com a Resolução CNS nº 510/2016, que regulamenta estudos nas áreas das Ciências Humanas e Sociais. O parecer consubstanciado nº 6.934.375, vinculado ao CAAE 78238024.9.0000.5054, autorizou a realização da investigação junto aos estudantes da Educação Básica.

A coleta de dados envolveu estudantes da 3ª série de uma Escola Estadual de Ensino Médio em Tempo Integral (EEMTI), mediante autorização institucional e assinatura dos Termos de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) pelos responsáveis legais, além dos

Termos de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) pelos próprios estudantes, quando aplicável.

Durante toda a pesquisa, foram assegurados os seguintes princípios éticos:

- O anonimato e a confidencialidade das informações coletadas;
- A voluntariedade da participação dos estudantes;
- O direito à desistência em qualquer etapa do processo, sem prejuízos de ordem

acadêmica ou pessoal.

O pesquisador, que também atuou como docente das turmas participantes, comprometeu-se a garantir o acesso equitativo à proposta didática a todos os alunos, respeitando a igualdade de oportunidades no processo educativo. Também se comprometeu a compartilhar os resultados da pesquisa com a comunidade escolar, em linguagem acessível, reforçando o princípio da devolutiva pública dos estudos aplicados. Ao término do projeto, será enviado um relatório final ao Comitê de Ética, conforme determina o protocolo aprovado.

Esse conjunto de cuidados visou assegurar que a pesquisa não apenas respeitasse as normas legais, mas também contribuísse eticamente com a comunidade investigada, respeitando sua dignidade, autonomia e protagonismo no processo educativo.

## 6 RESULTADOS

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos a partir da aplicação da sequência didática fundamentada no modelo teórico SIGMA, que articula a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e os princípios da Cultura Maker. A proposta foi implementada em quatro turmas da 3ª série do Ensino Médio de uma escola pública de tempo integral localizada no município de Pacatuba (CE). A coleta de dados foi realizada por meio de instrumentos qualitativos e quantitativos, distribuídos ao longo das etapas de pré-intervenção, durante a intervenção e pós-intervenção pedagógica.

A análise dos resultados está organizada em três seções principais. Inicialmente, é apresentada a caracterização dos participantes, com foco em aspectos como faixa etária e distribuição por turma. Em seguida, discutem-se os dados quantitativos obtidos a partir da aplicação de pré-testes e pós-testes, com o objetivo de identificar possíveis evidências de aprendizagem significativa dos conteúdos de Eletromagnetismo. Por fim, são examinadas as percepções dos estudantes sobre a proposta didática, com base em um questionário de satisfação composto por questões abertas e fechadas, voltado à análise das dimensões afetivas, metodológicas e conceituais da experiência vivida.

Essa abordagem busca articular os dados empíricos às categorias teóricas previamente discutidas, de modo a evidenciar os efeitos da intervenção tanto no desempenho conceitual quanto no engajamento e nas atitudes dos estudantes em relação à aprendizagem da Física.

### 6.1 Caracterização dos Participantes

A presente pesquisa foi desenvolvida com alunos da 3ª série do Ensino Médio de uma escola pública localizada no Ceará. A amostra envolveu quatro turmas: 3º A, 3º B, 3º C e 3º D, totalizando inicialmente 100 estudantes. A distribuição por turma ficou da seguinte forma: 28 alunos na turma 3º A, 27 alunos na turma 3º B, 18 alunos na turma 3º C e 27 alunos na turma 3º D.

No que diz respeito à faixa etária dos participantes, observa-se uma predominância de adolescentes com 17 e 18 anos. A distribuição etária ficou assim composta:

- 1 aluno com 16 anos;
- 50 alunos com 17 anos;

- 41 alunos com 18 anos;
- 5 alunos com 19 anos;
- 3 alunos com 20 anos.

Essa distribuição etária reflete a realidade do Ensino Médio em escolas públicas brasileiras, nas quais a defasagem idade-série ainda é frequente, especialmente em contextos de maior vulnerabilidade social.

As atividades de ensino ocorreram ao longo de dez encontros presenciais, com carga horária total de 13 horas e 50 minutos por turma. Durante esse período, foram aplicados o pré-teste, a sequência didática estruturada segundo o modelo SIGMA e, ao final, o pós-teste e o teste de satisfação.

O número de respondentes variou entre os instrumentos aplicados, em razão de ausências pontuais por motivos de saúde, compromissos pessoais ou faltas não justificadas. Assim, participaram do pré-teste 100 alunos; do pós-teste, 97 alunos; e do teste de satisfação, 82 alunos. Ainda assim, o número de respostas foi suficiente para uma análise estatística confiável e para a identificação de indícios de aprendizagem significativa, considerando que amostras com mais de 30 participantes por grupo são geralmente aceitas como adequadas para testes paramétricos em pesquisas educacionais (Beskar; Jogdand; Naqvi, 2023). Além disso, como as perdas foram pontuais e não sistemáticas, o impacto na validade interna da pesquisa foi considerado mínimo, desde que o grupo restante mantenha sua representatividade (Attrition Bias, 2022).

## **6.2 Análise Estatística dos Efeitos Conceituais da Intervenção Didática**

Com o intuito de avaliar os efeitos conceituais da proposta didática fundamentada no modelo SIGMA, foi realizada uma análise estatística dos resultados obtidos nos testes aplicados antes e após a intervenção. Participaram desta etapa 73 estudantes que responderam a ambas as avaliações, possibilitando uma comparação emparelhada dos desempenhos individuais.

A média de acertos no pré-teste foi de 5,18 pontos ( $DP = 2,64$ ), enquanto no pós-teste subiu para 7,08 pontos ( $DP = 3,23$ ), em uma escala de 0 a 16 pontos. Esse crescimento representa um ganho absoluto médio de 1,90 pontos, evidenciando avanços na aprendizagem conceitual dos estudantes. As estatísticas descritivas dos escores obtidos estão sintetizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas do pré-teste, pós-teste e ganho (n = 73)

<b>Estatística</b>	<b>Pré-teste</b>	<b>Pós-teste</b>	<b>Ganho</b>
<b>N</b>	73	73	73
<b>Média</b>	5,18	7,08	1,90
<b>Mediana</b>	5,00	7,00	2,00
<b>Desvio Padrão</b>	2,64	3,23	3,09
<b>Variância</b>	6,96	10,44	9,53
<b>Mínimo</b>	1	2	-6
<b>Máximo</b>	13	15	14
<b>Q1</b>	3,00	5,00	0,00
<b>Q3</b>	7,00	9,00	4,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para interpretar o impacto da intervenção de forma mais criteriosa, foi calculado o ganho normalizado de Hake, que resultou em  $g = 0,1756$ . Segundo a classificação original de Hake (1998) e reafirmada por Esser e Clement (2023), valores de  $g < 0,3$  caracterizam ganhos baixos, o que é comum em contextos de ensino tradicional ou em populações escolares com desempenho inicial reduzido. Ainda assim, trata-se de um indicador positivo de avanço, principalmente considerando o contexto de escola pública e as condições reais de aplicação.

Esse resultado é consistente com pesquisas similares em Ensino de Física, como Silva, Sales e Castro (2019), que obtiveram um ganho de 0,38 ao aplicar uma estratégia baseada em gamificação, e Alexandre (2021), que alcançou 0,40 com lousa digital. O valor obtido neste estudo, portanto, está dentro da faixa esperada para intervenções didáticas estruturadas, ainda que de curta duração.

Complementarmente, o tamanho do efeito, calculado pela métrica  $r$  (para testes não paramétricos), foi de 0,33, o que representa um efeito moderado de acordo com as diretrizes de Cohen (1988) para a interpretação dessa medida. Para avaliar a normalidade dos dados, foram utilizados os testes de Shapiro-Wilk e de D'Agostino-Pearson. Como os dados não seguiram a distribuição normal, utilizou-se o teste de Wilcoxon para as análises. Para a análise dos dados, utilizou-se o programa GraphPad Prism 6.0, e foram considerados significativos os valores de  $p < 0,05$ . A Tabela 2 resume os principais resultados da análise inferencial.

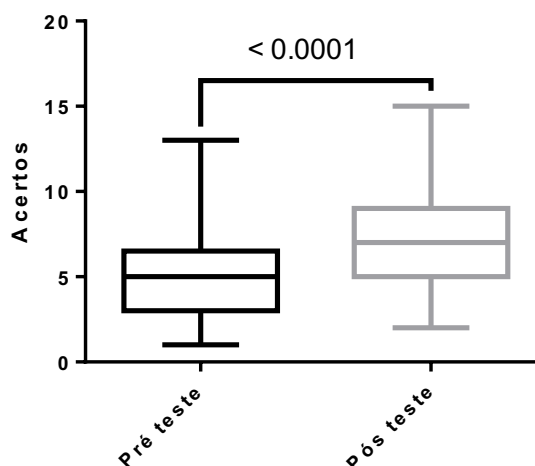
Tabela 2 – Resultados do ganho de Hake e tamanho do efeito (n = 73)

<b>Teste Estatístico</b>	<b>Valor</b>	<b>Interpretação</b>
<b>Graus de liberdade</b>	gl = 72	-
<b>Valor p</b>	$p < 0,001$	Altamente significativo
<b>r</b>	$r = 0,33$	Efeito moderado
<b>Ganho de Hake</b>	$g = 0,1756$	Ganho baixo
<b>IC 95% para diferença</b>	[1,14; 2,66]	Intervalo de confiança

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 15 apresenta um gráfico comparativo entre as médias obtidas no pré-teste e no pós-teste, com barras de erro representando o erro padrão da média. Os dados permitem visualizar o deslocamento positivo nos escores da turma.

Figura 15 – Comparação entre as médias de pontuação no pré e pós-teste (n = 73)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esses resultados reforçam a hipótese de que a integração entre a metodologia 6Cs, a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a Cultura Maker, fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa, tem potencial para promover avanços conceituais mensuráveis mesmo em contextos de ensino desafiadores. Embora 64,4% dos alunos tenham melhorado o desempenho, o fato de 20,5% apresentarem queda aponta para a complexidade do processo de aprendizagem e para a necessidade de examinar mais de perto os fatores qualitativos envolvidos. Isso será discutido na seção seguinte, dedicada à análise das percepções dos estudantes sobre a experiência vivida.

A Tabela 3 apresenta a distribuição dos estudantes segundo o tipo de variação no desempenho.

Tabela 3 – Frequência e percentual de estudantes por tipo de variação no desempenho

<b>Categoria</b>	<b>Frequência</b>	<b>Percentual</b>	<b>Ganho Médio</b>
<b>Melhoraram</b>	47	64,4%	+4,19 pontos
<b>Pioraram</b>	15	20,5%	-2,27 pontos
<b>Mantiveram</b>	11	15,1%	0,00 pontos
<b>Total</b>	73	100%	1,90 pontos

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 6.3 Comparação com estudos correlatos

A análise estatística dos dados obtidos nesta pesquisa revelou um ganho de Hake de 0,1756, um tamanho do efeito ( $r$ ) de 0,33, e o teste de Wilcoxon pareado demonstrou uma diferença estatisticamente significativa entre os desempenhos pré e pós-intervenção. Embora o ganho de Hake seja classificado como baixo conforme a proposta original de Hake (1998), o valor de  $r$  indica um efeito moderado a alto, reforçando a eficácia da proposta metodológica baseada na articulação entre a metodologia 6Cs, a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a Cultura Maker.

Os resultados dialogam com estudos recentes que aplicaram metodologias ativas no ensino de Física e reportaram efeitos semelhantes ou complementares. Silva, Sales e Castro (2019), ao utilizar a gamificação em turmas do Ensino Médio, relataram um ganho de Hake de 0,38, contra 0,11 no grupo controle. Embora o valor obtido nesta pesquisa seja inferior, deve-se considerar que os contextos diferem quanto à duração, foco temático e características da amostra. Além disso, o tamanho de efeito registrado nesta pesquisa ( $r = 0,33$ ) supera o tamanho de efeito reportado em muitos estudos da área.

Cabe destacar que, diferentemente da presente pesquisa, os estudos comparados não empregaram um modelo integrador como o SIGMA, que articula a sequência didática 6Cs com a ABP e a Cultura Maker em um mesmo desenho metodológico. Essa originalidade amplia a relevância dos resultados encontrados, mesmo quando comparados a intervenções de maior duração ou com amostras universitárias.

Quibao *et al.* (2018) realizaram uma investigação com 599 alunos do ensino superior, comparando abordagens tradicionais ao uso de Peer Instruction. O grupo experimental obteve um ganho de Hake de 0,38, o dobro do grupo tradicional (0,19). Mesmo em um contexto universitário, os achados reforçam que abordagens centradas no aluno, com mediação ativa e foco na reorganização conceitual, tendem a resultar em um maior desempenho, o que é corroborado pelos efeitos estatísticos observados na presente pesquisa.

O estudo de Araújo, Ximenes e Romeu (2024), por sua vez, registrou um ganho de Hake de 0,75 no ensino do experimento de Young, empregando uma abordagem ativa com mediação didática estruturada. Embora o conteúdo e a amostra sejam distintos, o resultado destaca o potencial das práticas investigativas, sobretudo quando conectadas aos conhecimentos prévios dos estudantes, princípio compartilhado pela metodologia 6Cs e pela ABP, utilizadas nesta tese.

Adicionalmente, a meta-análise de Medeiros Júnior *et al.* (2024) sobre o uso das simulações PhET demonstrou que as abordagens baseadas em visualização interativa promovem ganhos conceituais superiores em relação ao ensino tradicional. Nesta pesquisa, embora o foco tenha sido nas práticas experimentais com materiais acessíveis, os simuladores digitais também foram utilizados como recurso complementar, o que contribui para a ativação cognitiva visual e reforça os efeitos observados..

Dessa forma, ainda que o ganho de Hake obtido nesta pesquisa esteja abaixo da média de outros estudos correlatos, o tamanho de efeito moderado identificado ( $r = 0,33$ ), aliado à significância estatística robusta ( $W = 1431$ ;  $p < 0,0001$ ) e à coerência metodológica da intervenção, sustentam a eficácia da proposta didática frente aos desafios específicos do ensino de Eletromagnetismo na escola pública.

## 6.4 Análise da Percepção dos Estudantes

A análise qualitativa das percepções dos estudantes foi realizada a partir dos dados obtidos nos questionários abertos aplicados ao final da intervenção. As respostas foram organizadas em três dimensões analíticas: afetiva, metodológica e conceitual — definidas com base nos objetivos da pesquisa e na literatura sobre aprendizagem significativa. A categorização seguiu os procedimentos da análise de conteúdo (Bardin, 2016), e os achados são ilustrados por fragmentos representativos dos discursos dos estudantes. A triangulação com os dados quantitativos foi utilizada como estratégia de validação e aprofundamento interpretativo.

### 6.4.1 Dimensão Afetiva: Sentimentos Relatados

Um número expressivo de estudantes expressou sentimentos positivos em relação à experiência, utilizando termos como “interessante”, “inovador”, “legal” e “divertido”. As respostas sugerem uma mudança perceptiva em relação à disciplina de Física, frequentemente associada a dificuldades ou desmotivação (Figura 16).

*“Foi uma experiência diferente, gostei bastante de participar e achei muito divertida.”*

*“Me senti animado com as aulas, normalmente não gosto de Física, mas dessa vez foi diferente.”*

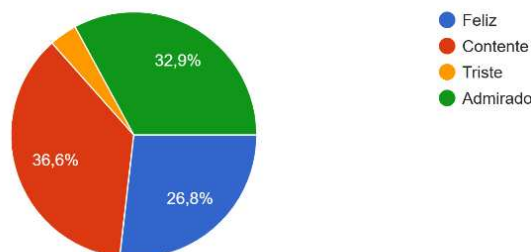
*“É sempre bom sair um pouco da rotina das aulas normais, nos incentiva.”*

*“Gostei muito não tenho o que reclamar, todo o projeto foi incrível e eu amei.”*



Figura 16 – Sentimentos expressos pelos alunos após a implementação da pesquisa

Caro aluno como você se sentiu participando dessa experiência de ensino sobre Eletromagnetismo?  
82 respostas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esses relatos apontam para um aumento na motivação e na disposição afetiva para aprender, condição considerada fundamental para a aprendizagem significativa segundo Ausubel (1968).

#### 6.4.2 Dimensão Metodológica: Avaliação das Estratégias Utilizadas

Os estudantes valorizaram fortemente a abordagem metodológica adotada, destacando o uso de práticas experimentais, a participação ativa nas aulas e a clareza das explicações. Houve reconhecimento explícito do papel do professor como mediador e facilitador do processo de aprendizagem (Figura 17).

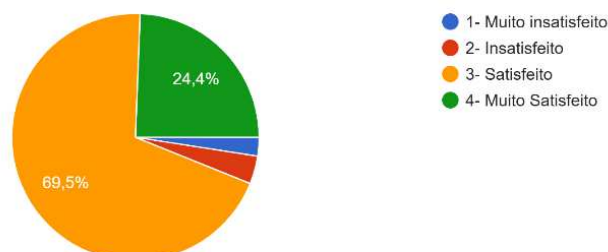
*“Os experimentos foram muito bons. Aprendi mais vendo na prática como as coisas funcionam.”*

*“Gostei da maneira como o professor explicou com calma e deixou a gente participar das montagens.”*

Esses relatos reforçam a importância das metodologias ativas e da mediação qualificada, elementos centrais do modelo SIGMA e da proposta investigada.

Figura 17 – Avaliação dos alunos acerca do potencial do projeto no ensino do eletromagnetismo

Caro aluno como avalia essa proposta de ensino dos conteúdos de eletromagnetismo?  
82 respostas



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 6.4.3 Dimensão Conceitual: Percepções sobre a Aprendizagem

Apesar do uso predominante de linguagem cotidiana, muitos estudantes relataram apropriação de conceitos científicos como campo magnético, eletroímã e indução eletromagnética. Isso indica um movimento de reorganização conceitual consistente com a perspectiva da aprendizagem significativa.

*“Entendi melhor como funciona o eletroímã e como a eletricidade pode virar movimento.”*

*“Agora sei o que é indução eletromagnética, que eu nunca tinha entendido antes.”*

Tais manifestações revelam que, mesmo sem o vocabulário técnico, os alunos demonstraram entendimento funcional dos fenômenos físicos, o que pode ser interpretado como indício de ancoragem de novos conhecimentos em estruturas cognitivas pré-existentes.

#### 6.4.4 Conexões e Triangulação com os Dados Quantitativos

As percepções qualitativas positivas são coerentes com os dados quantitativos, que evidenciaram uma diferença mediana significativa de 2,00 pontos no desempenho (teste de Wilcoxon,  $W = 1431$ ;  $p < 0,0001$ ) e um efeito moderado ( $r = 0,33$ ). A associação entre entusiasmo relatado e melhora nos escores sugere que o engajamento afetivo e o envolvimento com a metodologia atuaram como fatores de reforço na aprendizagem conceitual.

A aceitação da abordagem adotada também foi confirmada pela resposta à pergunta: “Você gostaria de mais aulas com essa metodologia?”. A Figura 18 evidencia uma adesão

majoritária à proposta pedagógica, com prevalência de respostas afirmativas. Esse dado reforça o potencial de replicabilidade da metodologia 6Cs integrada à ABP e à Cultura Maker em outras disciplinas e contextos escolares.

Figura 18 – Interesse dos estudantes por novas aulas com a metodologia aplicada



Fonte: Elaborado pelo autor.

A despeito do ganho de Hake relativamente baixo, os relatos espontâneos de interesse, compreensão e motivação indicam que a proposta didática teve impacto além do cognitivo, promovendo um ambiente de aprendizagem mais ativo, participativo e receptivo ao conteúdo científico. Esses achados justificam a importância da análise integrada e do uso de métodos mistos, conforme propõe Eisner (1981).

## 6.5 Discussão dos Resultados à Luz dos Objetivos da Pesquisa

### 6.5.1 Síntese dos Principais Achados

A presente investigação, conduzida com 73 estudantes do Ensino Médio, evidenciou avanços mensuráveis na aprendizagem de conceitos de Eletromagnetismo. A média de acertos evoluiu de 5,18 no pré-teste para 7,08 no pós-teste, em uma escala de 0 a 16 pontos, resultando em um ganho absoluto médio de 1,90 pontos.

O ganho de Hake calculado ( $g = 0,1756$ ) situou-se na faixa considerada baixa ( $g < 0,30$ ), segundo a classificação proposta por Hake (1998) e reafirmada por Esser e Clement (2023). Contudo, a interpretação isolada desse índice pode subestimar o impacto da intervenção. Esta inferência é fortalecida pelo tamanho do efeito moderado ( $r = 0,33$ ), calculado a partir do teste não paramétrico, e pela própria aplicação do teste de Wilcoxon para amostras

pareadas, que confirmou a significância estatística da diferença observada ( $W = 1431$ ;  $p < 0,0001$ ). Em conjunto, esses resultados sustentam que a intervenção pedagógica resultou em ganhos conceituais relevantes tanto do ponto de vista estatístico quanto educacional.

### ***6.5.2 Interpretação à luz dos objetivos da pesquisa***

O objetivo central da pesquisa consistia em avaliar se a aplicação de uma sequência didática estruturada com base no modelo SIGMA, integrando a metodologia 6Cs, a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a Cultura Maker, poderia promover avanços significativos na compreensão dos conceitos de Eletromagnetismo por estudantes do Ensino Médio.

Os dados analisados indicam que a intervenção pedagógica resultou em ganhos conceituais estatisticamente significativos e em indicadores qualitativos de apropriação ativa dos conteúdos, confirmando a hipótese de que metodologias ativas fundamentadas teoricamente e articuladas a práticas contextualizadas são eficazes mesmo em ambientes escolares marcados por desafios estruturais e socioeconômicos.

A consistência entre os resultados quantitativos, como o efeito moderado ( $r = 0,33$ ), a significância estatística robusta ( $W = 1431$ ;  $p < 0,0001$ ) e os relatos qualitativos de maior motivação, participação e compreensão conceitual, reforça que a proposta didática atingiu os objetivos pedagógicos traçados. Esses resultados validam o modelo SIGMA como um arranjo metodológico promissor para o ensino de Física em contextos públicos e desafiadores, ao aliar rigor teórico, intencionalidade pedagógica e viabilidade prática.

### ***6.5.3 Articulação com o Referencial Teórico***

À luz da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (2003), a apropriação conceitual ocorre quando novas informações são ancoradas a estruturas cognitivas pré-existentes, denominadas subsunçores. A sequência didática estruturada segundo o modelo SIGMA favoreceu esse processo ao combinar ativação de conhecimentos prévios, resolução de situações-problema contextualizadas e experimentação concreta com materiais acessíveis, princípios coerentes com a TAS, a ABP e a Cultura Maker.

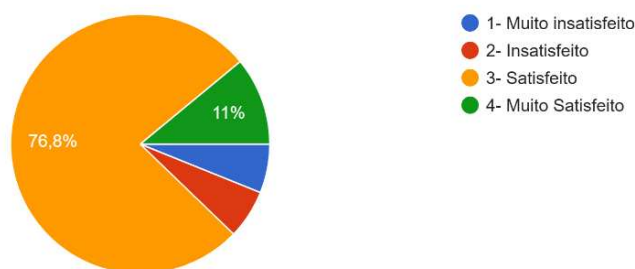
Quando questionados sobre a significância da experiência, a maior parte dos estudantes classificou a vivência como satisfatória ou muito satisfatória (Figura 19). Isso se alinha à TAS (Ausubel, 2003), que pressupõe a ancoragem do novo conhecimento em estruturas

cognitivas pré-existent, reforçadas pelo engajamento e pela relevância percebida dos conteúdos.

Figura 19 – Percepção de significância da experiência pedagógica vivenciada

Essa experiência de Sequência Didática aliada a experimentos reais e/ou experimentais foi significativa para você caro participante?

82 respostas



Fonte: Elaborado pelo autor.

A construção progressiva do conhecimento ao longo das etapas da metodologia 6C's possibilitou que os estudantes reorganizassem conceitualmente suas ideias, especialmente por meio da problematização, da comparação entre concepções alternativas e científicas, e da confirmação prática com base em experimentos e representações matemáticas.

Do ponto de vista avaliativo, conforme argumentam Esser e Clement (2023), o uso de pré-testes e pós-testes combinados ao cálculo do ganho normalizado de Hake permite mensurar a aprendizagem conceitual de maneira objetiva, especialmente útil em estudos aplicados. Embora o valor de  $g = 0,1756$  seja classificado como baixo, esse resultado está em consonância com estudos similares realizados em escolas públicas, como Silva, Sales e Castro (2019), que reportaram  $g = 0,38$ , e Alexandre (2021), com  $g = 0,40$ . Tais valores, embora numericamente distintos, compartilham o desafio de operacionalizar metodologias ativas em ambientes escolares com limitações materiais e heterogeneidade cognitiva.

Resultados convergentes foram identificados no estudo de Huguenin (2022), que investigou a implementação de metodologias ativas em disciplinas de Ciências Exatas no ensino superior. A pesquisa revelou um crescimento significativo nas taxas de aprovação, que evoluíram de 20% para 70% em turmas que adotaram estratégias pedagógicas baseadas na aprendizagem por problemas e na sala de aula invertida. Esses achados apresentam sintonia com os resultados obtidos no presente estudo, particularmente no que diz respeito à elevação do desempenho acadêmico médio e ao engajamento discente em propostas pedagógicas que

privilegiam a participação ativa e a construção colaborativa do conhecimento.

Assim, os dados obtidos não apenas confirmam a viabilidade teórico-prática da proposta fundamentada na TAS, mas também reforçam a pertinência do modelo SIGMA como um caminho possível para promover a aprendizagem significativa em contextos educacionais reais.

#### ***6.5.4 Implicações Pedagógicas***

A intervenção baseada no modelo SIGMA demonstrou potencial efetivo para ampliar tanto o engajamento quanto a aprendizagem conceitual dos estudantes. O fato de 64% dos participantes apresentarem melhora de desempenho, com ganho médio de 4,19 pontos entre estes, indica que a proposta vai além da simples transmissão de conteúdo: ela mobiliza os estudantes em torno de problemas autênticos, experiências compartilhadas e práticas colaborativas de construção do conhecimento.

A análise qualitativa reforçou esse impacto ao revelar sentimentos de interesse, valorização da prática e maior clareza sobre os conceitos científicos trabalhados. Tais indicadores apontam para uma mudança na relação dos estudantes com a disciplina de Física, tradicionalmente percebida como abstrata e desmotivadora. A integração entre investigação, experimentação e mediação ativa mostrou-se eficaz para resgatar o protagonismo discente e tornar a sala de aula um espaço mais dinâmico e significativo.

Do ponto de vista pedagógico, os resultados sugerem que o modelo SIGMA pode ser replicado, adaptado e integrado a propostas curriculares que busquem conciliar inovação metodológica com viabilidade prática, sobretudo em escolas públicas com recursos limitados. O uso de materiais acessíveis, organização lógica do conteúdo e estratégias de aprendizagem ativa, como a ABP, demonstraram ser uma alternativa realista para promover aprendizagem de qualidade sem depender exclusivamente de tecnologias ou laboratórios sofisticados.

Além disso, a proposta oferece contribuições relevantes para a formação docente, ao propor um arranjo metodológico que valoriza a mediação crítica, a intencionalidade pedagógica e o planejamento didático com base em evidências. Ao integrar fundamentos da Teoria da Aprendizagem Significativa com práticas concretas e estratégias colaborativas, o modelo SIGMA configura-se como uma ferramenta potencial para políticas públicas voltadas à melhoria do ensino de Ciências e à formação continuada de professores.

### **6.5.5 Limitações do Estudo**

Como todo estudo aplicado em contexto escolar real, a presente pesquisa apresenta limitações metodológicas que merecem ser reconhecidas e discutidas. A principal delas refere-se à ausência de um grupo controle, característica inerente ao delineamento quase-experimental adotado. Embora essa opção tenha sido justificada pelas condições operacionais da escola pública e pela intencionalidade ética de garantir o acesso à proposta a todos os estudantes, ela limita a possibilidade de atribuir causalidade exclusiva aos efeitos observados.

Outro aspecto diz respeito à restrição amostral a um único contexto escolar, o que reduz a possibilidade de generalização dos achados para outras realidades educacionais. Ainda assim, a escolha do campo empírico se justifica pela densidade e pela riqueza dos dados obtidos, bem como pela coerência com o objetivo de investigar uma proposta viável e significativa em condições reais da escola pública brasileira.

Adicionalmente, houve uma redução da amostra emparelhada de 100 para 73 estudantes, decorrente de inconsistências nos dados de identificação e ausências pontuais. Apesar disso, o número final de participantes permaneceu estatisticamente robusto para as análises realizadas, garantindo a confiabilidade dos resultados inferenciais.

Por fim, a ausência de validação formal do instrumento conceitual por especialistas externos constitui uma limitação pontual, reconhecida e discutida no capítulo metodológico. Ainda assim, o teste utilizado foi construído com base em documentos oficiais, validado internamente com dados reais e apresentou coeficiente de fidedignidade satisfatório ( $\alpha = 0,734$ ), conferindo solidez às inferências realizadas.

Essas limitações não invalidam os resultados, mas devem ser consideradas ao interpretar os achados e ao projetar futuras investigações com amostras ampliadas, maior controle experimental e instrumentos validados externamente.

### **6.5.6 Contribuições para a Área**

Apesar das limitações reconhecidas, esta pesquisa oferece contribuições relevantes para o campo do Ensino de Física, ao propor, aplicar e avaliar um modelo didático inovador, fundamentado teoricamente, viável em contextos escolares reais e mensurável por meio de instrumentos empíricos confiáveis.

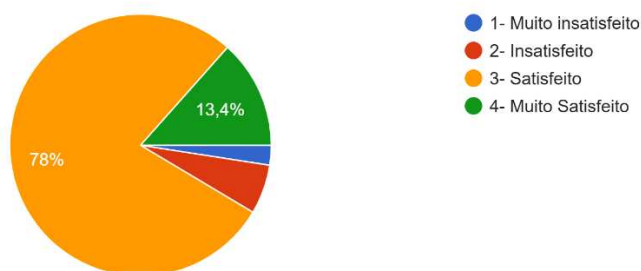
A integração entre a metodologia 6Cs, a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a Cultura Maker, articuladas por meio do modelo teórico SIGMA, representa uma

síntese original e funcional. Ao conjugar dimensões significativas, investigativas, generativas, maker e adaptativas da aprendizagem, o modelo SIGMA alinha princípios cognitivos e epistemológicos a estratégias didáticas concretas e replicáveis. Tal proposta contribui não apenas para o avanço da pesquisa acadêmica, mas também para a prática docente em ambientes marcados por restrições estruturais, como é o caso das escolas públicas brasileiras.

A avaliação das práticas experimentais revelou alta satisfação entre os estudantes, os quais atribuíram notas elevadas à contribuição dessas atividades para o desenvolvimento do projeto. No panorama geral, a proposta foi considerada satisfatória ou muito satisfatória pela maioria dos participantes, o que atesta sua efetividade não apenas do ponto de vista conceitual, mas também em termos de engajamento, aplicabilidade e aceitação (Figura 20).

Figura 20 – Papel das práticas experimentais no desenvolvimento do projeto

Como você avalia o papel das práticas experimentais no desenvolvimento do projeto?  
82 respostas



Fonte: Elaborado pelo autor.

A pesquisa ainda avança no plano metodológico ao empregar uma abordagem mista de investigação, integrando instrumentos qualitativos e quantitativos que ampliam a potência interpretativa do estudo. Essa triangulação permitiu captar não apenas os efeitos conceituais da intervenção, mas também as dimensões afetivas, atitudinais e procedimentais da experiência vivenciada pelos estudantes, resultado que encontra paralelos em estudos como os de Cavalcanti *et al.* (2024) e Silva *et al.* (2022), os quais também evidenciaram impactos positivos de metodologias ativas sobre o engajamento e a autonomia discente.

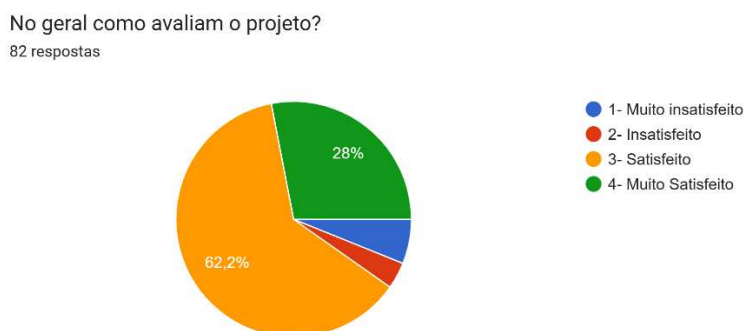
Os resultados indicam que a abordagem proposta é promissora para promover aprendizagens significativas, ao mesmo tempo em que favorece o protagonismo estudantil, a experimentação criativa e o vínculo entre ciência escolar e realidade social (Figura 21). Em linha com os achados de Huguenin (2022) e Silva *et al.* (2025), a pesquisa reforça a importância



da mediação docente intencional e do planejamento estruturado como eixos para o êxito das metodologias ativas, mesmo em condições de infraestrutura limitada.

Nesse sentido, o estudo se insere em uma perspectiva crítica, engajadora e transformadora do ensino de Ciências, contribuindo para o fortalecimento de práticas pedagógicas mais contextualizadas, inclusivas e responsivas às demandas da educação contemporânea. O modelo SIGMA, portanto, apresenta-se como uma proposta robusta e adaptável para a ressignificação do ensino de Eletromagnetismo e para a formação de sujeitos críticos, criativos e cientificamente alfabetizados.

Figura 21 – Avaliação geral do projeto pelos estudantes



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 7 CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve como objetivo central investigar os efeitos da integração entre a metodologia 6C's, a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a Cultura Maker no processo de ensino e de aprendizagem de conteúdos de Eletromagnetismo no Ensino Médio, à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel. A proposta foi aplicada em quatro turmas de uma escola pública de tempo integral no município de Pacatuba-CE, por meio de atividades experimentais, desafios investigativos e momentos de construção colaborativa do conhecimento.

Do ponto de vista quantitativo, os resultados indicaram avanços mensuráveis na aprendizagem conceitual dos estudantes. A mediana de acertos evoluiu de 5,00 no pré-teste para 7,00 no pós-teste (em uma escala de 0 a 16 pontos), com diferença estatisticamente significativa entre os dois momentos (teste de Wilcoxon,  $W = 1431$ ;  $p < 0,0001$ ). Embora o ganho de Hake ( $g = 0,1756$ ) tenha sido classificado como baixo — algo esperado quando o desempenho inicial está próximo do piso da escala —, o tamanho do efeito ( $r = 0,33$ ) revelou um impacto prático de magnitude moderada, sugerindo que a intervenção foi pedagogicamente eficaz mesmo em um contexto de vulnerabilidade educacional.

A análise qualitativa das percepções discentes reforçou os achados quantitativos. Os estudantes relataram sentimentos de engajamento, valorização das práticas experimentais e maior compreensão dos conceitos abordados. As dimensões afetiva, metodológica e conceitual emergiram como eixos centrais da experiência, com destaque para a importância do trabalho em grupo, da mediação pedagógica atenta aos conhecimentos prévios e da experimentação com materiais acessíveis.

O modelo teórico SIGMA, desenvolvido e testado nesta pesquisa, mostrou-se adequado para estruturar práticas pedagógicas coerentes com os desafios da escola pública, articulando rigor conceitual, intencionalidade formativa e viabilidade prática. Sua integração entre teoria significativa (TAS), resolução de problemas (ABP) e ação prática (maker) possibilitou a articulação entre dimensões cognitivas, afetivas e procedimentais da aprendizagem, em um arranjo metodológico robusto e contextualizado.

Em uma perspectiva mais ampla, esta pesquisa se alinha às recomendações da Sociedade Brasileira de Física (Chaves e Chellard, 2005), que aponta como prioridade estratégica nacional o fortalecimento da alfabetização científica e a renovação do ensino de Física no país. O modelo SIGMA, ao promover uma aprendizagem significativa, investigativa e maker, apresenta-se como uma contribuição concreta a esse movimento, oferecendo subsídios

para práticas pedagógicas inovadoras que respondem tanto às demandas curriculares da BNCC quanto aos desafios estruturais identificados no cenário brasileiro.

Os resultados desta pesquisa corroboram o entendimento de que a aprendizagem significativa, conforme descrita por Moreira (2012), não se limita à incorporação de novos conteúdos, mas implica também a ressignificação dos saberes prévios e a construção de conexões conceituais mais estáveis e profundas. A análise qualitativa evidenciou que, ao vivenciar situações-problema articuladas a práticas experimentais maker, os estudantes não apenas ampliaram sua compreensão sobre os conceitos de Eletromagnetismo, mas também desenvolveram autonomia intelectual e capacidade de relacionar teoria e prática em contextos diversos. Assim, confirma-se que o modelo SIGMA, ao integrar TAS, ABP e Cultura Maker, constitui um caminho eficaz para promover aprendizagens que transcendem a memorização mecânica e favorecem o desenvolvimento crítico e reflexivo exigido pela BNCC.

Entre as limitações da pesquisa, destaca-se a ausência de grupo controle, que restringe inferências causais mais amplas. Além disso, a restrição amostral a uma única instituição limita a generalização dos achados. Também houve perda de dados devido à inconsistência na identificação de alguns estudantes, o que reduziu de 100 para 73 o número de casos pareados. Ainda assim, o delineamento quase-experimental e a triangulação entre dados quantitativos e qualitativos conferem consistência às evidências geradas, tornando-as relevantes para contextos educacionais similares.

Esta pesquisa oferece contribuições ao campo do Ensino de Ciências em pelo menos três dimensões:

1. Conceitual – Ao propor o modelo SIGMA, a tese avança na sistematização de uma abordagem integradora que articula a Teoria da Aprendizagem Significativa, metodologias ativas e Cultura Maker, adaptada às condições reais da escola pública.
2. Metodológica – Ao operacionalizar esse modelo em uma sequência didática aplicável e passível de avaliação mista, o trabalho oferece um protocolo replicável para docentes e pesquisadores interessados em inovação pedagógica baseada em evidências.
3. Empírica – Ao gerar e analisar dados qualitativos e quantitativos em um contexto escolar autêntico, o estudo oferece evidências sobre os efeitos práticos de uma proposta didática inovadora no ensino de Física, validando seu impacto formativo em múltiplas dimensões.

A experiência relatada nesta tese abre caminhos para futuras investigações, entre as quais destacam-se:

- Aplicação longitudinal do modelo SIGMA, para avaliar a consolidação dos ganhos de aprendizagem ao longo do tempo e sua aplicabilidade a outros componentes

curriculares das Ciências da Natureza;

- Estudos com grupo controle, para fortalecer o delineamento quase-experimental e aprofundar as inferências causais sobre a eficácia da intervenção;
- Adaptação do modelo a outros níveis de ensino, como o Ensino Fundamental II e a Educação Profissional, ampliando seu alcance e testando sua flexibilidade em diferentes faixas etárias e realidades escolares;
- Formação docente continuada com base no modelo SIGMA, voltada à capacitação de professores em práticas pedagógicas integradas, potencialmente viabilizada por meio de parcerias entre universidades e redes públicas de ensino;
- Estudos de custo-benefício pedagógico, para avaliar a sustentabilidade e escalabilidade do modelo em sistemas públicos de ensino com diferentes níveis de infraestrutura.

Tais desdobramentos podem aprofundar a fundamentação teórica do modelo, ampliar sua aplicação prática e contribuir para a consolidação de uma educação científica mais crítica, democrática e significativa.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Antônia Arisdélia Fonseca Matias; SANTOS, Ana Laura Calazans dos; SILVA, Flávio Vieira Carvalho da; SANTOS, Luis Guilherme Teixeira dos. Dificuldades apontadas por professores do programa de mestrado profissional em ensino de biologia para o uso de metodologias ativas em escolas de rede pública na Paraíba. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 4, p. 21959-21973, abr. 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n4-386.
- ALEXANDRE, Janaína Back. **Lousa digital em aulas de Física: orientações didático-pedagógicas para abordagem das Leis de Newton**. 2021. 64 f. Produto Educacional (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências, Matemática e Tecnologias) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, Santa Catarina, 2021.
- ALMEIDA, Jeyvson Correia de; CHIARO, Sylvia de. Argumentação e aprendizagem baseada em problemas: processo de construção de conhecimento crítico e reflexivo em sala de aula de física. **Investigações em Ensino de Ciências**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 462-483, 2023. DOI: <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2023v28n2p462>. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/3299>. Acesso em: 15 fev. 2023.
- ALORDA, Bartomeu; SUENAGA, Kay; PONS, Pere. Design and evaluation of a microprocessor course combining three cooperative methods: SDLA, PjBL and CnBL. **Computers & Education**, v. 57, n. 1, p. 1876-1884, 2011.
- ANDRADE, Fernando; BARBOSA, M. S. Viana Sequência didática no ensino de eletricidade com estratégias do Just-in-Time Teaching e instrução entre pares. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 15, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3895/rbect.v15n0.15165>.
- ANDRÉ, Marli Eliza Dalmazo Afonso de. **Estudo de caso em pesquisa e avaliação educacional**. Brasília: Liber Livro Editora, 2005.
- ANDRÉ, Wolney Cosme Silva; DA SILVA, Ivoneide Mendes. Contribuições e limitações de sequências de ensino na forma de unidades de ensino potencialmente significativas: Uma revisão sistemática da literatura. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 27, n. 3, p. 270-290, 2022.
- ARAÚJO, Ana Clara Souza; XIMENES, Davy Mororó; ROMEU, Mairton Cavalcante. Experimento de Young: uma análise através do ganho de Hake. **REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, v. 12, p. e24058, 2024. DOI: <https://doi.org/10.26571/reamec.v12.16700>
- ARAÚJO, Alexandre V. R. *et al.* Uma associação do método Peer Instruction com circuitos elétricos em contextos de aprendizagem ativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 2, p. e2401, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0184>
- ARAÚJO, Ives S.; VEIT, Eliane A.; MOREIRA, Marco A. Atividades de modelagem computacional no auxílio à interpretação de gráficos da Cinemática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 179-184, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172004000200013>

ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 25, n. 2, 2003.

AUSUBEL, David Paul. **Educational psychology**: a cognitive view. Nova York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

AUSUBEL, David Paul. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 2003.

AUSUBEL, David Paul; NOVAK, Joseph Donald; HANESIAN, Hellen. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BACICH, Lilian; MORAN, José (org.). **Metodologias ativas para uma educação inovadora**: uma abordagem teórico-prática. Porto Alegre: Penso, 2018.

BARDIN, Lawrence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.

BARROSO, Marta F.; RUBINI, Gustavo; SILVA, Tatiana Gaffuri da. Dificuldades na aprendizagem de Física sob a ótica dos resultados do Enem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 1, p. e1307, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0137>

BARROSO, J. S. *et al.* Concepções alternativas de estudantes do Ensino Médio sobre o conceito de força. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 40, n. 1, 2018.

BARROWS, Howard S.; TAMBLYN, Robyn M. **Problem-based learning**: an approach to medical education. New York: Springer, 1980.

BELCHER, John; DORI, Yehudit Judy. Learning electromagnetism with visualizations and active learning. In: GILBERT, John K. (Ed.). **Visualization in science education**. Dordrecht: Springer, 2004. p. 187-216.

BERNSTEIN, Dennis S. Enhancing undergraduate control education. **IEEE Control Systems Magazine**, v. 19, n. 5, p. 40-43, 1999.

BESKAR, Smruti; JOGDAND, Sangita; NAQVI, Waqar. Sample size in educational research: a rapid synthesis. **F1000Research**, v. 12, p. 1291, 2023. DOI: <https://doi.org/10.12688/f1000research.141173.1>.

BHANDARI, Pritha. Attrition bias. **Scribbr**, [Amsterdam], 2022. Disponível em: <https://www.scribbr.com/research-bias/attrition-bias/>. Acesso em: 15 jul. 2025.

BOLLEN, Laurens; VAN KAMPEN, Paul; DE COCK, Mieke. Students' difficulties with vector calculus in electrodynamics. arXiv.org, [Ithaca, N. Y.], 2015. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1502.02830>. Acesso em: 25 jun. 2022.

BONWELL, Charles. C.; EISON, James A. **Active learning**: creating excitement in the classroom. Washington, DC: Eric Digests, 1991.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: Ensino Médio.

Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: [https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versaofinal.pdf](https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal.pdf). Acesso em: 14 jun. 2020.

BRASIL. Secretaria Nacional da Juventude. **Espaço 4.0**. Brasília, DF: SNJ, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mdh/pt-br/assuntos/noticias/2020-2/julho/EbookEspao4.0V4.0.pdf>. Acesso em: 10 maio 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF: MMA, 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/meio-ambiente-urbano-recursos-hidricos-qualidade-ambiental/plano-nacional-de-residuos-solidos>. Acesso em: 02 jul. 2022.

CAMPBELL, Donald T.; STANLEY, Julian C. **Delineamentos experimentais e quase-experimentais de pesquisa**. São Paulo: EPU, 1979.

CARVALHO, Marianne da Cruz de. **A importância do brincar na construção de conhecimentos de crianças na pré-escola**. 2016. 131f. Dissertação (Mestrado em Docência e Gestão da Educação) – Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal, 2016.

CAVALCANTI, Janesmar Camilo de Mendonça *et al.* Laboratório aberto, design educacional e simulador de experimentos científicos no desenvolvimento de sequências de ensino e aprendizagem para o ensino da Física. **Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 21, n. 13, p. e12229, 2024. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n13-283>

CHAVES, Alaor; SHELLARD, Ronald Cintra. **Pensando o futuro: o desenvolvimento da física e sua inserção na vida social e econômica do país**. São Paulo: SBF, 2005.

CHI Michelene T. H.; LEEUW Nicholas de; CHIU Mei Hung; LAVANCHER, Christian. Eliciting self-explanations improves understanding. **Cognitive Science**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 439-477, 1994.

CHRISTENSEN, Clayton M.; HORN, Michael. B.; STAKER, Heather. **Ensino híbrido: uma inovação disruptiva?: Uma introdução à teoria dos híbridos**. São Carlos: Fundação Lemann e Instituto Península, 2013.

CLEMENT, John. Aprendizagem baseada em modelos como uma área de pesquisa fundamental para a educação científica. **International Journal of Science Education**, v. 22 n. 9, p. 1041-1053, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1080/095006900416901>

COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. **TIC Educação 2023: pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nas escolas brasileiras**. São Paulo: CGI.br, 2024. Disponível em: <https://cetic.br/pt/publicacao/pesquisa-sobre-o-uso-das-tecnologias-de-informacao-e-comunicacao-nas-escolas-brasileiras-tic-educacao-2023/>. Acesso em: 26 de abril de 2025.

COSTA, Darkson Fernandes da *et al.* Aspectos estruturais e pedagógicos do Procedimento Cognitivo Metodológico de Apreensão para o ensino de Física. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA (SNEF)*, 24., 2021, on-line. **Anais [...]** São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2021. Disponível em: <https://sec.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxiv/atas/Autores.html>. Acesso em: 26 abr. 2025.

COUTINHO JÚNIOR, Antônio de Lisboa. 6C/PCMA: uma sequência didática para o ensino de Física. **Latin-American Journal of Physics Education**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 3310-1-3310-11, set. 2024.

COUTINHO JÚNIOR, Antônio de Lisboa. **Metodologias ativas no ensino remoto de acústica com apoio de uma sequência didática**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2021.

CRESWELL, John W. **Projeto de pesquisa: método qualitativo, quantitativo e misto**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DALL'ACQUA, Paulo Eduardo; MANO, Amanda de Mattos Pereira. O ensino de Evolução Biológica por meio de sequências didáticas: uma revisão sistemática de literatura. **Ensino e Tecnologia em Revista**, Londrina, v. 8, n. 1, p. 30-40, jan./jun. 2024. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/etr/article/view/18919>. Acesso em: 15 abr. 2021.

DANCEY, Christine. P.; REIDY, John. **Estatística sem Matemática para Psicologia: usando SPSS para Windows**. 3. ed. São Paulo: Artmed, 2007.

DEGA, Bekele Gashe. Prevalence of random and null-model student's responses using concentration analysis: an example from electromagnetism concepts. **Science Education International**, [s. l.], v. 30, n. 3, p. 217-222, 2018.

DERNTL, Michael.; MOTSCHNIG-PITRIK, Renate. The role of structure, patterns, and people in blended learning. **Internet and Higher Education**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 111-130, 2005.

DORI, Yehudit Judy; BELCHER, John. Learning electromagnetism with visualizations and active learning. In: GILBERT, John K. (org.). **Visualization in Science Education**. Dordrecht: Springer, 2005. (Models and Modeling in Science Education, v. 1). p. 187-216.

DUCH, Barbara J.; GROH, Susan E.; ALLEN, Deborah E. **The Power of Problem-Based Learning: A Practical "How To" for Teaching Undergraduate Courses in Any Discipline**. Sterling, VA: Stylus Publishing, 2001.

DUIT, Reinders; TREAGUST, David F. Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. **International Journal of Science Education**, v. 25, n. 6, p. 671-688, 2003. DOI:10.1080/095006903200007665.

DUSO, Leandro; BORGES, Regina Maria Rabello. Projetos integrados na educação formal. **Experiências em Ensino de Ciências**, Cuiabá, v. 4, n. 2, p. 21-32, 2009. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/308>. Acesso em: 20 jul. 2023.

EISNER, Elliot W. On the differences between scientific and artistic approaches to qualitative research. **Educational Researcher**, v. 10, n. 4, p. 5-9, 1981.

ESPÍNDOLA, Karen; MOREIRA, Marco Antonio. A estratégia dos projetos didáticos no ensino de Física na Educação de Jovens e Adultos (EJA). **Textos de Apoio ao Professor de**



**Física**, v. 17, n. 2, 2006a.

ESPÍNDOLA, Karen; MOREIRA, Marco Antonio Relato de uma experiência didática: ensinar física com os projetos didáticos na EJA, estudo de caso. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 1, p. 55-66, 2006b.

ESSER, Larissa; CLEMENT, Luiz. O uso do instrumento de pré e pós-teste na Abordagem Temática: identificando aspectos relativos à apropriação conceitual. **Ensino & Tecnologia em Revista**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 894-907, 2023. DOI: 10.3895/etr.v7n3.16825.

FELDER, Richard. M.; BRENT, Rebeca. Designing and teaching courses to satisfy the ABET engineering criteria. **Journal of Engineering Education**, [s. l.], v. 92, n. 1, p. 7-25, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2003.tb00734.x>

FEYNMAN, Richard. P.; LEIGHTON, Ralph. B.; SANDS, Matthew. **Lições de Física de Feynman**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FLICK, Uwe. Pesquisa qualitativa e quantitativa. In: FLICK, Uwe. **Introdução à pesquisa qualitativa**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. cap. 3, p. 39-49.

FONSECA, Monaliza; MAIDANA, Nora L.; SEVERINO, Elizabeth; BARROS, Suelen; SENHORA, Glauco; VANIN, Vito R. O laboratório virtual: uma atividade baseada em experimentos para o ensino de mecânica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 35, n. 4, 4503, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000400014>

FRANÇA, Gustavo Henrique de; LOPEZ, Johnny Vilcarromero. Experimento de baixo custo para o ensino de física óptica: o caso da Lei de Malus. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 44, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0423>

FREEMAN, Scott *et al.* Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. **Psychological and Cognitive Sciences**, [s. l.], v. 111, n. 23, p. 8410-8415, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FULLAN, Michael. **Pedagogia para a nova sociedade da aprendizagem: educação para a inovação centrada no aluno**. São Paulo: Moderna, 2013.

GALIAZZI, Maria do Carmo; GARCIA, Fabiana Jordão; DELIZOICOV, Demétrio. Abordagem temática e aprendizagem significativa: repensando o ensino de Ciências por meio do trabalho experimental. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 7, n. 1, p. 77-91, 2001.

GARCIA, Nilson M. D. Livro didático de Física e de Ciências: contribuições das pesquisas e da avaliação educacional. **Educar em Revista**, Curitiba, v. 28, n. 1, p. 153-174, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-40602012000100010>

GATTI, Bernardete A. Formação de professores no Brasil: características e problemas. **Educação e Sociedade**, Campinas, v. 30, n. 109, p. 1355-1379, 2009.

GONÇALVES, Cleusa Maria Mancilia. **Possibilidades e desafios da integração das metodologias ativas às tecnologias digitais**: uma proposta de formação para professores de ciências da natureza. 2023. 126 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ensino) - Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/handle/riu/9201>. Acesso em: 14 out. 2023.

GOUVÊA, Guaracira. Currículo, livro didático e ensino de Física. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 11., 2008, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: ABRAPEC, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/238709143>. Acesso em: 14 out. 2023.

GUIMARÃES, Cleidson Carneiro. Experimentação no ensino de Química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 3, p. 1-10, 2009.

HAKE, Richard R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American Journal of Physics**, v. 66, n. 1, p. 64-74, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.18809>

HALLOUN, Ibrahim Abou; HESTENES, David. The initial knowledge state of college physics students. **American Journal of Physics**, v. 53, n. 11, p. 1043-1055, 1985.

HELLE, Laura; TYNJALA, Päivi; OLKINUORA, Erkki. Project-based learning in post-secondary education - theory, practice and rubber sling shots. **Higher Education**, v. 51, n. 1, p. 287-314, 2006.

HODSON, Derek. Redefining and reorienting practical work in school science. **International Journal of Science Education**, v. 16, n. 2, p. 175-190, 1994.

HODSON, Derek. Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods. **International Journal of Science Education**, v. 36, n. 15, p. 2534-2553, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.899722>

HUANG, Yeqin et al. Teaching electromagnetic fields with computer visualization. In: IAJC-IJME INTERNATIONAL CONFERENCE, 2008, Cullowhee, NC. **Anais [...]**. [S. l.]: IAJC/IJME, 2008.

HUGUENIN, José Augusto Oliveira. Uso integrado de métodos ativos de ensino em disciplinas de Ciências Exatas e Tecnológicas no Ensino Superior. **Revista Brasileira de Ensino Superior**, Brasília, v. 6, n. 1, p. 127-145, 2022.

INEP. **Censo Escolar da Educação Básica 2022**: resumo técnico. Brasília, DF: INEP, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/inep>. Acesso em: 13 fev. 2024.

JELIČIĆ, Katarina; PLANINIĆ, Maja; PLANINIŠIĆ, Gorazd. Analyzing high school students' reasoning about electromagnetic induction. **Physical Review Physics Education Research**, [s. l.], v. 13, p. 010112, fev. 2017. DOI:10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010112.

JESUS, Vítor Luiz Bastos; SASAKI, Daniel Guilherme Gomes. Vídeo-análise de um experimento de baixo custo sobre atrito cinético e atrito de rolamento. **Revista Brasileira de**

**Ensino de Física**, [s. l.], v. 36, p. 1-6, 2014.

JÚLIO, Josimeire M.; VAZ, Arnaldo M. Atividades de investigação escolar: análise psicanalítica do engajamento em pequenos grupos. **Cadernos de Pesquisa**, [s. l.], v. 40, n. 4, p. 921-941, 2010.

LIN, Shih1Yin; MARIES, Alexandru; SINGH, Chandralekha. Student difficulties in translating between mathematical and graphical representations in introductory physics. **arXiv.org**, [Ithaca, N. Y.], 2016. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1601.05466>. Acesso em: 02 set. 2023.

LINDBERG, Mikael; VIDOR, Carolina de Barros. **The effect of one carefully planned laboratory session of active learning and simulation in electromagnetism**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Física) – Uppsala University, Uppsala.

LINO, Alex; FUSINATO, Polônia Altoé. A influência do conhecimento prévio no ensino de Física Moderna e Contemporânea: um relato de mudança conceitual como processo de aprendizagem significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Curitiba, v. 4, n. 3, p. 1-20, 2011.

LOPES, Antônio Martins. **Combinando Metodologia de Ensino Peer Instruction com Just-in-Time Teaching para o Ensino de Física**. 2016. 146 f. Dissertação (Mestrado em Física Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

MACHADO, Marta de Azevedo. **O ensino de Física Térmica na perspectiva da aprendizagem significativa: uma aplicação no ensino médio**. 2015. 140 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) - Universidade Federal de Ouro Preto, MG.

MARASCO, David; DREYFUSS, Bree Barnett. Schools on different corners: socioeconomic status and physics offerings in Northern California public high schools. **arXiv.org**, [Ithaca, N. Y.], 2020. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2010.08476>. Acesso em: 02 set. 2023.

MARTINEZ, Sylvia L.; STAGER, Gary. **Invent to learn: Making, tinkering and engineering in the classroom**. Torrance: Constructing Modern Knowledge Press, 2013.

MASSONI, Neusa T.; MOREIRA, Marco A. **Pesquisa Qualitativa em Educação em Ciências: projetos, entrevistas, questionários, teoria fundamentada, redação científica**. São Paulo: Livraria da Física, 2017.

MATOS, Marilyn A. Errobidarte de. A metodologia de projetos, a aprendizagem significativa e a educação ambiental na escola. **Ensino, Saúde e Ambiente**, Niterói, v. 2, n. 1, p. 22-29, 2009. DOI: <https://doi.org/10.22409/resa2009.v2i1.a21036>

MAZUR, Eric. **Peer Instruction: a revolução da aprendizagem ativa**. Porto Alegre: Penso, 2015.

MEDEIROS JÚNIOR, Raimundo Nonato de; NAIA, M. Duarte; LOPES, J. Bernardino. Simulações interativas do PhET nas práticas de ensino da Física: uma meta-análise. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 46, e20240186, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0186>

MEDVIEDIEV, Alexander. Aspectos lógicos, psicológicos e pedagógicos do ensino de Física. In: GARNIER, Catherine; BEDNARZ, Nadine; ULANOVSKAYA, Irina *et al.* **Após Vygotsky e Piaget: perspectiva social e construtivista**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996. p. 169-175.

MELO, Charline Vlândia Silva de; SALES, Gilvandenys Leite; CERQUEIRA, Gilberto Santos. O uso de sequência didática na abordagem da exposição museológica: um relato em múltiplos níveis do ensino de ciências. **Observatório da Economia Latinoamericana**, [s. l.], v. 21, n. 9, p. 11716-11735, 2023.

MELTZER, David. E.; THORTON, Ronald. K. Resource Letter ALIP1: Active-Learning Instruction in Physics. **American Journal of Physics**, [s. l.], v. 80, n. 6, p. 478-496, 2012.

MENEZES, José Henrique; OLIVEIRA, Kleber Rodrigues. O trabalho experimental no ensino de Eletromagnetismo: possibilidades e limitações na escola pública. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 42, e20200112, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0112>

MICHAEL, Joel; MODEL, Harold I. **Active learning in secondary and college science classrooms: a working model for helping the learner to learn**. New York: Routledge, 2003.

MIZUKAMI, Maria da Graça Nicoletti. **Ensino: as abordagens do processo**. São Paulo: EPU, 2004.

MONTANHER, Valter Cesar. **A aprendizagem baseada em casos como estratégia de ensino de física no ensino médio: a prática de um professor na escola pública**. 2012. 247 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

MORAES, José Uibson Pereira; SILVA JÚNIOR, Romualdo S. Experimentos didáticos no ensino de Física com foco na aprendizagem significativa. **Latin-American Journal of Physics Education**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 1-15, 2015.

MORÁN, José. Mudando a educação com metodologias ativas. In: SOUZA, Carlos Alberto de; MORALES, Ofelia Elisa Torres (org.). **Convergências midiáticas, educação e cidadania: aproximações jovens**. Ponta Grossa: Foca Foto; PROEX/UEPG, 2015. (Coleção Mídias Contemporâneas, v. 2). Disponível em: [http://www2.eca.usp.br/moran/wpcontent/uploads/2013/12/mudando\\_moran.pdf](http://www2.eca.usp.br/moran/wpcontent/uploads/2013/12/mudando_moran.pdf). Acesso em: 4 set. 2023.

MOREIRA, Marco Antônio. Diagramas V e aprendizagem significativa. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 7, n. 2, p. 23–30, 2008. Revisado em 2012.

MOREIRA, Marco Antonio. **Organizadores prévios e Aprendizagem Significativa (Advanced organizers and meaningful learning)**. Porto Alegre: UFRGS, 2012. 30 f. Disponível em: <https://share.google/OEw9wnuI0NZrQ8ycA>. Acesso em: 30 set. 2025.

MOREIRA, Marco Antonio. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: a Teoria da Aprendizagem Significativa**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. Disponível

MOREIRA, Marco Antonio; BUCHWEITZ, Bernardo. **Novas estratégias de ensino e aprendizagem**: os mapas conceituais e o Vê epistemológico. Lisboa: Plátano, 1993.

MOREIRA, Marco Antonio. Pesquisa básica em educação em ciências: uma visão pessoal. **Revista Chilena de Educación Científica**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 10-17, 2004.

MOREIRA, Marco Antonio. Pesquisa em Ensino: aspectos metodológicos. **Actas del PIDEC**, v. 5, n. 1, p. 101-136, 2003.

MOREIRA, Marco Antonio. A aprendizagem significativa na prática. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Curitiba, v. 4, n. 1, p. 7-28, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3895/S1982-873X2011000100002>

MOREIRA, Marco Antonio. O que é, afinal, aprendizagem significativa? **Qurrriculum: Revista de Teoria, Pesquisa e Prática Educacional**, La Laguna, Espanha, n. 25, p. 29-56, mar. 2012.

MOREIRA, Marco Antonio; MASSONI, Neusa. T. Interfaces entre teorias de aprendizagem e Ensino de Ciências/Física. **Textos de Apoio ao Professor de Física**, [s. l.], v. 26, n. 6, 2015.

MOREIRA, Marco Antonio; ROSA, Paulo Ricardo da Silva. **Uma introdução à pesquisa quantitativa em ensino**. Porto Alegre: Ed. dos autores, 2008.

MOTA, Izabel de Oliveira da. A sala de aula invertida e a problematização aplicadas ao ensino da Física II: um estudo de caso no curso de graduação em Engenharia Civil do UniFOA no período letivo de 2017.1. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, v. 15, n. 42, p. 100-112, 2020.

MOTSCHNIG-PITRIK, Renate; DERNTL, Michael. Student-centered eLearning (SceL): concept and application in a students' project on supporting learning. **Educational Technology & Society**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 1-16, 2002.

MOTSCHNIG-PITRIK, Renate; HOLZINGER, Andreas. O ensino centrado no aluno encontra as novas mídias: conceito e estudo de caso. **Journal of Educational Technology & Society**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 160-172, 2002.

MUSSI, Ricardo Franklin *et al.* Pesquisa Quantitativa e/ou Qualitativa: distanciamentos, aproximações e possibilidades. **Revista Sustinere**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 414-430, 2019.

NAIR, Abhilash; SAWTELLE, Vashti. Operationalizing relevance in physics education: using a systems view to expand our conception of making physics relevant. **Physical Review Physics Education Research**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 020121, 2019. DOI: [10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.020121](https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.020121)

NARDI, Roberto; MOREIRA, Marco Antonio; OSTERMANN, Fernanda. Abordagens alternativas ao ensino tradicional de Física: análise de uma produção científica publicada em periódicos brasileiros. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 217-238, 2005.

NOVAK, Gregor M. *et al.* **Just-in-Time Teaching**: blending active learning with web

technology. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.

NOVAK, Joshua. D.; GOWIN, D. Bob. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1984.

OCDE. **PISA 2022 results (Volume I): the state of learning and equity in education**. Paris: OECD Publishing, 2023.

OLIVEIRA, G. G. *et al.* Experimentos portáteis para aula sobre indução eletromagnética, geradores e motores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 44, e20210388, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0388>

OLIVEIRA, Jane Raquel Silva. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de Ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Acta Scientiae**, Canoas, v. 12, n. 1, p. 139-153, 2010.

OLIVEIRA, Lucas Nonato; MORAIS, Thaís Cássia Silva. Investigação sobre fatores de sucesso e insucesso da disciplina de Física no ensino médio técnico integrado na percepção de alunos, professores e gestores do Instituto Federal de Goiás - Campus Goiânia. **HOLOS**, Natal, v. 4, p. 1-16, 2019.

OLIVEIRA, Marta Kohl *et al.* Concepções alternativas em Eletromagnetismo: um estudo com estudantes do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 43, e20210123, 2021.

OLIVEIRA, Marta Kohl. **Vygotsky: aprendizado e desenvolvimento de um processo sócio-histórico**. 5. ed. São Paulo: Scipione, 2010.

OLIVEIRA, Paulo José Coelho. **Ensino da Física num curso superior de Engenharia: na procura de estratégias promotoras de uma aprendizagem activa**. Tese (Doutorado em didática) – Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2009.

OLIVEIRA, Tobias Espinosa de; ARAÚJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. Sala de aula invertida (flipped classroom): inovando as aulas de Física. **Física na Escola**, v. 14, n. 2, p. 4-13, 2016.

OLIVEIRA, Danieli Soares de; TAFFNER, Michel Bruno; PEREIRA, Edson Pimentel; MARQUES, Flávio Parreiras; GOMES, Renata Có e. Cultura Maker na Educação: benefícios e desafios em iniciativas extracurriculares para escolas públicas. **Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 21, n. 10, p. e9615, 2024. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n10-283>

OSTERMANN, Fernanda; REZENDE, Flávia. Projetos de desenvolvimento e de pesquisa na área do Ensino de Ciências e Matemática: uma reflexão sobre os Mestrados Profissionais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p. 66-80, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2009v26n1p66>

PAIVA, Marlla Rúbya Ferreira *et al.* Metodologias ativas de ensino-aprendizagem: revisão integrativa. **SANARE: Revista de Políticas Públicas**, Sobral, v. 15, n. 2, p. 145-153, 2016.

PARREIRA, Júlia Esteves; DICKMAN, Adriana Gomes. Objetivos das aulas experimentais

no ensino superior na visão de professores e estudantes da engenharia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 42, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0096>

PECOTCHE, Carlos Bernardo González. **Logosofia: ciência e método**. São Paulo: Logosófica, 2011.

PEPPLER, Kylie; HALVERSON, Erica; KAFAL, Yasmin B. **Makeology: Makerspaces as learning environments**. New York: Routledge, 2014.

PEREIRA, Wagner Leite; OSTERMANN, Fernanda. O livro didático de Física e a pesquisa em ensino: aproximações possíveis. In: NARDI, Roberto (org.). **Pesquisa em ensino de Física: fundamentos, avanços e perspectivas**. Brasília: CAPES, 2009. p. 381-400. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/432688>. Acesso em: 10 out. 2022.

PHILLIPS, David Chilton. The good, the bad, and the ugly: the many faces of constructivism. **Educational Researcher**, [s. l.], v. 24, n. 7, p. 5-12, 1995.

PHYSPORT. **PhysPort: resources for physics education**. Disponível em: <https://www.physport.org/>. Acesso em: 6 jun. 2025.

PICILLO, Ana Paula; BUHLER, Alexandre J.; RAMPINELLI, Giuliano Arns. Uma abordagem sobre a energia eólica como alternativa de ensino de tópicos de Física clássica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 36, p. 1-13, 2014.

POSNER, George J. *et al.* Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. **Science Education**, [s. l.], v. 66, n. 2, p. 211-227, 1982.

POZZO, Juan Ignacio. **Teorias cognitivas da aprendizagem**. Buenos Aires: Lugar Editorial, 1998.

PRINCE, Michael. Does active learning work? A review of the research. **Journal of Engineering Education**, [s. l.], v. 93, n. 3, p. 223-231, 2004.

QUIBAO, Matheus Pinheiro *et al.* Investigando a compreensão conceitual em Física de alunos de graduação em cursos de Ciências, Engenharias e Matemática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 41, n. 2, 2 p. e20180258, 2019.

QUINTANA-ORDORIKI, Amaia; GARAY-RUIZ, Urtza; PORTILLO-BERASALUCE, Javier. A systematic review of the literature on maker education and teacher training. **Education Sciences**, v. 14, n. 12, p. 1310, 2024. DOI:10.3390/educsci14121310.

REZENDE, Flávia; LOPES, Moraes de Almeida; EGG, Jeanine Maria. Identificação de problemas do currículo, do ensino e da aprendizagem de Física e de Matemática a partir do discurso de professores. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 7-29, 2004.

RIBEIRO, Bruna Schons *et al.* Just-in-Time Teaching para o ensino de Física e Ciências: uma revisão sistemática de literatura. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s. l.], v. 44, p. e20220075, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2022-0075>

RIBEIRO, Bruna Schons; PIGOSSO, Letícia Tasca; PASTORIO, Dioni Paulo. Implementação de metodologias ativas de ensino em uma turma de Física básica: um estudo de caso. **Revista de Enseñanza de la Física**, Santa Fé, v. 31, n. 2, p. 31-45, 2019.

ROGERS, Carl. R. **Liberdade para aprender**. Belo Horizonte: Interlivros, 1977.

ROJAS, Sergio. On the teaching and learning of physics: A Criticism and a Systemic Approach. **arXiv preprint arXiv:0902.1151**, 2009.

ROSA, José Eugênio Brum; KALHIL, Josefina Barrera. Metodologias ativas no ensino de Física: um panorama da pesquisa stricto sensu brasileira. **Colloquium Humanarum**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 121-136, 2019.

SALES, Gilvandenys Leite. **Quantum**: um software para aprendizagem dos conceitos da Física Moderna e Contemporânea. 2005. 103 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2005.

SALES, Gilvandenys Leite. **Learning Vectors (LV)**: um modelo de avaliação da aprendizagem em EaD online aplicando métricas não-lineares. 2010. 238 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Teleinformática) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

SANTAROSA, Maria Cecília Pereira. **Investigação da aprendizagem em Física básica universitária a partir de um ensino que integra situações e conceitos das disciplinas de Cálculo 1 e Física 1**. 2013. Tese (Doutorado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013

SANTOS, Rubens Lopes dos. **Aplicação de uma metodologia envolvendo mudanças conceituais no ensino de Física Moderna e Contemporânea**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2017.

SANTOS, Antonio Marques dos; SOUSA, Luiza Soane da Silva e. Dificuldades na aprendizagem de Física dos alunos da Escola Estadual Centro de Ensino Epitácio Pessoa. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, [s. l.], v. 2, n. 6, 2021.

SANTOS, Nilson Lopes; SOUSA, José Moreira de; MOURA, Ana Paula Azevedo. Ensino de Física na percepção dos alunos do Ensino Médio: um estudo de caso. **Práticas Educativas, Memórias e Oralidades-Rev. Pemo**, [s. l.], v. 6, p. e11723-e11723, 2024.

SELWYN, Neil. Educação e tecnologia: questões críticas. *In*: FERREIRA, Giselle Martins dos Santos; ROSADO, Luís Alexandre da Silva; CARVALHO, Jaciara de Sá (org.). **Educação e tecnologia: abordagens críticas**. Rio de Janeiro: SESES, Universidade Estácio de Sá, 2017. p. 86-102.

SFREDO, Bruno Aguiar; BORGES, Jéssica de Oliveira Andrade; ALVES, Ana Cláudia Tasinaffo. Diálogo sobre a relação de ensino-aprendizagem na disciplina de Física com estudantes de nível médio. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 10, e416101019897, 2021.

SILBERMAN, Mel. **Active learning**: 101 strategies to teach any subject. Massachusetts:



Allyn and Bacon, 1996.

SILVA, Derek Carvalho Menezes da; PASTORIO, Dioni Paulo; LOPES, Eduarda da Silva. O uso de metodologias ativas para o ensino das Leis de Newton: experiências do residência pedagógica. # **Tear**: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia, v. 11, n. 1, 2022.

SILVA, João Batista da; SALES, Gilvandenys Leite; ALVES, Francisco Régis Vieira. Didática da Física: uma análise de seus elementos de natureza epistemológica, cognitiva e metodológica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [s. l.], v. 35, n. 1, p. 20–41, 2018. DOI: 10.5007/2175-7941.2018v35n1p20. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2018v35n1p20>. Acesso em: 5 fev. 2025.

SILVA, Frederico Rozendo; SALES, Gilvandenys Leite; CERQUEIRA, Gilberto dos Santos. Uma revisão sistêmica de literatura sobre o uso de sequências didáticas no ensino de física. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, Lisboa, v. 17, n. 5, p. 01-26, 2025. DOI: <https://doi.org/10.55905/cuadv17n5-026>

SILVA, Diego de Oliveira; CASTRO, Juscileide Braga; SALES, Gilvandenys Leite; Aprendizagem baseada em projetos: contribuições das tecnologias digitais. #**Tear**: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia, Canoas, v. 7, n. 1, 2018. DOI: <https://doi.org/10.35819/tear.v7.n1.a2763>

SILVA, João B.; SALES, Gilvandenys L.; LEITE, Eliana; PONTELLO, Luiza. Mudança conceitual em óptica geométrica facilitada pelo uso de TDIC. In: WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA – WIE, 21., 2015, Maceió. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2015. p. 385–394.

SILVEIRA, Fernando Lang da; MOREIRA, Marco Antonio; AXT, Rolando. Validação de um teste para detectar se o aluno possui concepções científicas sobre corrente elétrica em circuitos simples. **Ciência e Cultura**, [s. l.], v. 41, n. 11, p. 1129-1133, 1989.

STRIKE, Kenneth A.; POSNER, George J. A revisionist theory of conceptual change. In: DUIT, Reinders; GOLDBERG, Fred; NIESEL, Hans (org.). **Research in physics learning: theoretical issues and empirical studies**. Kiel: IPN, 1992. p. 147-176.

STUDART, Nelson. Inovando a ensinagem de Física com metodologias ativas. **Revista do Professor de Física**, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 1-24, 2019.

THOMAS, Jerry R.; NELSON, Jack K.; SILVERMAN, Stephen J. **Métodos de pesquisa em atividade física**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

THOMAZ, Marília Fernandes. A experimentação e a formação de professores: uma reflexão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 360-369, 2000.

TIMOTEO, Dulcio Joaquim Antonio; DE OLIVEIRA, Manuel Joaquim Silva; TAROUÇO, Liane Margarida Rockenbach. Ciclo PODS combinado com sala de aula invertida: um exemplo para aprendizagem de fenômenos magnéticos. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista-ENCITEC**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 31-51, 2025.

TOULMIN, Stephen Edelston. **La comprensión humana: el uso colectivo y evolución de los conceptos**. Madrid: Alianza Editorial, 1977.

UKOH, Edidiong Enyeneokpon. Teaching electromagnetism using interactive-invention instructional strategy and the learning outcome of secondary school students. **Momentum Physics Education Journal**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 10-18, 2022. DOI:10.21067/mpej.v6i1.5463.

VERGNAUD, Gérard. **Number concepts and operations in the middle grades**. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1988.

VIANNA, Heraldo Marelim. **Testes em educação**. 3. ed. São Paulo: IBRASA, 1978.

VIDAL, A. L. S. *et al.* O ensino de Física no Brasil: uma análise sobre obstáculos cognitivos e metodológicos. **Revista de Educação em Ciências e Matemática**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 13-25, 2021.

VIENNOT, Laurence. **Razonamiento y aprendizaje en física: los desafíos de un enfoque cualitativo**. Madrid: Narcea, 2001.

VON KORFF, Joshua; ARCHIBEQUE, Benjamin; GOMEZ, K. Alison; HECKENDORF, Tyrel; McKAGAN, Sarah B.; SAYRE, Eleanor C.; SCHENK, Edward W.; SHEPHERD, Chase; SORELL, Lane. Secondary analysis of teaching methods in introductory physics: a 50 k-student study. **American Journal of Physics**, [s. l.], v. 84, n. 12, p. 969–974, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.4964354>.

WELLER, Wivian; PFAFF, Nicolle. **Metodologias da pesquisa qualitativa em educação: teoria e prática**. 3. ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2013.

## APÊNDICE A – PRÉ - TESTE E PÓS - TESTE

### PRÉ-TESTE

Professor Doutorando: Frederico Rozendo da Silva

Orientador: Prof. Dr. Gilvandenys Leite Sales.

Coorientador: Prof. Dr. Gilberto Santos Cerqueira

Aluno(a): \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_ Telefone: (\_\_\_\_) \_\_\_\_\_

Lembramos, ainda, que as informações coletadas são confidenciais e se destinam exclusivamente à pesquisa no âmbito da proposta de investigação de doutoramento.

1. Qual sua idade? \_\_\_\_\_

2. Qual seu gênero?

( ) Masculino

( ) Feminino

( ) Prefiro não dizer

( ) Outro \_\_\_\_\_

3. Qual sua turma?

( ) A ( ) B ( ) C ( ) D ( )

4. Você gosta de estudar Física?

( ) Sim

( ) Não

( ) Mais ou menos

5. Quais as dificuldades que você encontra ao estudar Física?

( ) pouco conhecimento de matemática;

( ) lê mas não entende;

( ) falta prática (experiência) com os assuntos de física;

( ) pouco tempo para estudar;

( ) outro

6. Durante a aula de circuitos elétricos, o professor apresentou a figura a seguir, que representa um circuito conhecido como Ponte de Wheatstone. Com base na figura e no conceito desse circuito, responda a seguinte questão. O que é a Ponte de Wheatstone?

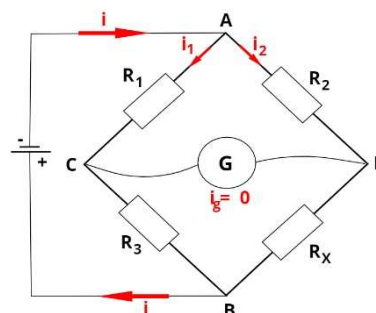
a. Um tipo de transformador

b. Um circuito usado para medir resistência desconhecida

c. Um tipo de capacitor

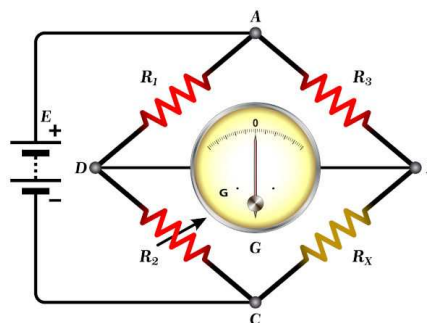
d. Um oscilador de frequência

e. Um amplificador operacional



7. Em uma Ponte de Wheatstone, se  $R_1=100\Omega$ ,  $R_2=200\Omega$ , e  $R_3=300\Omega$ , qual deve ser o valor de  $R_x$  para que a ponte esteja balanceada?

- a.  $100\ \Omega$       b.  $150\ \Omega$       c.  $200\ \Omega$   
d.  $300\ \Omega$       e.  $600\ \Omega$



8. Durante a aula, o professor discutiu a descoberta do Efeito Hall. O fenômeno foi descoberto por Edwin Hall em 1879, quando ele observou que ao aplicar um campo magnético perpendicular a uma corrente elétrica em um condutor, uma diferença de potencial era gerada perpendicularmente ao fluxo de corrente. Marque o item que corresponde ao Efeito Hall.

- a. A criação de um campo elétrico em um capacitor  
b. A geração de uma corrente elétrica em um indutor  
c. A produção de uma diferença de potencial em um condutor através do qual passa uma corrente elétrica em um campo magnético  
d. A emissão de luz por um diodo  
e. A mudança de resistência em um termistor

9. Em um material submetido ao Efeito Hall, o que determina a magnitude da tensão Hall?

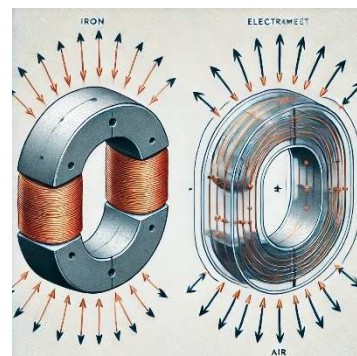
- a. A resistência do material  
b. A capacitância do material  
c. A densidade de carga dos portadores e a intensidade do campo magnético  
d. A frequência da corrente elétrica  
e. A indutância do material

10. O conceito de eletroímã possui uma importância histórica para o desenvolvimento da tecnologia moderna. A descoberta desse conceito teve um papel crucial no avanço de dispositivos como telegrafia, motores elétricos e aparelhos de ressonância magnética. Com base nesse contexto, responda: O que é um eletroímã?

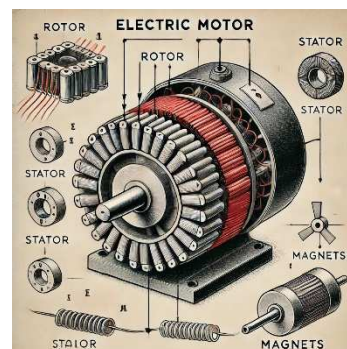
- a. um ímã natural  
b. um dispositivo que cria um campo magnético quando uma corrente elétrica passa através de um fio enrolado em torno de um núcleo  
c. um ímã permanente feito de ferro  
d. um dispositivo que utiliza calor para gerar um campo magnético  
e. Um ímã que só funciona em altas temperaturas

11. Em um experimento, um eletroímã é feito enrolando um fio ao redor de um núcleo de ferro. Como a substituição do núcleo de ferro por um núcleo de ar afeta o campo magnético?

- a. O campo magnético aumenta  
b. O campo magnético diminui significativamente  
c. O campo magnético permanece o mesmo  
d. O campo magnético desaparece  
e. O campo magnético se inverte



12. Os motores elétricos são dispositivos fundamentais na transformação de energia, desempenhando um papel essencial na sociedade moderna. Entre as personalidades envolvidas no desenvolvimento do motor elétrico, destaca-se Michael Faraday, cujas descobertas em eletromagnetismo pavimentaram o caminho para a criação desses dispositivos. Baseado no que foi lido no texto: O que é um motor elétrico?

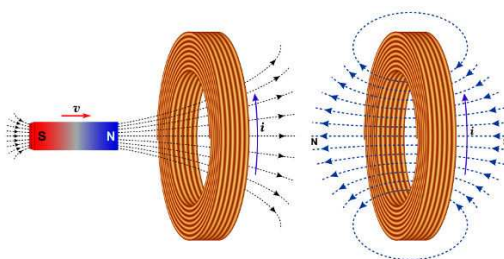


- a. Um dispositivo que converte energia térmica em energia elétrica
- b. Um dispositivo que converte energia elétrica em energia mecânica
- c. Um dispositivo que converte energia mecânica em energia elétrica
- d. Um dispositivo que armazena energia elétrica
- e. Um dispositivo que controla a resistência elétrica em um circuito

13. Qual princípio físico é a base do funcionamento de um motor elétrico?

- a. Lei de Ohm
- b. Lei da Conservação de Energia
- c. Lei de Faraday da Indução Eletromagnética
- d. Lei de Coulomb
- e. Princípio de Arquimedes

14. Michael Faraday formulou essa lei em 1831, e ela é fundamental para a compreensão de como geradores e transformadores funcionam. Com base nesse contexto e nas informações históricas, responda ao seguinte questionamento: O que diz a Lei de Faraday da Indução Eletromagnética?



- a. A corrente induzida em um condutor é sempre oposta à mudança no fluxo magnético que a causa
- b. A força eletromotriz induzida em um circuito é diretamente proporcional à taxa de variação do fluxo magnético através do circuito
- c. A força eletromotriz em um circuito fechado é sempre constante
- d. A corrente em um condutor é diretamente proporcional à resistência do condutor
- e. A tensão em um circuito é inversamente proporcional à corrente

15. O que acontece com a força eletromotriz induzida se o número de voltas de um fio em uma bobina aumentar?

- a. Aumenta
- b. Diminui
- c. Permanece a mesma
- d. Inverte sua direção
- e. Desaparece

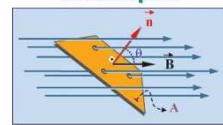
16. Em um experimento, um ímã é movido rapidamente através de uma bobina. O que ocorre com a força eletromotriz induzida se a velocidade do ímã for duplicada?

- a. Aumenta
- b. Diminui
- c. Permanece a mesma
- d. Inverte sua direção
- e. Desaparece

17. O que é fluxo magnético?

- a. A quantidade de corrente em um campo magnético
- b. A resistência de um material ao magnetismo
- c. A medida do total de linhas de campo magnético passando através de uma área
- d. A força entre dois ímãs
- e. A carga elétrica em movimento em um campo magnético

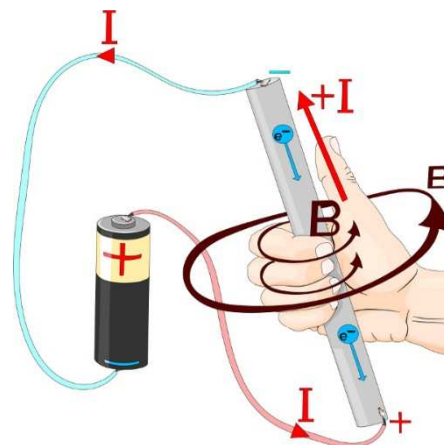
Fluxo Magnético Através de uma Espira



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

18. A Lei de Lenz fala acerca da direção da corrente induzida em um circuito. Formulada pelo físico alemão Heinrich Lenz em 1834, a lei é uma extensão da Lei de Faraday. Com base nesse contexto e nas informações históricas, responda à seguinte pergunta: O que diz a Lei de Lenz?

- a. A corrente induzida em um circuito sempre flui na direção que cria um campo magnético para aumentar a variação do fluxo magnético
- b. A corrente induzida em um circuito sempre flui na direção que cria um campo magnético para se opor à variação do fluxo magnético
- c. A força eletromotriz em um circuito é inversamente proporcional à resistência do circuito
- d. A variação do fluxo magnético em um circuito fechado é sempre constante
- e. A corrente em um condutor é diretamente proporcional à resistência do condutor



19. Qual é o princípio subjacente à Lei de Lenz?

- a. Conservação da energia    b. Lei de Coulomb    c. Princípio de Arquimedes    d. Lei de Ohm
- e. Conservação da massa

20. Qual é o efeito prático da Lei de Lenz em dispositivos elétricos como motores e geradores?

- a. Redução da eficiência energética    b. Aquecimento excessivo
- c. Limitação da corrente máxima    d. Estabilização da corrente induzida
- e. Conservação da energia através da oposição a mudanças no fluxo magnético

21. Em um freio eletromagnético, a aplicação da Lei de Lenz resulta em:

- a. Geração de calor excessivo    b. Produção de luz
- c. Criação de uma força que se opõe ao movimento do rotor
- d. Redução da resistência elétrica    e. Aumento da eficiência do motor



**APÊNDICE B – FORMULÁRIO TESTE SATISFAÇÃO – (Q-TESTE) – DISCENTES**

Professor Doutorando: Frederico Rozendo da Silva

Orientador: Prof. Dr. Gilvandenys Leite Sales.

Coorientador: Prof. Dr. Gilberto Santos Cerqueira

Aluno(a): \_\_\_\_\_ Data: \_\_/\_\_/\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_ Telefone: (\_\_\_\_) \_\_\_\_\_

Lembramos, ainda, que as informações coletadas são confidenciais e se destinam exclusivamente à pesquisa no âmbito da proposta de investigação de doutoramento.

1. Qual sua idade? \_\_\_\_\_

2. Qual seu gênero?

☐ Feminino

☐ Masculino

☐ Prefiro não dizer

☐ Outro: \_\_\_\_\_

3. Em relação a sua cor ou raça como você se identifica ?

☐ Branco

☐ Pardo

☐ Preto

☐ Indígena

☐ Não desejo informar

☐ Não sei informar

4. Qual sua turma?

☐ A

☐ B

☐ C

☐ D

5. Qual sua função?

☐ Aluno

6. Modalidade de Classificação da Instituição?

☐ Estadual

7. É a primeira vez que você que você participa de um projeto de pesquisa?

☐ Sim

☐ Não

8. Qual foi a última vez que você fez uma aula experimental de Física?

☐ A mais de 6 meses

☐ Entre 1 e 2 anos

☐ Há mais de 5 anos

☐ Essa foi a minha primeira experiência com aulas experimentais de Física

9. Sobre a escolha da Sequência Didática (6C's) como você se sente?

☐ Muito insatisfeito

☐ Insatisfeito

☐ Satisfeito

☐ Muito Satisfeito

10. Em relação ao acolhimento do pesquisador e dos professores que auxiliaram no projeto de pesquisa?

☐ Muito insatisfeito

☐ Insatisfeito

☐ Satisfeito

☐ Muito Satisfeito

11. Em relação a temática do Projeto de Pesquisa “Ensino de Eletromagnetismo”

☐ Muito insatisfeito

☐ Insatisfeito

☐ Satisfeito

☐ Muito Satisfeito

12. Sobre os experimentos apresentados no projeto de pesquisa como você avalia?



- ☐ Muito insatisfeito
- ☐ Insatisfeito
- ☐ Satisfeito
- ☐ Muito Satisfeito

13. Sobre o ambiente físico (espaço, climatização, limpeza, iluminação e segurança) no espaço em que as aulas foram realizadas?

- ☐ Muito insatisfeito
- ☐ Insatisfeito
- ☐ Satisfeito
- ☐ Muito Satisfeito

14. Em relação a mediação do pesquisador quanto a linguagem, abordagem do conteúdo e abertura para diálogos e participação?

- ☐ Muito insatisfeito
- ☐ Insatisfeito
- ☐ Satisfeito
- ☐ Muito Satisfeito

15. Sobre a Oficina de Práticas Experimentais, como você avalia essas vivências?

- ☐ Muito insatisfeito
- ☐ Insatisfeito
- ☐ Satisfeito
- ☐ Muito Satisfeito

16. Em relação ao tempo de aplicação do projeto de pesquisa?

- ☐ Muito insatisfeito
- ☐ Insatisfeito
- ☐ Satisfeito
- ☐ Muito Satisfeito

17. Caro aluno como avalia essa proposta de ensino dos conteúdos de eletromagnetismo?

- ☐ Muito insatisfeito
- ☐ Insatisfeito
- ☐ Satisfeito

☐ Muito Satisfeito

18. Essa proposta de ensino foi capaz de despertar emoções e sentimentos?

☐ Muito insatisfeito

☐ Insatisfeito

☐ Satisfeito

☐ Muito Satisfeito

19. Caro aluno como você se sentiu participando dessa experiência de ensino sobre Eletromagnetismo?

☐ Feliz

☐ Contente

☐ Triste

☐ Admirado

20. Você gostaria de mais aulas com essa metodologia?

☐ Sim

☐ Não

21. Essa experiência de Sequência Didática aliada a experimentos reais e/ou experimentais foi significativa para você caro participante?

☐ Muito insatisfeito

☐ Insatisfeito

☐ Satisfeito

☐ Muito Satisfeito

22. Você acredita que a inserção da prática Maker (construção de modelos) pode potencializar a Sequência Didática 6C's?

☐ Sim

☐ Não

23. Como você avalia o papel das práticas experimentais no desenvolvimento do projeto?

☐ Muito insatisfeito

☐ Insatisfeito

☐ Satisfeito

☐ Muito Satisfeito

24. No geral como avaliam o projeto?

☐ Muito insatisfeito

☐ Insatisfeito

☐ Satisfeito

☐ Muito Satisfeito

25. Sugestões e/ou Críticas ou se preferir deixe uma mensagem para nós sobre essa vivência que você acabou de participar.

**APÊNDICE C – MATERIAL DE APOIO**



## CAPÍTULO I

### ASSOCIAÇÕES DE RESISTORES E FONTES

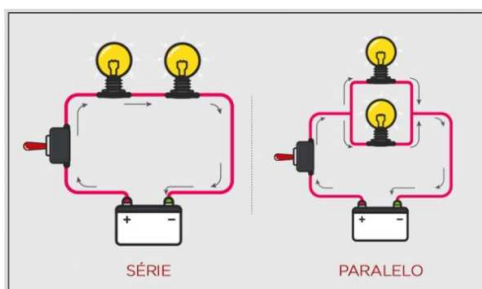
#### 1. INTRODUÇÃO

*As lâmpadas de uma árvore de Natal são ligadas da mesma maneira que as lâmpadas de uma residência?*

Você já estudou a corrente elétrica em circuitos simples, compostos de um resistor, uma fonte, um interruptor e fios de ligação. Mas, em geral, os circuitos utilizados são muito mais complexos. Em uma residência, por exemplo, existem vários aparelhos resistivos (lâmpadas, chuveiros, aquecedores etc.) que devem ser ligados corretamente à rede elétrica.

Vamos analisar duas maneiras básicas de associar aparelhos resistivos: em **série** e em **paralelo**, mas antes vamos relembrar o que são circuitos elétricos.

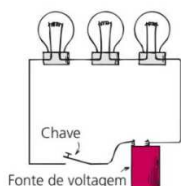
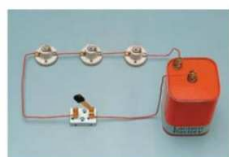
Qualquer caminho por onde os elétrons possam fluir é chamado de um **circuito elétrico**. Para um fluxo contínuo de elétrons, deve haver um circuito elétrico sem interrupções. Uma chave elétrica, que pode ser ligada e desligada para estabelecer ou cortar o fornecimento de energia, é geralmente usada para implementar interrupções no circuito. A maior parte dos circuitos possui mais do que um dispositivo que recebe energia elétrica. Esses dispositivos em geral são conectados a um circuito de uma entre duas maneiras possíveis, ou **em série** ou **em paralelo**. Quando conectados **em série**, eles formam um **único caminho** para o fluxo de elétrons entre os terminais da bateria ou da tomada da parede (que constitui simplesmente uma extensão desses terminais). Quando conectados **em paralelo**, eles formam ramos, cada um dos quais é um caminho separado para o fluxo eletrônico. Tanto as conexões em série como em paralelo possuem suas próprias características, que o distinguem. Deveremos abordar rapidamente circuitos que usem esses dois tipos de conexão, como ilustra a Fig. 1.1.



**Figura 1.1:** Circuitos em série e em paralelo.

Fonte:

<https://www.facebook.com/eletricaAndra/photos/a.455263321213179/7495266143879493/?type=3>



**Figura 1.2:** Um circuito em série básico. A bateria de 6 V mantém 2 V aplicados em cada lâmpada.

## 2. CIRCUITOS EM SÉRIE

Quando vários elementos de um circuito elétrico estão ligados em fila, ao longo da passagem de uma mesma corrente que os atravessa, diz-se que estão ligados **em série**.

Um circuito em série básico é mostrado na Figura 1.2. Todos os dispositivos, lâmpadas neste caso, são ligados ponta a ponta, formando um único caminho por onde os elétrons podem fluir. As três lâmpadas estão conectadas em série com a bateria. Quando a chave é fechada, a mesma corrente se estabelece quase que imediatamente nas três lâmpadas, e também na bateria. Quanto maior a corrente em uma lâmpada, mais intensamente ela brilhará. Os elétrons não “se acumulam” em nenhuma lâmpada e sim fluem através de cada uma delas – simultaneamente. Alguns elétrons se movem a partir do terminal negativo da bateria, outros se movem em direção ao terminal positivo e outros se movem através do filamento de cada lâmpada. Por fim, os elétrons podem percorrer todo o circuito (a mesma quantidade de corrente também atravessa a bateria). Este é o único caminho disponível para os elétrons no circuito. Uma interrupção em qualquer lugar do circuito resultará em um circuito aberto e na interrupção da corrente. A queima do filamento de qualquer das lâmpadas, ou simplesmente a abertura da chave, causará tal interrupção.

Representação	Vantagens e desvantagens	Corrente elétrica	Tensão elétrica
<p>Para representar um circuito em série, utilizam-se os mesmos símbolos usados para um circuito simples e colocam-se todos os resistores em uma mesma linha, que representa o fio.</p>	<p>Há poucas vantagens em utilizar um circuito em série. Uma delas pode ser a economia no comprimento dos fios. Uma desvantagem desse tipo de associação é que, caso ocorra um problema com algum dos resistores, o circuito se abre e a corrente é interrompida, isto é, o dispositivo para de funcionar.</p>	<p>Quando uma diferença de potencial é aplicada por uma bateria, uma corrente elétrica é gerada e percorre cada um dos resistores. A corrente que passa em cada resistor tem a mesma intensidade, ainda que suas resistências sejam diferentes entre si. Assim, para um circuito em série: <math>i_1 = i_2 = i_3 = i_4 = i_n</math></p>	<p>Conforme a primeira lei de Ohm:</p> $i = \frac{U}{R} \Rightarrow U = R \cdot i$ <p>Como <math>R</math> é uma propriedade do resistor e <math>i</math> é constante para todos os resistores, a tensão entre os terminais de cada resistor será diferente, dependendo do valor da resistência.</p>

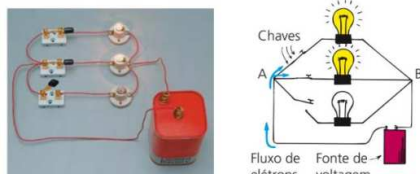
O circuito mostrado na Figura 1.2 ilustra as seguintes características importantes das conexões em série:

1. A corrente elétrica dispõe de um único caminho através do circuito. Isso significa que a mesma corrente percorre cada um dos dispositivos elétricos do circuito.
2. Essa corrente enfrenta a resistência do primeiro dispositivo, a resistência do segundo e a do terceiro também, de modo que a resistência total do circuito à corrente é a soma das resistências individuais que existem ao longo do circuito.
3. A corrente no circuito é numericamente igual à voltagem fornecida pela fonte dividida pela resistência total do circuito. Isso está de acordo com a lei de Ohm.
4. A voltagem suprida pela fonte é igual à soma das “quedas de voltagem” individuais em todos os dispositivos. Isso é consistente com o fato de a energia total fornecida ao circuito ser igual à soma das energias fornecidas a cada dispositivo.
5. A queda de voltagem em cada dispositivo é proporcional à sua resistência – a lei de Ohm se aplica separadamente a cada um deles. Isso segue do fato de mais energia ser dissipada quando uma corrente atravessa uma grande resistência do que quando passa por uma pequena resistência.

É fácil ver qual é a maior desvantagem de um circuito em série: se um dos dispositivos falhar, a corrente deixará de existir no circuito inteiro. Nos dias de outrora, as luzes natalinas eram ligadas em série. Quando uma das lâmpadas queima, é divertido e parecido com um jogo (ou frustrante) tentar encontrá-la para substituição.







**Figura 1.3:** Um circuito em paralelo básico. Uma bateria de 6 V mantém aplicados 6 V através de cada lâmpada.

Há outra maneira de se associar resistores que é a associação em paralelo. Esse tipo de associação não tem a desvantagem que acontece em uma associação em série de um circuito elétrico deixar de funcionar quando um dos resistores para de funcionar.

### 3. CIRCUITOS EM PARALELO

Um circuito tem resistores associados **em paralelo** quando são ligados de tal maneira que todos ficam submetidos à mesma diferença de potencial fornecida por uma fonte de tensão.

Um circuito em paralelo básico é mostrado na Figura 1.3. As três lâmpadas estão conectadas em paralelo aos mesmos dois pontos A e B. Os dispositivos elétricos que estão conectados aos mesmos dois pontos de um circuito elétrico são ditos estar conectados em paralelo. O caminho para a corrente fluir de um terminal da bateria ao outro estará completo se apenas uma das lâmpadas estiver ligada. Nessa ilustração, os ramos do circuito correspondem aos três caminhos separados ligando A a B. Uma interrupção em um desses caminhos não interrompe o fluxo de carga através dos outros caminhos. Cada dispositivo opera independentemente dos outros dispositivos.

Representação	Vantagens e desvantagens	Corrente elétrica	Tensão elétrica
<p>Neste tipo de circuito, a diferença de potencial em cada um dos resistores é a mesma e igual à da bateria, diferentemente do caso da ligação em série, na qual a diferença de potencial aplicada pela bateria era dividida proporcionalmente entre os resistores.</p> <p>Esquema representativo de um circuito em paralelo com três resistores.</p>	<p>Neste tipo de associação, mesmo que um dos resistores se queime, os outros resistores ainda funcionarão, pois haverá corrente elétrica passando, uma vez que existe um circuito fechado nos outros resistores. Somente ficará aberto o circuito do resistor queimado.</p>	<p>Neste tipo de associação, a corrente em cada resistor não tem a mesma intensidade. Quando a corrente elétrica atinge um nó, como o ponto A da figura que representa o circuito (na primeira coluna), percebe-se que há dois caminhos a serem seguidos: para baixo em direção a <math>R_1</math> ou continuar em frente em direção ao nó C. O que de fato acontece é que a corrente se divide em duas: <math>i_1</math>, que passa pelo resistor <math>R_1</math>, e <math>i_c</math>, que segue para o outro nó no ponto C. Quando a corrente atinge o ponto C, novamente ela se divide em duas partes, <math>i_2</math>, que passará pelo resistor <math>R_2</math>, e <math>i_3</math>, que atravessará o resistor <math>R_3</math>. A corrente que entra em um nó deve ser igual à soma das correntes que saem desse mesmo nó.</p>	<p>Em uma associação em paralelo, a tensão elétrica tem a mesma intensidade para todos os resistores, e é exatamente igual ao valor da tensão produzida pela fonte de energia do circuito. Assim:</p> $U_1 = U_2 = U_3 = U$

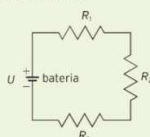
O circuito mostrado na Figura 23.18 ilustra as principais características das conexões em paralelo:

1. Cada dispositivo conecta os mesmos dois pontos A e B do circuito. A voltagem, portanto, é a mesma através de cada dispositivo.
2. A corrente total no circuito se divide entre os vários ramos paralelos. A lei de Ohm se aplica separadamente a cada ramo.
3. A corrente total no circuito é igual à soma das correntes em seus ramos paralelos. Esta soma é igual à corrente na bateria ou em outras fontes de voltagem.
4. Quando o número de ramos paralelos aumenta, a resistência total do circuito diminui. A resistência total diminui a cada caminho adicionado entre dois pontos quaisquer do circuito. Isso significa que a resistência total do circuito é menor do que a resistência de qualquer um de seus ramos.

## TEXTO DE APOIO (capítulo I)

## EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

5. O circuito representado a seguir é composto de três resistores,  $R_1 = 1,5 \, \Omega$ ,  $R_2 = 4 \, \Omega$  e  $R_3 = 0,5 \, \Omega$ , conectados em série a uma bateria de 12 volts. Monte uma tabela com os valores de corrente e de tensão em cada resistor.



## Resolução

A corrente que passará pelo circuito é a mesma em qualquer dos resistores. Para calcular a corrente do circuito, aplicamos a lei de Ohm

$$i = \frac{U}{R_{\text{eq}}}$$

em que  $R_{\text{eq}}$  é a resistência equivalente da associação dos três resistores e  $U$  é a tensão fornecida pela bateria ao circuito.

Como os resistores estão ligados em série, escrevemos:

$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 + R_3 = 1,5 + 4 + 0,5 \Rightarrow R_{\text{eq}} = 6 \, \Omega$$

$$\text{Logo: } i = \frac{U}{R_{\text{eq}}} = \frac{12}{6} \Rightarrow i = 2 \, \text{A}.$$

A voltagem em cada resistor é dada pela lei de Ohm:

$$U_1 = i \cdot R_1 = 2 \cdot 1,5 \Rightarrow U_1 = 3 \, \text{V}$$

$$U_2 = i \cdot R_2 = 2 \cdot 4 \Rightarrow U_2 = 8 \, \text{V}$$

$$U_3 = i \cdot R_3 = 2 \cdot 0,5 \Rightarrow U_3 = 1 \, \text{V}$$

Em um circuito com resistores em série, a soma das voltagens nos resistores é igual à voltagem fornecida pela bateria:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = 3 \, \text{V} + 8 \, \text{V} + 1 \, \text{V} = 12 \, \text{V}$$

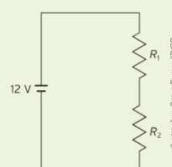
que é a diferença de potencial da fonte.

A tabela a seguir resume todos os resultados.

	$R \, (\Omega)$	$i \, (\text{A})$	$U \, (\text{V})$
1	1,5	2	3
2	4	2	8
3	0,5	2	1

6. No circuito esquematizado na figura, dois resistores de valores  $R_1 = R$  e  $R_2 = 2 \cdot R$  estão ligados em série e conectados a uma bateria de 12 V. Sabendo que a corrente no circuito é 0,4 A, calcule o valor de  $R$ .

## Resolução



O primeiro procedimento é calcular a resistência equivalente, que é a soma das resistências dos dois resistores:

$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 = R + 2 \cdot R = 3 \cdot R$$

Substituindo esse valor da resistência equivalente na expressão para a corrente, obtemos:

$$i = \frac{U}{3 \cdot R}$$

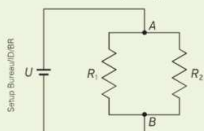
Isolando a resistência  $R$ , obtemos:

$$R = \frac{U}{3 \cdot i} = \frac{12}{3 \cdot 0,4} = \frac{12}{1,2} \Rightarrow R = 10 \, \Omega$$

Logo, um dos resistores tem resistência de 10  $\Omega$  e o outro de 20  $\Omega$ .

## EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

9. A figura a seguir representa um circuito com dois resistores, sendo  $R_2 = 3 \cdot R_1$ , conectados a uma bateria que fornece uma diferença de potencial igual a  $U$ .



- a) Calcule a resistência equivalente desse circuito em função de  $R_1$ .  
b) Determine a razão entre a corrente  $i_2$ , que passa pelo resistor de resistência  $R_2$ , e a corrente total que atravessa a associação de resistores.

## Resolução

- a) Como os dois resistores estão conectados em paralelo, a resistência equivalente da associação é dada por:

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow \frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{3 \cdot R_1} = \frac{4}{4 \cdot R_1} = \frac{1}{R_1} \Rightarrow R_{\text{eq}} = R_1$$

- b) No circuito em paralelo, a tensão elétrica entre os pontos A e B é a mesma:  $U = U_1 = U_2$ . A corrente em cada resistor pode ser calculada aplicando a lei de Ohm:

$$i_1 = \frac{U}{R_1} \text{ e } i_2 = \frac{U}{R_2} \Rightarrow \frac{i_1}{i_2} = \frac{R_2}{R_1} = 3$$

Portanto, a corrente  $i_1$  no resistor  $R_1$ , cuja resistência é menor, é três vezes maior que a corrente  $i_2$  que passa pelo resistor de maior valor,  $R_2$ .

Sendo a corrente total  $i = i_1 + i_2$ , então:

$$i = i_1 + i_2 = 4 \cdot i_2$$

Portanto, a razão entre a corrente que passa pelo resistor de resistência  $R_2$  e a corrente total é de 1 para 4.

10. Um circuito é composto de cinco lâmpadas idênticas de resistência 1  $\Omega$ , ligadas em paralelo. Calcule:

- a) a resistência equivalente;  
b) a máxima voltagem que deve ser fornecida para que a corrente total na associação não ultrapasse 15 A.

## Resolução

- a) A resistência equivalente no caso de cinco resistores iguais em paralelo equivale a um quinto da resistência individual:

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{5}{R} \Rightarrow R_{\text{eq}} = \frac{R}{5} \Rightarrow R_{\text{eq}} = 0,2 \, \Omega$$

- b) A corrente total do circuito é igual a:

$$U_{\text{máx}} = R_{\text{eq}} \cdot i_{\text{máx}} = 0,2 \cdot 15 = 3 \Rightarrow U = 3 \, \text{V}$$

Portanto, a máxima voltagem será 3 V, para que a corrente total nessa associação não ultrapasse 15 A.



#### 4. REVISÃO

Através deste texto aprendemos algumas características dos circuitos com resistores em série e em paralelo.

*Em série:*

A tensão total é a soma das tensões em cada resistor. ( $U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$ )

A corrente é a mesma em qualquer resistor. ( $i$  é constante)

A resistência equivalente ( $R$ ) é calculada por: ( $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$ )

*Em paralelo:*

A tensão é a mesma para qualquer resistor. ( $U$  é constante)

A corrente total é a soma das correntes em cada resistor. ( $i = i_1 + i_2 + i_3 + \dots$ )

A resistência equivalente ( $R$ ) é calculada por: ( $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$ )

#### 5. VÍDEOS

Para que você possa se aprofundar nesses assuntos, sugerimos os seguintes vídeos:

- <https://www.youtube.com/watch?v=C9ijztHTfUM>
- <https://www.youtube.com/watch?v=UllxuhpKwVc>
- <https://www.youtube.com/watch?v=ZLm6-al3FiE>
- <https://www.youtube.com/watch?v=Gmr8dAn5BsU>

#### 6. BIBLIOGRAFIA

Folho, A.G.; Toscano, C. *Física: Interação e Tecnologia*, vol. 3. Ed. 2. São Paulo: Ley, 2016.

Halliday, D.; Resnick, R.; Krane, K. *Física*, vol. 3. Ed. 4. Rio de Janeiro: LTC, 1992.

Hewitt, P. G. *Física Conceitual*. Ed. 9 – Porto Alegre: Bookman, 2002.

Válio, A.B.M. *Ser Protagonista: Física 3*, vol. 3. Ed. 3. São Paulo: SM, 2016.

TEXTO DE APOIO (capítulo I)

## CAPÍTULO II

### O ÍMÃ ELÉTRICO OU ELETROÍMÃ

#### 1. INTRODUÇÃO

##### Existe campo magnético em um circuito elétrico?

Durante muito tempo, os fenômenos elétricos e magnéticos foram estudados separadamente, pois não havia nenhuma evidência de que existia relação entre eles. Isso começou a mudar no século XIX, com o trabalho do físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851), que analisou a possibilidade de fenômenos elétricos serem influenciados por fenômenos magnéticos, em seu livro *Pesquisa sobre a identidade de forças elétricas e químicas* (publicado em 1812).

Em 1820, Oersted verificou que a posição da agulha de uma bússola podia ser alterada quando colocadas próximas a um fio condutor, percorrido por uma corrente elétrica.

Posicionando o fio paralelamente à agulha da bússola, Oersted verificou que a agulha mantinha sua orientação natural (Fig. 2.1a) quando o fio não era atravessado por uma corrente elétrica. Ao fechar o circuito, a agulha girava até ficar praticamente perpendicular ao fio (Fig. 2.1b). Invertendo o sentido da corrente no fio, a orientação da agulha também se invertia, mantendo-se ainda praticamente perpendicular ao fio.

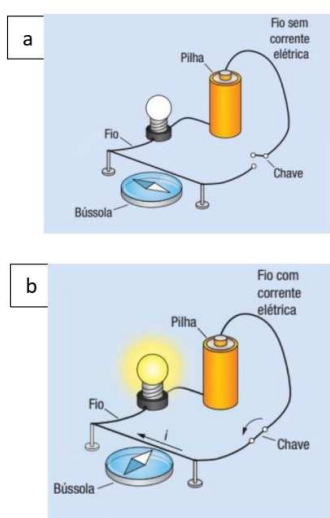
O movimento da agulha indicava a ação de uma força sobre ela (Fig. 2.2) atuando na direção perpendicular ao fio, quando existia uma corrente elétrica. Esse fenômeno levou algum tempo para ser interpretado satisfatoriamente pelos cientistas.

Uma bússola pode ser utilizada como um “detector” de campos magnéticos. Assim, o movimento da agulha, observado por Oersted, está indicando a presença de outro campo magnético na região, além daquele criado pela Terra e que é responsável pela orientação natural da agulha.

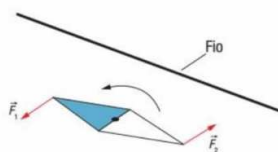
Esse outro campo magnético ao redor do fio, cuja a existência é captada pela bússola, só aparece quando há corrente elétrica.

As linhas do campo magnético criado pela corrente elétrica num **fio reto** são circulares e fechadas e seu sentido acompanha a orientação da bússola. A figura 2.3 ilustra o efeito desse campo para várias posições da bússola, em um plano perpendicular ao fio.

Podemos inferir que além de ímãs, movimento de

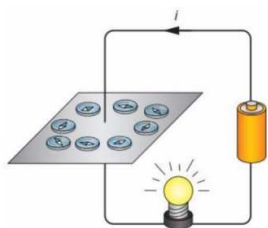


**Figura 2.1:** (a) Com o circuito aberto, não passa corrente elétrica pelos fios e a agulha da bússola encontra-se alinhada com o campo magnético da Terra. (b) A corrente elétrica que passa pelo circuito gera um campo magnético que, somado ao campo magnético terrestre, desvia a agulha magnética da bússola.

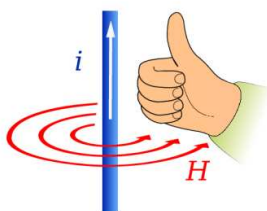


**Figura 2.2:** Representação das forças que agem sobre a agulha magnetizada da bússola.

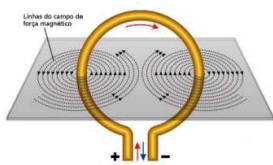




**Figura 2.3:** Indicação da agulha da bússola em várias posições próximas a um fio reto percorrido por uma corrente elétrica.



**Figura 2.4:** Regra da mão direita: fazendo-se o polegar apontar no sentido da corrente elétrica e os demais dedos envolverem o condutor, indicando a orientação das linhas do campo magnético gerado pela corrente elétrica.



**Figura 2.5:** Representação das linhas do campo magnético criado pela corrente elétrica em um fio circular.

cargas elétricas (ou correntes elétricas) também podem ser consideradas fontes de campo magnético.

A orientação das linhas de campo magnético pode ser determinada utilizando a regra da mão direita: posicionando-se a mão direita no circuito de modo que o polegar aponte para o sentido da corrente elétrica no fio, os demais dedos indicam o sentido das linhas do campo magnético (figura 2.4)

Se a disposição do fio com corrente for alterada, ou seja, se ele não estiver mais reto, a configuração das linhas do campo magnético criado por essa corrente também se modificará. Na figura 2.5 está representada as linhas de campo para um fio em círculo, uma **espira circular**.

A experiência de Oersted, que juntou a eletricidade e o magnetismo, impulsionou diversas outras descobertas, entre elas a efetivada pelo físico francês Dominique-François-Jean-Arago (1786-1853). Ele demonstrou que um fio enrolado em um pedaço de ferro se torna um ímã quando percorrido por uma corrente elétrica. Inventou-se, então, o eletroímã - ímãs temporários produzidos por corrente elétrica (esquema abaixo)



Esquema de um eletroímã. O núcleo de ferro intensifica o campo produzido pelo solenoide, que pode ser controlado variando-se a corrente elétrica.

Os eletroímãs apresentam duas vantagens em relação aos ímãs naturais: a primeira é a possibilidade de poderem ser fabricados, ou seja, não seria necessário procurar ímãs na natureza; a segunda é que, ao contrário do ímã natural, ele pode ser ligado ou desligado, porque o efeito magnético do eletroímã dura somente enquanto houver corrente elétrica percorrendo o fio, tornando o eletroímã bastante versátil.

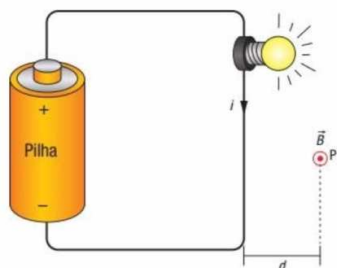
## 2. CÁLCULO DO CAMPO MAGNÉTICO

O valor do campo magnético produzido por correntes elétricas nos três tipos de circuitos elétricos citados pode ser obtido com expressões matemáticas apresentadas a seguir.

## 3. CIRCUITO COM FIO RETILÍNEO

A intensidade do vetor indução magnética produzido por um fio retilíneo que transporta corrente elétrica é obtida por (figura 2.6) :

TEXTO DE APOIO (capítulo II)



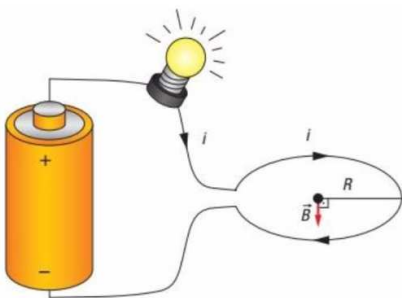
**Figura 2.6:** O campo magnético gerado pela corrente  $i$  em um ponto  $P$  a uma distância  $d$  do trecho retilíneo do fio é perpendicular ao fio, tangente a um círculo com centro no fio. Seu sentido pode ser descoberto através da aplicação da regra da mão direita.

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot d}$$

A demonstração dessa expressão não é objeto de estudo no Ensino Médio, pois envolve cálculos complexos. Nesta etapa, é importante saber que:

- $B$  é a intensidade do vetor indução magnética, medida em tesla (T);
- $i$  é a intensidade da corrente elétrica, medida em ampere (A);
- $d$  é a distância do centro do fio até o ponto onde se quer calcular a intensidade do vetor indução magnética, medida em metro (m);
- $\mu$  é uma constante que depende do meio em que o fio se encontra. Essa constante é denominada **permeabilidade magnética** e é medida em  $T \cdot \frac{m}{A}$ . Seu valor no vácuo é:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} T \cdot \frac{m}{A}$ . Salvo especificação em contrário, esse será o valor adotado em todos os exemplos e exercícios que virão a seguir.

#### 4. CIRCUITO COM ESPIRA CIRCULAR



**Figura 2.7:** Representação de um circuito fechado com espira circular.

Quando um fio retilíneo é encurvado em forma de circunferência, obtém-se uma espira circular. Ao fazer passar uma corrente elétrica pela espira, tem-se um campo magnético cujo sentido das linhas de indução é obtido pela regra da mão direita.

O campo magnético produzido pela corrente elétrica no centro da espira circular depende do seu raio e da intensidade da corrente elétrica. Quanto maior a corrente, maior o valor do campo. Quanto maior o raio da espira menor o valor do campo.

As expressões para calcular a intensidade do vetor indução magnética de uma espira circular em um ponto qualquer são obtidas por meio de cálculos não estudados neste livro. Contudo, em muitas situações é importante calcular essa intensidade pelo menos no centro da espira. Para tanto, usamos:

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

Em que:

- $B$  representa a intensidade do vetor indução magnética, medida em tesla (T);
- $i$  é a intensidade da corrente elétrica, medida em ampere (A);
- $\mu_0$  é a permeabilidade magnética do meio, medida em  $T \cdot \frac{m}{A}$ ;

- $R$  é o raio da espira, medido em metro (m).

### 5. CIRCUITO COM SOLENOIDE

Quando um fio é enrolado de maneira uniforme em varias espiras circulares obtém-se um **solenóide**.

Solenóide, mais conhecido como **bobina**, é um fio condutor enrolado em forma de hélice cilíndrica, parecendo uma mola comum.

O campo magnético gerado por um solenóide é o resultado da sobreposição dos campos das varias espiras que o constituem.

O campo magnético produzido pela corrente elétrica em um solenóide pode ser calculado no interior do solenóide, ao longo do seu eixo central. Longe ou próximo das bordas. Seu valor depende da intensidade da corrente elétrica, do número de voltas do solenóide e de seu comprimento. Quanto mais juntas as voltas estão umas das outras, maior o valor do campo magnético.

É razoável supor que a intensidade do campo magnético depende dos seguintes fatores:

- **Número de espiras ( $N$ ):** quanto maior a quantidade de espiras, mais intenso é o campo. O contrario também é verdadeiro: quanto menor for a quantidade de espiras do solenóide, menor sera a intensidade do campo magnético.
- **Comprimento ( $L$ ):** quando os solenóides são muito longos e com poucas espiras (as distâncias entre elas são consideráveis), a intensidade do campo magnético diminui. Por outro lado, quanto mais juntas as espiras estiverem ao longo do solenóide, maior sera a intensidade do campo magnético.
- **Corrente elétrica ( $i$ ):** quanto maior a intensidade da corrente elétrica que circula em cada espira, maior sera a intensidade do campo. O contrario também é verdadeiro: quanto menor a intensidade da corrente, menor sera o campo. As variáveis descritas relacionam-se por meio da seguinte equação:

$$B = \mu_0 \cdot i \cdot \frac{N}{L}$$

A equação acima às vezes aparece como  $B = \mu_0 \cdot n \cdot i$ , em que  $n = \frac{N}{L}$  é o número de espiras por unidade de comprimento.

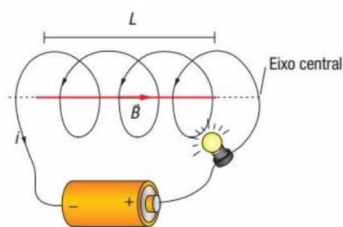
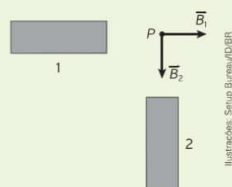


Figura 2.8: Representação de um circuito fechado com solenoide.



## EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

6. A figura abaixo mostra dois ímãs colocados próximo a um ponto  $P$ . As setas indicam os campos magnéticos gerados nesse ponto separadamente pelos ímãs.

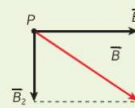


- a) Identifique a polaridade da extremidade que está mais próxima do ponto  $P$ , em cada um dos ímãs.  
 b) Obtenha a intensidade do campo magnético total no ponto  $P$ , sabendo que os campos indicados na figura têm intensidades  $B_1 = 8 \mu\text{T}$  e  $B_2 = 6 \mu\text{T}$ , em que  $1 \mu\text{T} = 10^{-6} \text{T}$ .

**Resolução**

- a) Observando na figura o sentido dos campos produzidos pelos ímãs 1 e 2, concluímos que a extremidade do ímã 1 que está mais perto de  $P$  corresponde a um polo norte, já que o vetor indução magnética  $\vec{B}_1$  tem o sentido de se afastar dela. Da mesma maneira, a extremidade do ímã 2 que está mais perto de  $P$  corresponde a um polo sul, pois  $\vec{B}_2$  aponta na direção dela.

- b) Pelo princípio da superposição, o campo magnético total é obtido por meio da soma vetorial dos campos gerados em cada um dos ímãs em separado.



Assim, o campo magnético total  $\vec{B}$  tem a direção e o sentido indicados na figura acima, e sua intensidade pode ser obtida pelo teorema de Pitágoras.

$$B^2 = B_1^2 + B_2^2 \Rightarrow B^2 = (8 \cdot 10^{-6})^2 + (6 \cdot 10^{-6})^2$$

$$B^2 = 64 \cdot 10^{-12} + 36 \cdot 10^{-12} = 100 \cdot 10^{-12}$$

$$B = \sqrt{100 \cdot 10^{-12}} \Rightarrow B = 10 \cdot 10^{-6} \text{T} = 10 \mu\text{T}$$

7. Um fio longo e retilíneo é percorrido por uma corrente constante de intensidade  $10 \text{ A}$ . Calcule a intensidade do vetor indução magnética em um ponto localizado a  $10 \text{ cm}$  desse fio. Considere:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{T} \cdot \frac{\text{m}}{\text{A}}$

**Resolução**

A distância do ponto ao fio é:  $d = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$

Substituindo os valores na expressão, temos:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{2 \cdot \pi \cdot 0,1} \Rightarrow B = 2 \cdot 10^{-5}$$

Portanto, a intensidade do campo é  $2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ .

## EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

12. Uma espira circular de raio  $2 \text{ cm}$  é percorrida por uma corrente elétrica constante de intensidade  $2 \text{ A}$ . Calcule a intensidade do vetor indução magnética no centro dessa espira. Considere a permeabilidade magnética do meio igual a  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{T} \cdot \frac{\text{m}}{\text{A}}$  e  $\pi \approx 3,1$ .

**Resolução**

O raio da espira é:  $R = 2 \text{ cm} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ .

Substituindo os valores na expressão para a intensidade do vetor indução magnética no centro da espira, temos:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2 \cdot R} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow B \approx 6,3 \cdot 10^{-5} \text{T}$$

Portanto, a intensidade do campo no centro da espira é aproximadamente  $6,3 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ .

13. Um solenoide de  $50 \text{ cm}$  de comprimento foi construído enrolando-se  $50$  espiras. Quando se faz passar

corrente pelo solenoide, é gerado em seu interior um campo magnético de intensidade  $2\pi \cdot 10^{-4} \text{ T}$ . Determine a intensidade da corrente que percorre o solenoide.

**Resolução**

Temos:  $L = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$ .

Substituindo os valores na expressão para a intensidade do campo no solenoide, temos:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i \cdot N}{L} \Rightarrow 2\pi \cdot 10^{-4} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot i \cdot 50}{0,5}$$

$$i = \frac{2\pi \cdot 10^{-4} \cdot 0,5}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 50} \Rightarrow i = \frac{1 \cdot 10^{-4}}{200 \cdot 10^{-7}}$$

$$i = \frac{1 \cdot 10^{-4} \cdot 10^7}{2 \cdot 10^2} \Rightarrow i = 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot 10^7 \cdot 10^{-2}$$

$$i = 5$$

O solenoide é percorrido por uma corrente de  $5 \text{ A}$ .

TEXTO DE APOIO (capítulo II)



## 6. REVISÃO

Nesse capítulo discutimos o surgimento de campo magnético ao redor de fios condutores percorridos por corrente elétrica. Em particular, foram abordados três tipos de condutores (fio retilíneo, espira circular e solenóide) e as respectivas configurações do campo magnético ao redor de cada um deles.

## 7. VÍDEOS

Para que você possa se aprofundar nesses assuntos, sugerimos os seguintes vídeos:

- <http://www.youtube.com/watch?v=axud8v0ThqU>
- <http://www.youtube.com/watch?v=tKxFLH2Nhe4>
- <http://www.youtube.com/watch?v=tD97Vhna-ic>
- <http://www.youtube.com/watch?v=plvIEf7JsKo>
- [http://www.youtube.com/watch?NR=1&v=6\\_2D3Lh1v74](http://www.youtube.com/watch?NR=1&v=6_2D3Lh1v74)

## 8. BIBLIOGRAFIA

Folho, A.G.; Toscano, C. *Física: Interação e Tecnologia*, vol. 3. Ed. 2. São Paulo: Ley, 2016.

Halliday, D.; Resnick, R.; Krane, K. *Física*, vol. 3. Ed. 4. Rio de Janeiro: LTC, 1992.

Hewitt, P. G. *Física Conceitual*. Ed. 9 – Porto Alegre: Bookman, 2002.

Válío, A.B.M. *Ser Protagonista: Física 3*, vol. 3. Ed. 3. São Paulo: SM, 2016.

TEXTO DE APOIO (capítulo II)



Figura 3.1: André-Marie Ampère (1775-1836).

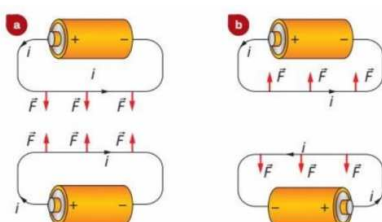


Figura 3.2: Representação da atração (a) e da repulsão (b) entre dois fios paralelos percorridos por correntes elétricas.

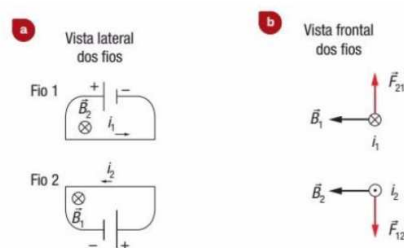


Figura 3.3: Representação (a) do campo magnético  $\vec{B}_2$  criado pela corrente  $i_2$  no fio 1 e pela corrente  $i_1$  no fio 2  $\vec{B}_1$  e (b) das forças que agem sobre os fios 1 e 2.

### CAPÍTULO III

#### A INTERAÇÃO ENTRE CORRENTES

##### 1. INTRODUÇÃO

###### Como funciona um motor elétrico?

Antes de entender o funcionamento de um motor elétrico, vamos discutir um trabalho que também sofreu influência da descoberta realizada por Oersted: o do físico e matemático francês André-Marie Ampère (figura 3.1). Ele elaborou outro meio para observar a atração e a repulsão magnética sem a necessidade de ímãs permanentes e limalhas de ferro: posicionando dois fios, retos e paralelos, próximos um ao outro, percorridos por correntes elétricas. A partir daí observou que, quando o sentido das correntes elétricas era o mesmo nos dois fios, havia uma atração entre eles; quando os sentidos das correntes eram opostos, havia repulsão entre eles (figura 3.2).

Pode-se interpretar esse experimento da seguinte maneira: a corrente elétrica no fio do circuito 1 cria um campo magnético na região ao seu redor. A corrente elétrica no fio do circuito 2 capta a presença desse campo e fica sujeita à ação de uma força magnética. O mesmo ocorre com a corrente no fio do circuito 1, que capta o campo magnético criado pela corrente no fio do circuito 2 e também fica sujeita a uma força magnética.

Agora observe as figuras 3.3a e 3.3b:

O símbolo  $\otimes$  significa que a corrente (ou campo  $\vec{B}$ , ou a força  $\vec{F}$ ) está entrando no plano do papel. O símbolo  $\odot$  significa que a corrente (ou campo  $\vec{B}$ , ou força  $\vec{F}$ ) está saindo do papel.

Na figura 3.3, o o campo magnético criado pela corrente do fio 1, no local onde está o fio 2, tem direção e sentido tais que está entrando no plano do papel. No local onde se encontra o fio 1, o campo magnético criado pela corrente 2 tem direção e sentido tais que também está entrando no plano do papel. Nos dois casos, a **força magnética é perpendicular à corrente no fio e ao campo magnético local**.

O experimento de Ampère, cujos resultados ele divulgou logo após a descoberta de Oersted, mostra que há uma interação entre as duas correntes elétricas existentes nos dois fios. Essa interação se manifesta por meio da ação da **força magnética** entre eles, e o **campo magnético** é o mediador dessa interação.

### Força magnética sobre uma carga $\times$ força magnética sobre um fio

Deduzimos a expressão da intensidade da força magnética sobre um fio retilíneo a partir da expressão da força magnética sobre uma partícula com carga elétrica. Para tanto, partimos da expressão  $F_m = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \theta$ . Nesse caso,  $v$  representa a velocidade da corrente no interior do condutor e  $q$  representa a quantidade de carga transportada. Pelas definições de  $i$  e  $v$ , temos:

$$i = \frac{q}{\Delta t} \Rightarrow q = i \cdot \Delta t \text{ e } v = \frac{L}{\Delta t}$$

Substituindo na expressão de  $F_m$ , obtemos:

$$F_m = i \cdot \Delta t \cdot \frac{L}{\Delta t} \cdot B \cdot \sin \theta$$

Cancelando  $\Delta t$ , chega-se à expressão final

$$F_m = B \cdot i \cdot L \cdot \sin \theta$$

que é a mesma expressão obtida no texto ao lado.

A intensidade da força magnética entre as correntes nos dois fios depende do valor das correntes, da distância entre os fios, do meio material que os envolve e de sua disposição. No caso particular de dois fios paralelos, com corrente elétrica constante, a intensidade da força magnética é calculada pela expressão:

$$F = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{i_1 \cdot i_2}{d} \cdot \ell$$

em que  $F$  é o valor da força medida em newton (N),  $\mu$  é a permeabilidade magnética do meio, medida em  $\frac{T \cdot m}{A}$ ,  $i_1$  e  $i_2$  são as correntes elétricas nos fios dos circuitos 1 e 2 medidas em ampere (A),  $d$  é a distância entre os fios medida em metro (m) e  $\ell$  é o comprimento do trecho dos fios que está sendo considerado, medido em metro (m).

Pode-se também calcular a intensidade da força magnética que age sobre um único fio sujeito a um campo magnético externo.

Para um campo uniforme, a intensidade da força dependerá das intensidades do campo externo e da corrente elétrica no fio, do comprimento do trecho desse fio “imerso” no campo magnético e também do ângulo entre o campo e o fio condutor no sentido da corrente elétrica, ou seja:

$$F = B \cdot i \cdot \ell \cdot \sin \theta$$

em que  $F$  é o valor da força magnética sobre o fio, medida em newton (N),  $B$  é o valor do campo magnético na região, medido em tesla (T),  $i$  é o valor da corrente elétrica no fio, medida em ampere (A),  $\ell$  é o trecho de fio no campo magnético, medido em metro (m), e  $\theta$  é o ângulo entre o fio condutor no sentido da corrente e o campo magnético.

Observe a figura 3.4.

No caso ao lado,  $\ell$  é praticamente o comprimento da haste de cobre e  $\theta$  é  $90^\circ$ .

Observe que, também nessa situação, a força magnética é perpendicular à direção da corrente elétrica e ao campo magnético.

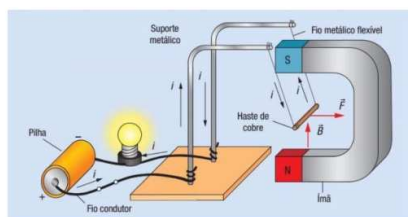


Figura 3.4: Circuito fechado, com haste sujeita a um campo magnético externo e sofrendo uma força magnética.

## 2. O GALVANÔMETRO

O dispositivo mais básico para revelar a existência de corrente elétrica é simplesmente um ímã capaz de girar livremente – como uma bússola. O próximo em simplicidade é constituído por uma bússola no interior das espiras de uma bobina (Figura 3.5).



## TEXTO DE APOIO (capítulo III)



Figura 3.5: Um galvanômetro muito simples.

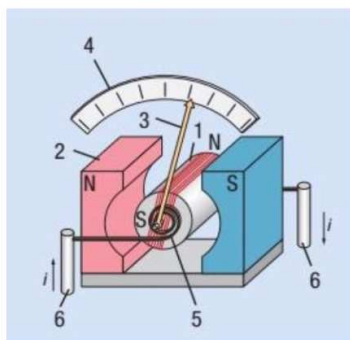


Figura 3.6: Representação de galvanômetro, composto de: (1) eletroímã; (2) ímã; (3) ponteiro; (4) escala; (5) mola; (6) fios condutores que ligam o eletroímã ao circuito.

Quando uma corrente elétrica passa pela bobina, cada espira gera seus próprios efeitos sobre a agulha, de modo que se pode detectar mesmo uma corrente muito pequena. Um instrumento sensível para revelar a presença de corrente é chamado de galvanômetro, uma homenagem a Luigi Galvani, que, no século XVIII, descobriu que metais diferentes produziam a contração de uma perna de rã que havia sido dissecada.

Um modelo mais comum de galvanômetro é mostrado na Figura 3.6. Ele emprega muitas espiras de fio e, portanto, é mais sensível. A bobina é montada de forma que possa girar, enquanto o ímã é mantido fixo. A bobina gira contra uma mola espiral, de maneira que quanto maior for a corrente nas espiras, maior será seu giro em torno do eixo. Um galvanômetro pode ser calibrado para medir correntes (em amperes), sendo chamado de amperímetro, nesse caso. Ou pode ser calibrado para medir o potencial elétrico (em volts), caso em que é chamado de voltímetro.

Quando um galvanômetro é utilizado para medir a **corrente elétrica** em um circuito, o fio do eletroímã deve ser conectado a ele em série. Para correntes muito intensas, capazes de danificar o delicado fio de cobre do eletroímã, um resistor deve ser conectado em paralelo ao galvanômetro.

Para medir a **tensão** em um circuito, o eletroímã deve ser conectado a ele em paralelo. Assim, para que apenas uma pequena parcela da corrente elétrica atinja o eletroímã, este deve ser conectado em série a um resistor (multiplicador) de alta resistência.

### 3. MOTOR ELÉTRICO

Se modificarmos um pouco o projeto do galvanômetro anterior, de modo que a deflexão possa realizar uma rotação completa, em vez de parcial, obteremos um motor elétrico. A principal diferença é que num motor elétrico a corrente troca de sentido cada vez que a bobina completa meia volta. Após ser forçado a completar uma meia volta, ele se mantém em movimento por um tempo até que a corrente troque de sentido; em consequência disso, ele é forçado a continuar seu movimento e completar mais uma meia volta, em vez de inverter seu sentido. Isso acontece repetidamente, de maneira a produzir uma rotação contínua, que pode ser usada para girar relógios, operar aparelhos e erguer cargas pesadas.

Na Figura 3.7, vemos um rascunho básico do princípio de funcionamento do motor elétrico. Um ímã permanente gera um campo magnético numa região, onde

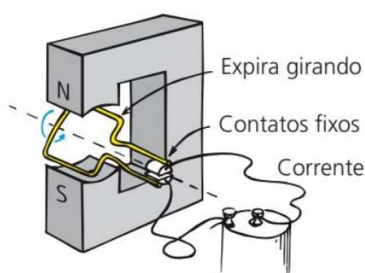


Figura 3.7: Um motor elétrico simplificado.

## TEXTO DE APOIO (capítulo III)

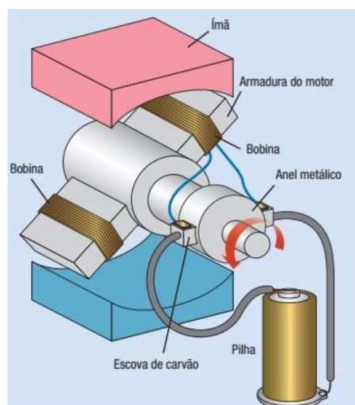


Figura 3.8: Esquema de um motor elétrico.



uma espira de fio de forma retangular é montada de maneira a poder girar em torno do eixo indicado pela linha tracejada. A corrente na espira troca de sentido a cada meia volta, e daí resulta a rotação contínua.

Em 1834, o americano Thomas Davenport construiu o primeiro motor elétrico com aplicação prática, utilizando um eletroímã fixado no eixo.

Qualquer corrente que esteja circulando na espira tem um determinado sentido em seu lado superior e um sentido oposto no lado inferior. (Elas precisam ser assim, porque se as cargas fluem para dentro do fio por uma de suas extremidades, elas têm de sair dele pela outra extremidade.) Se o lado superior da espira é forçado a se movimentar para a esquerda, pelo campo magnético, então o lado inferior é forçado para a direita, como se fosse parte de um galvanômetro. Mas de maneira diferente ao que acontece no galvanômetro, a corrente num motor troca de sentido a cada meia-volta, por meio de contatos estacionários nas extremidades das hastes. As partes do fio que giram e esfregam esses contatos são chamadas de escovas. Dessa maneira, a corrente na espira se alterna de maneira que as forças que agem nos lados superior e inferior da espira não mudam de sentido enquanto ela gira. A rotação continuará enquanto se fornecer uma corrente ao motor.

Acabamos de descrever apenas um motor de CC muito simplificado. Motores maiores, de CC ou CA, geralmente são fabricados substituindo-se o ímã permanente por um eletroímã alimentado por uma fonte elétrica de energia. É claro, são utilizadas mais espiras do que somente uma. Muitas espiras de fio são enroladas sobre a lateral de um cilindro de ferro, chamado de induzido ou rotor, que pode girar quando se faz passar uma corrente pelo fio.

O surgimento dos motores elétricos deu fim a muito trabalho penoso, humano ou animal, em muitas partes do mundo. Os motores elétricos mudaram muito a maneira das pessoas viverem.

## EXERCÍCIO RESOLVIDO

29. Um fio retilíneo é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade 5 A. Um trecho desse fio, com 20 cm de comprimento, é imerso em uma região que apresenta um campo magnético constante de intensidade  $4 \cdot 10^{-3}$  T. Calcule a intensidade da força magnética que atua nesse trecho do fio nos casos em que:

a) o fio é colocado paralelamente às linhas de indução magnética;

b) o fio é colocado perpendicularmente às linhas de indução magnética.

## Resolução

a) Temos  $\theta = 0^\circ$  e como  $\sin 0^\circ = 0$ , a força magnética é nula.

b) Nesse caso,  $\theta = 90^\circ$ , assim temos:

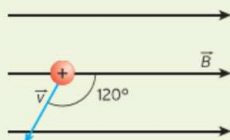
$$F_m = B \cdot i \cdot L \cdot \sin \theta = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 0,2 \cdot \sin 90^\circ$$

$$F_m = 4 \cdot 10^{-3} \therefore F_m = 4 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

TEXTO DE APOIO (capítulo III)

## EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

19. Uma partícula carregada com carga elétrica  $q = 1 \mu\text{C}$  viaja com velocidade igual a  $3 \cdot 10^4 \text{ m/s}$  e entra em uma região de campo magnético uniforme, de intensidade  $B = 2 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ . O ângulo entre a direção da velocidade e a das linhas de indução magnética é  $120^\circ$ . Caracterize a força magnética exercida na partícula.



## Resolução

A carga da partícula:  $q = 1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$ .

A intensidade do campo:  $B = 2 \cdot 10^{-3} \text{ T}$ .

A velocidade da partícula:  $v = 3 \cdot 10^4 \text{ m/s}$ .

O ângulo entre a direção do movimento da partícula e a das linhas de campo:  $\theta = 120^\circ$ .

Usando a regra da mão esquerda, com o dedo indicador apontando na direção do campo e o médio na direção da velocidade, o polegar indica o sentido da força que atuará na partícula como saindo da página.

Substituem-se os dados na expressão para a intensidade da força magnética.

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

$$F_m = 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot \sin 120^\circ$$

$$F_m = 3 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 3\sqrt{3} \cdot 10^{-5}$$

$$F_m \approx 5,2 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

Assim, o vetor força magnética tem as seguintes características:

Direção: perpendicular ao plano formado pelos vetores  $\vec{v}$  e  $\vec{B}$ .

Sentido: saindo da página.

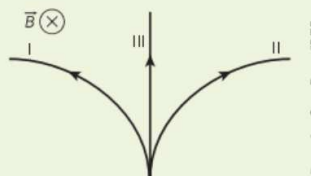
Intensidade:  $5,2 \cdot 10^{-5} \text{ N}$

20. Caracterize a força magnética da situação do exercício anterior, considerando os mesmos dados, com exceção do sinal da partícula, agora carregada negativamente.

## Resolução

Nesse caso, ocorre inversão no sentido da força, mantendo-se a mesma direção e intensidade.

21. As figuras I, II e III são trajetórias descritas por partículas que penetram em uma região de campo magnético uniforme, perpendicular ao plano do papel e entrando nele. Apresente uma justificativa para os desvios nas trajetórias I e II, enquanto a partícula que descreve a trajetória III segue em movimento retilíneo.



## Resolução

As partículas cujas trajetórias são representadas por I e II estão eletrizadas com cargas de sinais opostos, enquanto na trajetória III a partícula é neutra eletricamente, daí não interagir com o campo magnético. Pelas trajetórias, pode-se concluir que a partícula da trajetória I tem carga positiva, e a partícula da trajetória II tem carga negativa.

## 4. REVISÃO

Nesse capítulo discutimos a cerca das contribuições de André-Marie Ampère, seus experimentos e descobertas, sob a influência da descoberta de Oersted, bem como o funcionamento do galvanômetro e do motor elétrico.



## 5. VÍDEOS

Para que você possa se aprofundar nesses assuntos, sugerimos o seguinte vídeo:

- [https://www.youtube.com/watch?v=0okeV\\_UvTb4](https://www.youtube.com/watch?v=0okeV_UvTb4)
- <https://www.youtube.com/watch?v=AWpQhRXI4Qk>
- [https://www.youtube.com/watch?v=RbDaidfB\\_Ss](https://www.youtube.com/watch?v=RbDaidfB_Ss)
- <https://www.youtube.com/watch?v=3nbDBCq6thM>





## 6. BIBLIOGRAFIA

Folho, A.G.; Toscano, C. *Física: Interação e Tecnologia*, vol. 3. Ed. 2. São Paulo: Ley, 2016.

Halliday, D.; Resnick, R.; Krane, K. *Física*, vol. 3. Ed. 4. Rio de Janeiro: LTC, 1992.

Hewitt, P. G. *Física Conceitual*. Ed. 9 – Porto Alegre: Bookman, 2002.

Válio, A.B.M. *Ser Protagonista: Física 3*, vol. 3. Ed. 3. São Paulo: SM, 2016.



REGRA DE FLEMING

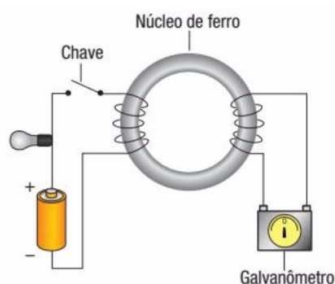


MOTOR ELÉTRICO

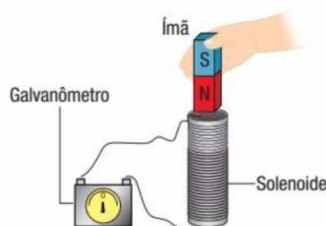


LEI DE AMPÈRE

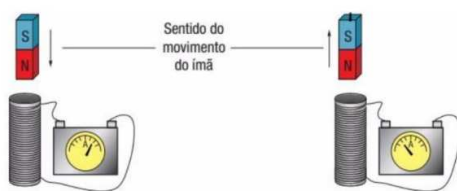
TEXTO DE APOIO (capítulo III)



**Figura 4.1:** Representação do circuito utilizado por Faraday para "produzir" corrente elétrica.



**Figura 4.2:** Representação de um circuito elétrico utilizado por Faraday, utilizando um solenoide e um ímã.



**Figura 4.3:** Representação de um ímã sendo inserido dentro de um solenoide pelo polo norte e, depois, sendo retirado. Note que não há nenhuma pilha ou bateria no circuito. Mesmo assim, surge uma corrente elétrica.

## CAPÍTULO IV

### FARADAY E O FENÔMENO DA INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

#### 1. INTRODUÇÃO

*O campo magnético pode estabelecer corrente elétrica?*

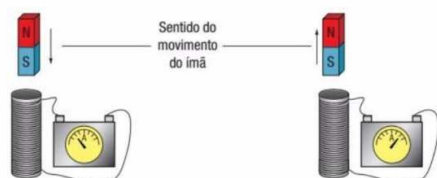
O físico e químico inglês Michael Faraday (1791-1867) achou surpreendente o resultado do experimento de Oersted, o qual havia descoberto que uma corrente elétrica em um fio condutor cria um campo magnético ao redor do fio, estabelecendo assim uma conexão entre os fenômenos elétricos e os magnéticos. Faraday tentou fazer o inverso, isto é, gerar uma corrente elétrica por meio de um campo magnético.

Em 1831, após várias tentativas, Faraday obteve o primeiro bom resultado em suas pesquisas. Ele utilizou uma bateria, ligada a um fio enrolado em um núcleo de ferro, e um outro fio, enrolado em outro trecho do mesmo núcleo de ferro, ligado a um galvanômetro (Figura 4.1).

Faraday observou que o ponteiro do galvanômetro indicava a existência de corrente elétrica no segundo fio toda vez que **abria** ou **fechava** o circuito do primeiro fio, ligado a bateria. Curiosamente, quando esse circuito permanecia fechado ou aberto, o ponteiro do galvanômetro não indicava a existência de corrente elétrica no segundo fio.

Para verificar se esse fenômeno ocorria em outras circunstâncias, Faraday realizou outros experimentos. Em um deles, construiu um solenoide, ligou os terminais do fio condutor a um galvanômetro e utilizou um ímã em forma de barra, que podia ser introduzido no interior do solenoide (Figura 4.2).

Quando o ímã era **aproximado** do interior do solenoide, durante o movimento, o ponteiro do galvanômetro indicava existência de **corrente elétrica**. Como ímã em repouso, o ponteiro do galvanômetro indicava zero. Quando o ímã era **distanciado** do solenoide, durante o movimento, o ponteiro do galvanômetro também registrava corrente elétrica, só que no sentido oposto ao da situação anterior (Figura 4.3).



**Figura 4.4:** Representação de um ímã sendo inserido dentro de um solenoide pelo polo sul e, depois, sendo retirado. Compare as indicações do galvanômetro nessa ilustração e na anterior.

### PARA REFLETIR

#### Transformação de energia

No fenômeno da indução de correntes, ocorre transformação de energia. Nos exemplos citados nesta página, a energia mecânica do ímã é convertida em energia elétrica.



**Figura 4.5:** Movimentando-se um eletroímã com corrente elétrica próximo a um solenoide, como representado na figura, o galvanômetro indica a existência de corrente elétrica.

Faraday observou ainda que, se a polaridade do ímã fosse invertida, isto é, se fosse aproximado o polo sul em vez do polo norte, o sentido da corrente elétrica no solenoide também seria invertido (Figura 4.4).

Faraday substituiu o ímã permanente por um eletroímã conectado a uma bateria. E observou que, também enquanto o eletroímã se aproximava ou afastava-se do solenoide, **durante o movimento**, o ponteiro do galvanômetro indicava existência de **corrente elétrica** (Figura 4.5).

E, da mesma forma que ocorria no experimento feito com ímã permanente, o **sentido da corrente elétrica** no circuito do solenoide tornava-se **invertido** com a **inversão do sentido do movimento do eletroímã**, quando este se aproximava ou se afastava do solenoide; quando o **eletroímã** estava **parado**, a **corrente elétrica** era nula.

De acordo com as observações de Faraday, uma corrente elétrica é estabelecida em um circuito fechado quando um ímã permanente ou outro circuito, com corrente elétrica, está em movimento em relação a ele - ou seja, sempre que a fonte do campo magnético se move em relação ao circuito elétrico fechado. Esse fenômeno recebeu o nome de **indução eletromagnética** e Faraday chamou a corrente gerada pelo campo magnético de **corrente elétrica induzida**.

Mas o que se altera, no caso de dois enrolamentos em um mesmo núcleo de ferro, apresentado na introdução deste item (figura 4.1)?

Faraday interpretou o fato da seguinte maneira: uma corrente elétrica estacionária, em um circuito elétrico em repouso (primeiro fio), não induz corrente elétrica em outro circuito (segundo fio), também em repouso. A indução só ocorre quando a corrente elétrica, no primeiro circuito, é variável. No caso de a fonte de energia ser uma pilha ou uma bateria, a corrente elétrica só varia no momento em que o circuito é aberto ou fechado, porque ela leva alguns instantes para se estabilizar e ficar estacionária.

A indução eletromagnética é resumida pela **lei de Faraday**, a qual estabelece que

**A voltagem induzida em uma bobina é proporcional ao produto do número de espiras pela área da seção transversal de cada espira e pela taxa com a qual o campo magnético varia no interior das espiras.**



Figura 4.6: Retrato de Heinrich Emil Lenz (1804-1865).



O valor da corrente produzida pela indução eletromagnética depende não apenas da voltagem induzida, mas também da resistência da própria bobina e do circuito ao qual ela está ligada.<sup>2</sup> Por exemplo, podemos empurrar bruscamente um ímã para dentro e para fora de uma espira de borracha e de outra feita de cobre.

A voltagem induzida em cada uma é a mesma, desde que as espiras tenham mesma forma e tamanho e que o ímã se mova com a mesma rapidez nos dois casos. Mas a corrente será completamente diferente. Os elétrons da borracha sentirão o mesmo campo elétrico sentido pelos elétrons do cobre, mas suas ligações com os átomos fixos da borracha os impedem de se movimentar livremente pelo material, como ocorre com os elétrons do cobre.

Mencionamos duas maneiras pelas quais a voltagem pode ser induzida em uma espira de fio: movendo a espira através do campo magnético de um ímã próximo ou movendo um ímã próximo à espira. Existe ainda uma terceira maneira, alterando a corrente em uma espira localizada próximo. Esses três casos possuem o mesmo ingrediente essencial – um campo magnético variável no interior da espira.

## 2. A LEI DE LENZ E A LEI DE FARADAY

**Qual a relação entre indução eletromagnética e o princípio da conservação da energia?**

A relação entre o sentido da corrente elétrica induzida em um circuito fechado e o campo magnético variável que a induziu foi estabelecida pelo físico bálgico-alemão Heinrich Emil Lenz (1804-1865; figura 4.6), contemporâneo de Faraday (1791-1867) e de Joseph Henry, físico americano (1797-1878). Todos eles estudaram o fenômeno da indução eletromagnética praticamente ao mesmo tempo.

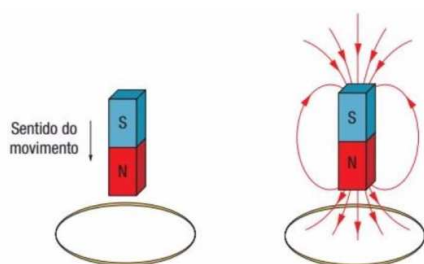


Figura 4.7: Representação de um ímã se aproximando de uma espira circular e a representação de linhas de campo magnético em um ímã.

### Lei de Lenz

Heinrich Lenz observou que a corrente elétrica induzida produzia efeitos **opostos** às suas causas. Mais especificamente, estabeleceu que o sentido da corrente elétrica induzida é tal que o **campo magnético criado por ela se opõe à variação do campo magnético que a produziu**.

Observe o sistema da figura 4.7, formado por um espira circular, que representa um circuito fechado, e um ímã em barra que se aproxima dela. Observe também as linhas de campo magnético criado pelo ímã.



Em épocas anteriores, as maiores contribuições à ciência eram feitas por homens de posses financeiras. Pessoas com pouco ou nenhum dinheiro eram atarefadas demais em ganhar a vida para poder despende o tempo requerido para uma investigação científica séria.

Michael Faraday foi um dos quatro filhos de James Faraday, um ferreiro de vila no sudoeste de Londres. Michael teve apenas uma educação escolar básica e acabou praticamente se autoeducando. Aos 13 anos, tornou-se aprendiz de um encadernador e, durante seus sete anos de aprendizagem, leu muitos livros na oficina. Michael era muito interessado por ciências, especialmente pela eletricidade. Em 1812, no final do aprendizado sobre encadernação e com 20 anos de idade, Faraday assistiu algumas palestras dadas pelo mundialmente famoso Sir Humphry Davy, membro da Royal Institution e da Royal Society. Ele tomava notas detalhadas durante as palestras, que depois reuniu na forma de um livro com mais de 300 páginas e o enviou a Davy. Este ficou muito impressionado e congratulou Faraday, embora, de início, ele o tenha aconselhado a permanecer como encadernador. Porém, no ano seguinte, quando o assistente de Davy foi despedido por causa de um incêndio, Davy convidou Faraday para substituí-lo.



Na rígida sociedade de classes inglesa da época, Faraday não era considerado um cavalheiro. Quando Davy, dezoito meses mais tarde, foi ao continente com sua nova esposa, Faraday foi junto, mas a esposa de Davy recusou-se a tratá-lo como um igual. Apesar disso, Faraday teve então uma oportunidade de se encontrar com a elite científica da Europa e obteve ideias estimulantes.

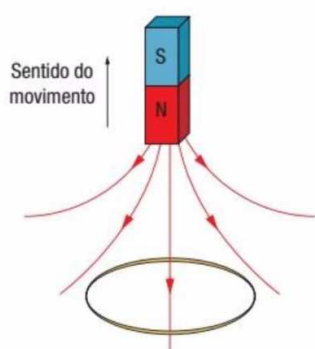
Faraday veio a ser um dos mais importantes cientistas experimentais da época. Ele fez descobertas significativas

na química, na eletrólise e principalmente na eletricidade e no magnetismo. Em 1831, fez sua mais notável descoberta. Ao mover um ímã para o interior de espiras de fio, induziu nelas uma corrente elétrica. Isso é o que se chama de *indução eletromagnética*, fenômeno coincidentemente descoberto mais ou menos na mesma época, na América do Norte, por Joseph Henry (o isolamento do fio que Henry usou para as espiras foi lacrimosamente doado por sua esposa, que sacrificou parte de seu vestido de casamento, feito de seda, para revestir os fios). Nessa época, a única maneira de produzir uma corrente elétrica substancial era por meio de baterias. A indução eletromagnética deu início à era da eletricidade.

As habilidades matemáticas de Faraday eram limitadas à álgebra elementar e não iam além da trigonometria. Por isso, ele costumava exprimir suas ideias pictoricamente e com linguagem simples. Faraday visualizava os efeitos elétricos e magnéticos exprimindo-os em termos de “linhas de força”. Agora, nós as chamamos de linhas de campo elétrico e de campo magnético, e elas se mantêm como ferramentas úteis na ciência e na engenharia.

Faraday recusou-se a participar da produção de armas químicas para a Guerra da Crimeia, alegando razões éticas. Ele era profundamente religioso e conheceu sua mulher, Sarah Barnard, em uma igreja. O casal não teve filhos. Faraday foi eleito membro de sociedades prestigiosas e, nos últimos anos da vida, adquiriu um alto *status* científico. Ele rejeitou ser condecorado e por duas vezes recusou-se a ser presidente da Royal Society. Ele fez grandes esforços em projetos de serviços para companhias privadas e para o governo britânico – o aumento da segurança nas minas, novas maneiras de operar faróis de navegação e o controle da poluição. Faraday foi um “verde” original.

A unidade de capacitância elétrica, o farad, recebeu este nome em homenagem a Faraday. Ele faleceu com 75 anos, em 1867. Antes da morte, rejeitou ser sepultado na Abadia de Westminster. Lá existe uma placa memorial a ele, próxima à tumba de Isaac Newton. Em vez de Westminster, ele foi sepultado em um lote na igreja que costumava frequentar.



**Figura 4.8:** Representação de ímã se afastando da espira. O número de linhas de campo que atravessam a espira diminui.

À medida que o ímã se aproxima da espira, a intensidade do campo na região da espira aumenta. Desse modo, a variação do campo magnético na região da espira induz uma corrente elétrica em um circuito. Lenz observou que o sentido dessa corrente induzida era tal que o campo magnético criado por ela se opunha à aproximação do ímã.

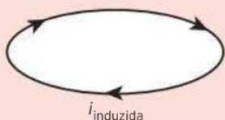
Afastando-se o ímã da espira, ocorre o efeito inverso: a intensidade do campo magnético na região da esfera diminui (figura 4.8).

Nessa situação também será induzida uma corrente elétrica na espira, com um sentido tal que o campo magnético criado por ela se opõe ao afastamento do ímã.

Assim, a lei de Lenz pode ser utilizada para determinar o sentido da corrente elétrica induzida, desde que indentifiquemos a fonte do campo magnético que está induzindo a corrente elétrica.

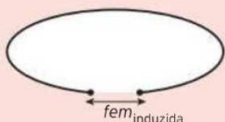
### CONCEITO EM QUESTÃO

Se a variação do fluxo magnético ocorre em um circuito **fechado**, ela gera uma corrente induzida nesse circuito.



Ilustrações: Setup  
Bureau/DJR

Se a variação de fluxo ocorre em um circuito **aberto**, não há corrente, mas surge uma força eletromotriz induzida.



### Lei de Faraday

Em relação ao fenômeno da indução eletromagnética, pode-se afirmar que uma corrente elétrica será induzida em um circuito fechado quando ele estiver sujeito a um campo magnético que **varia com o tempo**. Essa afirmação é conhecida como **lei de Faraday**.

O **sentido da corrente induzida** é tal que o campo magnético por ela gerado **compensa a variação do campo magnético que a gerou** (lei de Lenz). Ou seja: se com o passar do tempo há um aumento das linhas de campo que atravessam uma espira, aparecerá nela uma corrente induzida que criará um campo magnético no sentido contrário ao do que induziu a corrente. Se com o passar do tempo há uma diminuição das linhas de campo que atravessam uma espira, aparecerá nela uma corrente induzida que criará um campo magnético no mesmo sentido do que já existe em seu interior.

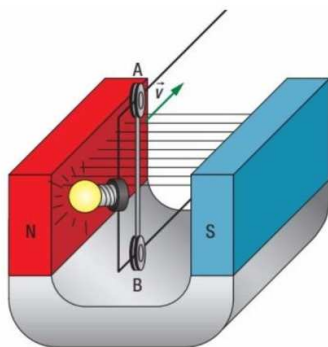
Um aspecto interessante da lei de Lenz é que ela pode ser entendida como uma manifestação do **princípio da conservação da energia**.

Imagine o que aconteceria se o sentido da corrente induzida não criasse um campo magnético oposto à variação do campo magnético que a originou. Seria necessário dispor de energia apenas para aproximar o ímã da espira e, a partir daí, ele seria atraído pelo campo criado por ela e é mantido em movimento, sendo inclusive acelerado em direção à espira. Caso isso de fato acontecesse, a energia cinética do ímã aumentaria sem custo algum.

O sentido da corrente elétrica induzida, previsto pela lei de Lenz, indica que, para obtermos corrente elétrica na espira, temos que vencer uma resistência, ou seja, temos de realizar o trabalho de movimentar o ímã através da espira por todo o tempo. A corrente elétrica induzida no circuito da espira indica a transformação de energia mecânica (movimento do ímã) em energia elétrica (corrente na espira).

Quando o circuito da espira está aberto, não é possível o surgimento de uma corrente induzida. Nessa situação, a lei de Faraday o aparecimento de uma tensão elétrica entre os terminais do circuito. Essa **tensão elétrica induzida**, também chamada de **força eletromotriz**, pode ser utilizada para acender uma lâmpada, por exemplo, se for conectada ao terminais, fechando o circuito.

TEXTO DE APOIO (capítulo IV)

**3. CÁLCULO DA CORRENTE ELÉTRICA INDUZIDA**

**Figura 4.9:** Representação de espira retangular no campo magnético de um ímã permanente em formato de "U". O lado móvel AB tem contato elétrico com o restante da espira.

**PARA REFLETIR****Alternadores e dínamos**

Os geradores de corrente alternada, conhecidos como **alternadores**, transformam a energia mecânica em energia elétrica pelo fenômeno da indução eletromagnética.

Com vasta aplicação em turbinas de usinas elétricas, em motores de carro e em algumas bicicletas, esses dispositivos, com algumas modificações, podem produzir corrente contínua. E, nesse caso, são chamados **dínamos**.



Alternador.

Atualmente há no mercado alguns tipos de lanterna que funcionam com dínamos. Pesquise como é o seu funcionamento.

A figura 4.9 uma espira retangular fixa, com uma lâmpada e um lado AB móvel. Ela encontra-se imersa no campo magnético de um ímã permanente, em forma de "U".

Admita que o campo do ímã seja uniforme e perpendicular ao plano interior da espira.

Movendo-se o lado AB, o número de linhas de campo que atravessam a espira aumenta e surge uma força eletromotriz entre os pontos A e B do circuito. Essa força eletromotriz, ou tensão elétrica induzida, resulta do acúmulo de elétrons livres em um dos terminais A (com a consequente diminuição de sua quantidade em B), provocada pela ação da força magnética sobre eles. Isso ocorre porque, quando o lado AB é posto em movimento, as partículas que o constituem adquirem certa velocidade e a ação da força magnética sobre os elétrons livres desloca-os para o terminal A (basta aplicar a "regra do tapa").

Para o cálculo da corrente induzida, utiliza-se uma grandeza física denominada **fluxo do campo magnético** ( $\varphi$ ). O fluxo magnético corresponde ao produto entre a intensidade do campo ( $B$ ), a área da superfície interna da espira ( $A$ ) e o cosseno do ângulo ( $\theta$ ) entre o campo e essa superfície.

$$\varphi = B \cdot A \cdot \cos\theta$$

No SI, a unidade de medida do fluxo do campo magnético é Wb (weber), que é igual a T.m<sup>2</sup>.

A força eletromotriz entre os terminais AB resulta da variação desse fluxo magnético, ou seja:

$$\varepsilon = \frac{\varphi_{\text{final}} - \varphi_{\text{inicial}}}{\Delta t}$$

O módulo da força eletromotriz ( $\varepsilon$ ) induzida pode ser obtido pela divisão entre a diferença do fluxo do campo magnético em dois instantes e o intervalo de tempo transcorrido entre eles.

$$|\varepsilon| = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

Na situação ilustrada na figura 4.9, existem quatro maneiras de provocar variação do fluxo magnético através da espira:

- mover o lado AB no sentido indicado na figura;
- mover o lado AB no sentido oposto ao indicado na figura;
- manter o lado AB fixo e girar a espira no sentido horário;
- manter o lado AB fixo e girar a espira no sentido anti-horário.



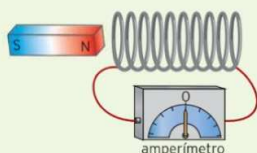
## TEXTO DE APOIO (capítulo IV)

A tensão elétrica induzida nos terminais AB provocará uma corrente elétrica no circuito, que acenderá a lâmpada se sua tensão nominal for compatível com a tensão induzida. A intensidade da corrente corresponde à divisão entre a força eletromotriz induzida. A intensidade da corrente corresponde à divisão entre a força eletromotriz induzida e a resistência elétrica do filamento da lâmpada (Lei de Ohm).

$$i = \frac{\varepsilon}{R}$$

## EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Uma bobina está ligada aos terminais de um amperímetro analógico, isto é, de ponteiro. Um ímã está próximo à bobina, como indicado na figura.

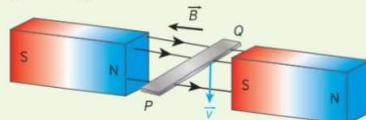


- Descreva o que indicará o amperímetro se o ímã se aproximar da bobina.
- Descreva o que ocorrerá com a indicação do amperímetro ao se afastar o ímã da bobina.
- Descreva o que o amperímetro indicará caso o ímã pare próximo da bobina.
- Caso se substitua o amperímetro por uma lâmpada de baixa potência, cite o que ocorrerá com a lâmpada ao se aproximar o ímã.
- Identifique as transformações de energia que ocorrem no item anterior.

## Resolução

- Quando o ímã se aproxima da bobina, surge nela uma corrente, devido ao fenômeno da indução eletromagnética. Consequentemente, o amperímetro indicará a intensidade da corrente induzida.
- Quando o ímã se afasta da bobina também surge uma corrente induzida. Nesse caso, porém, o amperímetro indicará uma corrente no sentido oposto ao da corrente do item anterior.
- Quando o ímã fica parado, nenhuma corrente é induzida, e o amperímetro indica zero.
- Como durante a aproximação do ímã surge uma corrente induzida, a lâmpada acenderá.
- Como o ímã está em movimento, ele possui energia cinética. Pelo fenômeno da indução eletromagnética, uma parcela da energia do ímã será convertida em energia elétrica. Como a lâmpada está presente no circuito, essa energia elétrica será convertida em energia térmica e em energia luminosa.

2. Uma barra de ferro cai em queda livre até passar por uma região entre dois ímãs, de acordo com a figura a seguir.



A barra tem suas extremidades marcadas com as letras P e Q, e o eixo que liga essas duas extremidades possui direção ortogonal às linhas de campo e paralela à direção horizontal.

- Caracterize a direção e o sentido da força magnética que atua nos elétrons livres da barra ao passar entre os ímãs.
- Identifique o sinal das cargas que ficam concentradas nas regiões P e Q.
- Represente a força eletromotriz induzida que surge na barra, utilizando o símbolo de um gerador ideal.

## Resolução

- De acordo com a regra da mão esquerda, e considerando a carga negativa dos elétrons, a força magnética que atua neles tem a direção da barra e é no sentido de Q para P.
- Como o sentido da força magnética nos elétrons é de Q para P, a extremidade P da barra fica com excesso de elétrons, e a extremidade Q, com carência de elétrons, de modo que a região P fica eletrizada negativamente, e a região Q, positivamente. Essa situação perdura enquanto a barra está sujeita ao campo magnético, na região entre os ímãs.
- Como a barra está eletrizada negativamente na região P e positivamente na região Q, a força eletromotriz induzida pode ser representada pelo gerador ideal  $\varepsilon$ .





TEXTO DE APOIO (capítulo IV)

#### 4. REVISÃO

Neste capítulo descrevemos as leis de Faraday e Lenz para o eletromagnetismo. Foi abordado que pode-se gerar corrente elétrica induzida através de um condutor, desde que ocorra variação do campo magnético através de sua superfície. Para determinar o sentido da corrente elétrica induzida, utiliza-se a lei de Lenz.

#### 5. VÍDEOS

Para que você possa se aprofundar nesses assuntos, sugerimos os seguintes vídeos:

- <http://www.youtube.com/watch?v=b-PpUjLZvIY>
- <http://www.youtube.com/watch?v=KGTZPTnZBFE>
- <http://www.youtube.com/watch?v=ZyG7q3SaDD0>
- <http://www.youtube.com/watch?v=M7d7pB0oeLw>

#### 6. BIBLIOGRAFIA

Folho, A.G.; Toscano, C. *Física: Interação e Tecnologia*, vol. 3. Ed. 2. São Paulo: Ley, 2016.

Halliday, D.; Resnick, R.; Krane, K. *Física*, vol. 3. Ed. 4. Rio de Janeiro: LTC, 1992.

Hewitt, P. G. *Física Conceitual*. Ed. 9 – Porto Alegre: Bookman, 2002.

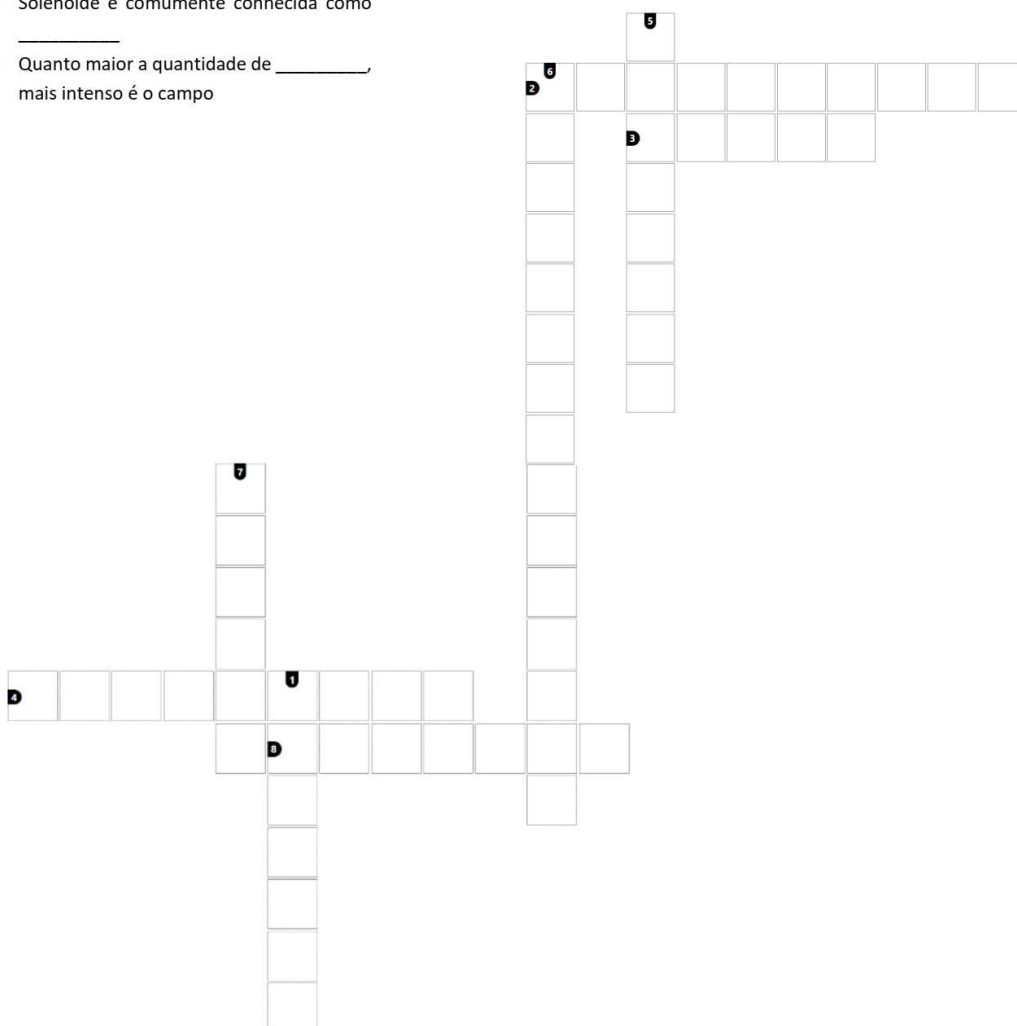
Válio, A.B.M. *Ser Protagonista: Física 3*, vol. 3. Ed. 3. São Paulo: SM, 2016.



TEXTO DE APOIO (capítulo IV)

O ÍMÃ ELÉTRICO OU ELETROÍMÃ

1. Estabeleceu uma ligação entre os fenômenos elétricos e magnéticos.
2. Apresentam pelo menos duas vantagens em relação aos ímãs naturais
3. B é a intensidade do vetor indução magnética, medida em
4. Se um fio é enrolado de maneira uniforme em varias espiras circulares, temos um
5. Uma bússola pode ser utilizada como um \_\_\_\_\_ de campos magnéticos
6. Quando um fio retilíneo é encurvado em forma de circunferência, obtém-se uma
7. Solenoide é comumente conhecida como \_\_\_\_\_
8. Quanto maior a quantidade de \_\_\_\_\_, mais intenso é o campo



## APÊNDICE D – GUIAS EXPERIMENTAIS

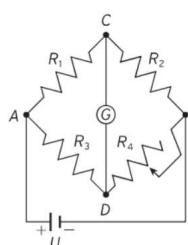




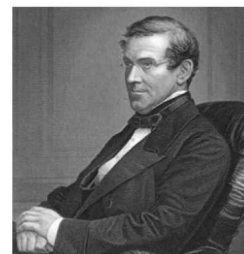


### Fundamentação Teórica

A figura a seguir representa um tipo de circuito especial chamado de ponte de Wheatstone. Trata-se de uma associação de resistores composta de quatro resistores, sendo um deles de resistência variável ( $R_4$ ).



Ponte de Wheatstone. No centro da ponte, entre os nós  $C$  e  $D$ , está conectado um galvanômetro, e os nós  $A$  e  $B$  estão ligados a uma bateria, ou fonte elétrica.



Sir Charles Wheatstone (1802-1875), físico inglês que utilizou, pela primeira vez, a ponte de Wheatstone para medir uma resistência, embora as resistências tenham sido inventadas por Samuel Hunter Christie (1784-1865), astrônomo, físico e matemático inglês.

Essa configuração é particularmente útil quando se deseja uma forma eficaz de medir o valor da resistência de um resistor. A maneira de determinar uma resistência desconhecida, por exemplo, a do resistor  $R_3$ , é atuar na resistência variável de modo que a diferença de potencial no galvanômetro fique nula. Quando isso ocorre, diz-se que a ponte de Wheatstone está equilibrada. Portanto:  $U_{CB} = 0$ .

Antes de determinar a expressão para  $R_3$ , é importante identificar duas das malhas dessa configuração de resistores. A primeira malha é composta do circuito fechado  $ACD$ , enquanto a outra, do  $BCD$ . Existem também quatro nós na ponte de Wheatstone, a saber:  $A$ ,  $B$ ,  $C$  e  $D$ .

A tensão entre os nós  $A$  e  $B$  é igual à tensão da fonte, isto é  $U_{AB} = U$ .

Haverá queda da voltagem do nó  $A$  para os nós  $C$  e  $D$  devido aos resistores  $R_1$  e  $R_3$ , e de acordo com a definição de resistência elétrica:

$$U_{AC} = i_1 \cdot R_1; U_{CB} = i_2 \cdot R_2; U_{AD} = i_3 \cdot R_3; U_{BD} = i_4 \cdot R_4$$

Como a diferença de potencial entre os pontos C e D é nula, a queda de tensão entre os pontos A e C,  $U_{AC}$ , deve ser igual à existente entre os pontos A e D,  $U_{AD}$ . Da mesma maneira, a diferença de potencial entre os pontos C e B,  $U_{CB}$ , é igual a diferença de voltagem entre os pontos B e D,  $U_{BD}$ . Portanto:

$$U_{AC} = U_{AD} \rightarrow i_1 \cdot R_1 = i_3 \cdot R_3$$

$$U_{CB} = U_{BD} \rightarrow i_2 \cdot R_2 = i_4 \cdot R_4$$

Quando a leitura do galvanômetro é nula, isso significa que não existe corrente passando entre os pontos C e D. Então, de acordo com a primeira lei de Kirchhoff, a corrente que chega em C vinda do ponto A,  $i_1$ , deve ser igual a corrente que sai de C em direção ao ponto B,  $i_2$ . O mesmo raciocínio pode ser aplicado ao nó D, do qual se pode concluir que  $i_3 = i_4$ .

Portanto, a segunda equação acima resulta em:

$$i_2 \cdot R_2 = i_4 \cdot R_4 \rightarrow i_2 \cdot R_2 = i_3 \cdot R_4 \rightarrow i_1 = \frac{i_3 \cdot R_4}{R_2}$$

Substituindo o valor da corrente,  $i_1$ , na expressão  $i_1 \cdot R_1 = i_3 \cdot R_3$ , tem-se:

$$\frac{i_3 \cdot R_4}{R_2} \cdot R_1 = i_3 \cdot R_3$$

Logo, o valor da resistência desconhecida  $R_3$  vale:

$$R_3 = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_2}$$

## Objetivos

Este experimento tem como finalidade, verificar, experimentalmente, a ponte de Wheatstone e utilizá-la para medir a resistência de um resistor de valor desconhecido.

## Materiais Utilizados

- 5 unidades de bocal para lâmpada;
- Resistores (lâmpadas);
- Madeira para suporte, roldanas, fios e fita isolante.
- Multímetro.



### Montagem

1. Observe o circuito, e coloque as lâmpadas numa disposição que ocorra o equilíbrio da ponte.
2. Meça e anote no quadro abaixo as tensões e as resistências disponíveis para medição nas respectivas lâmpadas.

	1	2	3	Desconhecido	5
<b>Resistência <math>\rightarrow (\Omega)</math></b>					
<b>Tensão <math>\rightarrow (V)</math></b>					

### Exercícios

1. Calcule o valor da resistência desconhecida para obter o equilíbrio da ponte para o circuito.
2. Com o valor obtido na questão anterior, calcule as tensões em cada resistor. Compare com os valores obtidos através do multímetro.
3. Por que utilizamos, na ponte de Wheatstone, um microamperímetro e não um miliamperímetro?

Para que você possa se aprofundar nesses assuntos, sugerimos os seguintes vídeos:



- <https://www.youtube.com/watch?v=UW2Lihvr8nE>
- <https://www.youtube.com/watch?v=fCjY2xisgtg>
- [https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab\\_all.html?locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_all.html?locale=pt_BR)

# Anotações





### Fundamentação Teórica

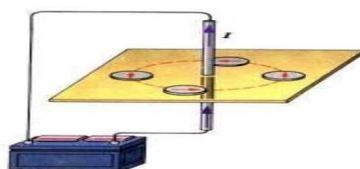
Durante o século XIX, predominava entre os filósofos naturalistas uma ideia que influenciava bastante o trabalho dos cientistas. Para esses filósofos, todos os fenômenos naturais poderiam ser entendidos como manifestações de algum tipo de "força". Essa crença, que perdurou todo o século XIX, e que de certa maneira foi partilhada por Albert Einstein (1879 - 1955), pretendia unificar todas as forças físicas, inclusive as magnéticas e elétricas. Sob a inspiração de tais ideias, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777 - 1851), buscou através de experimentos uma ligação entre os fenômenos elétricos e magnéticos. (GONÇALVES & TOSCANO, 2016)

Segundo Hewiit (2011), os campos da eletricidade e do magnetismo até 1820, tiveram seu desenvolvimento quase que independentes, quando numa demonstração em sala de aula Christian Oersted descobriu que uma corrente elétrica afeta uma bússola magnética.

Já que o movimento de uma carga produz um campo magnético, segue que uma corrente de cargas também produz um campo desse tipo. Podemos visualizar o campo magnético que circunda um condutor por onde flui uma corrente elétrica através de um arranjo de bússolas como mostrado na figura 1.

Quando uma corrente atravessa um condutor, as bússolas apresentam um comportamento que indica o campo magnético gerado pela corrente, um padrão de círculos concêntricos ao redor do fio. Ao se trocar o sentido da corrente, as agulhas das bússolas giram até se inverterm, o que indica também a inversão do campo magnético. Esse é o efeito demonstrado por Oersted em sala de aula. (HEIWIIT, 2011)

**Figura 1 - Efeito Magnético provocado pela corrente elétrica**



Fonte: <http://www.geocities.ws/saladefisica8/eletrodinamica/efeitos.html>



## Objetivos

Este experimento tem como finalidade mostrar o surgimento de campo magnético gerado por corrente elétrica, por meio da construção de um experimento que replica o experimento realizado por Oersted na sua descoberta desse fenômeno físico.

## Materiais Utilizados

- Baterias (pilhas diversas);
- Bússola (adquirida na loja de pescaria por R\$ 12,00);
- Fio de cobre esmaltado (para confeccionar as espiras).

**Figura 2 - Materiais do utilizados - Experimento de Oersted.**



Fonte: Acervo do autor

## Montagem

Para confecção das espiras (fio 33 ou outro similar) utilizamos garrafas pet de diferentes circunferências, realizamos 24 voltas e fita para fixação, utilizamos também várias baterias diferentes conforme Figura 2. O número de voltas é opcional, ficando a escolha a cargo do professor, ao final da montagem é só colocar a pilha nas extremidades dos fios da espira e aproximar da bússola.

**Observações:** As extremidades do fio devem ser raspadas para o devido contato; a escolha do fio, foi a 33, pela facilidade no manuseio e pela necessidade dele em outros experimentos; as diferentes baterias e diferentes tipos de espiras (diâmetro, número de voltas e espessura do fio permitem diferentes configurações e contribuem no levantamento das questões pertinentes ao assunto).

### Atividade

Após a interação com o experimento, respondam as seguintes perguntas. Essa atividade é individual e deve ser registrada no caderno como fonte de pesquisa para as avaliações posteriores concernentes ao tema.

- O que é e como surge a corrente elétrica?
- Ao se inverter os polos da pilha, ocorre alguma mudança na "resposta" da bússola?
- As mudanças de bateria e/ou espiras tornam a deflexão do ponteiro da bússola mais rápida ou intensa?
- Que dependência podemos encontrar entre o campo magnético, a corrente elétrica e o tipo de condutor?
- Você consegue visualizar, a partir desse experimento, uma aplicação desse tipo de fenômeno no seu cotidiano?

Após a atividade, disponibilize um tempo para que os alunos se reúnam e discutam entre si acerca das dificuldades encontradas por eles na realização e interpretação dos fenômenos contidos no experimento; sobre o que eles compreenderam de forma efetiva e, em seguida, peça que eles comentem sobre a relação entre o conteúdo abordado, o experimento e como esse conhecimento pode ser visto no cotidiano.

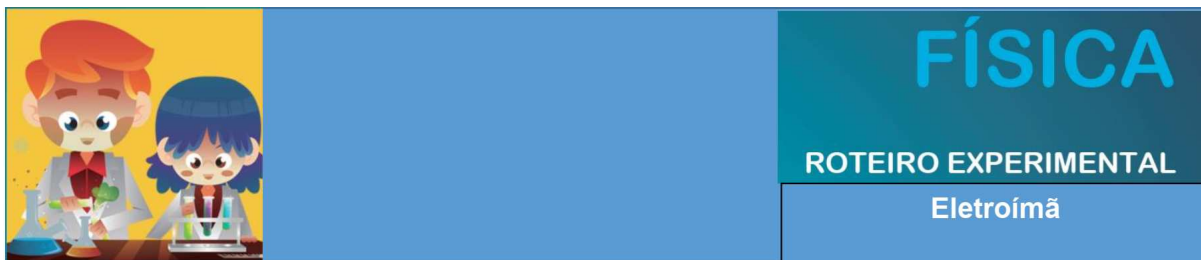
Para que você possa se aprofundar nesses assuntos, sugerimos os seguintes vídeos:



- <https://www.youtube.com/watch?v=TUBXWloXgDw>
- [https://www.youtube.com/watch?v=4suAPj3f5\\_A](https://www.youtube.com/watch?v=4suAPj3f5_A)
- <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/faraday/latest/faraday.html?simulation=magnets-and-electromagnets&locale=es>

# Anotações



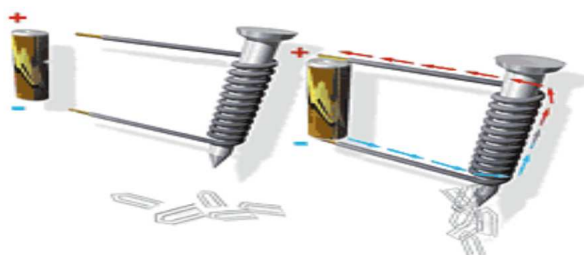


### Fundamentação Teórica

O fenômeno que foi observado por Oersted (passagem de corrente elétrica cria campo magnético) permitiu que fosse estabelecido uma relação ainda não observada até então, a relação existente entre a eletricidade e o magnetismo. Essa descoberta deu impulso a inúmeros outros. Gostaríamos de destacar o físico francês Dominique Arago (1786 - 1853) que tornou possível a construção do eletroímã. Arago demonstrou que ao enrolar um fio em um pedaço de ferro o aparato tornava-se um ímã quando atravessado por uma corrente elétrica.

Quando a corrente elétrica para de passar no fio o efeito cessa. Desse modo, podemos ligar e desligar o ímã conforme figura 4. A intensidade de um eletroímã pode ser aumentada basicamente de duas formas: aumentando-se a corrente que flui pelo dispositivo e/ou número de espiras em torno do núcleo. Quando queremos reforçar a intensidade dos eletroímãs, geralmente introduzimos um núcleo de ferro no interior da bobina, os domínios magnéticos do ferro, alinham-se com o campo magnético da bobina, tornando mais forte a intensidade do campo. O ímã elétrico, ou eletroímã, é ainda hoje muito utilizado em vários aparelhos elétricos e instrumentos de tecnologia e pesquisa, em diversos ramos da ciência. (GONÇALVES & TOSCANO, 2016)

Figura 4 - Efeito Magnético



Fonte: [https://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava\\_serie/eletricidade9.php](https://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava_serie/eletricidade9.php)

## Objetivos

Este experimento tem como finalidade demonstrar uma aplicação da descoberta de Oersted desenvolvida pelo francês Dominique Arago (1786 - 1853) que tornou possível a construção do eletroímã. Esse experimento tem vasta aplicação até os dias de hoje e demonstra umas das utilizações da criação de campo magnético através da corrente elétrica.

## Materiais Utilizados

- Pedaco de cabo de Madeira;
- Barra de Ferro;
- Fio de cobre esmaltado;
- Conector de alimentação (fonte) fêmea (adquirida na loja de eletrônicos por R\$ 1,50);
- Chave de fim de curso;
- Fonte Regulável (adquirida na loja de eletrônicos por R\$ 32,00);
- Pregos, parafusos, cliques.

**Figura 5 - Materiais do utilizados - Eletroímã**



Fonte: Acervo do autor

### Montagem

Para a confecção do eletroímã envolvemos o pedaço de barra de ferro de 6 cm com várias voltas de fio esmaltado de cobre (fio 18). Fixamos esse conjunto e a chave final de curso a um pedaço de cabo de madeira de 12 cm com cola quente. Após esse procedimento fizemos a ligação entre as pontas do fio de cobre, chave e o conector.

**Observações:** As extremidades do fio devem ser raspadas para o devido contato; a escolha do fio, foi a 18, pela facilidade no manuseio e pela necessidade dele em outros experimentos; a escolha da chave fim de curso se deu pela sua disponibilidade no momento (grátis), porém para compra recomendamos uma mais barata pois seu valor chega próximo de R\$ 30,00.

### Desenvolvimento

Coloque o eletroímã perto das peças de metal (pregos, parafusos ou cliques) e mostre, aos alunos, que nada acontece. Em seguida, conecte a fonte ao eletroímã e peça aos alunos que coloquem as peças de metal próximo ao experimento conforme orientação do professor. Peça que os alunos comentem se algo aconteceu e se eles podem descrever o porquê desse fenômeno.

Solicite aos alunos que interajam com o experimento e que eles verifiquem se ao mudar tensão através da chave seletora ocorre alguma mudança perceptível. Vale salientar a importância da boa condução do professor nesse momento, questionando e incentivando a participação de todos os alunos.

**Observação:** Neste experimento, por uma questão de economia, decidimos colocar o conector de alimentação (fêmea), para com isso utilizarmos uma fonte regulável em vez de baterias, já que o consumo dessas baterias ocorria de forma muito rápida inviabilizando muitas vezes a execução dos experimentos. Essa escolha nos permite utilizar o experimento sem restrições de tempo, permitindo ao professor utilizar quantas vezes quiser e em quantas turmas for necessário.

### Atividade

Após a interação dos alunos com o experimento, solicite aos mesmos, que eles respondam algumas perguntas. Essa atividade é individual e deve ser registrada no caderno como fonte de pesquisa para as avaliações posteriores concernentes ao tema. Sugere-se os questionamentos:

- Por que quando o eletroímã está conectado a fonte ele consegue atrair as peças de ferro?
- Por que utilizamos a barra de ferro envolta no fio de cobre esmaltado?
- Alterar a tensão na fonte regulável proporciona mudança perceptível visualmente?
- Você lembra, a partir da visualização desse experimento, alguma aplicação desse tipo de fenômeno?

Após a atividade, disponibilize um tempo para que os alunos se reúnam e discutam entre si acerca das dificuldades encontradas por eles na realização e interpretação dos fenômenos contidos no experimento; sobre o que eles compreenderam de forma efetiva e, em seguida, peça que eles comentem sobre a relação entre o conteúdo abordado, o experimento e como esse conhecimento pode ser visto no cotidiano. Para finalizar a aula, realiza uma explanação completa acerca do experimento, conceitos trabalhados e respostas corretas para as indagações feitas pelo professor nas atividades.

Para que você possa se aprofundar nesses assuntos, sugerimos os seguintes vídeos:



- <https://www.youtube.com/watch?v=dKEo3Ru1qls>
- <https://www.youtube.com/watch?v=MzMwOdUHQzk>
- <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/faraday/latest/faraday.html?simulation=faraday&locale=pt>

# Anotações







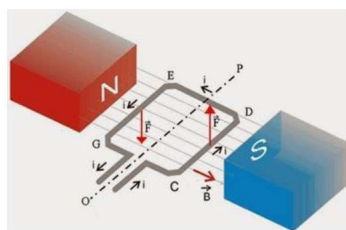
### Fundamentação Teórica

O conhecimento do efeito magnético provocado pela corrente elétrica tornou possível a construção de aparelhos de medida de grandezas eletromagnéticas, como por exemplo galvanômetro, amperímetros, voltmímetro e etc.

Quando colocamos num campo magnético, uma espira percorrida por uma corrente elétrica, a mesma sofre um torque que tende a fazer com que ela execute um movimento circular em torno de um determinado eixo. Esse é o princípio básico de operação de motores elétricos e galvanômetros em que são baseados os equipamentos de medição analógicos de corrente e tensão. (HALLIDAY, RESNICK & KRANE, 1996)

Temos como principal diferença entre o galvanômetro e o motor elétrico, que num motor elétrico ocorre uma troca de sentido da corrente cada vez que a bobina completa meia volta (figura 7). Após ser forçado a dar meia volta, ele mantém seu movimento por um tempo até que sua corrente troque de sentido; como consequência desse fato, ele é forçado a completar seu movimento dando mais uma meia volta, em vez de inverter de sentido. Como isso ocorre várias vezes, de maneira a produzir uma rotação contínua, que pode ser usada para relógios, aparelhos e erguer cargas pesadas. (HEIWITT, 2011). Nos dias atuais, os motores elétricos utilizados hoje nos mais diversos eletrodomésticos, bem como máquinas industriais, necessitam de um giro regular contínuo. Para isso, possui várias bobinas, que são ligadas e desligadas alternadamente, mantendo o motor sempre ativo.

**Figura 7 - Motor Elétrico Simplificado**



Fonte: Brasil Escola

### Objetivos

Este experimento tem como finalidade demonstrar o funcionamento de um motor elétrico simples (corrente contínua), seus componentes e como a interação entre corrente elétrica, bobina e força magnética criam o chamado "efeito motor". O princípio de funcionamento desse experimento tem vasta aplicação até os dias de hoje e serve de alicerce para a geração de energia.

### Materiais Utilizados

- Madeira para base do experimento;
- Dois parafusos e dois pedaços de arame;
- Conector de alimentação (fonte) fêmea;
- Fonte Regulável;
- Imãs diversos (tipos e tamanhos);
- Fio de cobre (diâmetros diferentes) para confecção das espiras.

**Figura 8 - Materiais do utilizados - Motor Elétrico**



Fonte: Acervo do autor

### Montagem

Para a confecção do motor elétrico fixamos os dois pedaços de arame juntamente com o conector de alimentação na base de madeira. Em seguida realizamos oito voltas ao redor de um frasco de 4,5 cm de diâmetro com o fio esmaltado de cobre (fio 18). Finalmente, colocamos a espira que foi confeccionada na base de arame e, ao ligarmos a fonte ao conector, aproximamos o ímã de neodímio.



**Observações:** As extremidades da espira devem ser raspadas da seguinte forma: de um lado só a parte superior e do outro a raspagem é completa para o devido contato; a escolha do fio, foi a 18, pela facilidade no manuseio e pela necessidade dele em outros experimentos; recomendamos a utilização de diferentes tipos de ímãs (tipos e geometrias) e a confecção de espiras de diâmetro e número de voltas diferentes por permitir diferentes configurações e contribuir no levantamento das questões pertinentes ao assunto).

### **Desenvolvimento**

Demonstre o funcionamento do motor elétrico aos alunos. Em seguida, sob sua orientação, solicite aos alunos as seguintes mudanças na configuração do experimento: troca de ímãs (diferentes tipos e geometrias) e a troca das espiras (diâmetros, voltas e fios esmaltados distintos). Peça que os alunos comentem se algo aconteceu e se eles podem descrever o porquê das possíveis mudanças.

Solicite aos alunos que interajam com o experimento e que eles verifiquem se ao mudar tensão através da chave seletora ocorre alguma mudança perceptível no funcionamento do motor. Vale salientar a importância da boa condução do professor nesse momento, questionando e incentivando a participação de todos os alunos.

**Observação:** Neste experimento, por uma questão de economia, decidimos colocar o conector de alimentação (fêmea), para com isso utilizarmos uma fonte regulável em vez de baterias, já que o consumo dessas baterias ocorria de forma muito rápida inviabilizando muitas vezes a execução dos experimentos. Essa escolha nos permite utilizar o experimento sem restrições de tempo, permitindo ao professor utilizar quantas vezes quiser e em quantas turmas for necessário.

**Figura 9 - Motor Elétrico em funcionamento.**



Fonte: Acervo do autor

### Atividade

Após a interação dos alunos com o experimento, solicite aos mesmos, que eles respondam algumas perguntas. Essa atividade é individual e deve ser registrada no caderno como fonte de pesquisa para as avaliações posteriores concernentes ao tema. Sugere-se os questionamentos:

- Quando a espira foi colocada na base e conectada a fonte não houve movimento, porém o circuito estava fechado. Qual a razão da corrente elétrica estar circulando na espira, porém não ter sido observado seu movimento?
- O movimento da espira na base ocorreu apenas quando o ímã foi posicionado próximo a ela. Qual a razão disso?
- Alterar a tensão na fonte regulável proporciona mudança perceptível visualmente?

Após a atividade, disponibilize um tempo para que os alunos se reúnam e discutam entre si acerca das dificuldades encontradas por eles na realização e interpretação dos fenômenos contidos no experimento; sobre o que eles compreenderam de forma efetiva e, em seguida, peça que eles comentem sobre a relação entre o conteúdo abordado, o experimento e como esse conhecimento pode ser visto no cotidiano. Para finalizar a aula, realiza uma explanação completa acerca do experimento, conceitos trabalhados e respostas corretas para as indagações feitas pelo professor nas atividades.

Para que você possa se aprofundar nesses assuntos, sugerimos os seguintes vídeos:



- <https://www.youtube.com/watch?v=dKEo3Ru1qls>
- <https://www.youtube.com/watch?v=MzMwOdUHQzk>
- <https://simufisica.com/simulacoes/motor-eletrico/>

# Anotações





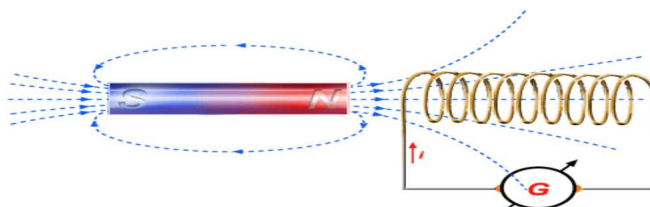
### Fundamentação Teórica

Vamos iniciar esse ponto com uma pergunta que deveria ter sido feita na época de Faraday: Se a corrente elétrica pode produzir magnetismo, efeito magnético, será que o campo magnético pode gerar uma corrente elétrica no fio?

Vários cientistas se debruçaram sobre esta questão e trabalharam para responder esta pergunta, em especial podemos destacar três: o americano Joseph Henry(1797 - 1878), o russo Heinrich Friedrich Emil Lenz(1804 - 1865) e o inglês Michael Faraday(1791 - 1867). Vamos nos concentrar principalmente nas contribuições de Faraday, pelo fato de ele ter empreendido uma notável série de estudos visando desvendar o fenômeno da indução eletromagnética.(PIETROCOLA [et.al], 2013)

Segundo (HEWITT, 2011), Faraday teve que vencer muitas barreiras para conseguir colocar seu nome na história. Pois na sua época, as maiores contribuições científicas eram feitas por pessoas de posses. E isso é facilmente explicado pelo simples fato de pessoas com pouco ou nenhum dinheiro eram atarefadas demais em ganhar a vida para poder despendar o tempo necessário para uma investigação científica. Faraday, foi um dos quatro filhos de James Faraday, um ferreiro que residia no sudoeste de Londres. Durante sua atribuição como aprendiz de encadernador teve a oportunidade de ler vários livros, ao final de seu aprendizado participou de várias palestras do então mundialmente famoso Sr Humphry Davy, membro da Royal Institution e da Royal Society. Durante as palestras Faraday fez várias anotações, que ao ser entregue a Sr Davy, o impressionou muito e garantiu a Faraday um lugar como seu assistente. Faraday teve que vencer muitos preconceitos e suas limitações matemáticas, o que acabou proporcionando ao público um material pictórico e de linguagem simples. Ficou também conhecido pela sua postura ética e humana ao se recusar a contribuir com as guerras da época e por se destacar na luta pela preservação do meio ambiente.

**Figura 10 - Imã agitado no interior da bobina**



Fonte: [http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/inducaao/ex\\_inducaao\\_eletromag/](http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/inducaao/ex_inducaao_eletromag/)

Henry e Faraday fizeram a seguinte descoberta: uma corrente elétrica pode ser produzida em um fio, simplesmente ao mover um ímã para dentro ou para fora das espiras de uma bobina. Sem que para isso fosse necessário a presença de uma bateria ou outra fonte de voltagem, simplesmente o movimento do ímã em relação a bobina. Este fenômeno da indução de uma voltagem pela variação do campo magnético em espiras de fio é chamado de indução eletromagnética.

Vale salientar algumas características dessa nova descoberta que são: fem's podem ser geradas em um fio de três maneiras diferentes: movendo o ímã perto do fio, movendo o fio ou variando a corrente em um fio próximo. E agora podemos enunciar a descoberta de Faraday que diz:

"A regra diz que quando o fluxo magnético que atravessa a bobina (este fluxo é a componente normal de  $\vec{B}$  integrada sobre a superfície da bobina) varia com o tempo, a fem é igual a taxa de variação do fluxo." (FEYNMAN, 2008, p. 156)

### Objetivos

Este experimento tem como finalidade demonstrar a Lei de Faraday. Através da utilização de uma bobina, led's e ímãs, será demonstrado a capacidade de se criar corrente elétrica através de campo magnético, formas diferentes de potencializar e obter esse fenômeno. O princípio de funcionamento desse experimento tem vasta aplicação até os dias de hoje e é utilizada na geração de energia.

### Materiais Utilizados

- Bobina para contator (adquirida na loja de eletrônicos por R\$ 12,00);

- Fios;
- 2 led's (cores diferentes);
- Imãs diversos (tipos e tamanhos).

**Figura 11 - Materiais do utilizados - Experimento de Indução Eletromagnética**



Fonte: Acervo do autor

### **Montagem**

Para a confecção do experimento concernente a lei de Faraday, conectamos o conjunto composto por fios, bobina e led's, e em seguida agitamos o imã próximo ao aparato montado.

### **Desenvolvimento**

Demonstre o funcionamento do experimento de demonstração da Lei de Faraday aos alunos. Em seguida, sob sua orientação, solicite aos alunos as seguintes mudanças na configuração do experimento: troca de imãs (diferentes tipos e geometrias) e o movimento apenas em um sentido. Peça que os alunos comentem se algo aconteceu e se eles podem descrever o porquê das possíveis mudanças.

Solicite aos alunos que interajam com o experimento e que eles verifiquem se ao mudar os imãs ocorre alguma mudança perceptível no funcionamento do experimento. Vale salientar a importância da boa condução do professor nesse momento, questionando e incentivando a participação de todos os alunos.



### Atividade

Após a interação dos alunos com o experimento, solicite aos mesmos, que eles respondam algumas perguntas. Essa atividade é individual e deve ser registrada no caderno como fonte de pesquisa para as avaliações posteriores concernentes ao tema. Sugere-se os questionamentos:

- Todos os ímãs utilizados nos experimentos foram satisfatórios para a obtenção do fenômeno?
- Quais as diferentes formas de acender os led's com os materiais disponibilizados?
- Quando movimentamos o ímã em apenas um único sentido o que ocorre?

Após a atividade, disponibilize um tempo para que os alunos se reúnam e discutam entre si acerca das dificuldades encontradas por eles na realização e interpretação dos fenômenos contidos no experimento; sobre o que eles compreenderam de forma efetiva e, em seguida, peça que eles comentem sobre a relação entre o conteúdo abordado, o experimento e como esse conhecimento pode ser visto no cotidiano. Para finalizar a aula, realiza uma explanação completa acerca do experimento, conceitos trabalhados e respostas corretas para as indagações feitas pelo professor nas atividades.

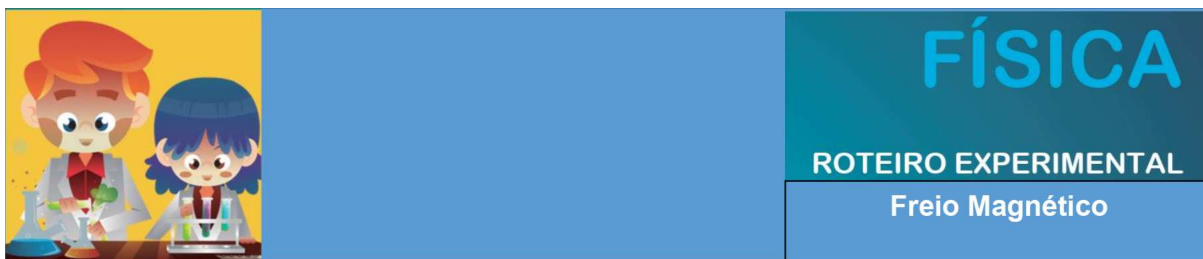
Para que você possa se aprofundar nesses assuntos, sugerimos os seguintes vídeos:



- <https://www.youtube.com/watch?v=PIDOOTDrc8c>
- <https://www.youtube.com/watch?v=ZQzbUeqbDas>
- [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulations/faradays-law](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/faradays-law)

# Anotações





### Fundamentação Teórica

Ao enunciar a "regra do fluxo", não se pode esquecer de um detalhe muito importante, o de especificar a direção da fem. E para isso existe uma regra simples chamada lei de Lenz, para descobrirmos qual o sentido da fem: a fem tenta se opor a qualquer variação de fluxo. Ou seja, a direção de uma fem é sempre tal que se uma corrente fluísse na direção da fem, a mesma seria responsável por produzir um fluxo de  $\vec{B}$  oposto a variação de  $\vec{B}$  que produziu a fem. Um aspecto interessante da Lei de Lenz é que ela pode ser entendida como uma manifestação do princípio da conservação da energia. O sentido da corrente elétrica induzida, que é previsto pela lei de Lenz, nos indica que para que possamos obter corrente elétrica na espira, temos de vencer uma certa resistência, ou seja, em outras palavras temos que realizar trabalho de movimentar o ímã através da espira o tempo todo. Com isso temos que, a corrente elétrica induzida no circuito da espira indica a transformação de energia mecânica (ímã em movimento) em energia elétrica (corrente na espira). (FEYNMAN, 2008)

"A regra diz que quando o fluxo magnético que atravessa a bobina (este fluxo é a componente normal de  $\vec{B}$  integrada sobre a superfície da bobina) varia com o tempo, a fem é igual a taxa de variação do fluxo." (FEYNMAN, 2008, p. 156)

Logo após Faraday descobrir a lei de indução, Heinrich Friedrich Lenz propôs uma regra, hoje conhecida como **lei de Lenz**, para determinar o sentido da corrente induzida em uma espira:

*A corrente induzida em uma espira fechada condutora aparece em um sentido que se opõe à mudança que a produziu.* (Halliday, 1996, p. 256)

o sinal negativo na lei de Faraday sugere essa oposição.

A lei de Lenz é aplicada a correntes induzidas, por isso, tratamos apenas de circuitos condutores fechados. Caso o circuito seja aberto, o que nos resta é pensar no que poderia acontecer se o mesmo fosse fechado, e dessa forma encontrarmos uma polaridade da f.e.m induzida.

### **Objetivos**

Este experimento tem como finalidade demonstrar a Lei de Lenz. Através da utilização de materiais como motor elétrico, fonte, disco de papelão, alumínio, cd's e ímãs, será demonstrado que a corrente induzida em uma espira fechada condutora aparece em um sentido que se opõe à mudança que a produziu. O princípio de funcionamento desse experimento tem vasta aplicação até os dias de hoje sendo um deles a levitação magnética.

### **Materiais Utilizados**

- Motor elétrico;
- Fonte 12V;
- Fios;
- Ímã de neodímio e palito para sua sustentação;
- Extensão;
- Cd, disco de papelão e alumínio e prato de alumínio.

### **Montagem**

Para a confecção do experimento concernente a lei de Lenz, ligamos a fonte ao motor e em seguida com cola quente fixamos os dois na base de madeira do experimento. Para servir como base para o disco de alumínio, que foi retirado de um HD velho, cortamos papelão no formato de um cd. Os recortes de papelão fixados ao cd servirão também para a demonstração do experimento. Colou-se o ímã de neodímio ao palito de madeira e finalmente fixamos os discos ao motor através de um pequeno pedaço de fio no diâmetro da haste do motor.



**Observação:** Neste experimento, utilizamos na bancada duas montagens apenas para facilitar a demonstração e pelo fato dos alunos poderem interagir com os dois. No primeiro foi fixado um prato de alumínio e no outro ficamos com uma configuração móvel para que fosse colocado o disco de alumínio e o outro formado pelo conjunto cd+papelão.

**Figura 13 - Materiais do utilizados - Experimento "Freio Magnético"**



Fonte: Acervo do autor

### **Desenvolvimento**

Coloque o conjunto ímã + palito próximo ao disco de alumínio com a fonte desligada e mostre que nada acontece. Em seguida, ligue a fonte e demonstre o funcionamento do experimento de demonstração da Lei de Lenz aos alunos. Em seguida, sob sua orientação, solicite aos alunos a seguinte mudança na configuração do experimento: troca dos discos (alumínio e papelão). Peça que os alunos comentem se algo de diferente aconteceu e se eles podem descrever o porquê das possíveis mudanças.

Solicite aos alunos que interajam com o experimento e que eles verifiquem se ao mudar os ímãs ocorre alguma mudança perceptível no funcionamento do experimento. Vale salientar a importância da boa condução do professor nesse momento, questionando e incentivando a participação de todos os alunos.

### Atividade

Após a interação dos alunos com o experimento, solicite aos mesmos, que eles respondam algumas perguntas. Essa atividade é individual e deve ser registrada no caderno como fonte de pesquisa para as avaliações posteriores concernentes ao tema. Sugere-se os questionamentos:

- Todos os discos utilizados no experimento foram satisfatórios para a obtenção do fenômeno?
- Por que ao desligar a fonte o fenômeno cessa?
- Você lembra, a partir da visualização desse experimento, alguma aplicação desse tipo de fenômeno?

Após a atividade, disponibilize um tempo para que os alunos se reúnam e discutam entre si acerca das dificuldades encontradas por eles na realização e interpretação dos fenômenos contidos no experimento; sobre o que eles compreenderam de forma efetiva e, em seguida, peça que eles comentem sobre a relação entre o conteúdo abordado, o experimento e como esse conhecimento pode ser visto no cotidiano. Para finalizar a aula, realiza uma explanação completa acerca do experimento, conceitos trabalhados e respostas corretas para as indagações feitas pelo professor nas atividades.

Para que você possa se aprofundar nesses assuntos, sugerimos os seguintes vídeos:



- <https://www.youtube.com/watch?v=MTEmNwxjaQE>
- <https://www.youtube.com/watch?v=uZj67ghKJbo>
- [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mag\\_lenz&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mag_lenz&l=pt)

# Anotações





# FÍSICA

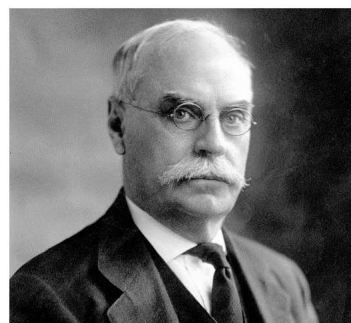
## ROTEIRO EXPERIMENTAL

### Efeito Hall

#### Fundamentação Teórica

Em 1879, o físico norte-americano Edwin Hall (1855-1938) realizou um experimento para descobrir o sinal, positivo ou negativo, da carga das partículas que constituem a corrente elétrica em um condutor qualquer.

Veja, nas ilustrações ao lado, duas regiões retangulares,  $R_1$  e  $R_2$ , condutoras, percorridas por correntes elétricas no sentido indicado. Essas regiões estão imersas num campo magnético “saindo” dessa página, perpendicularmente a ela.



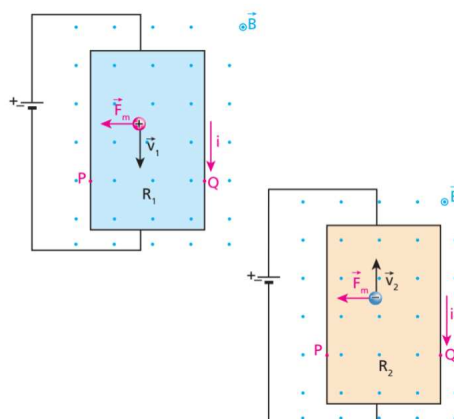
Note que a corrente tem o sentido indicado, quer os portadores móveis tenham carga positiva e velocidade  $\vec{v}_1$  (região  $R_1$ ), quer tenham carga negativa e velocidade  $\vec{v}_2$  (região  $R_2$ ).

Observe que, nas duas situações, os portadores se submetem a forças magnéticas orientadas para a esquerda.

Desse modo, na região  $R_1$  haverá um acúmulo de cargas positivas no lado esquerdo, o que torna o potencial elétrico do ponto  $P$ ,  $v_P$ , maior que o do ponto  $Q$ ,  $v_Q$ .

Na região  $R_2$ , por sua vez, haverá um acúmulo de cargas negativas, também no lado esquerdo, o que torna  $v_P$  menor que  $v_Q$ .

Medindo, então, a diferença de potencial entre  $P$  e  $Q$ , podemos descobrir se os portadores móveis têm carga positiva ou negativa. A conclusão experimental de que  $v_P$  é maior que  $v_Q$  revela-nos que os portadores têm carga positiva. Se, porém, concluirmos que  $v_P$  é menor que  $v_Q$ , saberemos que os portadores têm carga negativa.



### Objetivos

A finalidade do experimento é demonstrar e discutir o efeito Hall.

### Materiais Utilizados

- Motor elétrico ou ventoinha;
- Led e resistor;
- Fios;
- Ímã de neodímio;
- Sensor efeito Hall – A3144.



### Desenvolvimento

Coloque o conjunto ímã próximo ao sensor Hall com a fonte desligada e mostre que nada acontece. Em seguida, ligue a fonte (ou conecte as pilhas) e demonstre o funcionamento do experimento de demonstração do efeito Hall aos alunos. Em seguida, sob sua orientação, solicite aos alunos a seguinte mudança na configuração do experimento: inversão dos polos do ímã e utilização do eletroímã. Peça que os alunos comentem se algo de diferente aconteceu e se eles podem descrever o porquê das possíveis mudanças.

Solicite aos alunos que interajam com o experimento e que eles verifiquem se ao mudar os ímãs ocorre alguma mudança perceptível no funcionamento do

experimento. Vale salientar a importância da boa condução do professor nesse momento, questionando e incentivando a participação de todos os alunos.

### Atividade

Após a interação dos alunos com o experimento, solicite aos mesmos, que eles respondam algumas perguntas. Essa atividade é individual e deve ser registrada no caderno como fonte de pesquisa para as avaliações posteriores concernentes ao tema. Sugere-se os questionamentos:

- Discuta como o efeito Hall pode ser usado para obter informações sobre a densidade de carga livre em um condutor. (Dica: considere como a velocidade de desvio e a corrente estão relacionadas.).
- Por que ao desligar a fonte o fenômeno cessa?
- Você lembra, a partir da visualização desse experimento, alguma aplicação desse tipo de fenômeno?

Após a atividade, disponibilize um tempo para que os alunos se reúnam e discutam entre si acerca das dificuldades encontradas por eles na realização e interpretação dos fenômenos contidos no experimento; sobre o que eles compreenderam de forma efetiva e, em seguida, peça que eles comentem sobre a relação entre o conteúdo abordado, o experimento e como esse conhecimento pode ser visto no cotidiano. Para finalizar a aula, realiza uma explanação completa acerca do experimento, conceitos trabalhados e respostas corretas para as indagações feitas pelo professor nas atividades.



Para que você possa se aprofundar nesses assuntos, sugerimos os seguintes vídeos:

- <https://www.youtube.com/watch?v=g9ZJR4R9daQ&t=45s>
- <https://www.youtube.com/watch?v=CMIQACoJ-uo>

# Anotações





## APÊNDICE E – ATIVIDADE ABP



### Atividade ABP



Professor: FREDERICO ROZENDO DA SILVA

Disciplina: FÍSICA

Segmento de ensino/série: 3º

Problema a ser resolvido: Vocês são parte de uma equipe de empreendedores contratada por uma empresa de telecomunicações para desenvolver um novo dispositivo de transmissão de energia sem fio para uso doméstico. O objetivo é criar um sistema que permita carregar dispositivos eletrônicos, como smartphones e tablets, de forma eficiente e segura, sem a necessidade de cabos ou contato físico.

No entanto, há vários desafios a serem superados. Primeiramente, vocês precisam entender os princípios do eletromagnetismo e da indução para projetar um sistema que possa transmitir energia elétrica por meio de campos magnéticos gerados sem fio. Além disso, é crucial garantir que o sistema seja seguro para uso doméstico, minimizando quaisquer riscos de interferência com outros dispositivos eletrônicos ou potenciais efeitos adversos na saúde humana.

Como parte da equipe, vocês precisam investigar e projetar um sistema de transmissão de energia sem fio que considere as leis do eletromagnetismo, as propriedades dos campos magnéticos e os princípios da indução eletromagnética. Vocês devem considerar aspectos como eficiência energética, alcance de transmissão, segurança e custo para desenvolver uma solução viável e inovadora que atenda às necessidades da empresa de telecomunicações e dos consumidores.

Como vocês abordariam esse desafio? Que experimentos e pesquisas vocês conduziram para entender melhor os conceitos de eletromagnetismo e desenvolver uma solução prática para o problema apresentado?



## Atividade ABP



Etapa 1: 1ª sessão tutorial: Apresentação do Problema Duração: até 1 hora		
Perfil	Ação	Ferramentas tecnológicas
Professor	<p>Em uma equipe empreendedora, a colaboração é o ponto central para alcançar o sucesso. Ao observar essa figura de alunos trabalhando juntos, podemos identificar características essenciais para o desenvolvimento de um trabalho eficaz. Eles compartilham ideias, discutem soluções e aplicam o conhecimento de forma prática. Essa troca constante de informações estimula a criatividade e fortalece o espírito de cooperação, fundamentais para a resolução de problemas.</p> <p>Uma equipe empreendedora sabe que, diante de desafios, é necessário pensar fora da caixa, adaptando-se rapidamente às mudanças. Cada membro contribui com suas habilidades, e o trabalho em equipe potencializa as soluções inovadoras. A habilidade de enfrentar obstáculos com visão estratégica e criatividade é o que transforma problemas em oportunidades. Trabalhar em equipe também desenvolve competências como liderança, comunicação e tomada de decisões colaborativas, que</p>	<p>Será utilizado uma imagem para reflexão, essa imagem consiste numa turma que está efetuando um trabalho em equipe.</p>  <p><a href="https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:AND9GcSkOjhUmxSi9WtqpHc_ofKWWO5RStfqkhUgIw&amp;s">https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:AND9GcSkOjhUmxSi9WtqpHc_ofKWWO5RStfqkhUgIw&amp;s</a>.</p>



## Atividade ABP



	são pilares no mundo empreendedor.	
Aluno	Se informar sobre o assunto por meio de conteúdo que aborde o tema.	Pesquisar em artigos ou sites especializados, conteúdos onde pesquisadores, professores e alunos tragam contribuições enriquecedoras ao tema.
<b>Etapa 2: Definindo o problema (Contextualização)</b> Duração: até 20 minutos		
Perfil	Ação	Ferramentas tecnológicas
Professor	Demonstrar aos alunos a importância que cada integrante do processo de aprendizagem (professor, alunos, conteúdo e forma de abordagem) tem e como cada um pode potencializar o aprendizado em sala de aula.	Mostrar que, mediante o diálogo e o trabalho coletivo, todos os envolvidos no processo de aprendizagem podem contribuir efetivamente na melhoria dos resultados a serem alcançados em sala de aula.
Aluno	Abrir discussões em grupo acerca do tema e como cada parte citada na etapa 1 pode contribuir ao máximo com a proposta elaborada.	Utilização do <b>Diagrama de Ishikawa</b> para fazer a separação do problema em partes. Analisando o problema geral que é a aprendizagem efetiva de um conteúdo de eletromagnetismo, e como esse conhecimento pode auxiliar na solução de um problema real, e como cada integrante do processo de aprendizagem (professor, alunos, conteúdo e forma de abordagem) pode explorar o seu máximo.





## Atividade ABP



Etapa 3: Analisando o problema Duração: até 20 minutos		
Perfil	Ação	Ferramentas Tecnológicas
Professor	<p>Utilização de um método metacognitivo para aprofundar o problema:</p> <p>What: Desenvolver uma proposta que traga uma solução satisfatória para o seguinte problema: um novo dispositivo de transmissão de energia sem fio para uso doméstico.</p> <p>Where: Numa escola de ensino médio em tempo integral na Pacatuba/Ce.</p> <p>Why: Uma empresa está disposta a conceder uma premiação ao grupo de jovens que solucionar de forma mais assertiva um problema comercial.</p> <p>Who: professores e alunos.</p> <p>When: nas aulas de Física, porém, pode se estender nas aulas de Estudo Orientado, Ciências da Natureza para o Enem e Cultura Digital.</p> <p>How: em geral, com entusiasmo, trabalho em equipe, planejamento e engajamento por parte de professores e alunos.</p> <p>How Much: os materiais a serem disponibilizados será de custo reduzido, já que são componentes eletrônicos de valores reduzidos ou reaproveitados de outros componentes.</p>	<b>Método 5w2h</b>



## Atividade ABP



Aluno	Trabalhando de forma colaborativa: discussão em grupos visando a obtenção de respostas aos questionamentos levantados nas etapas anteriores.	Discussão em grupo
* Usar um método metacognitivo		
<b>Etapa 4: Declarando o problema (resumo das discussões e apontamentos)</b> Duração: até 20 minutos		
Perfil	Ação	Ferramentas tecnológicas
Professor	Acompanhar efetivamente o progresso dos alunos mediante questionamentos que norteiem os problemas levantados: Como o conteúdo de eletromagnetismo pode ser útil no cotidiano da turma na resolução do problema proposto? Como o professor pode abordar o tema: experimentos, aplicativos, jogos? Como cada aluno pode contribuir de forma individual e coletiva para o bom andamento das aulas?	Demonstrar alguns <b>mapas mentais</b> e/ou <b>conceituais</b> , bem como as ferramentas e sua utilização para os alunos terem segurança na hora em que estiverem elaborando os seus. Exemplos: Coggle, Canva ou mindboard.
Aluno	Elaborar um resumo em equipe.	Elaborar de resumos em formato de <b>mapa mental</b> , através de ferramentas digitais como o Canva, o mindboard classic ou o Coggle.
<b>Etapa 5: Formulação dos objetivos de aprendizagem</b> Duração: até 20 minutos		
Perfil	Ação	Ferramentas tecnológicas
Professor	Proporcionar o devido auxílio as equipes na divisão e formulação dos objetivos de aprendizagem, bem como no processo de investigação da etapa 6.	Debate em grupos durante a aula a partir da análise de seus resumos.
Aluno	Identificar os pontos obscuros após as discussões anteriores e listar os objetivos	Debate em grupos durante a aula a partir da análise de seus resumos.



## Atividade ABP



	de aprendizagem e investigação com base nos problemas observados.	
<b>Etapa 6: Investigação detalhada</b> Duração: 1 semana e meia		
Perfil	Ação	Ferramentas Tecnológicas
Professor	Acompanhar os alunos remotamente (software de gerenciamento de projetos à distância).	Fazer uso do grupo do WhatsApp das turmas bem como kahoot e do Trello para gerenciar as atividades.
Aluno	Realizar estudos individuais respeitando os objetivos traçados na etapa 5.	Utilizar fontes confiáveis para a elaboração do estudo, como o SciELO, o portal de periódicos da CAPES, o Google Acadêmico, bem como os acessos as coleções digitais de universidades renomadas como UFRGS e USP por exemplo .
<b>Etapa 7: Última sessão tutorial</b> Duração: 1,5 a 2 h		
Perfil	Ação	Ferramentas Tecnológicas
Professor	Acompanhar os alunos em sala de aula.	Tomar nota do desempenho dos alunos através do Diário de bordo, Google Classroom ou outro aplicativo de anotações.
Aluno	Entregar e socializar as informações armazenadas, compondo um acervo para tentar montar uma solução propriamente dita.	Apresentação de slides (PowerPoint, Google Slides) com as informações reunidas até então.



## Atividade ABP



Etapa 8: Preparando e apresentando da solução e avaliação		
Duração: até 1 hora		
Perfil	Ação	Ferramentas Tecnológicas
Professor	Visando analisar o desenvolvimento do processo de aprendizagem dos alunos, a maturação, o aprimoramento dos seus conhecimentos, de suas habilidades cognitivas, socioemocionais e morais, o professor deverá utilizar: <ul style="list-style-type: none"> <li>• elementos de avaliação formativa;</li> <li>• elementos de avaliação Diagnóstica;</li> <li>• elementos de avaliação por resultado de aprendizagem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• elementos de avaliação formativa: seminário.</li> <li>• elementos de avaliação diagnóstica: avaliação oral sobre a temática estudada e aplicação de pré e pós teste.</li> <li>• elementos de avaliação por resultado de aprendizagem: análise do trabalho final apresentado e a produção de um experimento que traga a solução física ao problema proposto, tendo como base as teorias estudadas.</li> </ul>
Aluno	Os alunos devem apresentar a solução do problema que eles encontraram para o professor e a turma, mostrando sua trajetória de aprendizagem mediante a produção de um vídeo. Nessa etapa também é importante a realização de uma autoavaliação e avaliação por pares (peer assessment).	Exibição do vídeo, autoavaliação e considerações pertinentes da turma sobre a atividade.
Etapa 9: Discutindo o processo		
Duração: até 1 hora		
Perfil	Ação	Ferramentas Tecnológicas
Professor	Apresentação geral das produções em vídeo, e realização de feedbacks de todo o processo.	Utilização de um teste de satisfação concernente a todo o processo de aprendizagem desenvolvido durante a aplicação do projeto por meio de formulários online para entrevistas (Google Forms, por exemplo); anotações e



## Atividade ABP



		resultados de pesquisas. (Google Docs, Microsoft OneNote, Notion, etc)
Aluno	Discutir sobre o processo por que passaram, fazendo uma autocrítica em relação às suas ações e atitudes em relação ao problema proposto.	Debater o processo e os resultados da atividade, desde a contextualização do problema até sua parte prática.

Referências Bibliográficas:

**Material de Estudo curso CECIERJ – Módulo** Aprendizagem Baseada em Problemas, Gamificação e IA na prática docente.



## Atividade ABP



Professor: FREDERICO ROZENDO DA SILVA

Disciplina: FÍSICA

Segmento de ensino/série: 3º

Problema a ser resolvido: Vocês são parte de uma equipe de empreendedores contratada por uma empresa de telecomunicações para desenvolver um novo dispositivo de transmissão de energia sem fio para uso doméstico. O objetivo é criar um sistema que permita carregar dispositivos eletrônicos, como smartphones e tablets, de forma eficiente e segura, sem a necessidade de cabos ou contato físico.

No entanto, há vários desafios a serem superados. Primeiramente, vocês precisam entender os princípios do eletromagnetismo e da indução para projetar um sistema que possa transmitir energia elétrica por meio de campos magnéticos gerados sem fio. Além disso, é crucial garantir que o sistema seja seguro para uso doméstico, minimizando quaisquer riscos de interferência com outros dispositivos eletrônicos ou potenciais efeitos adversos na saúde humana.

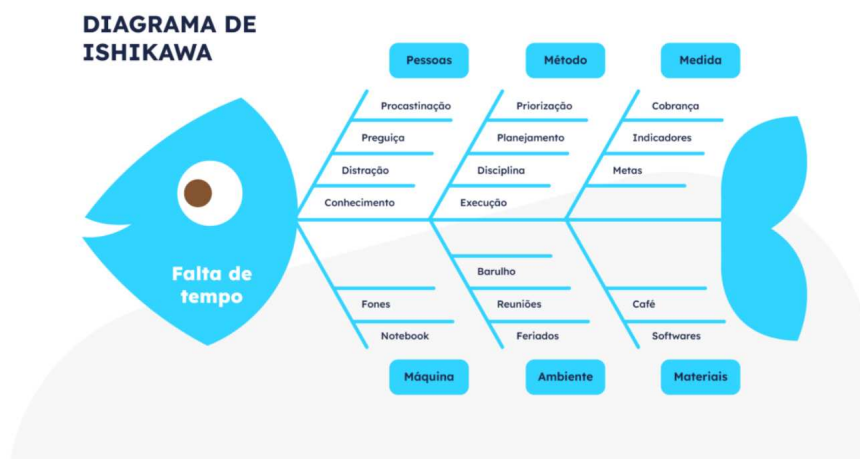
Como parte da equipe, vocês precisam investigar e projetar um sistema de transmissão de energia sem fio que considere as leis do eletromagnetismo, as propriedades dos campos magnéticos e os princípios da indução eletromagnética. Vocês devem considerar aspectos como eficiência energética, alcance de transmissão, segurança e custo para desenvolver uma solução viável e inovadora que atenda às necessidades da empresa de telecomunicações e dos consumidores.

Como vocês abordariam esse desafio? Que experimentos e pesquisas vocês conduziram para entender melhor os conceitos de eletromagnetismo e desenvolver uma solução prática para o problema apresentado?



1. Utilização do **Diagrama de Ishikawa** para fazer a separação do problema em partes. Analisando o problema geral que é a aprendizagem efetiva de um conteúdo de eletromagnetismo, e como esse conhecimento pode auxiliar na solução de um problema real, e como cada integrante do processo de aprendizagem (professor, alunos, conteúdo e forma de abordagem) pode explorar o seu máximo. Ex:

Onde pode ser elaborado:



<https://www.canva.com/>

<https://app.genially.com/?from=login-true>

2. Utilização de um método metacognitivo para aprofundar o problema: **Método 5w2h**  
5W2H é uma ferramenta de gestão em formato de checklist com perguntas importantes sobre o projeto que será desenvolvido ou o problema que será resolvido. A sigla se refere a cinco palavras que começam com W e duas com H em inglês, sendo elas: What, Why, Where, When, Who, How, How much.

Em português as siglas são interpretadas da seguinte maneira:

**What** – O que? Qual tarefa será realizada.

**Why** – Por que? A razão de realizar a tarefa.

**Where** – Onde? Onde será realizada.

**When** – Quando? Quando será realizada e o seu cronograma

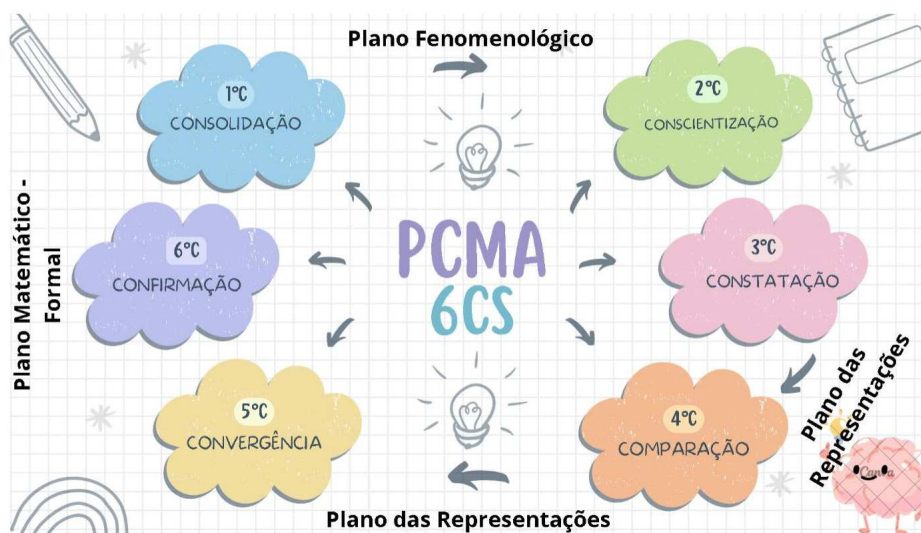
**Who** – Quem? Quem serão as pessoas responsáveis pela tarefa.

**How** – como? Qual será o processo para realizar a tarefa.

**How much?** – Quanto? Quais serão os custos para realizar a tarefa.

Ou seja, resumidamente, o 5W2H são sete perguntas que definem uma tarefa desde seu objetivo inicial, até os responsáveis e seu cronograma.

3. Utilização de mapas mentais e/ou conceituais para a demonstrar parte do que foi aprendido, ou para demonstrar como foi elaborado o trabalho. Ex:



Onde pode ser elaborado:

<https://coggle.it/diagram/Xue8Nq6wtQ6Txg7N/t/mapas-mentais>

<https://www.canva.com/>

<https://www.mindmeister.com/pages/pt/mind-mapping/>

A resolução do problema, juntamente com a apresentação desses 3 pontos e a montagem do experimento, serão os critérios avaliados para a escolha da equipe vencedora. Os critérios de desempate estarão ligados às atividades desenvolvidas durante o projeto, exemplos: experimentos de cada sala, atividades dos guias experimentais virtuais dentre outros.



## APÊNDICE F – ATIVIDADE SIMULAÇÕES



## ASSOCIAÇÕES DE RESISTORES E FONTES

Prof. Frederico Rozendo da Silva

Nome :

### Introdução

Neste experimento virtual, estudaremos a associação de resistores. Quando se tem um conjunto de resistores associados em um circuito elétrico, esse conjunto atua como se fosse apenas um único resistor, chamado de resistor equivalente ( $R_{eq}$ ). Nesta aula, vamos estudar as associações de resistores em série e em paralelo. A figura 1 mostra um resistor isolado e vários deles compondo o circuito de um dispositivo eletrônico.



Figura 1: Imagem de um resistor; vários resistores compondo o circuito de um dispositivo eletrônico.

### Requisitos

Abrir o link abaixo.

[https://phet.colorado.edu/sims/html/circuitconstruction-kit-dc/latest/circuit-construction-kitdc\\_all.html?locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/html/circuitconstruction-kit-dc/latest/circuit-construction-kitdc_all.html?locale=pt_BR)



Clicar em: Intro; aparecerá a tela mostrada na figura 2.



Figura 2: Área para as simulações. Barra lateral esquerda: componentes eletrônicos; barra superior direita: instrumentos de medidas.

Para escolher um dispositivo, basta clicar e arrastar com o mouse para a área azul. Nesta prática, usaremos resistores, fios, bateria e amperímetro; conforme mostra a figura 3.



Figura 3: materiais utilizados para o experimento virtual.

### Procedimento

#### Associação em série

1. Escolha um resistor de  $23,5 \, \Omega$  ( $R_1=23,5 \, \Omega$ ) e um segundo de  $11,5 \, \Omega$  ( $R_2=11,5 \, \Omega$ ). Clique em mostrar valores (barra superior direita). Observação: para alterar a resistência clique no resistor e altere o seu valor (barra inferior).
2. Associe os resistores em série: Monte o **circuito 1** como mostra o esquema a seguir.

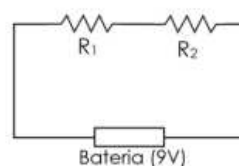


Figura 4: Esquema para a associação de resistores em série (circuito 1).

3. Usando o amperímetro meça o valor da corrente elétrica no fio.

$$i_{\text{circuito1}} =$$

4. Ao lado do circuito 1, reproduza o mesmo circuito, porém com apenas uma única resistência. Você deve ajustar o valor dessa resistência para que a corrente no **circuito 2** seja igual à do **circuito 1**. Vamos chamar o **circuito 2** de circuito equivalente. Anote o valor da resistência equivalente na tabela 1.

5. Repita os procedimentos 1-4 para as outras resistências indicadas na tabela 1, preenchendo os espaços em brancos.

Tabela 1: Dados do experimento da associação de resistores em série.

$R_1$ ( $\Omega$ )	$R_2$ ( $\Omega$ )	$R_1 + R_2$ ( $\Omega$ )	Resistência do circuito equivalente ( $\Omega$ )
23,5	11,5		
45,5	26,0		
57,0	49,5		

6. Que relação você observou entre a resistência do **circuito 2** com a soma das resistências  $R_1$  e  $R_2$ ?

Que relação matemática você poderia resumir suas observações?

Essa relação mudaria se tivéssemos mais de dois resistores associados em série?

## Exercícios

7. Usando a equação para as associações de resistores em série (procedimento 7), calcule a resistência equivalente dos resistores  $R_1=10,5 \Omega$ ,  $R_2=20,0 \Omega$ ,  $R_3=53,5 \Omega$  e  $R_4=34,5 \Omega$ .

8. Qual a resistência equivalente da associação em série de 20 resistores de  $15 \Omega$  cada?

9. Simule o problema acima usando o experimento virtual, verifique se a sua resposta está correta.

Anotações:

10. Qual a resistência equivalente da associação em série de 10 resistores de  $R=15 \Omega$ ?

## Associação em paralelo

11. Escolha dois resistores de diferentes resistências e monte o **circuito 3**, conforme mostra a figura 5. Nesse circuito as resistências estão associadas em paralelo. Anote os valores das resistências escolhidas na tabela 2.

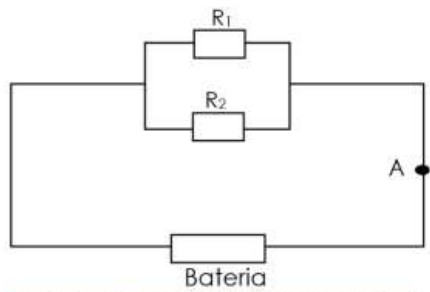


Figura 5: Esquema do circuito para a associação de resistores em paralelo (circuito 3).

12. Coloque o amperímetro no ponto **A** e meça o valor da corrente elétrica no fio.

$i_{\text{circuito 3}} =$

13. Ao lado do circuito 3, monte o circuito 4, conforme mostra a figura 6. Use apenas uma resistência e uma bateria de 9V. Você deve ajustar o valor dessa resistência para que a corrente no **circuito 4** seja igual à do **circuito 3**. Vamos chamar o **circuito 4** de circuito equivalente. Anote o valor da resistência equivalente na tabela 2.

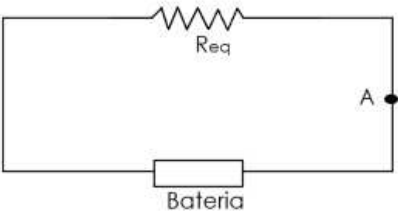


Figura 6: Circuito equivalente ao circuito da figura 5.

$R_1$ ( $\Omega$ )	$R_2$ ( $\Omega$ )	$1/R_1$	$1/R_2$	$1/R_1 + 1/R_2$	$R_{eq}$ ( $\Omega$ )	$1/(R_{eq})$

Tabela 2: Dados do experimento da associação de resistores em série

14. Escolha outras resistências e preencha os espaços em brancos da tabela 2.

15. Que relação você observou entre o inverso da resistência do circuito equivalente (**circuito 4**) e os inversos das resistências  $R_1$  e  $R_2$ ?

Essa relação mudaria se tivéssemos mais de dois resistores associados em paralelo?

Que relação matemática você poderia resumir suas observações acima?



## Exercícios

16. Usando a equação para as associações de resistores em paralelo (procedimento 14), calcule a resistência equivalente dos resistores  $R_1=30,0\ \Omega$ ,  $R_2=20,0\ \Omega$ ,  $R_3=10,0\ \Omega$  e  $R_4=45,0\ \Omega$ .

17. Simule o problema acima usando o experimento virtual, verifique se a sua resposta está correta.

Anotações:

18. Qual a resistência equivalente da associação em paralelo de 9 resistores de  $R=45\ \Omega$ ?

## Outros simuladores a serem explorados

Lei de OHM:

[https://phet.colorado.edu/sims/html/ohms-law/latest/ohms-law\\_all.html?locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/html/ohms-law/latest/ohms-law_all.html?locale=pt_BR)

Ímã e Eletroímã:

[https://phet.colorado.edu/sims/html/magnets-and-electromagnets/latest/magnets-and-electromagnets\\_all.html?locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/html/magnets-and-electromagnets/latest/magnets-and-electromagnets_all.html?locale=pt_BR)

Regra de Fleming:

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsa/school/template.php?f=mag\\_fleming&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsa/school/template.php?f=mag_fleming&l=pt)

Motor Elétrico Simples:

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsa/school/template.php?f=mag\\_aa\\_motor&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsa/school/template.php?f=mag_aa_motor&l=pt)

Lei de Ampère:

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsa/school/template.php?f=ele\\_amper&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsa/school/template.php?f=ele_amper&l=pt)

Indução Eletromagnética:

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsa/school/template.php?f=mag\\_indukce\\_accel&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsa/school/template.php?f=mag_indukce_accel&l=pt)

Lei de Lenz:

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsa/school/template.php?f=mag\\_lenz&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsa/school/template.php?f=mag_lenz&l=pt)

Motor de Faraday:

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsa/school/template.php?f=mag\\_farady\\_motor&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsa/school/template.php?f=mag_farady_motor&l=pt)



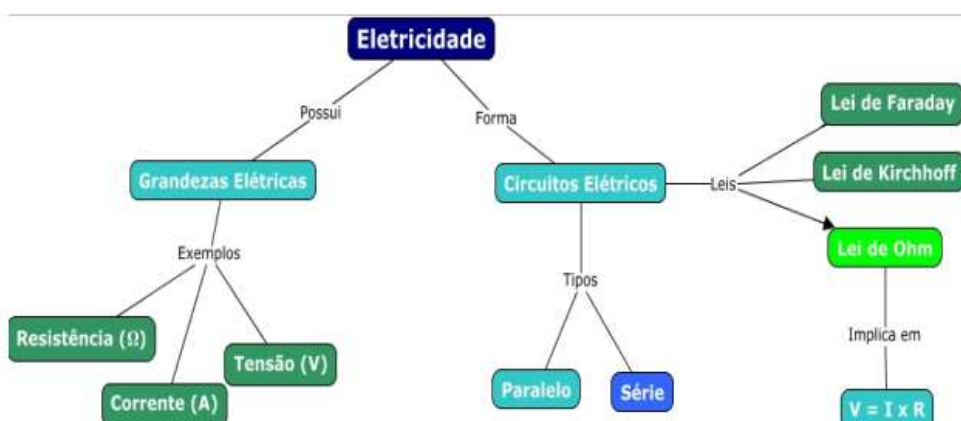
### Atividade Lei de Ohm – PHET

#### O que se pretende:

Ao final desta atividade, você será capaz de:

- Entender e comparar as relações entre grandezas elétricas (resistência, corrente e tensão);
- Aplicar e compreender corretamente a teoria da Lei de Ohm.
- Prever como mudará a corrente quando a resistência do circuito é fixa e a tensão é alterada.
- Prever como a corrente mudará, quando a tensão do circuito é fixa e a resistência é alterada.
- Atribuir significado, interpretar e discutir situações-problema;

#### Conceitos relacionados:



### Onde encontrar a simulação:

Link do endereço: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/ohms-law](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/ohms-law)

The screenshot shows the PhET Interactive Simulations website. The header includes the PhET logo and the University of Colorado Boulder. The main content area is titled 'Lei de Ohm' (Ohm's Law). It features a central simulation interface with a circuit diagram, a play button, and a 'current' meter showing 2.00 A. To the left of the simulation is a sidebar with a list of simulation categories: Simulações, Novas Sims, HTML5, Física (Movimento, Som & Ondas, Trabalho, Energia & Potência, Calor & Termometria, Fenômenos Quânticos, Luz & Radiação, Eletricidade, Ímãs & Circuitos), Biologia, Química, Ciências da Terra, Matemática (Conceitos Matemáticos, Aplicações Matemáticas), and Por Nível de Ensino (Primário). To the right of the simulation are links for 'COPIAR' and 'EMBUITAR'. Below the simulation interface is a list of links: SOBRE, PARA PROFESSORES, TRADUÇÕES, SIMULAÇÕES RELACIONADAS, REQUISITOS DE PROGRAMAS (SOFTWARE), and CRÉDITOS. On the far right, there are logos for DOE, PhET's support by OpenStax, and a 'Sim Original ou Flash' button.

### Como utilizar o OA:

Os valores de V (tensão) e R (resistência) devem ser arrastados com o mouse para se fazer as comparações entre as relações de grandezas elétricas.

### Qual a sua missão?

1. Descreva o que acontece com a corrente num circuito quando a tensão aumenta. O que acontece quando a resistência diminui?

Resposta:



2. A alteração da tensão do circuito provoca uma alteração na resistência do circuito? Por que ou por que não?

Resposta:

3. Explique por que razão a corrente e a resistência são inversamente proporcionais.

Resposta:

4. À medida que você muda o valor da resistência do resistor, como isso altera a corrente através do circuito e a tensão da bateria? A corrente ou a tensão permanecem constante? Explique.

Resposta:

5. Um resistor de  $205\ \Omega$  é percorrido por uma corrente elétrica de 20 mA. Qual será o valor da tensão?

Resposta:

**Para saber mais:**

[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/ohms-law](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/ohms-law)

[http://www.slideshare.net/dfalmenara/lei-de-ohm-24518796?gid=f31e2ddb-6f3e-4ea1-84e4-87253ad8943d&v=&b=&from\\_search=2](http://www.slideshare.net/dfalmenara/lei-de-ohm-24518796?gid=f31e2ddb-6f3e-4ea1-84e4-87253ad8943d&v=&b=&from_search=2)

<https://www.youtube.com/watch?v=JFUBx2QsEhg>

[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/resistance-in-a-wire](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/resistance-in-a-wire)

## APÊNDICE G – AULA MINISTRADA



# ELETROMAGNETISMO PROF. FRED

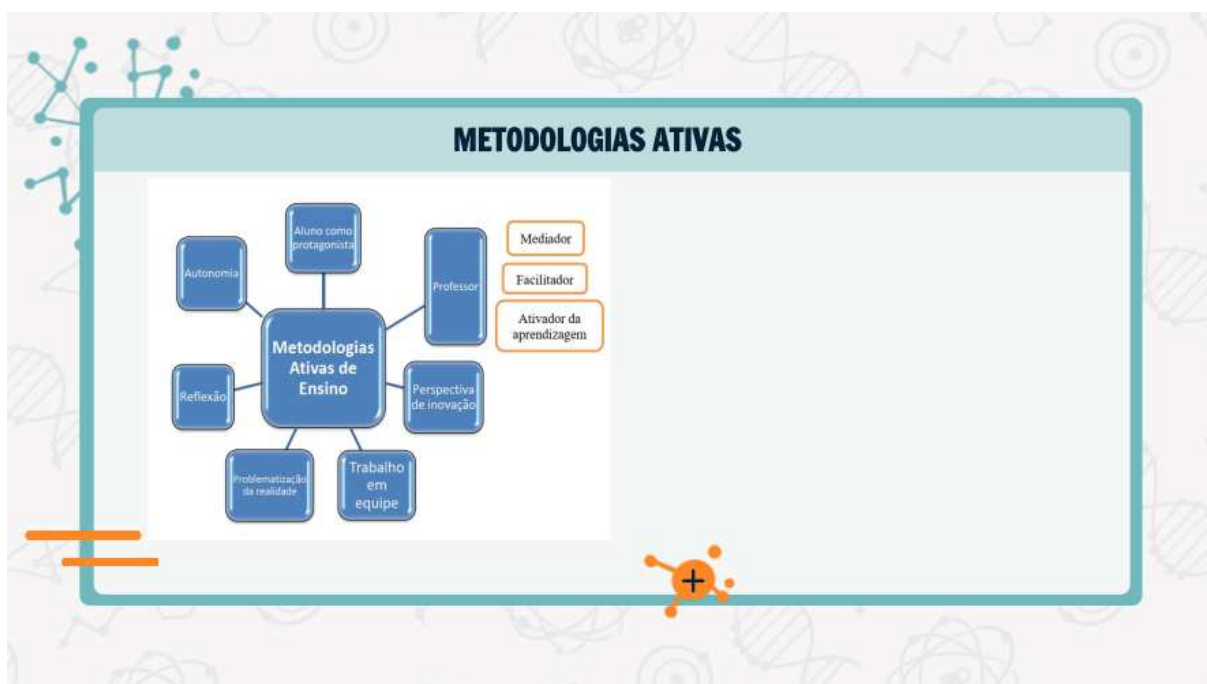
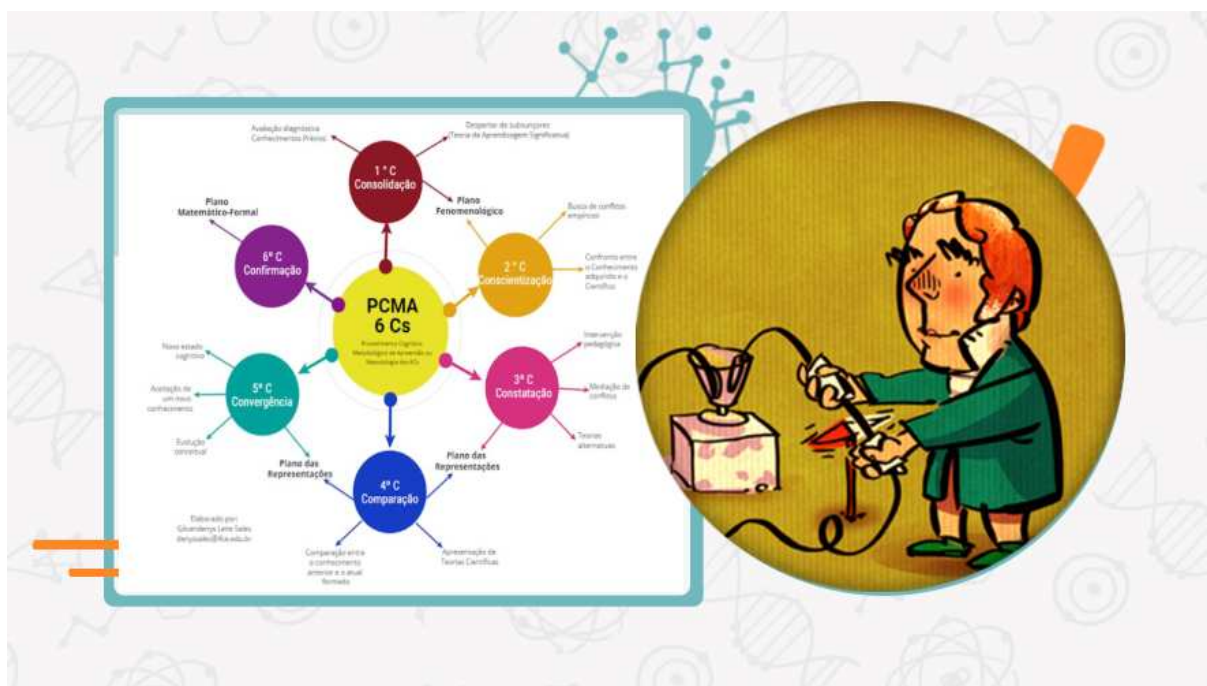
Sequência Didática 6C's + Aprendizagem Baseada em Problemas



## Sumário

- Sequência Didática 6C's
- Aprendizagem Baseada em Problemas
- Associação de Resistores e Fontes
- O Ímã elétrico ou Eletroímã
- A Interação entre correntes
- Faraday e o fenômeno da Indução Eletromagnética





*'As cinco essenciais habilidades  
empreendedoras para o sucesso são  
concentração, discernimento, organização,  
inovação e comunicação '*

**- MICHAEL FARADAY**



**VAMOS COMEÇAR!!!**





## ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES E FONTES

### Resistores – Leis de Ohm



Georg Simon-Ohm

Imagem: Autor desconhecido / Georg Simon Ohm / United States  
Public Domain.

Vimos anteriormente que a corrente elétrica quando percorre um condutor provoca colisões entre os portadores de carga elétrica (elétrons) e os átomos da rede do condutor. Então os átomos da rede funcionam como verdadeiros obstáculos à passagem da corrente elétrica. Isso gera então o **EFEITO JOULE**.

Ohm estabeleceu a noção de **Resistência Elétrica** e publicou suas observações em 1827 no seu trabalho *Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet* (1827; Estudo matemático da corrente galvânica). Nesse trabalho ele apresentou os fundamentos das futuras teorias dos circuitos elétricos.

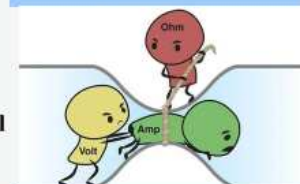
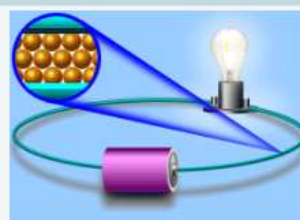
## ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES E FONTES

### 1ª lei de Ohm

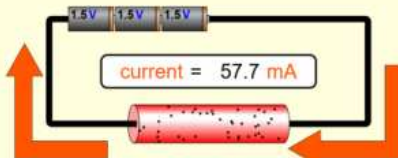
Em um condutor ôhmico mantido à temperatura constante, a intensidade de corrente elétrica é proporcional à diferença de potencial aplicada entre seus terminais. Essa constante recebe o nome de **RESISTÊNCIA ELÉTRICA**. Observe que quanto maior a resistência menor é a corrente estabelecida no condutor e vice-versa.



Resistores são componentes eletrônicos cuja principal finalidade é controlar a passagem de corrente elétrica.



$$V = IR$$



V	R
voltage	resistance
4.5 V	78 Ω

Ohm's Law  
null  
Colorado

## ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES E FONTES

Para que servem?







## ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES E FONTES

### 2ª lei de Ohm



Estratégia

condutividade elétrica

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

### 2ª Lei de Ohm

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

$\rho$ : resistividade do material  
 $L$ : comprimento do condutor  
 $A$ : área da seção transversal do condutor



As observações de Ohm o levaram a concluir que outros fatores eram determinantes no valor da resistência elétrica de um condutor. Seus estudos comprovaram que a resistência elétrica é diretamente proporcional ao comprimento do condutor e inversamente proporcional à área da seção transversal. Além disso, Ohm demonstra que a resistência depende do material que constitui o condutor. Essa propriedade foi denominada de resistividade do material ( $\rho$ ). Dessa forma podemos escrever:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

$R$  - resistência elétrica ( $\Omega$ )

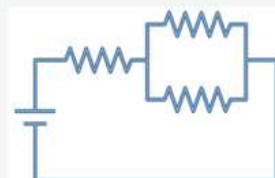
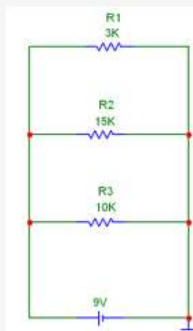
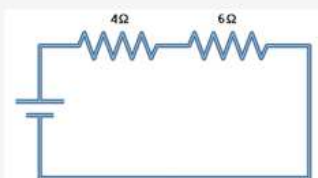
$\rho$  - resistividade do material ( $\Omega \cdot m$ )

$L$  - comprimento do condutor (m)

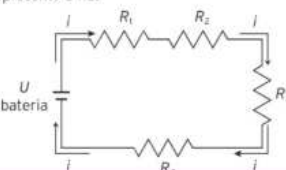
$A$  - área da seção transversal do condutor ( $m^2$ )

## ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES E FONTES

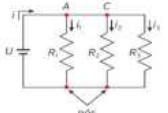
- Existem três tipos de associação de resistores: em série, em paralelo e mista.



ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES E FONTES

Representação	Vantagens e desvantagens	Corrente elétrica	Tensão elétrica
<p>Para representar um circuito em série, utilizam-se os mesmos símbolos usados para um circuito simples e colocam-se todos os resistores em uma mesma linha, que representa o fio.</p> 	<p>Há poucas vantagens em utilizar um circuito em série. Uma delas pode ser a economia no comprimento dos fios. Uma desvantagem desse tipo de associação é que, caso ocorra um problema com algum dos resistores, o circuito se abre e a corrente é interrompida, isto é, o dispositivo para de funcionar.</p>	<p>Quando uma diferença de potencial é aplicada por uma bateria, uma corrente elétrica é gerada e percorre cada um dos resistores. A corrente que passa em cada resistor tem a mesma intensidade, ainda que suas resistências sejam diferentes entre si. Assim, para um circuito em série: <math>i_1 = i_2 = i_3 = i_4 = i_5</math></p>	<p>Conforme a primeira lei de Ohm: <math>i = \frac{U}{R} \Rightarrow U = R \cdot i</math></p> <p>Como <math>R</math> é uma propriedade do resistor e <math>i</math> é constante para todos os resistores, a tensão entre os terminais de cada resistor será diferente, dependendo do valor da resistência.</p>

ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES E FONTES

Representação	Vantagens e desvantagens	Corrente elétrica	Tensão elétrica
<p>Neste tipo de circuito, a diferença de potencial em cada um dos resistores é a mesma e igual à da bateria, diferentemente do caso da ligação em série, na qual a diferença de potencial aplicada pela bateria era dividida proporcionalmente entre os resistores.</p>  <p>Esquema representativo de um circuito em paralelo com três resistores.</p>	<p>Neste tipo de associação, mesmo que um dos resistores se queime, os outros resistores ainda funcionarão, pois haverá corrente elétrica passando, uma vez que existe um circuito fechado nos outros resistores. Somente ficará aberto o circuito do resistor queimado.</p>	<p>Neste tipo de associação, a corrente em cada resistor não tem a mesma intensidade. Quando a corrente elétrica atinge um nó, como o ponto A da figura, que representa o circuito (na primeira coluna), percebe-se que há dois caminhos a serem seguidos: para baixo em direção a <math>R_1</math>, ou continuar em frente em direção ao nó C. O que de fato acontece é que a corrente se divide em duas: <math>i_1</math>, que passa pelo resistor <math>R_1</math>, e <math>i_2</math>, que segue para o outro nó no ponto C. Quando a corrente atinge o ponto C, novamente ela se divide em duas partes, <math>i_2</math>, que passará pelo resistor <math>R_2</math>, e <math>i_3</math>, que atravessará o resistor <math>R_3</math>. A corrente que entra em um nó deve ser igual à soma das correntes que saem desse mesmo nó.</p>	<p>Em uma associação em paralelo, a tensão elétrica tem a mesma intensidade para todos os resistores, e é exatamente igual ao valor da tensão produzida pela fonte de energia do circuito. Assim: <math>U_1 = U_2 = U_3 = U</math></p>



## ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES E FONTES

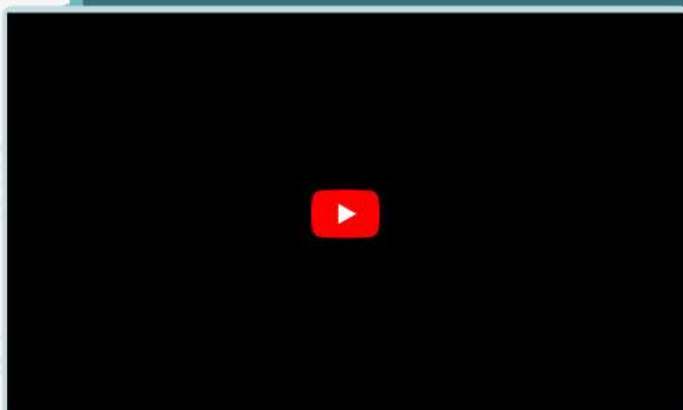
### EXEMPLOS

Dois resistores, de resistências iguais a  $20\ \Omega$  e  $30\ \Omega$ , são ligados em série e conectados a uma bateria de  $30\text{ V}$ . Determine a resistência equivalente dessa associação de resistores.

- a)  $10\ \Omega$
- b)  $50\ \Omega$
- c)  $120\ \Omega$
- d)  $60\ \Omega$

Calcule a resistência equivalente do circuito a seguir: Associação de resistores em paralelo

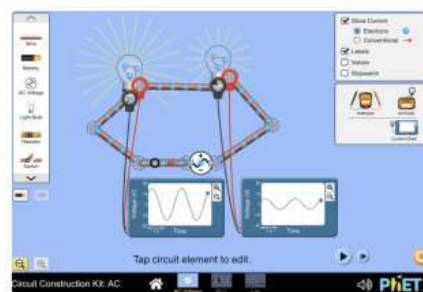
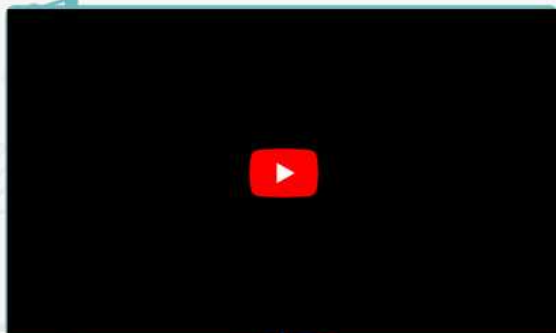
## ASSISTA NO YOUTUBE



Nos materiais de apoio, temos vários vídeos que podem auxiliar na compreensão do conteúdo. Visite-os e aprenda cada vez mais!



### ACESSE E CONTINUE O APRENDIZADO



Circuit Construction Kit: AC

null

Colorado

### INTERACTIVE QUESTION



Dispõe-se de três resistores de resistência 300 ohms cada um. Para se obter uma resistência de 450 ohms, utilizando-se os três resistores, como devemos associá-los?

Send



## APÊNDICE H – MODELO TEÓRICO INTEGRADOR TAS-ABP-MAKER

### MODELO TEÓRICO INTEGRADOR TAS-ABP-MAKER

#### Para o Ensino Significativo de Eletromagnetismo

#### 1. FUNDAMENTAÇÃO DO MODELO

##### 1.1 Premissa Central

O **Modelo SIGMA** (Significativo, Investigativo, Generativo, Maker e Adaptativo) propõe que a aprendizagem significativa de conceitos eletromagnéticos ocorre através da integração dinâmica entre:

- **Dimensão Cognitiva** (TAS): Ancoragem conceitual e diferenciação progressiva
- **Dimensão Metodológica** (ABP): Investigação contextualizada e resolução colaborativa
- **Dimensão Prática** (Cultura Maker): Experimentação criativa e materialização conceitual

##### 1.2 Princípios Norteadores

**P1 - Ancoragem Contextual:** Todo novo conceito eletromagnético deve ser apresentado através de problemas autênticos que ativem subsunçores mecânicos preexistentes.

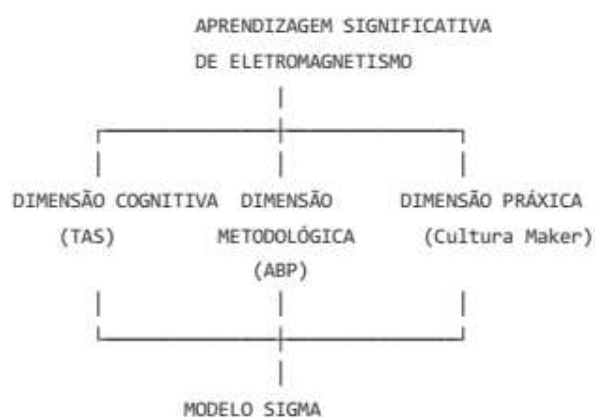
**P2 - Investigação Construtiva:** A aprendizagem ocorre através de ciclos investigativos onde o estudante constrói, testa e reconstrói suas hipóteses.

**P3 - Materialização Conceitual:** Conceitos abstratos ganham significado quando materializados através de construções físicas manipuláveis.

**P4 - Progressão Integrativa:** A evolução conceitual segue uma espiral que integra fenomenologia, representação mental e formalização matemática.

#### 2. ESTRUTURA DO MODELO SIGMA

##### 2.1 Dimensões Integradas



## 2.2 Fases Operacionais do Modelo

### FASE I - PROBLEMATIZAÇÃO ANCORADA

- **Função TAS:** Identificação e ativação de subsunçores mecânicos
- **Função ABP:** Apresentação de problema autêntico contextualizado
- **Função Maker:** Exploração inicial com materiais manipuláveis
- **Produto:** Mapa conceitual prévio + questões investigativas

### FASE II - INVESTIGAÇÃO CONSTRUTIVA

- **Função TAS:** Diferenciação progressiva dos conceitos
- **Função ABP:** Ciclos de hipótese-teste-reflexão em grupo
- **Função Maker:** Construção de protótipos investigativos
- **Produto:** Modelos físicos + registros de observação

### FASE III - RECONCILIAÇÃO INTEGRATIVA

- **Função TAS:** Integração conceitual com conhecimentos prévios
- **Função ABP:** Síntese colaborativa e socialização de descobertas
- **Função Maker:** Refinamento e otimização dos protótipos
- **Produto:** Explicações conceituais + artefatos funcionais

### FASE IV - FORMALIZAÇÃO SIGNIFICATIVA

- **Função TAS:** Consolidação através de organizadores gráficos
- **Função ABP:** Aplicação em novos contextos problemáticos
- **Função Maker:** Documentação e compartilhamento das criações
- **Produto:** Portfólio conceitual + manual de construção

## 3. MECANISMOS DE INTEGRAÇÃO

### 3.1 Conectores Teóricos

#### CONECTOR TAS ↔ ABP:

- *Problemas como organizadores prévios:* Situações-problema funcionam como organizadores que ativam subsunçores específicos
- *Assimilação através da investigação:* O processo investigativo da ABP promove a assimilação ausubeliana

#### CONECTOR TAS ↔ MAKER:

- *Materialização de subsunçores:* Construções físicas tornam visíveis os conhecimentos prévios

- *Diferenciação através da manipulação:* O ato de construir promove diferenciação progressiva

#### CONECTOR ABP ↔ MAKER:

- *Problemas autênticos maker:* Desafios de construção como problemas genuínos
- *Prototipagem como investigação:* O processo de construir é uma forma de investigar

### 3.2 Sincronização com Metodologia 6Cs

Fase 6Cs	Dimensão Dominante	Mecanismo SIGMA
1C - Consolidação	TAS	Mapeamento de subsunçores através de construções prévias
2C - Conscientização	ABP	Problematização através de desafios maker
3C - Constatação	Maker	Explicitação de concepções via protótipos
4C - Comparação	TAS + ABP	Confronto teórico mediado por investigação
5C - Convergência	ABP + Maker	Síntese através de construção colaborativa
6C - Confirmação	TAS	Formalização com base nas experiências concretas

## 4. APLICAÇÃO ESPECÍFICA AO ELETROMAGNETISMO

### 4.1 Mapeamento Conceitual Eletromagnético

#### SUBSUNÇORES MECÂNICOS ATIVADOS:

- Força e campo (mecânica) → Força e campo elétrico
- Energia e trabalho → Potencial elétrico e energia
- Movimento e velocidade → Corrente elétrica
- Oscilações → Corrente alternada
- Ondas mecânicas → Ondas eletromagnéticas

### 4.2 Problemas Autênticos Sugeridos

**PROBLEMA 1:** "Como criar um sistema de carregamento sem fio para celular usando materiais recicláveis?"

- *Conceitos envolvidos:* Indução eletromagnética, campo magnético, eficiência energética
- *Materialização maker:* Bobinas de fio de cobre, ímãs de alto-falantes, LED indicadores

**PROBLEMA 2:** "Como construir um detector de metais funcional para arqueologia escolar?"

- *Conceitos envolvidos:* Oscilações, campo magnético, indução
- *Materialização maker:* Circuito LC, bobina exploradora, amplificador sonoro

**PROBLEMA 3:** "Como desenvolver um sistema de comunicação eletromagnética entre salas?"

- *Conceitos envolvidos:* Ondas eletromagnéticas, modulação, antenas
- *Materialização maker:* Transmissor FM, antenas caseiras, modulador de áudio

#### **4.3 Indicadores de Aprendizagem Significativa**

##### **COGNITIVOS (TAS):**

- Capacidade de estabelecer analogias corretas entre fenômenos mecânicos e eletromagnéticos
- Uso espontâneo de conhecimentos prévios para explicar novos fenômenos
- Diferenciação conceitual entre grandezas relacionadas (campo/força, corrente/tensão)

##### **INVESTIGATIVOS (ABP):**

- Formulação de hipóteses testáveis sobre fenômenos eletromagnéticos
- Persistência na busca de soluções para problemas complexos
- Transferência de estratégias investigativas para novos contextos

##### **CONSTRUTIVOS (Maker):**

- Capacidade de materializar conceitos abstratos através de construções
- Refinamento iterativo de protótipos baseado em compreensão conceitual
- Documentação clara do processo construtivo e dos princípios envolvidos

### **5. VALIDAÇÃO DO MODELO**

#### **5.1 Proposições Teóricas Testáveis**

**P1:** A integração TAS-ABP-Maker produz maior retenção conceitual que abordagens isoladas.

**P2:** Estudantes expostos ao Modelo SIGMA demonstram maior capacidade de transferência conceitual.

**P3:** A materialização maker potencializa a diferenciação progressiva de conceitos eletromagnéticos.

**P4:** A problematização ABP intensifica a ancoragem significativa de novos conceitos.

#### **5.2 Instrumentos de Validação Sugeridos**

##### **QUANTITATIVOS:**

- Pré e pós-testes conceituais (Force Concept Inventory adaptado para eletromagnetismo)
- Inventário de concepções alternativas em eletromagnetismo
- Escala de motivação para aprendizagem de Física

##### **QUALITATIVOS:**

- Análise de mapas conceituais evolutivos



- Portfólio reflexivo do processo investigativo
- Entrevistas clínicas sobre raciocínio eletromagnético
- Análise de discurso nas discussões colaborativas

## 6. LIMITAÇÕES E CONDIÇÕES DE CONTORNO

### 6.1 Limitações Identificadas

**TEMPORAL:** Requer maior tempo pedagógico que abordagens tradicionais **MATERIAL:** Demanda disponibilidade de materiais para construção **FORMATIVA:** Exige formação docente específica para mediação integrada **CURRICULAR:** Pode conflitar com currículos rígidos e fragmentados

### 6.2 Condições Necessárias

**DOCENTE:** Professor com domínio conceitual sólido e flexibilidade metodológica **DISCENTE:** Estudantes com habilidades básicas de trabalho colaborativo **INSTITUCIONAL:** Ambiente escolar que valorize inovação e experimentação **MATERIAL:** Acesso a materiais básicos para construção e experimentação

## 7. CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS DO MODELO

### 7.1 Avanços Conceituais

**PARA A TAS:** Demonstra como a materialização física pode potencializar a ancoragem conceitual

**PARA A ABP:** Evidencia como a cultura maker pode enriquecer o processo investigativo

**PARA A CULTURA MAKER:** Fundamenta teoricamente as práticas construtivas na aprendizagem

### 7.2 Originalidade da Proposta

- **Primeira integração sistemática** das três abordagens para ensino de Eletromagnetismo
- **Modelo processual específico** com fases, conectores e indicadores definidos
- **Fundamentação empírica** em características cognitivas do ensino de Física
- **Aplicabilidade contextual** às condições da escola pública brasileira

## 8. IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

### 8.1 Para a Formação Docente

- Necessidade de formação integrada em teorias cognitivas, metodologias ativas e práticas maker
- Desenvolvimento de competências de mediação em ambientes investigativos
- Capacitação para avaliação de aprendizagem significativa

### 8.2 Para o Currículo de Física

- Reorganização dos conteúdos em espiral integrativa



- Priorização de conceitos estruturantes sobre informações periféricas
- Articulação entre diferentes áreas da Física através de problemas unificadores

### **8.3 Para a Avaliação**

- Desenvolvimento de instrumentos que capturem aprendizagem processual
- Valorização de produtos criativos e reflexões conceituais
- Integração entre avaliação formativa e somativa

### **CONCLUSÃO DO MODELO**

O Modelo SIGMA representa uma síntese teórica original que articula organicamente três abordagens educacionais contemporâneas em função da aprendizagem significativa de Eletromagnetismo. Sua contribuição principal reside na demonstração de como diferentes dimensões da aprendizagem - cognitiva, metodológica e prática - podem ser integradas sistemicamente para superar as limitações de abordagens isoladas.

A validação empírica deste modelo constituirá uma contribuição significativa tanto para a teoria educacional quanto para a prática docente, especialmente em contextos de escola pública onde a articulação entre inovação pedagógica e viabilidade prática representa um desafio constante.

## ANEXO A – PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
CEARÁ PROPESQ - UFC



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** METODOLOGIAS ATIVAS E SEQUÊNCIA DIDÁTICA COMO FERRAMENTA NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM DE ELETROMAGNETISMO

**Pesquisador:** Frederico Rozendo da Silva

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 78238024.9.0000.5054

**Instituição Proponente:** Faculdade de Educação

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 6.934.375

#### Apresentação do Projeto:

No presente trabalho busca-se desenvolver e analisar uma experiência didática em que recorre-se as metodologias ativas com o auxílio da sequência didática (6Cs) como estratégia de ensino em aulas de Física no ensino médio de tempo integral em uma escola pública de Pacatuba-CE, de modo que essa integração facilite a Aprendizagem Significativa, crítica e ativa dos conceitos de Eletromagnetismo, favorecendo o amadurecimento cognitivo dos alunos, bem como desenvolver certas competências e habilidades envolvidas na execução do projeto. Com o intuito de atender a esses objetivos utiliza-se de um estudo quase experimental que integra métodos qualitativos e quantitativo e vários instrumentos de coleta de dados, pois entende-se que o estudo possa ser aprofundado através do cruzamento de todas as informações colhidas. No desenvolvimento do trabalho será disponibilizado ao aluno um material estruturado com: conteúdos abordados, guias experimentais, testes conceituais e endereços eletrônicos que contenham contribuições pertinentes ao conteúdo de eletromagnetismo.

#### Hipótese:

H0: A aplicação da sequência didática 6Cs aliada as metodologias ativas e a experimentação não melhora o processo de ensino e aprendizagem em Física. H1: A aplicação da sequência didática 6Cs aliada as metodologias ativas e a experimentação melhora o processo de ensino e aprendizagem em Física.

**Endereço:** Rua Cel. Nunes de Melo, 1000

**Bairro:** Rodolfo Teófilo

**CEP:** 60.430-275

**UF:** CE

**Município:** FORTALEZA

**Telefone:** (85)3366-8344

**E-mail:** comepe@ufc.br