



JOSÉ AMILTON FERNANDES

**BALANÇA DE AMPÈRE-FARADAY:
UMA ESTRATÉGIA PARA DISCUTIR CAMPO
MAGNÉTICO E FORÇA MAGNÉTICA**

LAVRAS - MG

2015

JOSÉ AMILTON FERNANDES

**BALANÇA DE AMPÈRE-FARADAY:
UMA ESTRATÉGIA PARA DISCUTIR CAMPO
MAGNÉTICO E FORÇA MAGNÉTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, área de concentração Física na Educação Básica, para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador
Dr. Ulisses Azevedo Leitão
Coorientador
Dr. Gilberto Lage

LAVRAS–MG

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Fernandes, José Amilton.

Balança de Ampère-Faraday : Uma estratégia para discutir
campo magnético e força magnética / José Amilton Fernandes. –
Lavras : UFLA, 2015.

132 p. : il.

Dissertação (mestrado profissional)–Universidade Federal de
Lavras, 2015.

Orientador(a): Ulisses Azevedo Leitão.

Bibliografia.

1. Ensino de Física. 2. Campo Magnético e Força Magnética. 3.
Eletromagnetismo. 4. Transposição didática 5. Conflito Cognitivo.
I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

JOSÉ AMILTON FERNANDES

**BALANÇA DE AMPÈRE-FARADAY:
UMA ESTRATÉGIA PARA DISCUTIR CAMPO
MAGNÉTICO E FORÇA MAGNÉTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, área de concentração Física na Educação Básica, para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

APROVADA em 11 de Setembro de 2015:

Dr. Eduardo de Campos Valadares	UFMG
Dr. Joaquim Paulo da Silva	UFLA
Dr. Gilberto Lage	UFLA

Dr. Ulisses Azevedo Leitão
Orientador

LAVRAS - MG
2015

*Ao meu pai, sempre presente, e à minha mãe, em memória, que sonharam
me ver indo à escola e à minha esposa, fiel companheira.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciências Exatas (DEX), pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo UFLA, pelos ensinamentos transmitidos e harmoniosa convivência.

Ao professores Dr. Ulisses Azevedo Leitão e Dr. Gilberto Lage pela orientação, paciência, amizade, dedicação e seus ensinamentos que foram de grande relevância para a realização deste trabalho e meu crescimento profissional.

À minha família pelo apoio e compreensão.

Aos diretores e equipe pedagógica da Escola Estadual Prefeito Celso Vieira Vilela, pelo apoio e colaboração no desenvolvimento deste projeto.

Aos estudantes da turma do terceiro ano de 2014 por terem colaborado e participado ativamente nas atividades que geraram esse material.

*“Não vos amoldeis às estruturas deste mundo,
mas transformai-vos pela renovação da mente,
a fim de distinguir qual é a vontade de Deus:*

O que é bom, o que Lhe é agradável,

O que é perfeito.

(Bíblia Sagrada, Romanos 12, 2)

RESUMO

Essa dissertação é fruto de uma pesquisa, voltada para a educação básica, desenvolvida no âmbito do programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, realizado na Universidade Federal de Lavras – UFLA, no período de Agosto de 2013 a Agosto de 2015. Com o objetivo de motivar, despertar e tornar significativa a física para os estudantes, apresenta-se a evolução de uma estratégia para discutir campo magnético e força magnética. Descreve-se o desenvolvimento de uma sequência didática para o ensino-aprendizagem, em uma abordagem experimental problematizadora, e também a concepção e o desenvolvimento de um protótipo experimental para medir a força magnética em um fio percorrido por uma corrente elétrica na presença de um campo magnético, utilizando uma mini-balança eletrônica. Discute-se os conceitos físicos e as configurações testadas, bem como a origem dos efeitos espúrios que podem dificultar a compreensão do tema. Propõe-se, também, uma estratégia de transposição didática, que visa o desenvolvimento do questionamento conceitual pelo estudante, através do conflito cognitivo. Discute-se: A teoria da aprendizagem em que se baseou o desenvolvimento do trabalho, as metodologias utilizadas na sequência didática e na obtenção dos resultados e também na sua prática. O principal resultado da dissertação é um produto educacional para ser utilizado nas escolas, contendo os roteiros da atividade, orientação para o professor e um manual para a construção do protótipo. Essa atividade foi aplicada em uma turma de 40 alunos, do terceiro ano de ensino médio, no início da aprendizagem de eletromagnetismo, na Escola Estadual Prefeito Celso Vieira Vilela, em Heliódora/MG.

Palavras-chaves: Ensino de Física, Campo Magnético e Força Magnética, Eletromagnetismo, Transposição didática, Conflito Cognitivo.

ABSTRACT

This work is the result of a research aimed at basic education, developed under the National Professional Master's program in Physics Teaching – MNPEF, held at Federal University of Lavras – UFLA from August 2013 to August 2015. It was conceived to motivate and make physics significant to secondary school students by considering a strategy to discuss the magnetic field and magnetic force. It is described a didactic sequence for teaching and learning in an experimental problem context. The design and development of a prototype set for measuring the magnetic force on a wire carrying an electric current in the presence of an external magnetic field using an digital mini-scale is presented. It is also discussed the underlying physical concepts and the different sets tested, as well as the source of spurious effects that might hinder the understanding of the subject. It is proposed a didactic transposition strategy to foster a conceptual inquire by the student triggered by cognitive conflict. The following topics are discussed: the learning theory on which this work is based, the methods used in the teaching sequence and for obtaining the results and their evaluation. The major output is an educational product for schools comprehending a list of activities, a guidance for the teacher, and a manual to build the prototype. The proposed activities were tested in a 3rd year high school class with 40 students at the beginning of an electromagnetism course held at State School Mayor Celso Vieira Vilela in Heliadora, Minas Gerais State.

Keywords: Physics teaching, Magnetic field and magnetic force, Electromagnetism, Didactic transposition, Cognitive conflict.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Efeito espúrio dos campos espalhados sobre a configuração a) extremidade de uma espira longa no interior de um solenoide finito, campo na horizontal. Note que as forças F_2 e F_3 apontam na direção contrária à força F_1 40
- Figura 2 – Efeito espúrio dos campos espalhados sobre a configuração b) espira longa na horizontal, com campo magnético vertical gerado por um ímã em forma de disco aplicado à extremidade da espira. Note que as forças F_2 e F_3 apresentam componentes na direção vertical, gerando torque, embora nessa configuração não se deveria observar nenhum torque na espira. 41
- Figura 3 – Efeito espúrio dos campos espalhados sobre a configuração c), espira longa na horizontal, com campo magnético horizontal, gerado por um ímã em forma de disco aplicado à extremidade da espira. Note que as forças F_2 e F_3 apontam na direção contrária à força F_1 42
- Figura 4 – Efeito espúrio dos campo espalhado sobre a configuração d) final: fio longo horizontal passando pelo centro do ímã em forma de disco. Note que as forças geradas pelo campo espalhado não geram nenhum torque na espira. Nessa configuração os efeitos espúrios são menores e devido apenas às linhas de retorno (Não mostradas na figura. Vide texto.). 43
- Figura 5 – Configuração das linhas de campo de dois ímãs em um suporte U 45

Figura 28 – Campo de ímãs no sentido vertical	126
Figura 29 – Campo de ímãs no sentido horizontal	126
Figura 30 – Campo de um ímã	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estrutura da sequência didática	61
Tabela 2 – Dados coletados para o teste de funcionamento da Balança de Ampère-Faraday e resultado do cálculo da força magnética	76
Tabela 3 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos no questionamento do roteiro I parte 1	79
Tabela 4 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos na realização do experimento do roteiro I parte 2.	81
Tabela 5 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos no questionamento do roteiro II parte 1.	84
Tabela 6 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos na realização do experimento do roteiro II parte 2.	86
Tabela 7 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos no questionamento do roteiro III parte 1.	88
Tabela 8 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos no do experimento do roteiro III parte 2.	90
Tabela 9 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos no questionamento do roteiro IV parte 1.	91
Tabela 10 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos no experimento do roteiro IV parte 2.	92
Tabela 11 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos no experimento do roteiro V.	93

Tabela 12 – Média e desvio padrão da percepção dos estudantes de cada eixo. Eixos de avaliação: Eixo 1 – Relevância da atividade, Eixo 2 – Reflexão crítica, Eixo 3 – Interatividade, Eixo 4 – Apoio do professor e orientação na atividade, Eixo 5 – Apoio dos colegas, Eixo 6 – Compreensão, Eixo 7 – Metodologia	96
Tabela 13 – Média e desvio padrão das características dos estudantes. Características do estudante: C1 - Rendimento acadêmico, C2 - Participação acadêmica, C3 - Participação na atividade, C4 - Extroversão	98
Tabela 14 – Valor-p para o teste de independência χ^2 . Características do estudante: C1 – Rendimento acadêmico, C2 – Participação acadêmica, C3 – Participação na atividade, C4 – Extroversão. Eixos de avaliação: Eixo 1 – Relevância da atividade, Eixo 2 – Reflexão crítica, Eixo 3 – Interatividade, Eixo 4 – Apoio do professor e orientação na atividade, Eixo 5 – Apoio dos colegas, Eixo 6 – Compreensão, Eixo 7 – Metodologia. Em negrito os valores que indicam eventual dependência entre os fatores pelo critério de 5%.	99

Tabela 15 – Coeficiente de correlação. Características do estudante: C1 - Rendimento acadêmico, C2 -Participação acadêmica, C3 - Participação na atividade, C4 - Extroversão. Eixos de avaliação: Eixo 1 – Relevância da atividade, Eixo 2 – Reflexão crítica, Eixo 3 – Interatividade, Eixo 4 – Apoio do professor e orientação na atividade, Eixo 5 – Apoio dos colegas, Eixo 6 – Compreensão e Eixo 7 – Metodologia. Em negrito os valores de correlação entre os fatores que o teste de χ^2 indica dependência.	101
Tabela 16 – Eixo 1 - Relevância da atividade x C3 - Participação na atividade Legenda: Características: A – Estudante de alto rendimento, B – Estudante de médio rendimento, C – Estudante de baixo rendimento. Avaliação da atividade: Ótimo, Bom e Ruim.	102
Tabela 17 – Eixo 2 - Reflexão crítica x C3 - Participação na ativi- dade Legenda: Características: A – Estudante de alto rendimento, B – Estudante de médio rendimento, C – Estudante de baixo rendimento. Avaliação da atividade: Ótimo, Bom e Ruim.	104
Tabela 18 – Eixo 3 – Interatividade x C3 - Participação na atividade Le- genda: Características: A – Estudante de alto rendimento, B – Estudante de médio rendimento, C – Estudante de baixo rendimento. Avaliação da atividade: Ótimo, Bom e Ruim.	105

Tabela 19 – Eixo 5 – Apoio dos colegas x C1 – Rendimento acadêmico Legenda: Características: A – Estudante de alto rendimento, B – Estudante de médio rendimento, C – Estudante de baixo rendimento. Avaliação da atividade: Ótimo, Bom e Ruim.	106
Tabela 20 – Lista de materiais e previsão de efeito	117
Tabela 21 – Lista de materiais e efeitos observados	118
Tabela 22 – Medidas do experimento	129

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBC	Conteúdos Básicos Curriculares
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCN+	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
UFLA	Universidade Federal de Lavras
ADI	Aula de Demonstração Interativa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	Justificativa	21
1.2	Um pouco de história...	24
1.3	Estrutura do texto	25
2	REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1	Introdução	27
2.2	Teorias da aprendizagem aplicadas ao ensino de física	27
2.3	As dificuldades na aprendizagem do conceito de campo magnético	34
3	METODOLOGIA	37
3.1	Introdução	37
3.2	Desenvolvimento da balança de Ampère-Faraday .	38
3.2.1	Problemas de simetria	39
3.2.2	Histórico do desenvolvimento do protótipo	45
3.3	Construção da balança de Ampère-Faraday – Mo- delo final	52
3.4	Funcionamento e calibração da balança de Ampère- Faraday	55
3.4.1	Calibração da balança de Ampère-Faraday	57
3.5	Desenvolvimento da sequência didática	59
3.5.1	Roteiro I – Materiais magnéticos	62
3.5.2	Roteiro II – Linhas de campo magnético	63

3.5.3	Roteiro III – Sentido do campo magnético	64
3.5.4	Roteiro IV – Direção da força magnética em fio percorrido por correntes elétrica	64
3.5.5	Roteiro V – Medida da força magnética sobre correntes elétrica	65
3.6	Metodologia de análise de dados	66
3.6.1	Metodologia para a análise de concepções	66
3.6.2	Metodologia de análise da percepção dos estudantes	69
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
4.1	Introdução	75
4.2	Resultado do teste de funcionamento da balança de Ampère-Faraday	75
4.3	Resultado da análise dos dados	77
4.4	Análise das concepções dos estudantes	77
4.4.1	Análise do roteiro I	78
4.4.2	Análise do roteiro II	83
4.4.3	Análise do roteiro III	88
4.4.4	Análise do roteiro IV	90
4.4.5	Análise do roteiro V	92
4.5	Análise da percepção dos estudantes	95
4.5.1	Valores médios e desvio padrão	96
4.5.2	Análise de dependência pelo teste de χ^2	98
4.5.3	Análise dos dados de correlação	100
4.5.4	Análise dos valores mais relevantes	101
4.5.4.1	Eixo 1 - Relevância da atividade x C3 - Participação na atividade . . .	102
4.5.4.2	Eixo 2 - Reflexão crítica x C3 - Participação na atividade	103

4.5.4.3	Eixo 3 – Interatividade x C3 - Participação na atividade	104
4.5.4.4	Eixo 5 – Apoio dos colegas x C1 – Rendimento acadêmico	105
5	CONCLUSÃO	108
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
	APÊNDICES	116
	APÊNDICE A – Roteiros da sequência didática	117
A.1	Roteiro I — Materiais magnéticos	117
A.1.1	Parte 1 — Ficha de questionamento	117
A.1.2	Parte 2 — Ficha de resultado	118
A.2	Roteiro II — Linhas de campo magnético	119
A.2.1	Parte 1 — Ficha de questionamento	119
A.2.2	Parte 2 — Ficha de resultado	120
A.3	Roteiro III - Sentido do campo magnético	121
A.3.1	Parte 1 — Ficha de questionamento	121
A.3.2	Parte 2 — Ficha de resultado	122
A.4	Roteiro IV - Direção da força magnética sobre cor- rentes	123
A.4.1	Parte 1 — Ficha de questionamento	123
A.4.2	Parte 2 — Ficha de resultado	125
A.5	Roteiro V - Medida da força magnética sobre cor- rentes	128
	APÊNDICE B – Questionário de percepção dos es- tudentes	130

1 INTRODUÇÃO

Alunos desestimulados, desmotivados, com pouco ou nenhum interesse. Esta é a realidade da sala de aula nas escolas de hoje. O que fazer? E como fazer? Mudança de propostas metodológicas podem alterar este quadro, em especial no ensino de Física?

Nesta dissertação procuramos apresentar a evolução de uma proposta metodológica que pretende ser, antes de tudo, motivadora. Uma estratégia pedagógica baseada na experimentação, que visa discutir os conceitos de campo e magnético e força magnética usando um aparato experimental capaz de medir a intensidade da força magnética em um condutor elétrico, percorrido por uma corrente elétrica, na presença de um campo magnético. Essa proposta é voltada para educação básica e foi desenvolvida dentro do programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, realizado na Universidade Federal de Lavras – UFLA, no período de Agosto de 2013 a Agosto de 2015.

Desenvolver um aparato que pudesse viabilizar uma abordagem experimental em sala de aula, que de alguma maneira fosse capaz de motivar e despertar o interesse dos estudantes para a física, foi o desafio desse trabalho. Nesse contexto, considera-se que o uso de atividades da experimentação no ensino de Física é uma das possibilidades metodológicas que pode alcançar esse objetivo. Como o eletromagnetismo desperta no estudante, interesse, curiosidade e até mesmo espanto diante dos resultados experimentais de simples realização, o presente trabalho se concentrou em encontrar uma maneira de utilizar a experimentação através do desenvolvimento de uma sequên-

cia didática problematizadora, explorando o estabelecimento de conflitos cognitivos (POSNER G. J., 1984) diante dos resultados experimentais.

O desenvolvimento e a construção do aparato capaz de detectar e medir a intensidade da força magnética em um condutor elétrico foram viabilizadas utilizando-se uma minibalança eletrônica de bolso. A força magnética é medida a partir da leitura direta na balança. Assim, medidas quantitativas são possibilitadas, tornando mais concreta a conceituação de força magnética. A proposta de sequência didática contempla o conteúdo voltado para estudantes do terceiro ano do ensino médio. No início da aprendizagem de eletromagnetismo.

1.1 Justificativa

É importante que os métodos de ensino sejam modificados, a fim de capacitar os estudantes a procurar as informações necessárias para lidar com contextos. Esta é uma das características mais importantes do processo de aprendizagem: a atitude reflexiva e autocrítica diante dos possíveis erros.

Segundo (SILVA; SCHIRLO, 2014), a responsabilidade de capacitar é atribuída às escolas.

A sociedade tem atribuído à escola o desafio de preparar, com qualidade, o cidadão para resolver os problemas que a cada dia lhes apresentam. Espera-se que a escola forme estudantes capazes de compreender o mundo e dele participar de forma crítica e criativa. (SILVA; SCHIRLO, 2014, p. 41).

Recentemente, nas Diretrizes Curriculares Nacionais (BRASIL, 2013), uma orientação no sentido do uso de metodologias que promovam a investigação no processo de ensino-aprendizagem é externada de forma clara:

Essa atitude de inquietação diante da realidade potencializada pela pesquisa, quando despertada no Ensino Médio, contribui para que o sujeito possa, individual e coletivamente, formular questões de investigação e buscar respostas em um processo autônomo de (re)construção de conhecimentos. Nesse sentido, a relevância não está no fornecimento pelo docente de informações, as quais, na atualidade, são encontradas, no mais das vezes e de forma ampla e diversificada, fora das aulas e, mesmo, da escola. O relevante é o desenvolvimento da capacidade de pesquisa, para que os estudantes busquem e (re)construam conhecimentos. (BRASIL, 2013, p. 164).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (BRASIL, 2002) – PCN+ Ciências da Natureza, Matemática e Suas Tecnologias, – em seu capítulo 2, mencionam a mesma preocupação com a necessidade de desenvolvimento de estratégias educacionais que promovam a investigação.

Há um aspecto para o qual os professores devem se voltar com especial atenção, relacionado com a característica fundamental da ciência: a sua dimensão investigativa, dificilmente trabalhada na escola nem solicitada nas provas e vestibulares. (BRASIL, 2002, p. 45).

Nas atividades profissionais, como professor de ensino de física em escolas do ensino médio, é importante manter constante e incansável a busca por novas metodologias, que facilitem e tornem mais relevantes os conteúdos ensinados. Nesse contexto de desenvolvimento de uma "*aprendizagem significativa*" (AUSUBEL, 1973), o ensino de força magnética e de campo magnético é um desafio para o professor. Por um lado, crescem as possibilidades de relacionamento da disciplina com o uso cotidiano de tecnologias que incorporam cada vez mais o magnetismo e as propriedades magnéticas

dos materiais – ímãs especiais, motores e geradores elétricos, sistemas de gravação magnética, sensores Hall e sistema de leitura de informação digital por magneto-resistência gigante, etc. Por outro lado, a compreensão das relações de simetria no contexto do magnetismo exigem uma quebra de paradigma, que raramente tem sido abordada de forma significativa, tanto no ensino médio, quanto no ensino superior.

Não é a intenção de que, com esse trabalho em sala de aula toda a turma adquira os conhecimentos que se propõe no Conteúdo Básico Comum – CBC, mas que, a partir deste, todos passem a ver com um olhar diferenciado, qualquer assunto que envolva magnetismo e eletromagnetismo.

Durante a aplicação dessa proposta no terceiro ano do ensino médio, da Escola Estadual Prefeito Celso Vieira Vilela, em Heliódora/MG, foi feita uma análise da percepção do estudantes, baseada em um questionário de avaliação de percepção, respondido pelos estudantes. A análise foi realizada usando ferramentas estatísticas, dentro de uma abordagem quantitativa. Por outro lado, uma avaliação as respostas fornecidas durante a aplicação da sequência didática, permitiu uma análise metacognitiva através da comparação dos modelos mentais prévios – ou concepções prévias – com os modelos mentais após a realização dos experimentos.

Faz parte também desse trabalho o desenvolvimento de um Produto Educacional “Balança de Ampère-Faraday: Uma estratégia para discutir campo magnético e força magnética”, disponibilizado nos servidores do programa de pós-graduação em Ensino de Física da Universidade Federal de Lavras - UFLA. O produto consiste de um roteiro orientado para o professor, roteiros para os estudantes e orientações para a construção da Balança de Ampère-Faraday.

Este aparato permite a realização de uma medida absoluta da força magnética em um fio percorrido por uma corrente elétrica na presença de um campo magnético. Na proposta, o campo magnético é gerado por um par de ímãs de Neodímio.

1.2 Um pouco de história...

Historicamente, a eletricidade e o magnetismo se desenvolveram de forma independente durante muito tempo. Desde o advento das ideias inovadoras de Galileu Galilei e Isaac Newton, estabeleceu-se uma interpretação causal do universo, segundo a qual todo efeito observado obedeceria a forças exercidas por objetos situados a certa distância. Nesse contexto histórico nasceu a teoria eletromagnética, segundo a qual as atrações e repulsões elétricas e magnéticas resultavam da ação de corpos distantes.

Coube a André-Marie Ampère em 1820, ao explorar a experiência de Oersted, mostrar que dois longos fios retilíneos, paralelos se atraem ou se repelem caso conduzam correntes constantes no mesmo sentido ou em sentidos opostos. Esta montagem é chamada Balança de Corrente (FILHO et al., 2007).

Por outro lado, Faraday introduziu a noção de campo, que teve logo grande aceitação e constituiu um marco no desenvolvimento da física moderna. Concebeu o espaço como cheio de linhas de força, correntes invisíveis de energia que governavam o movimento dos corpos e eram criadas pela presença de objetos magnético ou eletricamente carregado. Assim, uma carga elétrica móvel produz perturbações eletromagnética a seu redor, de modo que qualquer outra carga próxima detecta sua presença ao interagir com o campo.

Quando se fala em ciência experimental, o nome de Faraday é sempre lembrado como um dos maiores experimentadores da história da ciência. Faraday não havia se dedicado a pesquisas em Física até 1820, ano em que Oersted divulgou a descoberta do eletromagnetismo, uma relação entre eletricidade e magnetismo que era esperada havia muito tempo. O movimento da agulha de uma bússola em função da corrente elétrica que atravessava um fio próximo à bússola apresentava propriedades de simetria desconhecidas até então, porque não se tratava de atração e repulsão, mas sim de um efeito circular em torno do fio.

Também Humphry Davy teve seu interesse desperto pela novidade e foi como seu assistente que Faraday teve o primeiro contato com experimentos sobre eletromagnetismo.

Estimulado por leituras e pelas controvérsias encontradas nos trabalhos que estudou, Faraday iniciou uma série de experiências inovadoras sobre rotações de ímãs e fios condutores de eletricidade utilizando os efeitos eletromagnéticos. Desses estudos surgiu o amperímetro e o motor elétrico, ambos baseados na interação entre o campo magnético gerado por um ímã e a corrente elétrica em um fio, daí batizamos o protótipo dessa dissertação de Balança de Ampère-Faraday.

1.3 Estrutura do texto

A dissertação está estruturada da seguinte maneira.

No capítulo 2 situa-se a proposta dentro de seu referencial teórico construtivista. Discutem-se as dificuldades conceituais e a física envolvida.

No capítulo 3 apresenta-se a metodologia de desenvolvimento da

sequência didática, e o funcionamento do aparato proposto. A seguir, apresenta-se a fundamentação teórica para a estratégia de análise de dados realizada e o detalhamento da metodologia dessa análise.

Os resultados qualitativos e quantitativos são apresentados no capítulo 4, de Resultados e Discussão. Finalmente, apresentam-se as conclusões e, no apêndice, os detalhes da sequência didática e do protótipo desenvolvido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Introdução

O referencial teórico que fundamenta a presente proposta se baseia na teoria de [Piaget e Chomsky \(1987\)](#), a qual compreende o conflito cognitivo como parte importante no processo de assimilação do conhecimento. Neste sentido, a metodologia utilizada, elaborada como uma adaptação da Aula de Demonstração Interativa (ADI) proposta por [Sokoloff \(2012\)](#), a previsão e a experimentação permitem a confrontação do conhecimento prévio do estudante com a observação experimental. Esta abordagem metodológica, objetiva viabilizar a aprendizagem significativa, ([AUSUBEL, 1973](#)) discutida no tópico a seguir. As dificuldades conceituais relacionadas ao aprendizado dos conceitos de campo magnético são, então, apresentadas. Visando a elaboração da sequência didática envolvendo os conceitos de campo magnético e força magnética, Questões de simetria envolvidas no aparato experimental proposto, são revistas. Finalmente, metodologia de análise dos dados é discutida.

2.2 Teorias da aprendizagem aplicadas ao ensino de física

As dificuldades de aprendizagem se revelam de forma mais contundente quando se trata do ensino das ciências da natureza. Nesse particular, nossa preocupação é com o Ensino de Física. O que se observa é que, de um modo geral, nas escolas de nível médio, se aprende pouco da Física e, o que é pior, se aprende a não gostar dela ([BONADIMAN; NONENMACHER, 2007](#)).

E a imagem que as pessoas têm da física foi assim retratada por Bonadiman:

Quando o jovem estudante ingressa no Ensino Médio, proveniente do Ensino Fundamental, vem estimulado pela curiosidade e imbuído de motivação na busca de novos horizontes científicos. Entre os diversos campos do saber, a expectativa é muito grande com relação ao estudo da Física. Porém, na maioria das vezes e em pouco tempo, o contato em sala de aula com esse novo componente curricular torna-se uma vivência pouco prazerosa e, muitas vezes, chega a constituir-se numa experiência frustrante que o estudante carrega consigo pelo resto da vida. Por isso, para muitas pessoas, após cursarem o Ensino Médio, falar em Física significa avivar recordações desagradáveis. Tanto isso é verdade, que não se esquece facilmente um professor de Física e, geralmente, por motivos pouco lisonjeiros, sendo até muito comum ouvirmos expressões como Física é coisa para louco! , reveladoras da imagem que os estudantes formam da Física na escola. O que leva as pessoas, de um modo geral, a não gostarem da Física? Como explicar as deficiências no seu aprendizado, se estamos diante de uma ciência cujo objeto de investigação é dos mais atrativos? (BONADIMAN; NONENMACHER, 2007, p. 196).

Diante dessas dificuldades e no contexto do desenvolvimento de uma aprendizagem potencialmente significativa, [Moreira \(2009\)](#) ressalta que entende-se por aprendizagem significativa o conceito expresso por Ausubel:

Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-literal, não ao pé da letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante

já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. (MOREIRA, 2012, p. 13).

E, para que o ensino-aprendizagem de Física seja potencialmente significativo, uma das propostas metodológicas atuais se baseia na inserção do ato de experimentação no processo de ensino-aprendizagem. Em especial para o Ensino de Física, essa é uma abordagem metodológica de fundamental importância, e tem sido enfatizado por muitos autores. Essa ênfase por um ensino experimental é uma importante contribuição das teorias da aprendizagem para a prática pedagógica. Vários autores defendem a importância da experimentação no ensino de Física. Segundo Alves:

Justifica-se a experimentação no ensino de Física como ferramenta auxiliar ao processo ensino-aprendizagem ou como sendo o próprio processo da construção do conhecimento científico, na contribuição positiva no processo de formação do cidadão. A experimentação em si, dissociada de uma estratégia de ensino mais abrangente, não é suficiente que o estudante apenas manipule “coisas”, isto seria apenas uma contribuição ao seu desenvolvimento intelectual. Por outro lado, tais contribuições não devem ser superestimadas e nem subestimada demasiadamente e sim associadas a uma boa didática, antes da construção do conhecimento científico, propiciando que os estudantes aprofundem seus conhecimentos em física e sejam estimulados a buscar soluções. Como nem sempre os experimentos confirmam uma hipótese na forma de generalização ou lei, em muitas escolas não existem laboratórios específicos para o ensino de Física, o que aumentam as possibilidades de um experimento não atingir seus objetivos, então, cabe ao professor encontrar atividades que se limitam a demonstrar aos estudantes, fenômenos com a finalidade de motivá-los e ilustrar sua exposição e buscar alternativas para desenvolver as habilidades e competências. (ALVES; STACHAK, 2005, p. 2).

Segundo Marie-Geniève Séré:

Concebe-se a experimentação como uma forma de favorecer o estabelecimento de um elo entre o mundo dos objetos, o mundo dos conceitos, leis e teorias e o das linguagens simbólicas. (SÉRÉ; COELHO; NUNES, 2004, p. 31).

De acordo com AraújoI e AbibII (2003), ao elaborar atividades experimentais para o ensino de Física, deve-se estar atento às suas finalidades, diferenciando o enfoque de acordo com as finalidades pretendidas. De acordo com este autor:

As dificuldades e problemas que afetam o sistema de ensino em geral e particularmente o ensino de Física não são recentes e têm sido diagnosticados há muitos anos, levando diferentes grupos de estudiosos e pesquisadores a refletirem sobre suas causas e conseqüências. As propostas que têm sido formuladas para o encaminhamento de possíveis soluções indicam a orientação de se desenvolver uma educação voltada para a participação plena dos indivíduos, que devem estar capacitados a compreender os avanços tecnológicos atuais e a atuar de modo fundamentado, consciente e responsável diante de suas possibilidades de interferência nos grupos sociais em que convivem. Nessa direção, o entendimento da natureza da Ciência de um modo geral e da Física em especial constitui um elemento fundamental a formação da cidadania. De modo convergente a esse âmbito de preocupações, o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e estudantes como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar a dificuldade de se aprender e de se ensinar Física de modo significativo e consistente.(ARAÚJOI; ABIBII, 2003, p. 2).

Para Araújo e AbibII (2003) a experimentação é uma estratégia de ensino:

Defende-se a experimentação como estratégia de ensino, possibilitando uma maior compreensão sobre as diferentes possibilidades e tendências dessas atividades, que podem subsidiar o trabalho de professores e pesquisadores do ensino do nível médio. (ARAÚJO; ABIBII, 2003, p. 1).

Entretanto, também existem críticas ao uso da experimentação no ensino de Física, em especial quando esse uso se limita a uma abordagem a partir de uma visão epistemológica positivista (ARRUDA; SILVA; LABURÚ, 2001). A maior crítica se dá ao uso do experimento como forma de "*verificar*" a "*veracidade*" das leis científicas, consideradas "*imutáveis*". Entretanto, não há como negar a importância crucial da experimentação na construção de um ambiente de aprendizagem que privilegie a investigação e a aprendizagem significativa. Uma das razões mais relevantes para justificar a abordagem experimental no ensino de física, do ponto de vista teórico que fundamenta o presente trabalho, é a possibilidade da observação experimental gerar um "*conflito cognitivo*" que fomente a aprendizagem significativa.

...quando o aluno se depara com uma situação nova, tentará, inicialmente, utilizar seus esquemas para dar conta de solucionar a situação. Quando percebe que nesta nova situação assimilada, seus esquemas não são suficientes para solucionar o problema, este sujeito entra em conflito cognitivo. Este conflito cognitivo gera um desequilíbrio cognitivo o qual mobilizará o indivíduo na busca por novas respostas, com o propósito de solucionar a questão. (PIAGET; CHOMSKY, 1987 apud LOURENÇO; PALMA, , p. 45).

O processo de reconstrução conceitual é um processo dialético em que o conflito cognitivo tem um importante papel como catalisador de uma mudança na estrutura conceitual do estudante. Para ter sucesso neste processo de reestruturação conceitual, o estudante precisa se envolver em uma etapa de integração do conhecimento. Ou seja, as novas ideias precisam se encaixar na estrutura conceitual prévia. Neste processo, alguns conceitos podem ser refinados, mas outros serão descartados, sempre que não puderem se acomodar, de forma coerente, com as novas observações. Segundo [Posner G. J. \(1984\)](#), para que a reestruturação conceitual ocorra, é necessário que o estudante se torne insatisfeito com a incapacidade dos velhos conceitos em explicar os fenômenos e a realidade observada, demandando, portanto, por novos mecanismos explicativos.

Assim, percebe-se que fundamental neste processo é o surgimento do conflito cognitivo ([CHINN; BREWER, 1993](#)). Diversas abordagens metodológicas atuais – *Modeling Cycles* ([HESTENES, 1987](#)), Aula de demonstração Interativa ([SOKOLOFF, 2012](#)), *Peer Instruction* ([CROUCHI; MAZURI, 2001](#)), etc. – buscam fomentar o surgimento do conflito cognitivo na sequência didática. Geralmente, solicita-se ao estudante externar suas previsões sobre eventos específicos do tema em estudo, em situações em que as concepções errôneas advindas do senso comum não contemplam a complexidade do fenômeno em estudo. Neste sentido, durante o estudo prévio para o desenvolvimento da sequência didática para a abordagem do campo magnético neste trabalho, o caminho trilhado foi norteado pela busca do estabelecimento de dois conflitos cognitivos básicos:

1. As incoerências e inadequações da analogia entre campo elétrico e campo magnético, propriedades elétricas e propriedades magnéticas;

2. O comportamento de simetria da força magnética ligado ao produto vetorial do campo magnético.

Embora existam consideráveis evidências de que as abordagens tradicionais são ineficazes no ensino dos conceitos de Física, a maioria dos professores ainda continua a utilizar quase exclusivamente aulas expositivas, frequentemente em classes numerosas. Para melhorar a aprendizagem, é necessário uma estratégia didático-pedagógica que fomente a aprendizagem significativa. Dentre as metodologias construtivistas atuais para o ensino de Física, como mencionado acima, o presente trabalho foi fortemente influenciado pela proposta de [Sokoloff \(2012\)](#). Aplicada inicialmente na Universidade de Oregon e Universidade de Tufts, nos Estados Unidos, a pesquisa em ensino de física deste autor o levou ao desenvolvimento de uma estratégia ensino de aprendizagem, denominada Aula de Demonstração Interativa – ADI. A metodologia ADI original é composta por oito passos: ([SOKOLOFF, 2012](#)), a saber:

1. O professor descreve a situação problema para a sala de aula;
2. Os estudantes registram suas previsões individuais em uma ficha de previsão;
3. Os estudantes se envolvem em discussões em pequenos grupos, com um ou dois vizinhos mais próximos;
4. O professor provoca previsões comuns de toda a classe;
5. Os estudantes registram suas previsões finais na folha de previsão;
6. O professor realiza a demonstração, com experimentos;

7. Alguns estudantes descrevem os resultados para discuti-los no contexto da manifestação. Os estudantes podem preencher uma ficha de resultados, idênticas à ficha previsão, para que possam ter com eles para um estudo mais aprofundado;
8. A classe e instrutor discute situação física análoga com características diferentes.

Uma adaptação desta proposta metodológica, desenvolvida no presente trabalho, será apresentada no capítulo de Metodologia. Entretanto, cabe ressaltar aqui que o essencial da metodologia ADI está justamente no estabelecimento do conflito cognitivo pela confrontação das previsões individuais dos estudantes com suas observações experimentais, sob a fundamentação teórica da busca de uma aprendizagem significativa ([MOREIRA, 2009](#)).

2.3 As dificuldades na aprendizagem do conceito de campo magnético

Diversas dificuldades conceituais no processo de aprendizagem do conceito de campo magnético e de força magnética têm sido apresentadas na literatura ([LEPPAVIRTA, 2012](#)).

De uma forma geral, observa-se que o conceito de campo é confundido pelo estudante com a concepção newtoniana de ação à distância, interpretando o campo como mero artifício matemático para a descrição da força. Essa concepção errônea consegue descrever de forma adequada o campo elétrico e a força elétrica. Entretanto, a força magnética não é colinear com o campo magnético, tem sua simetria associada ao produto vetorial e não obedece à

terceira Lei de Newton, além das dificuldades em se reconhecer a aplicação das leis de conservação em sistemas com campos magnéticos. Estes fatos demandam uma abordagem didática que incorpore a quebra de paradigmas e a reconstrução conceitual (SAARELAINEN; LAAKSONEN; HIRVONEN, 2007) no ensino deste tópico. Nesse contexto, até mesmo o termo “Linhas de Força” – termo presente com demasiada frequência em livros didáticos do ensino médio no Brasil como referência às “Linhas de Campo”, – é um termo inadequado.

De uma forma geral, ao apresentar de forma enciclopédica a relação da força magnética com o campo magnético, simplesmente prescrevendo a equação de força magnética como fato empírico, os livros textos do ensino médio induzem uma concepção mágica de mundo, em que não há subsunções (MOREIRA, 2009), ou seja nenhuma relação com conhecimentos anteriores.

Em sua grande maioria, a literatura tem relatado investigações e desenvolvimento de sequências didáticas quase exclusivamente para o ensino superior (CHABAY; SHERWOOD, 2006) ; (MARR et al., 1999); (ITZA-ORTIZ et al., 2004).

No Brasil, a opção epistemológica dos currículos oficiais que subordina a construção conceitual ao objetivo de "relacionar o conhecimento com o dia a dia", infelizmente, tem reforçado, na sala de aula, mais especialmente, nos livros didáticos, as concepções de senso comum. Em geral, ensina-se força magnética através de experiências com ímãs, antes de se construir o conceito de campo magnético. Desta forma, fomenta-se a construção de analogias entre o campo elétrico e o campo magnético conceitualmente equivocadas.

A literatura define o termo "Concepções Errôneas" (do inglês "*miscon-*

ceptions"), como um conhecimento fragmentado, constituído de construtos fracamente conectados, (DISESSA, 1988), mas que podem estar incrustados em uma grande macro-estrutura conceitual (VOSNIADOU et al., 2001); (CHI, 2005), o que dá origem a uma enorme resistência ao aprendizado, dificultando e, muitas vezes, impedindo a re-estruturação conceitual por parte do estudante.

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de uma sequência didática para o ensino-aprendizagem do conceito de campo magnético e de força magnética, em uma abordagem experimental problematizadora, potencialmente significativa, que busca confrontar o estudante com estas dificuldades conceituais. Propõe-se uma estratégia de transposição didática (CHEVALLARD, 1988), que visa o desenvolvimento do questionamento conceitual pelo estudante, a qual será delineada no capítulo de metodologia. Antes de apresentarmos a proposta de sequência didática, apresentaremos os detalhes do desenvolvimento e da implementação da Balança de Ampère-Faraday, aparato proposto como norteador das atividades experimentais.

3 METODOLOGIA

3.1 Introdução

Neste capítulo apresenta-se o desenvolvimento, a construção e o teste de funcionamento do protótipo que utilizamos no experimento para realizar medidas de força magnética. Discute-se também o desenvolvimento dos roteiros da sequência didática proposta. Visando auxiliar o professor em sua aplicação.

A sequência didática foi desenvolvida em cinco grupos, de oito estudantes cada, de uma turma com 40 estudantes, do terceiro ano de ensino médio, na Escola Estadual Prefeito Celso Vieira Vilela na cidade de Heliadora/MG, no mês de Novembro de 2014.

O resultado do desenvolvimento da sequência didática foi avaliado de duas formas. Inicialmente, fez-se uma análise qualitativa das respostas dos estudantes nas fichas de respostas apresentadas durante a aplicação da sequência didática. Procurou-se identificar os modelos mentais dos estudantes, comparando o modelo mental prévio com o modelo mental que o estudante apresentou após a participação nos experimentos.

Uma segunda forma de avaliação consistiu em apresentar aos estudantes um questionário de avaliação da percepção dos estudantes. Uma análise estatística foi realizada para identificar eventuais correlações entre a percepção expressa no questionário e as características do estudante.

O capítulo está organizado da seguinte forma: Inicialmente discute-se o desenvolvimento, a construção e o funcionamento do aparato experimental,

a Balança de Ampère-Faraday. A seguir apresenta-se o processo de desenvolvimento da sequência didática. Para finalizar, discute-se a metodologia de análise dos dados.

3.2 Desenvolvimento da balança de Ampère-Faraday

Todo condutor elétrico percorrido por uma corrente elétrica contínua na presença de um campo magnético sente uma força magnética vetorial com módulo, direção e sentido, podendo ser observado segundo a regra da mão direita. A detecção é da ordem de milésimo de Newton ($10^{-3}N$).

A Balança de Ampère-Faraday ¹ é um dispositivo que permite detectar e medir a força magnética que atua em um condutor elétrico, fio de cobre ou alumínio de comprimento (L), percorrido por uma corrente elétrica de intensidade (i) na presença de um campo magnético \vec{B} . O campo magnético é criado por dois ímãs colocados em um suporte de ferro doce na configuração em forma de U. O objetivo para o desenvolvimento do protótipo proposto foi o de motivar e despertar o interesse dos estudantes para o aprendizado da física do campo magnético e dos materiais magnético. E trata-se de um protótipo simples, de baixo custo e de fácil manuseio. Ele permite reproduzir experimentalmente as configurações para medida da força magnética de forma análoga às configurações apresentadas na maioria dos textos didáticos, visando facilitar a compreensão de seu funcionamento. É interessante o sufi-

¹ O utilização do termo *Balança de Ampère-Faraday* se justifica pelas seguintes razões. O termo *Balança de Ampère* ou *Balança de Correntes* é utilizado em relação à realização de medidas de interação magnética entre dois fios condutores percorridos por corrente. O termo *Balança de Ampère-Faraday* é utilizado em relação ao magnetômetro que mede a propriedade magnética de amostras em um gradiente de campo magnético. Como os estudos de Faraday geraram a aplicação deste fenômeno no desenvolvimento da tecnologia de motores elétricos, acreditamos ser mais adequado o termo utilizado.

ciente para prender a atenção do estudante, eficiente e sensível nas medidas, e fornecendo uma medida quantitativa da força magnética.

O desenvolvimento de um aparato para ser utilizado em sala de aula, que possibilitasse motivar os estudantes para o estudo da física, foi o desafio desse trabalho de mestrado. Neste contexto, como a experimentação é uma das estratégias que pode alcançar o objetivo proposto, e como o eletromagnetismo é um tópico presente no dia-a-dia (celular, televisão, etc.), curiosidade e até mesmo espanto, o trabalho se concentrou em construir um protótipo simples, que fosse capaz de medir a intensidade da força magnética. No protótipo proposto isto é realizado de forma direta, utilizando-se uma mini-balança eletrônica, com resolução de $0,1g$ e carga de até $500g$.

3.2.1 Problemas de simetria

No desenvolvimento do protótipo da balança de Ampère-Faraday, a configuração do arranjo experimental para a medida da força magnética é fruto de uma análise da simetria envolvida.

A questão fundamental é a de se evitar os efeitos indesejados de diferentes configurações de campo espalhado, sobre a medida pretendida. Este efeito espúrio é evidenciado pelo fato de que os campos espalhados geram forças opostas à força que se pretende medir.

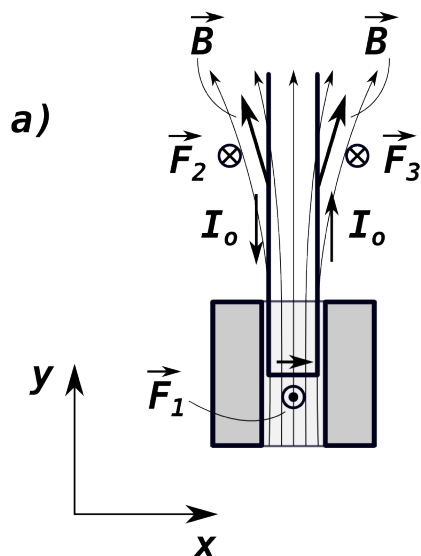


Figura 1 – Efeito espúrio dos campos espalhados sobre a configuração a) extremidade de uma espira longa no interior de um solenoide finito, campo na horizontal. Note que as forças F_2 e F_3 apontam na direção contrária à força F_1 .

As figuras 1 — 5 apresentam as diversas configurações testadas.

Na configuração a), figura 1, observa-se que dentro do solenoide apenas a extremidade da espira sentirá uma força magnética. A corrente elétrica flui da esquerda para direita, o campo magnético na direção (oy) causa uma força na vertical no sentido (oz). Entretanto, fora do solenoide, os campos sofre um espalhamento e apresentam componentes de campo no sentido (ox) e ($-ox$), que geram forças magnéticas no sentido ($-oz$), contrária e que dificultam a determinação experimental da forças magnéticas na espira.

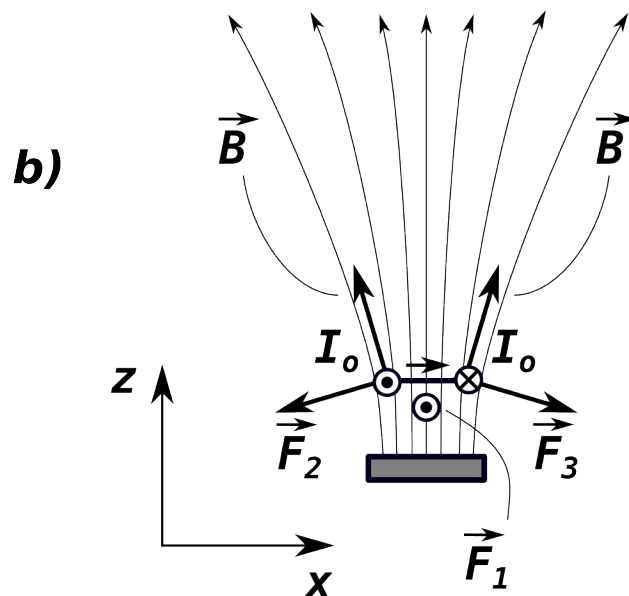


Figura 2 – Efeito espúrio dos campos espalhados sobre a configuração b) espira longa na horizontal, com campo magnético vertical gerado por um ímã em forma de disco aplicado à extremidade da espira. Note que as forças F_2 e F_3 apresentam componentes na direção vertical, gerando torque, embora nessa configuração não se deveria observar nenhum torque na espira.

Esse mesmo problema, aparecerá quando se utiliza um ímã finito, para gerar o campo magnético horizontal, como retratado em c), figura 3. Entretanto, o caso mais complexo para a demonstração experimental é o retratado na configuração b), figura 2.

Neste último caso, ao utilizar um ímã finito para gerar um campo vertical, espera-se um torque nulo na espira, pois a força na extremidade é também horizontal, saindo do plano do papel, direção negativa em oy . Entretanto, os campos de espalhamento possuem componente horizontal na

direção ox , gerando em ambos os braços da espira, uma força magnética com componente vertical para baixo.

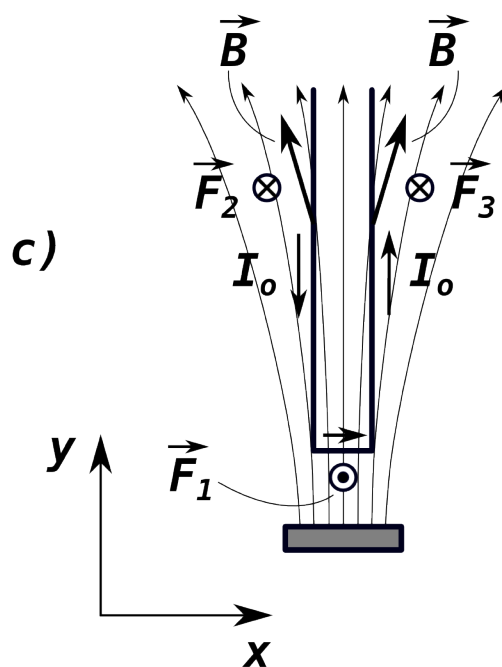


Figura 3 – Efeito espúrio dos campos espalhados sobre a configuração c), espira longa na horizontal, com campo magnético horizontal, gerado por um ímã em forma de disco aplicado à extremidade da espira. Note que as forças F_2 e F_3 apontam na direção contrária à força F_1 .

Assim, uma demonstração didática que pretende mostrar que a força magnética não deveria exercer torque nesta configuração apresenta um valor de torque superior ao observado na configuração c). O que foi mais surpreendente foi observar um torque na configuração b) — que deveria ser nula —, duas vezes maior do que para a configuração c).

Em ambos os casos, a origem do problema está no fato de que as

configurações propostas detectam a soma das contribuições espúrias devido aos campos espalhados por uma região que envolve o comprimento das hastes laterais da espira em aproximadamente 10 cm. Esta área corresponde à região em que o campo magnético espalhado tem intensidade suficiente para contribuir significativamente para o torque devido à força magnética na espira.

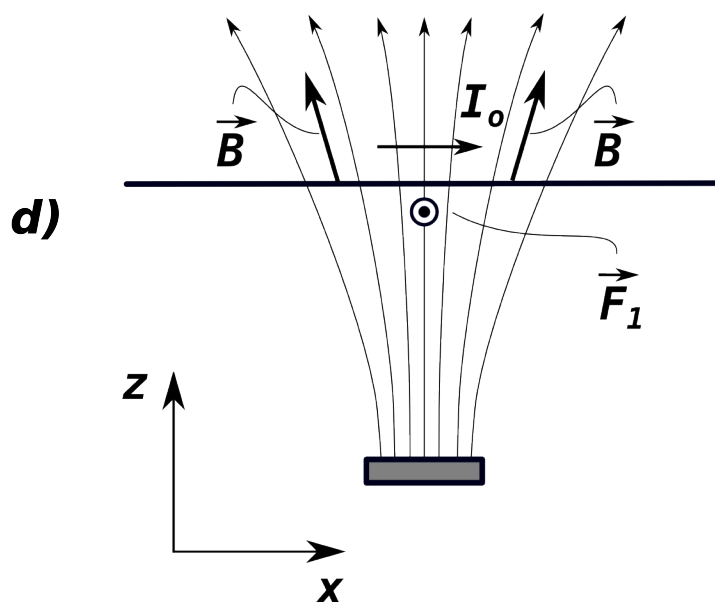


Figura 4 – Efeito espúrio do campo espalhado sobre a configuração d) final: fio longo horizontal passando pelo centro do ímã em forma de disco. Note que as forças geradas pelo campo espalhado não geram nenhum torque na espira. Nessa configuração os efeitos espúrios são menores e devido apenas às linhas de retorno (Não mostradas na figura. Vide texto.).

Uma rápida análise da simetria mostra que a contribuição deste efeito espúrio explica os fatos observados.

A configuração ideal seria, portanto, a configuração **d)**, apresentada

na figura 4. Neste caso posiciona-se um único fio próximo ao ímã, posicionado no plano de simetria do ímã. O efeito dos campos de espalhamento mostrados na figura não deveria produzir nenhuma força magnética espúria, devido ao fato da componente gerada ser paralela à corrente.

Entretanto, os campos de espalhamento mais distantes dos polos do ímã apresentam ainda um pequeno efeito espúrio, devido às linhas de retorno.

No protótipo final, a questão foi finalmente resolvida com uma configuração de dois ímãs em um suporte \mathbf{U} . Nessa configuração o campo magnético é uniforme na região entre os polos dos ímãs, a intensidade e a direção são as mesmas em todos os pontos. As linhas de indução de um campo magnético uniforme são paralelas, igualmente orientadas e sua densidade é constante, isto é, o vetor indução \mathbf{B} é constante. Devido à simetria do ímã em \mathbf{U} , as linhas de campo retornam pelo suporte \mathbf{U} , não gerando, assim, os efeitos espúrios. Além disto, observa-se que a intensidade do campo magnético cai a valores menores que 1% a uma distância de alguns milímetros da borda do ímã. Desta forma, pode-se estimar o comprimento do fio que está sujeito à ação do campo magnético.

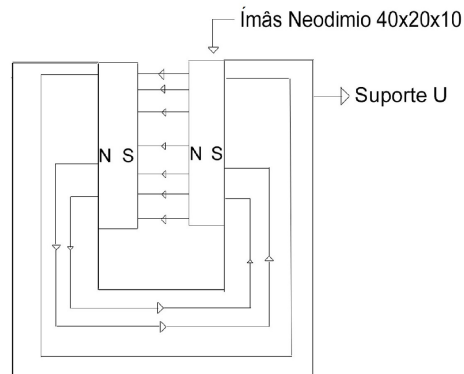


Figura 5 – Configuração das linhas de campo de dois ímãs em um suporte U

3.2.2 Histórico do desenvolvimento do protótipo

Para a realização desse trabalho foi necessária a elaboração de vários protótipos, os quais foram testados exaustivamente, até se chegar ao protótipo final

A primeira tentativa de construção do protótipo foi com um fio metálico de cobre dobrado em forma de U. A extremidade aberta do U era articulada, podendo girar livremente em torno de um eixo horizontal, composto pelo próprio fio e equilibrado com ajuda de um contra peso de madeira. Fez-se passar por esse fio uma corrente elétrica contínua através do mancal que sustenta o eixo. Na presença de um campo magnético horizontal dentro de uma bobina, a força magnética agindo sobre o fio provoca um deslocamento vertical. A força magnética cria assim um torque que pressiona a balança eletrônica, permitindo medir diretamente a força magnética pela leitura na balança eletrônica. Como foi discutido anteriormente, observou-se que nesta configuração os campos espalhados criam forças concorrentes que

dificultam o seu uso didático.

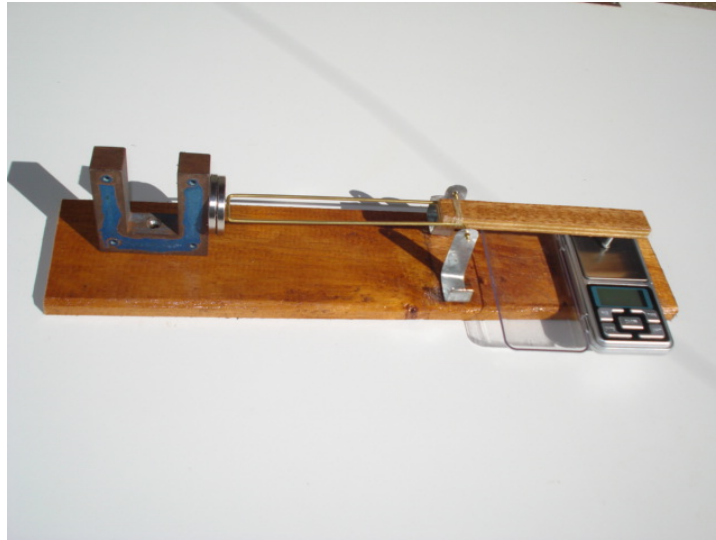


Figura 6 – Primeiro protótipo experimental

Uma tentativa de melhoria do protótipo foi a de trocar a bobina por um ímã. A figura 6 ilustra a montagem do primeiro protótipo já com o ímã.

Observou ainda valores muito baixos para a força magnética, não atingindo o limite mínimo da resolução da balança. Como a força magnética observada foi da ordem de milésimos de [N], decidimos realizar uma alteração, utilizando o princípio do braço de alavanca para conseguir um fator multiplicativo. Mesmo assim não foi possível conseguir medir na balança um valor de massa que correspondesse a força magnética, devido as forças indesejáveis que o campo espalhado cria nas laterais da espira.

Para melhorar a sensibilidade, utilizamos um condutor metálico de alumínio dobrado em forma de U, bastante longo, 45cm de distância da parte reta do condutor na presença do campo magnético até o eixo feito do

próprio condutor, apoiados nos mancais, o apoio na balança, colocado a uma distância de $4,5\text{cm}$ do eixo, garantindo assim um fator multiplicativo de dez vezes. A figura 7 ilustra esse protótipo.



Figura 7 – Segundo protótipo experimental

Mesmo assim, constatamos que o problema estava na influência das forças criadas pelos campos espalhados nas laterais. Esta região está muito próxima dos ímãs e sua influência é bastante significativa. Como discutido anteriormente no referencial teórico, elas concorrem com as forças a serem medidas. A solução foi de refazer o protótipo com as laterais o mais longe possível da região do campo magnético.

Partimos para esta nova tentativa, com as laterais o mais longe possível. Um condutor de alumínio dobrado em forma de U de $30\text{cm} \times 30\text{cm}$, a parte aberta foi encaixada em um suporte de madeira e dobrado para fora para servir de eixo e de conector para ligar a fonte de corrente elétrica. O suporte de madeira sustenta o contra peso, formado por três chumbos de

100g cada, para manter o suporte pressionado na balança eletrônica este protótipo está mostrado na figura 8.

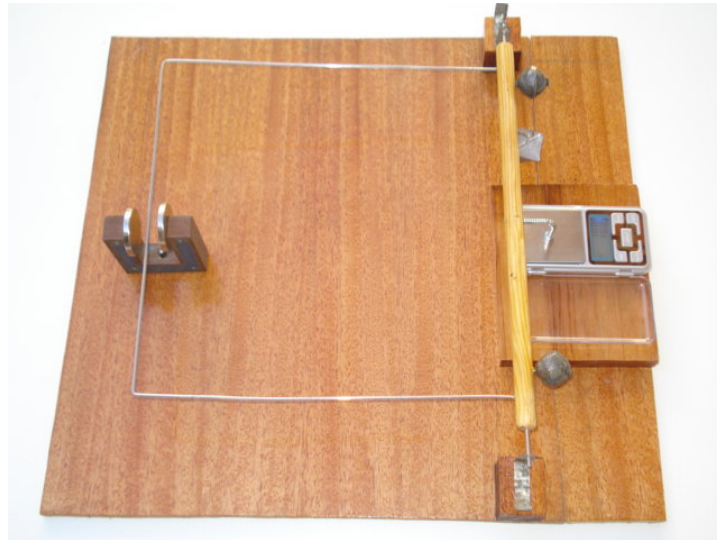


Figura 8 – Terceiro protótipo experimental

Esse modelo, não teve bom desempenho. Durante as medidas notamos que os pesos dos chumbos usados como contra peso e a grossura da ponta do eixo, construído com fio de alumínio grosso da ordem de $3,8\text{mm}$ de diâmetro, aumentou muito o atrito entre o eixo e os mancais. Comprometendo a sensibilidade e reprodutibilidade do aparato.

Outra tentativa com o terceiro protótipo foi realizada no laboratório da Universidade Federal de Lavras, usando um campo produzido por duas bobinas. A figura 9 ilustra a tentativa, também comprometida pelo atrito.

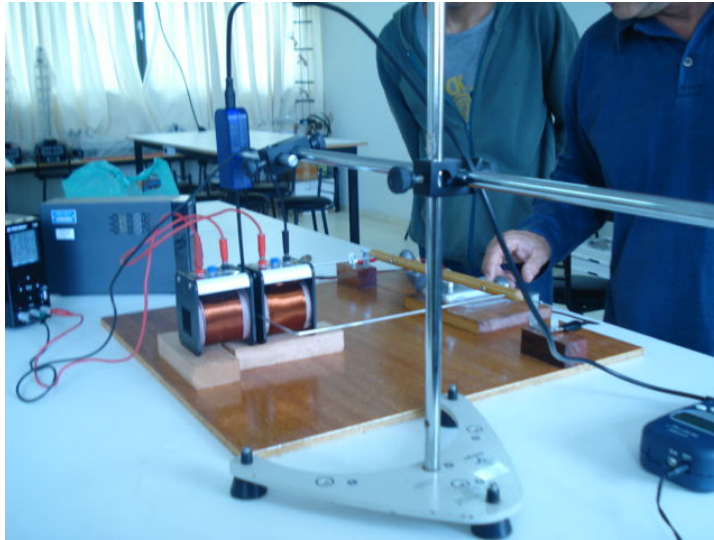


Figura 9 – Terceiro protótipo experimental com duas bobinas

A solução encontrada para minimizar o atrito foi eliminar os contra pesos de chumbos e afinar as pontas de contato do condutor metálico. A eliminação do contra-peso foi possível invertendo o braço da alavanca do suporte que apoia na balança para o lado dentro da espira. Assim aproveitasse o próprio peso do condutor para manter o suporte apoiado na balança eletrônica. Utilizando a propriedade de tara da balança, não compromete o princípio de equilíbrio necessário para o cálculo quantitativo da força magnética. Nas pontas, a solução encontrada foi colocar um conector metálico com diâmetro de $4mm$ para emendar com uma ponta mais fina. Foram usadas agulhas para máquina de costura, com um diâmetro de $1mm$ e com um pé achatado para fixar no conector. A figura 10 mostra os detalhes.



Figura 10 – Detalhes da agulha, na ponta do eixo, para diminuir o atrito

Para diminuir ainda mais o peso, foi trocado o suporte em L, que liga o eixo na balança, que era de metal, por um apoio de madeira. A figura 11 mostra os detalhes.

Após essas tentativas chegou-se à um protótipo final da Balança de Ampère-Faraday já bastante melhorado. A figura 12 mostra o protótipo pronto para ser usado na realização da atividade.



Figura 11 – Detalhes do apoio na balança

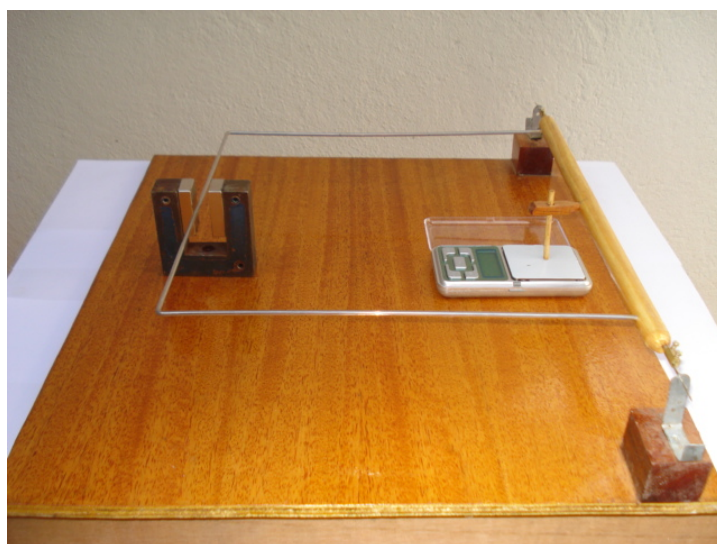


Figura 12 – Versão final do Protótipo

3.3 Construção da balança de Ampère-Faraday – Modelo final

A Balança de Ampère-Faraday que desenvolvemos utiliza fio de alumínio daqueles utilizados em solda pelas oficinas de funilaria de automóvel, com diâmetro de $3,8\text{mm}$ e 1m de comprimento. As pontas da espira que devem servir de eixo atravessam o bastão de madeira e são dobradas para fora, o esquema da figura 13 mostra como é feitos o encaixes.

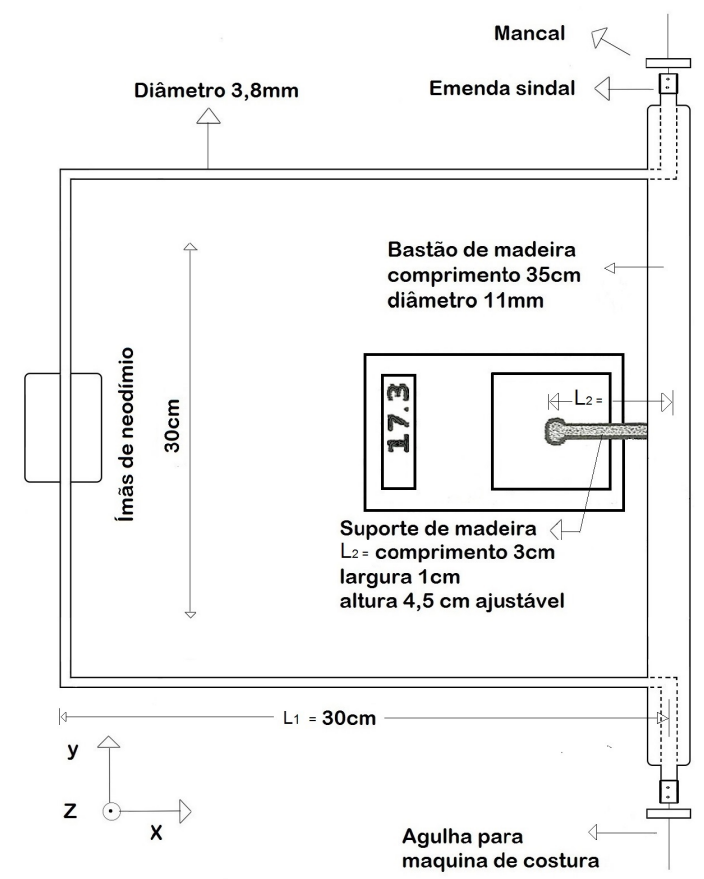


Figura 13 – Balança de Ampère-Faraday - vista superior da montagem.

Adaptadores, usados para emenda de fio fazem a junção entre as

pontas do fio condutor e as agulhas para máquina de costura, e como são finas e de aço, diminuem consideravelmente o atrito nos mancais, deixando o eixo girar quase que livremente. Os mancais, feitos de chapa galvanizada para calha pluvial, servem também de contato elétrico. A montagem apoia-se em uma plataforma de compensado de 42cm de largura, 47cm de comprimento e 1cm de espessura.

Os dois ímãs de neodímio em um suporte U, devem ser colocados com polos diferentes um voltado para o outro, isto é, polo sul voltado para polo norte, nessa configuração o campo magnético é uniforme.

Os esquemas das figuras 14 e 15 ilustram mais detalhes da construção da Balança de Ampère-Faraday.

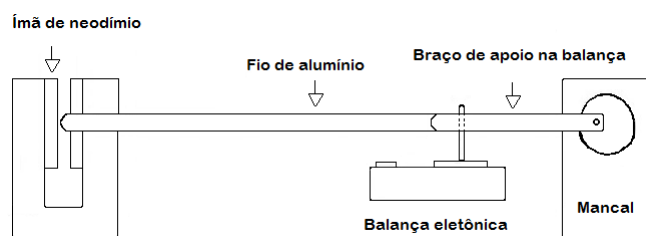


Figura 14 – Balança de Ampère-Faraday - vista lateral com apoio na balança eletrônica

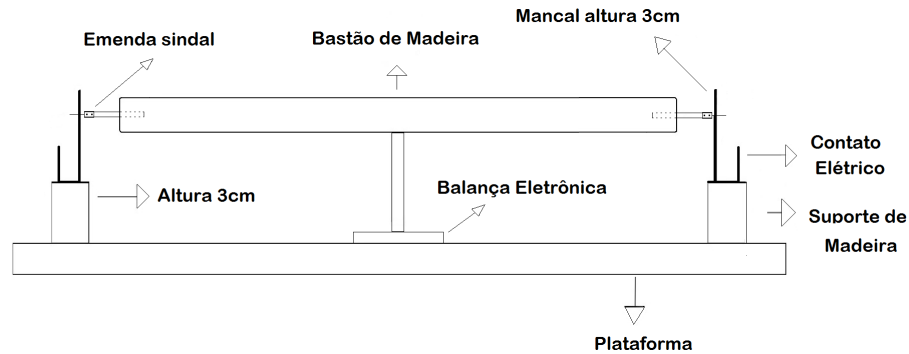


Figura 15 – Balança de Ampère-Faraday - Vista traseira com detalhes do mancal

O suporte que apoia na balança eletrônica, deve ser construído de madeira para evitar peso e de comprimento dez vezes menor que o comprimento da lateral da espira.

Lista de Materiais para construção da Balança de Ampère-Faraday.

1. Balança eletrônica (capacidade 0,1g a 500g);
2. Fio de alumínio (usado para solda em oficina de funilaria de automóvel), 1m de comprimento e 3,8mm de diâmetro;
3. Dois ímãs de neodímio 40mm x 20mm x 10mm;
4. Um suporte em U;
5. Duas emendas sindal para fio de 4mm;
6. Duas agulhas com pé, para máquinas de costura;
7. Um bastão de madeira com 30cm de comprimento e 11mm de diâmetro;
8. Uma plataforma de compensado 42cm x 47cm x 1cm;

9. Dois suportes de madeira de $4\text{cm} \times 4\text{cm} \times 3\text{cm}$;
10. Duas fitas de capa galvanizada(usada para calha pluvial) $4\text{cm} \times 1\text{cm}$;
11. Fonte de corrente contínua com variação de 0 a 3A protegida contra curto circuito;
12. Dois cabos banana jacaré;
13. Um multímetro;
14. Pregos, cola para madeira, verniz.

3.4 Funcionamento e calibração da balança de Ampère-Faraday

Vamos agora revisar o detalhamento matemático necessário à descrição quantitativa do experimento. No protótipo, a força é induzida no condutor elétrico quando percorrido por uma corrente elétrica na presença de um campo magnético. Os livros básicos de física abordam o tema. Para o ensino superior, Nussenzweig introduz o tema da seguinte forma:

O campo magnético exerce força sobre cargas em movimento. Verifica-se experimentalmente que a força é proporcional à carga e à magnitude da velocidade da partícula. Entretanto, a direção da força é perpendicular às direções da velocidade e do campo magnético. A força F é dada por:

$$\vec{F} = Kq\vec{v} \times \vec{B}$$

Onde K é uma constante positiva, que depende da escolha do sistema de unidades, e v é a velocidade da partícula de carga q em relação a um referencial inercial. No sistema internacional $K = 1$, logo

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} .$$

([NUSSENZWEIG, 1998](#), p. 128).

Considerando a corrente i em um fio metálico como sendo devida ao movimento médio de cargas elementares, a força magnética total em um pedaço de fio de comprimento L , sob a ação de um campo magnético \vec{B} é dada por:

$$|\vec{F}| = |i\vec{L} \times \vec{B}| = ilB \sin \theta$$

Nessa expressão, o vetor \vec{L} é definido como tendo o módulo igual a l , direção definida pelo seguimento de fio l e o sentido dado pelo sentido da corrente i no fio.

Parte da dificuldade conceitual no ensino de Força Magnética no ensino médio deriva da simetria associada ao produto vetorial $\vec{v} \times \vec{B}$ e/ou $\vec{L} \times \vec{B}$ presente nas relações acima. Em especial, pelo fato dessas relações não fazem parte do conteúdo programático das disciplinas de matemática nesse nível escolar.

Um teste de funcionamento foi necessário para a comprovação da eficácia da Balança de Ampère-Faraday. Algumas medidas foram realizadas no laboratório de física da Universidade Federal de Lavras - UFLA e relatadas a seguir.

Com uma fonte ajustável de corrente elétrica contínua, variando entre $0,3, 3A$, foram realizadas uma série de medidas com diferentes valores de corrente elétrica e, para cada valor de corrente, obteve-se o valor correspondente a força magnética na balança eletrônica. Dos valores obtidos na balança eletrônica e uma expressão matemática (mostrada na subseção 3.4.1 a seguir), obteve-se, em Newton, as forças correspondentes. A tabela dos valores das medições e o gráfico para a comprovação da eficácia do

funcionamento da balança de Ampère-Faraday encontram-se no capítulo 4 Resultados e discussão.

3.4.1 Calibração da balança de Ampère-Faraday

Para facilitar os cálculos e garantir um bom funcionamento, faz-se necessário um fator de calibração para cada Balança de Ampère-Faraday construída. Esse fator pode variar de valor de um aparato para outro, dependendo das distâncias do eixo até a parte do condutor que fica na presença do campo e da distância entre o eixo e a balança eletrônica.

Estando a balança eletrônica e o condutor elétrico do mesmo lado do eixo, os conceitos de braço de alavanca, pode ser utilizado explorando uma propriedade chamada tara, essa propriedade nos permite zerar a balança mesmo com algum peso, quando adiciona mais peso a balança só mede a quantidade adicionada e quando o parte do peso é retirado, a leitura do peso retirado é representado por um valor negativo.

A força magnética, F_{mag} , que atua no condutor quando está na presença do campo magnético \vec{B} , causa um torque no eixo de madeira onde esse condutor está fixado. Esse torque no eixo transfere uma força de contato N para a minibalança, através do pino de contato do suporte em formato de L. A intensidade da força de contato será medida pela leitura da balança e depende da distância entre o eixo e ponto de aplicação da F_{mag} e a distância entre o eixo e ponto de apoio na balança. Sabendo-se que o momento de uma força, em relação a um ponto fixo, é o produto da intensidade da força pela distância do ponto à reta suporte da força. Em equilíbrio estático, o momento da força F_{mag} aplicada no fio é igual ao momento da força exercida pela minibalança, N . Na configuração proposta,

os braços de alavanca correspondentes à força F_{mag} é L_1 , distância entre o eixo e o ponto de aplicação da força magnética e o da força de contato N é L_2 , distância entre o eixo e o ponto de apoio na minibalança.

Como o momento de uma força é o produto da força pela distância ao eixo de rotação, na situação de equilíbrio estático temos:

$$F_{mag} \cdot L_1 = N \cdot L_2 \quad (3.1)$$

A balança expressa a força N como uma leitura de massa m . Assim, para determinar a força N é necessário multiplicar o valor de m , lido diretamente na balança, pela aceleração da gravidade g . Assim, o valor da força magnética F_{mag} obtido pela seguinte relação:

$$F_{mag} = \frac{m \cdot g \cdot L_2}{L_1} \quad (3.2)$$

Como a minibalança eletrônica usada tem capacidade de medida até $500g$ e apresenta os dados em gramas, faz-se necessário transformar o valor da massa que se lê na balança para quilograma. Para isso basta multiplicar o valor lido por (10^{-3}) . Para facilitar os cálculos podemos substituir os valores da expressão acima por uma constante de calibração K .

$$K = \frac{g \cdot L_2}{L_1} \cdot 10^{-3} \quad (3.3)$$

Assim, determinamos o fator de calibração para a Balança de Ampère-Faraday, o que permite calcular diretamente o valor da força magnética a partir da leitura de massa acusada pela minibalança. Medindo em gramas, pela leitura direta da minibalança, o valor da força magnética será calculado multiplicando a constante de calibração pelo valor de m ,

$$F_{mag} = k \cdot m . \quad (3.4)$$

Utilizando uma minibalança com resolução de $\Delta m = \pm 0,05g$, a resolução para medida da força magnética será:

$$\Delta F = \pm 5 \cdot 10^{-5} N .$$

3.5 Desenvolvimento da sequência didática

A sequência didática desenvolvida nessa dissertação tem o propósito de fomentar uma aprendizagem potencialmente significativa (AUSUBEL, 1973), usando uma motivação experimental defendida por Alves e Stachak (2005), Séré, Coelho e Nunes (2004) e Araújo e Abib (2003). Seu referencial teórico ancora-se nos pressupostos da teoria de aprendizagem construtivista:

Quando o estudante se depara com uma situação nova, tentará, inicialmente, utilizar seus esquemas para dar conta de solucionar a situação. Quando percebe que nesta nova situação assimilada, seus esquemas não são suficientes para solucionar o problema, este sujeito entra em conflito cognitivo. Este conflito cognitivo gera um desequilíbrio cognitivo o qual mobilizará o indivíduo na busca por novas respostas, com o propósito de solucionar a questão. (PIAGET; CHOMSKY, 1987 apud LOURENÇO; PALMA, , p. 45).

Na tabela 2, apresentamos os tópicos, a formulação do questionamento, bem como os conflitos cognitivos esperados que nortearam o desenvolvimento da presente proposta. Ela baseia-se na metodologia de Aula de Demonstração Interativa (ADI), que é composta por oito passos proposta por Sokoloff (2012). A atividade foi realizada em uma turma de 40 alunos do terceiro ano do ensino médio divididos em cinco grupos de 8 alunos, aconteceu

em 5 etapas de 2 aulas com 50 minutos cada, onde as etapas foram realizadas em dois momentos. No primeiro momento, foi feito um questionamento e no segundo, foi realizado o experimento.

A sequência didática descreve estratégias para promover a participação ativa dos estudantes na sua aprendizagem, baseadas na metodologia da Aula de Demonstração Interativa (ADI), que para: Socoloff:

Pesquisa em educação mostrou que a maioria dos estudantes de física introdutória tem dificuldade para aprender conceitos, mesmo essenciais em óptica, no melhor dos cursos tradicionais, e que uma abordagem de aprendizagem ativa bem projetada pode remediar esta situação (SOKOLOFF, 2012, p. 16).

Tabela 1 – Estrutura da sequência didática

Tema	Questionamento	Conflito cognitivo esperado
Roteiro I Materiais magnéticos	1. Qual o efeito do ímã sobre os diferentes materiais?	Nem todo material condutor elétrico, metálico, tem propriedades magnéticas
Roteiro II Linhas de campo magnético	2. Prever como são as linhas de campo magnético dos ímãs disponibilizados.	Nenhum. O estudante deve reconhecer nas linhas de campo magnético aproximadamente as mesmas características já observadas no estudo anterior de eletrostática.
Roteiro III Sentido do campo magnético.	3. Qual o efeito de um ímã sobre outro ímã sobre a agulha de uma bússola? Revendo o seu desenho das linhas de campo, qual o sentido do campo em cada situação analisada?	Nenhum. O estudante deve, inicialmente, fazer uma analogia entre o comportamento de carga elétrica e polos magnéticos.
Roteiro IV Força, magnética sobre correntes	4. Qual o efeito do campo magnético sobre um fio com uma corrente elétrica nas configurações A (Campo na vertical) e B (campo na horizontal), 5. Qual a relação entre a força magnética e a corrente? 6. Qual é a relação entre a força magnética e a direção do campo magnético? 7. Qual a relação entre a força magnética e a direção da corrente elétrica no fio?	A força magnética que atua sobre um fio com corrente elétrica não é ao longo da direção do campo magnético. Relação linear, como resultado experimental. A força é perpendicular ao campo. A força é perpendicular à corrente
Roteiro V – Medida da força magnética sobre corrente		

Para esse trabalho, em vez de seguir a orientação ADI com a aula demonstrativa, a metodologia foi adaptada para incluir atividades de laboratório, onde os estudantes foram divididos em grupos. No primeiro momento eles responderam uma ficha de questionamentos, em que foram solicitados a prever ou antecipar os fenômenos estudados. No segundo momento, eles realizam os experimentos e verificaram experimentalmente os resultados.

3.5.1 Roteiro I – Materiais magnéticos

- Objetivo: reconhecer qual o efeito de um ímã sobre os diferentes tipos de materiais.

Na primeira parte da aula foi feito um questionamento para que os estudantes fizessem previsões sobre o que poderia acontecer quando aproximassem de um ímã alguns materiais com diferentes características. Os membros do grupo trocaram ideias entre eles e com estudantes dos grupos vizinhos. As previsões foram relatadas em uma ficha de questionamento e previsão de resultados que foi entregue ao professor. Neste primeiro roteiro procurou-se investigar se os estudantes diferenciavam as propriedades elétricas das magnéticas; O metal como condutor de corrente elétrica e como material com propriedades magnéticas.

No segundo momento da aula realizou-se uma atividade experimental, em grupos para constatação das previsões e para que os estudantes trocassem ideias quando o resultado do experimento não confirmasse as previsões. Disponibilizou se para os estudantes alguns materiais, tais como: Fio de cobre, fio de alumínio, pedaço de ferro, isopor, plástico, lápis e um ímã. Solicitou-se que eles preenchessem uma ficha de resultados e observações, em

que eles deveriam descrever o "Efeito Observado", bem como explicitar uma possível interpretação para a observação.

3.5.2 Roteiro II – Linhas de campo magnético

- Objetivo: Prever como são as linhas de campo magnético.

Uma vez constatado, no primeiro roteiro, que o ferro interage com o ímã, propõe-se a questão do que deve ser observado quando a limalha de ferro é espalhada nas proximidades de um ímã. Os estudantes foram colocados diante de um experimento imaginário para que pudessem prever a representação das linhas de um campo magnético, colocando um pedaço de acrílico quadrado, sobre os ímãs e polvilhando limalha de ferro sobre o acrílico. Propõe-se situações com um ímã, dois ímãs, com polos diferentes voltados um para o outro e com dois ímãs, com polos iguais voltados um para o outro. As previsões foram anotadas e entregues ao professor. O modelo mental esperado é que a limalha de ferro represente as formas das linhas de campo para cada configuração, um, dois ímãs com polos opostos e dois ímãs com polos iguais. E espera-se também que os estudantes saibam que polos opostos se atraem, e polos diferentes se repelem.

A parte experimental, utilizando os materiais citados no questionamento, foi realizada para confirmar as previsões. Durante a realização ocorreram problemas tais como: Dificuldade de identificar a representação das linhas de campo e descuido, deixando o ímã se sujar de limalha de ferro.

Deve-se saber que, no experimento, a distribuição espacial da limalha reforça a ideia de campo, sem contudo evidenciar sua natureza.

3.5.3 Roteiro III – Sentido do campo magnético

- Objetivo: Identificar o sentido do campo magnético.

Durante o questionamento foi apresentado o desenho de um ímã e algumas linhas de campo no polo norte e outras no polo sul do ímã para que eles fizessem previsões da representação gráfica do que seria observado quando coloca uma bússola nos pontos próximos do ímã. Esperava-se que o modelo deve ser dizer como a bússola se comportará. Cada grupo recebeu um ímã e uma bússola para realizar o experimento de confirmação das previsões.

3.5.4 Roteiro IV – Direção da força magnética em fio percorrido por correntes elétrica

- Objetivos: Identificar a relação entre a força magnética e a direção do campo magnético e a relação entre a força magnética e a direção da corrente elétrica.

Diante do desenho de uma espira em U , com suas pontas dobradas para fora e colocada em três configurações diferentes, – espira em um campo vertical, horizontal e transversal –, os estudantes deveriam fazer previsões, imaginando qual seria o comportamento da espira quando uma corrente elétrica a percorresse. As previsões foram anotadas e entregues ao professor.

Com esse roteiro esperava-se investigar como os estudantes concebiam a interação entre o campo magnético e a corrente. Dentro do modelo Newtoniano de forças centrais, espera-se que as linhas de campo sejam linhas de força. Assim, a concepção ingênua de que a direção do campo é a direção da força magnética é colocada sob investigação nesse roteiro.

Espera-se, pelo estabelecimento do conflito cognitivo, fomentar a elaboração de um modelo em que uma corrente elétrica em um condutor perpendicular as linhas de campo magnético, sofra forças perpendiculares, tanto ao condutor quanto às linhas do campo magnético.

Os materiais usados nesse experimento foram: Fonte protegida de corrente, fio de alumínio, plataforma de madeira, para fixar os mancais de chapa galvanizada e cabos para ligar a fonte aos mancais. Durante a realização do experimento foi necessária uma orientação sobre as montagens com as configurações específicas em cada grupo.

3.5.5 Roteiro V – Medida da força magnética sobre correntes elétrica

- Objetivo: é dimensionar a intensidade da força magnética sobre um fio condutor percorrido por uma corrente elétrica.

Nesse experimento usou-se a Balança de Ampère-Faraday, protótipo que foi desenvolvido com objetivo de medir a força magnética. O material usado foi: Uma fonte de corrente, 2 cabos banana jacaré para ligar a fonte ao protótipo, roteiro contendo orientação de procedimento e planilha para anotação das medidas. Para o cálculo das forças correspondentes a cada valor de massa obtido para cada valor de corrente, utilizou-se o valor da aceleração da gravidade de $9,8m/s^2$ e o fator multiplicativo de dez. Cada grupo construiu um gráfico da força magnética x corrente elétrica. Nesse quinto roteiro pediu-se também que eles realizassem algumas medidas com o campo na vertical, para que eles observassem que nessa configuração não existe torque no eixo e com isso deveriam concluir que a força é perpendicular

ao campo e a corrente elétrica.

Os roteiros da sequência didática encontram-se no APÊNDICE A.

3.6 Metodologia de análise de dados

Foram obtidos nesse trabalho dois resultados de natureza e características distintas.

Foram analisadas as respostas dos estudantes detalhadas nas fichas de questionamento (antes do experimento) e nas fichas de resultados dos experimentos (após a sua realização), ambas fornecidas nos roteiros da sequência didática. A análise dessas fichas permitiu a investigação qualitativa dos modelos mentais – aspectos cognitivos ou concepções – e eventuais mudanças de concepções, durante a aplicação da sequência didática.

O outro resultado foi obtido através de respostas a um questionário de percepção, onde os estudantes avaliaram a aplicação da atividade. Esses dados foram tabulados e analisados em uma abordagem estatística descritiva. Utilizou-se o Teste de χ^2 para verificar eventuais relações de dependência entre a percepção e algumas características dos estudantes. Finalmente, estimou-se a correlação entre essas variáveis.

Passamos agora a detalhar os aspectos metodológicos dessa análise.

3.6.1 Metodologia para a análise de concepções

A análise de conteúdo da aplicação da sequência didática, feita comparando-se o modelo mental prévio e o ideal, modelo que os estudantes já deveriam ter construído nos anos finais do Ensino Fundamental e nos anos iniciais do Ensino Médio. A estratégia básica consiste em expor o estudante a um

questionamento, a partir de uma situação-problema. As respostas prévias do grupo de estudantes foram comparadas com as respostas após a realização dos experimentos de cada roteiro. Eventual ocorrência de conflito cognitivo, a desconstrução do modelo mental e a reconstrução do modelo mental, foram investigadas através da análise das respostas nas fichas de registro da sequência didática.

O modelo mental verificado após a realização do experimento, poucas vezes coincidiu com o modelo prévio. Na maioria das vezes houve reconstrução dos modelos mentais dos estudantes.

Neste intuito, o presente trabalho se fundamenta em (POSNER G. J., 1984). Para Posner existe um paralelo entre a forma em que ocorre uma "*Revolução Científica*", descrita por (KUHN, 1970) e o processo de ensino-aprendizagem:

Acreditamos que há um padrão análogo para a mudança conceitual na aprendizagem. Algumas vezes o estudante utiliza conceitos existentes para tratar novos fenômenos. Esta forma [pode ser considerada a primeira forma] de mudança conceitual denominamos *assimilação*. Entretanto, frequentemente os conceitos atuais dos estudantes são inadequados para permitir que ele compreenda algumas novas observações de forma satisfatória. Então o estudante tem de mudar ou reorganizar os seus conceitos básicos. Esta forma mais radical de mudança nós denominamos *acomodação*. (POSNER G. J., 1984, p. 212)

Esta abordagem de *investigação e aprendizagem* envolve uma característica a mais. Nós acreditamos que a *investigação* e a *aprendizagem* ocorrem no contexto dos conceitos atuais dos estudantes. Ao encontrar um novo fenômeno, ele tem de se basear nos seus conceitos atuais para organizar a

sua investigação. Sem estes conceitos é impossível ao estudante elaborar questionamentos sobre o fenômeno (POSNER G. J., 1984, p. 212).

Posner utiliza neste contexto os conceitos piagetianos de *assimilação* e *acomodação*, apesar de observar explicitamente que não se coloca dentro da perspectiva teórica deste autor.

A pesquisa na área tem estabelecido a complexidade da relação entre modelos mentais e esquemas:

A relação entre os modelos mentais e os esquemas é uma relação dialética. Por uma parte, a leitura da realidade a partir do conhecimento – em - ação do sujeito determina os modelos mentais, mas o processo de "comparação" entre os resultados desses modelos (explicações, predições) e a solução, o resultado efetivo da situação em si pode levar a modificações nos invariantes do sujeito devido a inconsistências entre o modelo mental e a situação, ou na procura de coerência entre seu pensamento e os dados do mundo exterior. Quer dizer, quando um sujeito enfrenta uma situação nova, a discordância entre as inferências decorrentes do modelo mental que constrói a partir dos invariantes existentes em seus esquemas e a situação em si, pode levá-lo à modificação dos modelos. A detecção de invariantes nesses modelos mentais levará à construção de esquemas apropriados para a resolução dessas classes de situações, que então já não serão novas. (GRECA; MOREIRA, 2002, p. 43)

O debate mais atual de modelo mental foi desenvolvido nos anos 70. Em recente artigo de revisão Johnson-Laird (POSNER G. J., 2013) afirma que "uma causa intrínseca mais relevante [em relação ao agente ou causa da mudança cognitiva] é o estabelecimento de um impasse ou inconsistência".

Com esta concepção de mudança de modelo mental, para a realização da análise das respostas dos estudantes, procurou-se seguir os seguintes passos:

- Identificação das concepções prévias dos estudantes expressa nas fichas de questionamento;
- Agrupamento das concepções em modelos mentais prévios;
- Identificação das concepções e modelos mentais após a aplicação da sequência didática e
- Comparação entre os modelos mentais visando a identificação, de eventual evolução nos modelos dos estudantes.

É relevante frisar que há uma vasta literatura que estabelece a conceituação de modelos mentais e mudança cognitiva. No presente trabalho estaremos utilizando indistintamente os termos concepção, modelo conceitual e modelo mental sem uma distinção mais profunda. De forma análoga, os termos mudança conceitual e mudança cognitiva também são apresentadas de forma indistinta.

3.6.2 Metodologia de análise da percepção dos estudantes

Após a aplicação da sequência didática em uma turma de terceiro ano do ensino médio, indagamos a nós mesmos, sobre como os estudantes receberam essa atividade. O que ela representou para eles? Será que ajudou de alguma forma? Será que a metodologia foi bem aceita?

Diante dessas indagações, aplicou-se um teste que foi elaborado pensando-se em investigar a percepção dos estudantes na realização da

atividade. A investigação foi feita em sete eixos temáticos. Os quais foram identificados como eixo 1 até eixo 7.

Eixo 1 → **Relevância da atividade** → se os estudantes consideram relevante o tema desenvolvido na atividade;

Eixo 2 → **Reflexão crítica** → se a atividade de alguma maneira os ajudou a desenvolver uma reflexão crítica sobre a temática;

Eixo 3 → **Interatividade** → se houve interação no grupo de participantes da atividade;

Eixo 4 → **Apoio e orientação** → se houve apoio do professor e orientações claras no roteiro da atividade;

Eixo 5 → **Apoio dos colegas** → se houve apoio positivo dentro do grupo de estudos;

Eixo 6 → **Compreensão da atividade** → se o estudante avalia que entendeu a atividade e a temática proposta;

Eixo 7 → **Metodologia** → se os estudantes consideram positiva a metodologia utilizada.

Cada eixo temático foi composto de quatro perguntas, E cada uma dessas pergunta recebeu dos estudantes avaliação de 1 a 5. Para facilitar a análise foram feitas as médias das quatro avaliações de cada estudante e de cada eixo temático.

Na sala de aula temos estudante de alto, médio e baixo rendimento acadêmico, participativos e não participativos, extrovertido e introvertido e

com várias outras características. Nesse momento, outra indagação surgiu. Como os estudantes de cada uma das diferentes características receberam a atividade? Só os estudantes de alto rendimento é que teriam recebido bem a atividade? Ou todos? Para verificar essa relação de dependência, tomamos como referência quatro características que juntas representam o estudante na sala de aula, avaliadas de 1 a 5 pelo professor.

Características investigadas:

C1 → **Rendimento acadêmico** (avaliação do estudante durante o ano);

C2 → **Participação acadêmica** (avaliação dos estudantes nas atividades durante o ano);

C3 → **Participação na atividade** (avaliação dos estudantes nas atividades desenvolvida);

C4 → **Extrovertido** (avaliação de quanto os estudante são extrovertidos).

O questionário de percepção do estudante na atividade está disponível no APÊNDICE B.

A análise dos dados foi realizada a partir da estimação de dois coeficientes. Um para verificar se existe alguma relação entre a avaliação dos estudantes e as características de cada um deles. Para isto calculou-se o coeficiente de correlação entre cada eixo com cada característica dos estudantes. Para realizar a análise, os dados foram agrupados em uma única tabela. O segundo coeficiente verifica a independência das variáveis através do teste de χ^2 . Em nosso estudo verificamos a relação entre as avaliações dos estudantes e as suas características. O resultado da análise encontra-se

detalhado no capítulo de resultados, na seção sobre análise da percepção do estudante.

Passamos agora a detalhar os aspectos estatísticos dessa análise descritiva.

Na análise dos resultados do questionário de percepção dos estudantes, foram usados procedimentos estatísticos, baseados no cálculo do coeficiente de correlação e no teste de χ^2 .

Segundo Oliveira:

A partir das evidências de que existe relacionamento entre as variáveis, existe a necessidade de quantificação do grau de correlação entre elas, calculando o chamado coeficiente de correlação. Interpretação dos valores de coeficientes de correlação: O valor de correlação pode variar de -1 até 1, os valores negativos indicam associação inversa entre as variáveis (quando uma cresce a outra diminui) e os positivos indicam associação direta (quando uma cresce a outra cresce também). Se o coeficiente de correlação for igual a zero, há indicação que não existe relação entre as variáveis. (OLIVEIRA et al., 2014, p. 372).

Entretanto, em especial nas ciências humanas e nas investigações sobre o ensino, a correlação entre variáveis são extremamente tênues, devido à natureza própria do objeto sob investigação. A enorme diversidade de contextos e características do ser humano faz com que seja impossível desenvolver modelos tão completos que observem todas as características relevantes para determinar as condições e variáveis que determinam a aprendizagem do estudante. Assim, modelos parciais conterão uma grande contribuição de variáveis ocultas, que são observadas, como componentes aleatórias numa modelagem estatística.

Na presente proposta, foram realizadas avaliações da percepção dos estudantes sobre a atividade desenvolvida e também estimadas algumas características dos estudantes. É necessário, portanto, determinar se as várias facetas da percepção dos estudantes podem ser identificadas como variáveis "*dependentes*" em relação às características dos mesmos.

A análise de dependência estatística pode ser realizada pelo teste de χ^2 , (OLIVEIRA et al., 2014). O teste de χ^2 mede a independência entre as variáveis.

O teste de χ^2 , portanto, é um teste descritivo ², semelhante ao cálculo de correlações. Neste sentido não é uma modelagem estatística visando a inferência da intensidade do efeito de uma variável sobre a outra. Ao contrário, a partir do estabelecimento de um "*grau de significância*" — normalmente estabelecido em 5%, ou seja, 0,05 — o teste de χ^2 estabelece somente um critério para o reconhecimento de que há estatisticamente uma dependência entre duas características. Em sua aplicação parte da Hipótese Nula — i.e. de que as duas variáveis são independentes. Calcula-se a tabela de contingência, estabelecendo a frequência de ocorrência de cada possibilidade de ambas as variáveis em análise. A partir da tabela de contingência, estima-se uma função dos dados observados denominada valor-**p**. Caso o valor-**p** esteja acima do grau de significância, a hipótese nula é confirmada. Ou seja, os dados são coerentes com a independência estatística entre as variáveis avaliadas.

² O teste de χ^2 é sensível ao tamanho da amostra, sendo considerado mais adequado para grandes amostras. Outra alternativa é por exemplo, o teste exato de Fisher. O teste de Fisher, entretanto, possui uma maior complexidade matemática e é considerado muito conservador Yates (1984). Por esta razão, neste trabalho fizemos a checagem pelo método de Fisher, o qual forneceu as mesmas conclusões do teste de χ^2 . Por conveniência, mantivemos a análise original realizada pelo teste de χ^2 .

Para um detalhamento da técnica de teste de significância por teste de χ^2 indicamos ao leitor livros de estatística básica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Introdução

Esse capítulo apresenta e discute os resultados obtidos no teste de funcionamento da balança de Ampère-Faraday realizado na Universidade Federal de Lavras UFLA durante o desenvolvimento desse protótipo, os resultados da análise dos dados coletados nas fichas de respostas dos alunos em cada roteiro da atividade e os dados coletados no questionário de percepção.

4.2 Resultado do teste de funcionamento da balança de Ampère-Faraday

A tabela 2 mostra os valores de corrente elétrica no condutor elétrico, a leitura em grama na balança eletrônica e a força correspondente calculada em Newton.

O gráfico da força magnética versus a corrente elétrica, construído com os valores da tabela 2, é apresentado na figura 16 e confirma a linearidade, a sensibilidade e o bom funcionamento da Balança de Ampère-Faraday.

Tabela 2 – Dados coletados para o teste de funcionamento da Balança de Ampère-Faraday e resultado do cálculo da força magnética

Corrente(A)	Massa (g)	Força (N)
0,02	0	0
0,13	0,6	0,000588
0,24	1,2	0,001176
0,40	1,9	0,001862
0,55	2,6	0,002548
0,69	3,5	0,003430
0,80	4,0	0,003920
0,99	4,8	0,004704
1,28	6,2	0,006076
1,41	6,7	0,006566
1,56	7,3	0,007154
1,80	8,5	0,008330
2,04	9,6	0,009408
2,17	10,3	0,010094
2,41	11,5	0,011270
2,65	12,6	0,012348
2,91	13,8	0,013524
3,13	14,9	0,014602
3,29	15,6	0,015288

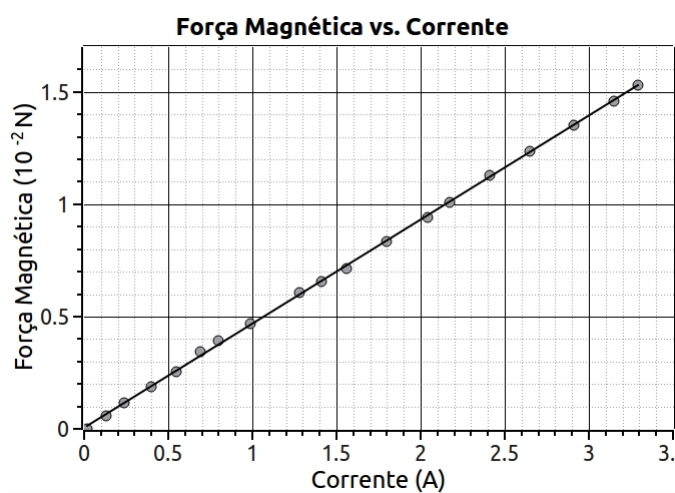


Figura 16 – Gráfico da força magnética X Corrente elétrica

4.3 Resultado da análise dos dados

Inicialmente analisou-se as respostas dos estudantes, registradas nas fichas dos roteiros da sequência didática do produto educacional desenvolvido nesse trabalho. A sequência didática foi ministrada a uma turma de terceiro ano do ensino médio, na Escola Estadual Prefeito Celso Vieira Vilela na cidade de Heliadora MG, em Outubro de 2014. Nessa análise foram comparados os modelos mentais prévios, explicitados pelos estudantes no questionamento, com os modelos mentais verificados após a participação na atividade.

O estudo da percepção dos estudantes no desenvolvimento da sequência didática foi realizado através de uma abordagem estatística das respostas a um questionário de percepção, aplicado logo após o término da realização da sequência didática. Como apresentado anteriormente, este questionário visa avaliar a percepção dos estudantes sobre os sete eixos temáticos: relevância da atividade, fomento da reflexão crítica, interatividade, apoio do professor e do material de orientação da atividade, apoio dos colegas, compreensão do tópico e metodologia utilizada.

4.4 Análise das concepções dos estudantes

A investigação das concepções dos estudantes foi realizada pela análise de conteúdo da aplicação da sequência didática a partir dos registros nas fichas de questionamento e previsão de resultados e das fichas de resultados, preenchidas pelos grupos após os experimentos.

Para esta análise qualitativa, procurou-se identificar a concepção ou modelo mental apresentado pelos cinco grupos de estudantes em cada fase da sequência didática. Estes dados foram comparados com o modelo mental

ideal, ou seja, com o modelo esperado pelo currículo oficial. Isto significa, comparação da concepção prévia com a concepção que os estudantes deveriam ter construído nos anos finais do Ensino Fundamental e nos anos iniciais do Ensino Médio.

Procurou-se assim verificar a eventual emergência do conflito cognitivo, quando o estudante foi exposto ao questionamento. Além disto, a análise focou identificar a coerência entre o seu modelo mental e a sua observação experimental, após a realização dos experimentos em cada roteiro. Procurou-se identificar eventual desconstrução do modelo mental prévio e a reconstrução do modelo mental esperado.

Para um melhor esclarecimento, a análise dos roteiros foi feita separadamente e mostrou o questionamento e previsão de resultados para cada roteiro de cada situação problema, assim como os resultados em cada experimento. Como exemplo serão mostrados também partes de alguns roteiros com as respostas dos estudantes.

4.4.1 Análise do roteiro I

Nesse roteiro o tema é Materiais Magnéticos. O objetivo é reconhecer os tipos de materiais e o efeito de um ímã sobre eles. Na ficha de questionamento e previsão de resultados, confronta-se o estudante com uma situação problema para que façam suas previsões.

O questionamento inicial indagava, a partir de uma lista de materiais, o que aconteceria se um ímã fosse aproximado de cada um desses materiais. Pedia-se que os estudantes anotassem as previsões iniciais e as justificativas em uma tabela específica no APÊNDICE A 6.1 – Tabela 20.

O objetivo era identificar se os estudantes diferenciam materiais que possuem comportamento magnético de materiais que apresentam comportamento elétrico.

Investiga-se, assim se eles apresentam a concepção que identifica corretamente que nem todo metal, ou material condutor elétrico, tem comportamento magnético, isto é, que nem todo condutor elétrico é atraído por um ímã.

Tabela 3 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos no questionamento do roteiro I parte 1

Grupos	Concepção inicial
G1	Todos os materiais são atraídos pelos ímãs.
G2	Condutores elétricos possuem cargas positivas e negativas, iguais ou diferentes, e estas cargas dão origem ao comportamento magnético.
G3	Todos os materiais são atraídos pelos ímãs.
G4	Diferencia cobre e alumínio, mas não apresenta modelo explicativo.
G5	Diferencia cobre e alumínio, e cria a classe dos materiais não ferrosos.

A tabela 3 apresenta um resumo dos modelos iniciais apresentados pelos grupos ao questionamento da atividade do Roteiro I.

Os grupos G1 e G3 apresentam inicialmente uma concepção de que todos os metais são atraídos pelos ímãs. O grupo G2 apresentou uma concepção ingênua com uma argumentação diferente. Como pode ser observado na figura 17, a concepção prévia apresentada pelo grupo demonstra que os estudantes pensam que os condutores elétricos possuem cargas positivas ou negativas, que podem ser iguais ou diferentes e que estas cargas elétricas é que dão origem ao comportamento magnético. De forma contraditória,

o grupo G2 identifica que o cobre não atrai e o alumínio atrai, alegando que "a carga dos elétrons são iguais" e "a carga dos elétrons são opostas", respectivamente.

É digna de nota e sintomática a mistura dos conceitos de eletrostática! Note que, segundo o grupo G2, o elétron, aparentemente, pode ter cargas iguais ou diferentes, dependendo do material, e isto determina se há atração magnética ou não. Possivelmente esta relação com as cargas se remete à concepção de polos magnéticos como identidades com a mesma propriedades das cargas positiva e negativa.

Parte I: Questionamento e previsão de resultado

Objetivo: Reconhecer os tipos de materiais e o efeito de um ímã sobre eles.

Considere os materiais listados na tabela. Se você aproximar um ímã de cada um desses materiais, qual seria o efeito observado? Anote suas previsões e justificativas na tabela.

Lista de materiais sugerida	Efeito previsto	Justificativa
Pedaço de fio de cobre	Não Atrai	Porque as cargas de elétrons são iguais
Pedaço de fio de alumínio	Atrai	Porque as cargas de elétrons são opostas
Pedaço de ferro	Atrai	Porque as cargas de elétrons são opostas
Isopor	Não Atrai	Porque as cargas de elétrons são iguais
Moeda de níquel	Atrai	Porque as cargas de elétrons são opostas
Canudinho de plástico	Não Atrai	Porque as cargas de elétrons são iguais
Lápis	Não Atrai	Porque é madeira e porque as cargas são iguais

Figura 17 – Resposta à ficha de questionamento do G2 roteiro I

Tabela 4 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos na realização do experimento do roteiro I parte 2.

Grupos	Concepção após o experimento.
G1	Identificou corretamente quando há atração/não há atração. Entretanto apresenta explicação tautológica, do tipo “Gruda, porque há atração.”
G2	Identificou corretamente quando há atração/não há atração. Entretanto apresenta explicação relacionando atração devido a cargas iguais , e a não atração com cargas diferentes.
G3	Identificou corretamente quando há atração/não há atração. Entretanto apresenta explicação relacionando forças opostas x magnetismo.
G4	Identificou corretamente quando há atração/não há atração. Entretanto apresenta explicação tautológica.
G5	Identificou corretamente quando há atração/não há atração. Entretanto cria a classe dos ferrosos e o Níquel tem propriedades,magnéticas.

O grupo G4 diferencia o cobre do alumínio, afirmando explicitamente que o alumínio "atrai" o ímã, enquanto o cobre "não atrai". Não conseguimos identificar o modelo explicativo para este caso.

O grupo G5 diz que o cobre "atrai" e o alumínio "não atrai" e cria a classe dos não-ferrosos para explicar por quê não há atração. Entretanto, após a realização do experimento e a constatação que tanto o alumínio quanto o cobre não são atraído pelo ímã, todos os grupos apresentam explicações tautológicas¹ para o fato. Como exemplo, apresentamos na figura 18 a resposta do grupo G5 após a realização do experimento.

Na comparação entre as respostas à ficha de questionamento (anterior

¹ Utilizamos no texto o termo "*explicação tautológica*" para identificar argumentos que se explicam por si mesmos, sem consistência lógica, normalmente redundantes e falaciosos.

Parte II: Experimento e observação

Objetivo: Constatar os efeitos de ímã sobre vários materiais.

Verifique experimentalmente o efeito de aproximar um ímã a cada um dos materiais da tabela. Anote suas observações e interprete os resultados observados. Em especial, destaque na coluna "Interpretação", como você interpreta os casos em que o que você previu foi diferente do observado.

Lista de materiais sugerida	Efeito observado	Interpretação
pedaço de fio de cobre	Não Atrai	Porque não é ferroso
pedaço de fio de alumínio	Não Atrai	Porque não é ferroso
pedaço de ferro	Atrai	Porque é ferroso
copo	Não Atrai	Porque é plástico
moeda de níquel	Atrai	Porque possui propriedades magnéticas
canudinho de plástico	Não Atrai	Porque é plástico
lápis	Não Atrai	Porque é madeira

Figura 18 – Resposta à ficha de resultado do experimento e observação do roteiro I, grupo G5 após o experimento

à participação na sequência didática) e a ficha de experimento de cada grupo, constata-se a instauração do conflito cognitivo, fomentando-se uma busca por novo modelo. Entretanto, este movimento é ainda tímido.

No exemplo do grupo G5 acima, note que, após a observação de que nem todo material condutor metálico apresenta propriedade magnética, o grupo lança mão de uma explicação tautológica ou redundante. Em relação ao comportamento do cobre e do alumínio em comparação com o ferro, o

grupo cria a classe dos ferrosos/não-ferrosos, para sintetizar a constatação de que alguns metais (tidos como não-ferrosos) não possuem propriedade magnética. Note que, sem conseguir classificar a moeda de Níquel, o grupo cria uma nova explicação, a de que a moeda de Níquel "possui propriedades Magnéticas". Além disto, note que para os outros materiais que não possuem propriedades magnéticas, a explicação também é tautológica: O lápis por que é madeira, o isopor por que é plástico, etc.

Concluindo, o roteiro I permite problematizar a questão da propriedade dos diferentes materiais. Entretanto, os estudantes não conseguem vislumbrar um modelo explicativo que satisfaça ao paradigma colocado e lançam mão de explicações tautológicas.

4.4.2 Análise do roteiro II

Nesse roteiro o tema é linhas de campo magnético. O objetivo é prever como são representadas as linhas de campo magnético, fazer previsão de como seria o comportamento da limalha de ferro nas situações: 1, 2 e 3. No questionamento desse roteiro o modelo mental ideal esperado é que o estudante perceba que a limalha de ferro representa as formas de campo para cada uma das configurações propostas e que perceba que polos opostos se atraem, e polos iguais se repelem.

Tabela 5 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos no questionamento do roteiro II parte 1.

Grupos	Concepção inicial.
G1	Existe interação através do acrílico, a configuração do imã vai alterar a da limalha.
G2	Responde sem deixar claro se fala do imã ou da limalha.
G3	Um imã não se agrupa e com dois se atrai.
G4	Sem conexão com as linhas de campo, afirma que o acrílico vai interferir.
G5	Sem conexão com as linhas de campo.

Na configuração 1, o grupo G1 respondeu que, a limalha de ferro *"vai ser atraída pelo imã através do acrílico"*. Na 2, que a limalha vai se espalhar, e na 3 que a limalha vai ser atraída. Isto significa que, na visão do grupo, existe interação através do acrílico e que a configuração do imã vai alterar a da limalha.

O grupo G2 respondeu que, na configuração 1, as limalhas *"se juntam"*, na 2, que *"não se juntam"* e na 3 que *"se juntam"*. Não se sabe se falam do imã ou da limalha. No experimento observaram as linhas, mas persistem em focar apenas a interação à distância entre os imãs.

O grupo G3 afirma que um imã *"não se agrupa"* e com dois *"se atrai"*. Não é possível compreender o que eles querem dizer. A resposta do G3 e apresentada na figura 19.

Parte I: Questionamento e previsão de resultado

Objetivo: prever como são as linhas de campo magnético

Como observamos na última aula, o ferro e o níquel são materiais que respondem à presença de um ímã de forma mais clara. Imagine o seguinte experimento: você vai colocar um pedaço de acrílico sobre um ímã e espalhar limalha de ferro sobre o acrílico. Descreva os resultados e faça uma representação gráfica do que você espera observar nas seguintes situações.

- 1) Situação 1: quando você coloca um único ímã sob o acrílico, disposto com os pólos na horizontal.
funtando a folha de acrílico e o pó de ferro na posição horizontal com apenas um ímã, não irá se aglomerar
- 2) Situação 2: quando você coloca dois ímãs com pólos opostos, na horizontal, voltados um para o outro.
Eles irão se atrair pelo campo magnético horizontal.
- 3) Situação 3: quando você coloca dois ímãs com pólos iguais, na horizontal, voltados um para o outro.
Eles irão se fundir, se atrair um para o outro.

Figura 19 – Resposta à ficha de questionamento do grupo G3, roteiro II

Os grupos G4 e G5, para a configuração 1, responderam que com apenas um ímã não terá força suficiente para interagir com a limalha de ferro, e que com dois seria atraída pelos ímãs. Assim o ímã é concebido como um "monopolo" sem simetria ou orientação espacial. Coerentemente com esta concepção escalar, eles não apresentam noção espacial no desenho que a limalha deveria formar.

Na tabela 6 apresenta-se o resumo da interpretação das respostas

dos grupos na realização do experimento do Roteiro II parte 2.

Tabela 6 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos na realização do experimento do roteiro II parte 2.

Grupos	Concepção após o experimento.
G1	1) Observou as linhas de campo; 2) Desenhou as linhas; 3) Foi coerente na observação da distribuição de limalhas; 3) Modelo ou concepção simples, de “ação a distância” : Atrai/não atrai.
G2	1) Observaram as linhas mas 2) persistem em focar apenas a interação a distância entre os ímãs.
G3	Observou e fez um desenho coerente.
G4	Respostas, desconectada.
G5	Desenho sem definição.

Na realização do experimento, o grupo G1 observou e desenhou as linhas de campo, foi coerente na observação da distribuição da limalha.

O grupo G2 observou as linhas, mas persistem em focar apenas a interação a distância entre os ímãs.

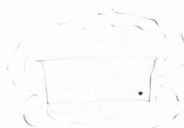
Observando o experimento, o grupo desenhou as linhas. Exemplo da resposta do grupo G3 é apresentado na figura 20.

Parte II: Experimento e observação

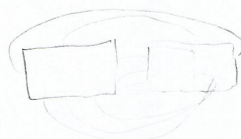
Objetivo: Materializar e visualizar as linhas de campo magnético

Lista de material: Dois ímãs, suporte de madeira adaptado, limalha de ferro, placa de acrílico, folha de papel.

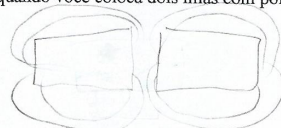
1. Realize o seguinte experimento: encaixe os ímãs no suporte e coloque a placa de acrílico sobre ele. Espalhe lentamente a limalha de ferro sobre a placa. Se necessário, bata suavemente na placa. Tire fotos e faça um desenho do que você observa nas seguintes situações.
 - Situação 1: quando você coloca um único ímã sob o acrílico.



- Situação 2: quando você coloca dois ímãs com pólos opostos voltados um para o outro.



- Situação 3: quando você coloca dois ímãs com pólos iguais voltados um para o outro.



2. Compare o que foi previsto na primeira parte deste roteiro com o que foi observado no experimento.

*Pólos diferentes se atraem (juntam)
Pólos iguais repelem (se separam)*

Figura 20 – Resposta à ficha de resultado do experimento e observação do roteiro II, do grupo G3

Mesmo com o experimento para a constatação das previsões, os grupos G4 e G5 não conseguiram desenhar as linhas, embora esta fosse a orientação do roteiro.

4.4.3 Análise do roteiro III

Nesse roteiro o tema é o sentido do campo magnético e o objetivo é identificar o sentido do campo magnético. A tabela 7 apresenta o resumo da interpretação das respostas dos grupos no questionamento do Roteiro III parte 1.

Tabela 7 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos no questionamento do roteiro III parte 1.

Grupos	Concepção iniciais.
G1	Sem noção de direção da agulha magnética em relação ao imã.
G2	Confusão com campo elétrico.
G3	Já tinham noção da direção da agulha em relação ao campo.
G4	Confusão, não tem noção o que é uma bússola.
G5	O grupo tem noção do funcionamento da bússola.

Os grupos foram colocados diante do seguinte questionamento: *O sentido das linhas do campo magnético pode ser revelado usando uma bússola? Faça uma previsão do resultado e uma representação gráfica do que você espera observar quando você coloca uma bússola nos pontos (1 – 10), próximos de um ímã.*

O desenho do imã e a representação das dez linhas estão no APÊNDICE A Roteiro III parte 1 figura 23.

No questionamento desse roteiro, o modelo mental ideal esperado era que os estudantes externassem corretamente como a bússola se comporta ao redor de um ímã, apontando a tangente das linhas de campo e a direção do campo magnético.

O grupo G1 desenhou a agulha da bússola em todos os pontos voltadas para o ímã, isto significa que o grupo não tem noção da direção da agulha magnética é tangente às linhas de campo magnético.

O grupo G2 marcou setas sobre as linhas, mas também confundiu a direção.

Parte I: Questionamento e previsão de resultado

Objetivo: Identificar o sentido do campo magnético.

O sentido das linhas do campo magnético pode ser revelado usando uma bússola. Faça uma previsão do resultado e uma representação gráfica do que você espera observar quando você colocar uma bússola nos pontos (1 – 10) próximos de um ímã?

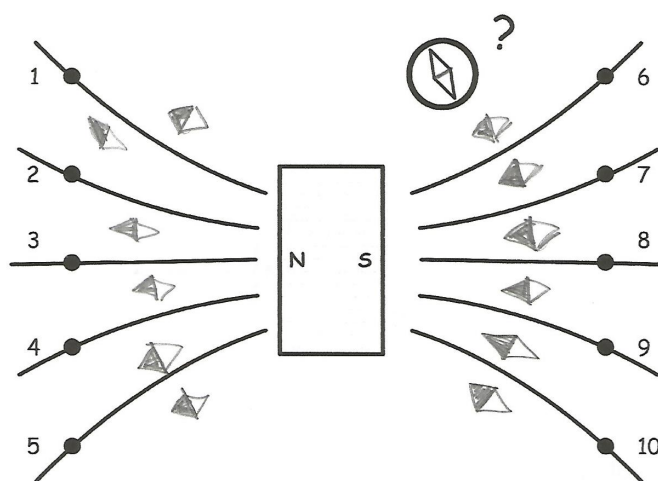


Figura 21 – Respostas no roteiro III do grupo G3 após o experimento

Já os grupos G3 e G5, na ficha de questionamento marcaram a direção corretamente. Isto significa que os grupos já possuem o modelo ideal. A figura 21 ilustra a resposta do grupo G3 registrada na ficha de questionamento e

previsão de resultados.

Confusão total foi observada no grupo G4. Inventaram termos como na linha 1 *dissipa*, na 2 *atrai*. Não foi possível saber o que queriam dizer com o termo *dissipa*.

Tabela 8 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos no do experimento do roteiro III parte 2.

Grupos	Concepção após o experimento.
G1	Passou para o desenho o que observou na agulha da bússola, agulha na direção certa.
G2	Passou para o desenho o que observou na agulha da bússola, agulha na direção certa.
G3	Confirmou a previsão.
G4	Não conseguiu esclarecer.
G5	Confirmou a previsão.

Após o experimento, os grupos G1 e G2 conseguiram esclarecer a questão da direção do campo magnético. Já os grupos G3 e G5 confirmaram suas previsões.

A suposição do professor é que o grupo G4 não conseguiu observar o comportamento da agulha da bússola por falta de interesse na realização da atividade.

4.4.4 Análise do roteiro IV

Nesse roteiro o tema é direção da força magnética sobre corrente. Os objetivos do roteiro são:

1. Identificar a relação entre a força magnética e a direção do campo magnético;

2. Identificar a relação entre a força magnética e o sentido da corrente elétrica no fio.

Os grupos foram colocados diante do seguinte questionamento: *Imagine um condutor elétrico percorrido por uma corrente elétrica na presença de campo magnético. Que tipo de interação pode ocorrer? Considerando as três configurações, 1) campo vertical formado por um dois ímãs, 2) campo horizontal formado por dois ímãs e 3) campo formado por um ímã, explique com desenhos a direção do campo magnético e represente a força magnética por seta, em cada caso.*

As configurações são mostradas no roteiro de resposta do experimento.

No questionamento desse roteiro, o modelo mental ideal é que uma corrente elétrica em um condutor, perpendicular às linhas de um campo magnético, sofre uma força perpendicular ao condutor e as linhas do campo magnético. O objetivo é estabelecer a diferença entre o comportamento da força elétrica, em que o campo elétrico e a força correspondente têm a mesma direção, e a força magnética, que atua num fio percorrido por uma corrente elétrica perpendicular ao campo magnético externo.

Tabela 9 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos no questionamento do roteiro IV parte 1.

Grupos	Concepção inicial.
G1	Na primeira configuração respondeu certo, na segunda e terceira sem coerência.
G2	Não tem relação e ímã atrai corrente.
G3	sem noção.
G4	Confundem faísca nos contatos com atração.
G5	Sem noção de força.

Todos os grupos ficaram confusos quanto à direção da força magnética. Por exemplo, o grupo G1 na configuração 1 respondeu com lógica e na 2 e 3 sem coerência. O grupo G2 respondeu que na configuração 1 e 2 não acontece nada e na 3 o ímã atrai corrente. Os grupos G3 e G5 aparentemente não têm noção de força e o grupo G4 respondeu que sai *faísca* entre os ímãs.

Tabela 10 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos no experimento do roteiro IV parte 2.

Grupos	Concepção após o experimento.
G1	Observou o experimento, não soube interpretar.
G2	Não conseguiu identificar a direção na observação do experimento, mas concluiu que é de 90^0 .
G3	Observou e não interpretou bem.
G4	Observou a direção, acha que a corrente atrai campo.
G5	Observou o sentido da força e concluiu que a relação é de 90^0 .

Da realização do experimento os grupos G1 e G3 observaram a direção da força e tiveram dificuldade na interpretação. O grupo G2 não conseguiu identificar com lógica a direção da força. O grupo G4 observou a direção da força, mas fala que a corrente atrai o campo. Já o grupo G5 observou a direção da força e concluiu.

4.4.5 Análise do roteiro V

O tema desse roteiro é a medida experimental quantitativa da força magnética sobre correntes. Esse roteiro não previa ficha de questionamento, somente uma ficha de resposta para realização do experimento, com o objetivo de medir a intensidade da força magnética sobre corrente, usando a Balança de Ampère-Faraday, onde os estudantes realizaram medidas e construíram

um gráfico para comprovar a eficácia e a linearidade da balança.

Nesse roteiro, foi pedido para que os estudantes realizassem medidas com campo na direção horizontal e também na vertical, eles deveriam verificar que na configuração de campo na vertical, não consegue torque no eixo e com isso concluir que a força é perpendicular ao campo e a corrente elétrica.

Como esse roteiro foi o ponto alto da atividade, comentaremos cada grupo separadamente.

Tabela 11 – Resumo da interpretação das respostas dos grupos no experimento do roteiro V.

Grupos	Respostas da realização do experimento
G1	Realizou as medidas, calculou a força e construiu o gráfico. Observou que campo na vertical não tem torque, não respondeu a conclusão.
G2	Realizou as medidas, calculou a força e não construiu o gráfico. Observou que campo na vertical não tem torque, não respondeu a conclusão.
G3	Realizou as medidas, calculou a força e não construiu o gráfico. Não observou que campo na vertical não tem torque, não respondeu a conclusão.
G4	Realizou as medidas, calculou a força e construiu o gráfico. Observou que campo na vertical não tem torque, na conclusão confundi campo com força.
G5	Realizou as medidas, calculou a força e construiu o gráfico. Observou que campo na vertical não tem torque, não respondeu a conclusão.

O grupo G1 realizou as medidas com a balança de Ampère-Faraday, calculou as forças correspondentes e construiu o gráfico (não foi possível mostrar nesse trabalho por ter sido construído a lápis, dificultando assim a sua digitalização). O grupo observou que com campo na direção vertical não

se consegue torque sobre o eixo da espira e que, portanto, nesta configuração a balança eletrônica não acusa nenhuma força magnética sobre o fio. Não escreveu a conclusão.

O grupo G2 realizou as medidas com a balança de Ampère-Faraday, calculou as forças correspondentes mas não construiu o gráfico. Observou que com campo na direção vertical não se consegue torque sobre o eixo e mas também não escreveu a conclusão.

O grupo G3 realizou as medidas com a balança de Ampère-Faraday, calculou as forças correspondentes e não construiu o gráfico. Não conseguiu observar que não se consegue torque sobre o eixo com campo na direção vertical e não soube concluir.

O grupo G4 e G5 realizaram as medidas com as balanças de Ampère-Faraday, calcularam as forças correspondentes e construíram os gráficos no computador. Observaram que com campo na direção vertical não se consegue torque. O grupo G4 concluiu que o "*campo força*" (sic) está para baixo, misturando o conceitos de campo e força. O grupo G5 não escreveu a conclusão. A figura 22 mostra detalhes do gráfico do grupo G4. A análise do gráfico mostra o bom desempenho do grupo na realização das medidas.

É grande a dificuldade de interpretação das observações experimentais pelos estudantes durante a realização da atividade. Este fato, de certa forma já esperado, pode ser explicado pela quase inexistência de atividades de investigação na prática escolar em todas as disciplinas.

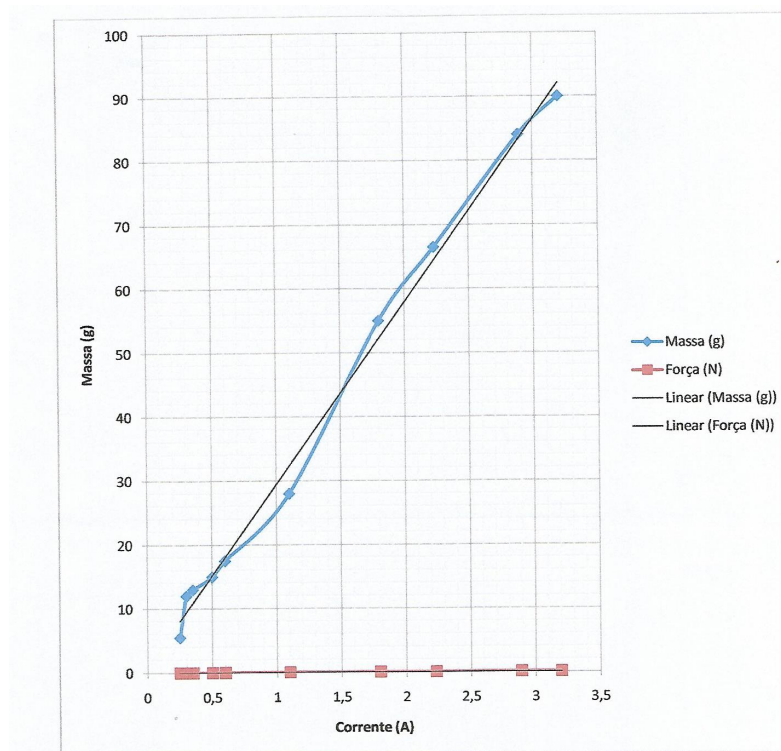


Figura 22 – Gráfico do experimento do grupo G4, força magnética X corrente elétrica

4.5 Análise da percepção dos estudantes

Um questionário de avaliação foi elaborado para investigar a percepção dos estudantes sobre a realização da atividade. A investigação foi feita com sete temas que chamamos de eixos, são eles: 1) a relevância da atividade, 2) se a atividade de alguma maneira os ajudou a desenvolver a reflexão crítica sobre eles mesmos, sobre outros participantes e sobre os conteúdos, 3) a interatividade, 4) apoio do professor e orientação da atividade, 5) o apoio dos Colegas, 6) compreensão e 7) a metodologia. Cada um destes eixos foi composto de quatro perguntas (encontra-se em detalhes no APÊNDICE B).

O estudante foi solicitado a responder às questões dentro da escala de Lickert de 1 a 5. Foi feita a média das avaliações nas quatro perguntas de cada eixo. A essas médias chamamos de Eixo 1, Eixo 2....Eixo 7.

4.5.1 Valores médios e desvio padrão

A tabela 12 apresenta a média e o desvio padrão da avaliação da percepção dos estudantes por eixo. Em geral, observamos valores expressivos em todos os itens, demonstrando uma percepção bem positiva dos estudantes sobre a atividade aplicada. Destaques são o Eixo 1 – Relevância da atividade e o Eixo 7 – Metodologia, cujas médias foram 4,59 e 4,68, respectivamente. São as maiores médias, com avaliação mais positiva. O Eixo 5 – Apoio dos colegas foi o eixo que teve menor avaliação média, 3,74. Isso significa que os próprios estudantes têm a percepção de que a interação entre os colegas não foi muito boa. Pode que este seja um problema recorrente e que também não seja boa a interação em outras atividades.

Tabela 12 – Média e desvio padrão da percepção dos estudantes de cada eixo. Eixos de avaliação: Eixo 1 – Relevância da atividade, Eixo 2 – Reflexão crítica, Eixo 3 – Interatividade, Eixo 4 – Apoio do professor e orientação na atividade, Eixo 5 – Apoio dos colegas, Eixo 6 – Compreensão, Eixo 7 – Metodologia

	Eixo1	Eixo2	Eixo3	Eixo4	Eixo5	Eixo6	Eixo7
Média	4,59	4,37	4,01	4,76	3,74	4,31	4,68
Desvio Padrão	0,42	0,66	1,01	0,40	1,22	0,81	0,59

Uma sala de aula não é homogênea. Em geral, numa sala de aula temos estudantes de alto, médio e baixo rendimento acadêmico; estudantes mais participativos e estudantes pouco participativos; estudantes mais extrovertido e estudantes introvertido; e várias outras características.

Assim, outra indagação surgiu em nossa investigação. Como os estudantes com diferentes características receberam a atividade? Só os estudantes de alto rendimento é que teriam recebido bem a atividade? Ou todos foram igualmente receptivos à Sequência Didática?

Para verificar essa possível relação de dependência, tomamos como referência as quatro características já comentadas na metodologia para representar os diferentes estudantes na sala de aula. São elas:

C1 – Rendimento acadêmico – Avaliação pela nota final do estudante durante o ano.

C2 – Participação acadêmica – Avaliação da participação do estudante nas atividades durante o ano.

C3 – Participação na atividade – Avaliação da participação do estudante na atividade desenvolvida.

C4 – Extroversão – Avaliação de quanto o estudante é extrovertido.

A tabela 13 abaixo apresenta os valores médios e os de desvio padrão das características dos estudantes. Exceto pela característica C1, que foi classificada de forma objetiva a partir do resultado escolar dos estudantes, os valores das outras três características são avaliações subjetivas realizadas pelo professor.

Em termos médios, os valores maiores se referem às características C1 – Rendimento acadêmico e C3 – Participação na atividade. C2 – Participação acadêmica, não foi bem avaliada. Em geral, a classe não se mostra muito participativa em sala de aula. Na avaliação subjetiva deste professor, a parti-

cipação dos estudantes na sequência didática proposta foi mais significativa do que o cotidiano da escola.

Tabela 13 – Média e desvio padrão das características dos estudantes. Características do estudante: C1 - Rendimento acadêmico, C2 - Participação acadêmica, C3 - Participação na atividade, C4 - Extroversão

	C1	C2	C3	C4
Média	4,00	3,35	4,10	3,70
D padrão	0,60	1,19	0,78	0,72

Entretanto, uma análise mais acurada é necessária para identificar quais estudantes avaliaram mais positivamente e quais avaliaram mais negativamente cada eixo. Assim, realizou-se uma análise de teste de independência pelo teste χ^2 e estimativas de correlação entre as percepções dos estudantes e suas características, para estabelecer eventuais evidências de que existe relacionamento entre os eixos e as características.

4.5.2 Análise de dependência pelo teste de χ^2

Inicialmente, visando verificar a dependência estatística entre a percepção dos estudantes na atividade e as suas características, foram realizados testes de significância pelo teste χ^2 . Foi estimado o valor-p para cada um dos pares constituídos pelos eixos de avaliação: Eixo 1 – Relevância da atividade, Eixo 2 – Reflexão crítica, Eixo 3 – Interatividade, Eixo 4 – Apoio do professor e orientação atividade, Eixo 5 – Apoio dos colegas, Eixo 6 – Compreensão, Eixo 7 – Metodologia; e as características dos estudantes: C1 – Rendimento acadêmico, C2 – Participação acadêmica, C3 – Participação na atividade, C4 – Extroversão.

O teste χ^2 é um teste estatístico para verificar se dois fatores quaisquer

são independentes um do outro ou não. O argumento é o teste da hipótese nula, ou seja, teste de que os fatores são independentes. Valor-p acima de 0,05 ou (5%) confirma a independência entre os fatores com um grau de certeza de 95%. Os valores-p calculados estão agrupados na tabela 14 abaixo.

Tabela 14 – Valor-p para o teste de independência χ^2 . Características do estudante: C1 – Rendimento acadêmico, C2 – Participação acadêmica, C3 – Participação na atividade, C4 – Extroversão. Eixos de avaliação: Eixo 1 – Relevância da atividade, Eixo 2 – Reflexão crítica, Eixo 3 – Interatividade, Eixo 4 – Apoio do professor e orientação na atividade, Eixo 5 – Apoio dos colegas, Eixo 6 – Compreensão, Eixo 7 – Metodologia. Em negrito os valores que indicam eventual dependência entre os fatores pelo critério de 5%.

	C1	C2	C3	C4
Eixo 1	0,21	0,21	0,03	0,73
Eixo 2	0,10	0,14	0,02	0,73
Eixo 3	0,50	0,20	0,02	0,59
Eixo 4	0,90	0,47	0,35	0,27
Eixo 5	0,05	0,45	0,23	0,86
Eixo 6	0,61	0,43	0,28	0,60
Eixo 7	0,85	0,07	0,41	0,66

Pela verificação da tabela 14, observa-se que o teste de χ^2 indica a possibilidade de dependência estatística entre a participação do estudante (característica C3) e a sua percepção sobre a relevância (Eixo 1) e sobre a reflexão crítica fomentada pela atividade (Eixo 2). Além disto, os dados indicam também uma dependência entre a percepção sobre o apoio dos colegas e o rendimento acadêmico do estudante.

Estes achados serão discutidos mais adiante.

Vale ressaltar que o teste de χ^2 não estabelece a intensidade do efeito, mas simplesmente indica a possibilidade de que haja uma relação entre os fatores. Estaremos discutindo a interpretação dos efeitos pelos valores de

correlação apresentados na próxima secção.

Conforme já mencionado anteriormente, vale ressaltar as limitações do teste de χ^2 . O teste pressupõe a distribuição normal, o que significa que ele pressupõe um número elevado de ocorrências. Assim, sua aplicação para um número reduzido de casos (apenas 40 estudantes) poderia ser questionada.

Entretanto, foi aplicada aos mesmos dados a análise pelo teste exato de Fisher, o qual é um teste adequado para pequenos números. As conclusões de dependência foram similares. Entendemos então que a análise se justifica por duas razões: *(i)* O teste de χ^2 é mais corrente na literatura e *(ii)* acreditamos que o teste tem para nossa análise apenas um valor de indicativo de eventual relação.

4.5.3 Análise dos dados de correlação

A estatística nos auxilia nesse momento com algumas ferramentas, ou seja, testes que nos ajudam a compreender melhor esses resultados. Para essa análise usamos o cálculo do coeficiente de correlação, o qual assume valores entre -1 e $+1$. Se positivo, indica que existe correlação e, se negativo, que existe uma anti-correlação entre as variáveis aleatórias investigadas.

O objetivo desta análise é verificar o nível de relacionamento entre os eixos, que são as médias das avaliações dos estudantes em cada tema da investigação analisada, com cada uma das características dos estudantes. Para uma melhor visualização, os índices calculados estão agrupados na tabela 15 abaixo.

Tabela 15 – Coeficiente de correlação. Características do estudante: C1 - Rendimento acadêmico, C2 - Participação acadêmica, C3 - Participação na atividade, C4 - Extroversão. Eixos de avaliação: Eixo 1 – Relevância da atividade, Eixo 2 – Reflexão crítica, Eixo 3 – Interatividade, Eixo 4 – Apoio do professor e orientação na atividade, Eixo 5 – Apoio dos colegas, Eixo 6 – Compreensão e Eixo 7 – Metodologia. Em negrito os valores de correlação entre os fatores que o teste de χ^2 indica dependência.

	C 1	C 2	C 3	C 4
Eixo 1	0,34	-0,15	-0,27	-0,13
Eixo 2	0,30	-0,25	-0,25	-0,13
Eixo 3	0,05	-0,18	-0,26	-0,14
Eixo 4	0,13	-0,21	-0,19	-0,29
Eixo 5	0,26	-0,13	-0,13	-0,10
Eixo 6	0,11	-0,18	-0,15	-0,16
Eixo 7	0,01	-0,11	-0,24	-0,20

Os valores da correlação calculados entre os respectivos eixos e a característica C1, indicam que existe uma correlação positiva entre a percepção de relevância da atividade realizada e o rendimento acadêmico dos estudantes. Entretanto, as correlações entre os respectivos eixos e as características C2, C3 e C4 são predominantemente negativas. Isso indica que existe anti-correlação entre os eixos e as características.

4.5.4 Análise dos valores mais relevantes

Na tabela 14 observamos os casos em que os valores abaixo de 0,05 que mostram dependência entre o eixo e a característica, e também valor como 0,86 que mostra alto grau de independência. Discutiremos os caso mais relevantes:

4.5.4.1 Eixo 1 - Relevância da atividade x C3 - Participação na atividade

Os valores do valor-p referentes ao Eixo 1 na tabela 14 indicam que não existe uma relação de dependência com C1 ,C2 e C4. Entretanto, em relação à característica C3 – participação na atividade, o valor 0,03 está abaixo do valor de significância de 5% ou 0,05. Esse fato indica uma possível dependência do eixo com essa característica. A análise estimou um valor-p de 0,03, o que indica a rejeição da hipótese nula com critério de 5%, ou seja, estabelece que há uma dependência estatística entre essas variáveis. Entretanto, o coeficiente de correlação negativo observado na tabela 15, $(-0,27)$, é um indício de que os estudantes que, na avaliação do professor, foram menos participativos, foram exatamente os que avaliaram a atividade como mais relevante.

O teste de χ^2 nesse caso corrobora a interpretação de que há uma dependência estatística entre a percepção de relevância da sequência didática desenvolvida (Eixo 1) Relevância da atividade e a avaliação do professor sobre a efetiva participação do estudante na atividade (C3) Participação na atividade. Este fato pode ser verificado na tabela 16 de contingência.

Tabela 16 – Eixo 1 - Relevância da atividade x C3 - Participação na atividade
 Legenda: Características: A – Estudante de alto rendimento, B – Estudante de médio rendimento, C – Estudante de baixo rendimento.
 Avaliação da atividade: Ótimo, Bom e Ruim.

	C	B	A	
RUIM	1	0	3	4
BOM	7	6	9	22
ÓTIMO	2	10	2	14
	10	16	14	40

Por exemplo, 90% dos estudantes que foram avaliados como menos

participativos (conceito C), avaliaram a relevância da atividade como (Bom ou Ótimo). De forma semelhante, pode ser verificada uma inversão entre bom e ótimo na avaliação dos estudantes conceitos A e B. Ou seja, apenas 2 estudantes que o professor avaliou como tendo alta participação (conceito A) avaliaram a atividade como ótima em relevância, ao passo que 10 estudantes de conceito B avaliaram a atividade como ótima em termos de relevância. A dependência nessa característica C3 deve ao fato que o professor quando da observação dos estudantes na realização das atividades, interpretou que o estudante que não estava participando, na verdade estava participando mesmo que sem demonstrar a participação.

Em conclusão: aparentemente, os dados indicam que os estudantes que o professor avaliou como sendo não participativos estavam, na verdade, interessados e consideram a atividade como relevante.

4.5.4.2 Eixo 2 - Reflexão crítica x C3 - Participação na atividade

De forma análoga ao caso anterior, neste caso também verifica a rejeição da hipótese nula, dado o valor-p de 0,02 (tabela 14). Assim a análise indica que há dependência entre a avaliação da reflexão crítica pelos estudantes e a avaliação do professor sobre a sua participação na atividade. A observação de uma correlação negativa, $-0,25$ (tabela 14), indica que os estudantes avaliados como menos participativos na verdade consideram que a atividade promoveu a reflexão crítica. Note que as questões referentes a este eixo procuram verificar se o estudante avalia que a atividade o fez refletir sobre a sua forma de estudo, suas ideias e as ideias dos participantes, bem como sobre o conteúdo estudado. Além disto, a média da avaliação no eixo 2, foi expressiva, 4,37 (tabela 12), indicando que a maioria dos estudante

considera que a atividade promove a reflexão crítica.

O valor-p referente ao Eixo 2 x característica C3, na tabela 14 comprova que com C3 existe dependência do eixo com essa característica. Na tabela 17 de contingência temos:

Tabela 17 – Eixo 2 - Reflexão crítica x C3 - Participação na atividade Legenda: Características: A – Estudante de alto rendimento, B – Estudante de médio rendimento, C – Estudante de baixo rendimento. Avaliação da atividade: Ótimo, Bom e Ruim.

	C	B	A	
RUIM	0	2	6	8
BOM	8	6	5	19
ÓTIMO	2	8	3	13
	10	16	14	40

A anti-correlação é observada nos estudantes de baixo rendimento (C) e avaliados como não estar participando efetivamente da atividade terem avaliado (Médio e ótimo), comprovando que a atividade ajudou no desenvolvimento críticos deles. Também a anti-correlação é observada nos estudantes de alto rendimento (A) que deveriam ter gostado e 6 deles ou 42,8% avaliaram que a atividade não ajudou no desenvolvimento crítico deles.

O fator – p confirma uma pequena dependência de 0,02 ou 2% que pode ser observado nos 14 estudantes de alto rendimento (A), mesmo que exista anti-correlação, 8 deles ou 57% avaliaram (Médio e Ótimo) e dos 16 estudantes de médio rendimento (B) 14 deles ou 87,5% avaliaram de (Médio e Ótimo).

4.5.4.3 Eixo 3 – Interatividade x C3 - Participação na atividade

Novamente, observamos que o teste de χ^2 indica dependência e a correlação estimada é negativa. Isto significa que os estudantes com menor

índice de participação, conforme a percepção do professor, na verdade avaliaram os eixos E1, E2 e E3 de forma mais positiva do que os outros estudantes. Este fato pode ser observado na tabela 18 de contingência.

Tabela 18 – Eixo 3 – Interatividade x C3 - Participação na atividade Legenda: Características: A – Estudante de alto rendimento, B – Estudante de médio rendimento, C – Estudante de baixo rendimento. Avaliação da atividade: Ótimo, Bom e Ruim.

	C	B	A	
RUIM	2	4	10	16
BOM	6	6	1	13
ÓTIMO	2	6	3	13
	10	16	14	40

A anti-correlação é evidenciada para os estudantes de baixo rendimento: de 8 estudantes, ou seja, 80%, avaliaram a interatividade como (Bom e Ótimo). Entre os estudantes de alto rendimento apenas 4 em 14 estudantes, ou seja 28%, tiveram a mesma avaliação. A relação é confirmada na tabela de contingência, onde se verifica que entre os estudantes de médio rendimento, apenas 4 estudantes em 16 ou 25%, avaliaram a interatividade como Ruim, 6 estudantes ou 37,5%, avaliaram como Bom restante, o mesmo número como Ótimo.

4.5.4.4 Eixo 5 – Apoio dos colegas x C1 – Rendimento acadêmico

Nesse caso o coeficiente de correlação é positivo e o valor – p está no limite de 0,05 ou 5%. A tabela 19 de contingência evidencia a correlação positiva entre a percepção de apoio dos colegas e o respectivo rendimento acadêmico.

Tabela 19 – Eixo 5 – Apoio dos colegas x C1 – Rendimento acadêmico Legenda: Características: A – Estudante de alto rendimento, B – Estudante de médio rendimento, C – Estudante de baixo rendimento. Avaliação da atividade: Ótimo, Bom e Ruim.

	C	B	A	
RUIM	5	11	2	18
BOM	0	11	1	12
ÓTIMO	2	4	4	10
	7	26	7	40

Na tabela 15 estima-se a correlação em 0,26. Entre os estudantes de alto rendimento onde 5 estudantes ou 71,4% avaliaram o apoio dos colegas como (Bom ou Ótimo). Entre os estudantes de baixo rendimento este percentual 71,4% corresponde aos que avaliam não terem encontrado apoio dos colegas.

Ou seja, a percepção oposta entre os dois grupo parece indicar que os estudantes de mais alto rendimento não percebem as necessidades de apoio dos estudantes de mais baixo rendimento!

Os valores da tabela 15 de correlação nos mostram que só a característica C1 - Rendimento acadêmico apresentou coeficientes de correlação positivos. Os outros coeficientes correspondentes às outras características apresentam coeficientes negativos, indicando anti-correlação. Na tabela 14 de valor-p, em três casos há indicação de dependência, que são Eixo 1 x C3 , Eixo 2 x C3 e Eixo 5 x C1.

Como a característica C3 é uma avaliação subjetiva do professor, esses valores indicam que a participação do estudante pode ter sido mal interpretada pelo professor. Como a análise indica uma dependência e uma anti-correlação, significa que estudantes de baixo rendimento gostaram e

avaliaram positivamente a atividade, fato confirmado nas tabelas de contingência. Esses números são bastante significativos. O número de estudantes de alto rendimento que não gostaram e avaliaram negativamente a atividade são pouco significativos. Ficou evidente também que na percepção dos estudantes de baixo rendimento acadêmico eles não conseguiram apoio dos colegas. Não houve bom entrosamento. De maneira geral todos da turma participaram da atividade independente das suas características.

5 CONCLUSÃO

Em vista da discussão apresentada anteriormente, sobre a necessidade de tornar a aprendizagem potencialmente significativa para os estudantes e, com isso, motivá-los e despertá-los para a aprendizagem de Física. Desenvolvemos a sequência didática baseada no uso da experimentação, defendida por vários autores, pode, de alguma forma, alcançar esses estudantes. Eles estão nas salas de aulas, muitas vezes desmotivados e quase que totalmente sem interesse. Foram muitas as dificuldades encontradas no desenvolvimento desse protótipo, desafios que tiveram que ser enfrentados, a cada dia, em cada uma das etapas, desde a primeira ideia. Transferir a força magnética, para uma mine-balança eletrônica, exigiu vários protótipos até que chegássemos a aquele que levamos para sala de aula.

No entanto, um teste foi necessário antes que fosse para sala de aula, para que comprovássemos o funcionamento da balança de Ampère-Faraday. No Laboratório de Física da Universidade Federal de Lavras – UFLA, algumas medidas foram realizadas e a visualização gráfica dos resultados experimentais *comprovou a eficácia e a linearidade do protótipo*. O teste de funcionamento encontra-se em detalhes no capítulo 3 metodologia, seção 4 funcionamento e calibração da balança de Ampère-Faraday.

Na sequência didática desenvolvida para esse trabalho, propõe-se aplicar uma atividade em laboratório em grupos, com uma balança de Ampère-Faraday para cada um dos grupo de estudantes.

As respostas dos estudantes, nas fichas de questionamento e nas

fichas de resposta, durante a realização do experimento na sequência didática, foram analisadas através de uma análise de conteúdo. Esta análise permitiu identificar as já esperadas dificuldades conceituais dos estudantes.

No roteiro I, os grupos conseguiram realizar o experimento proposto e observar os diferentes comportamentos magnéticos de diferentes materiais. Em geral, a interpretação apresentada pelos estudantes, mesmo depois da realização das observações experimentais, foi predominantemente tautológica.

No roteiro II, os grupos G1 e G3 observaram e desenharam as linhas de campo magnético. O grupo G2 desenhou estas linhas mas não foram capazes de dar uma explicação adequada. Entretanto, vários estudantes identificaram corretamente as linhas formadas pelas limalhas de ferro, uma vez que foi constatado o seu comportamento magnético no primeiro roteiro. Um grupo explicitou o fato de que a interação magnética deveria ocorrer através do acrílico. Acreditamos que estes fatos são positivos para a construção do conceito de campo, um conceito fundamental na física moderna.

No roteiro III, só o grupo G4 não conseguiu esclarecer a direção das linhas de campo magnético. O grupo G2 não conseguiu identificar a direção da força, os grupos G1, G3, G4, G5 conseguiram visualizar a direção da força, mas tiveram dificuldade na conclusão.

O roteiro V foi o mais participativo, todos grupos realizaram as medidas, fizeram os cálculos das forças correspondentes. Os grupos G1, G4, G5 fizeram os gráficos corretamente. Os gráficos dos grupos G4 e G5 estão expostos em análise do roteiro V (4.2.5). Entretanto, os grupos G1, G2, e G5 não escreveram nada, mostrando que tiveram dificuldade na conclusão.

Através da análise das respostas nestes roteiros, realizou-se a com-

paração do modelo mental prévio com o modelo mental adquirido nos experimentos. Podemos Concluir que a utilização da metodologia ADI foi indispensável para essa estratégia didática para gerar conflito cognitivo e motivar o processo de ensino-aprendizagem.

A análise quantitativa foi realizada com dados adquiridos no questionário de percepção dos estudantes na atividade. De acordo com esses dados, observou-se que a atividade conseguiu atingir até mesmo os estudantes que são desinteressados e de baixo rendimento em sala de aula. As média das respostas dos estudantes no tema apoio dos colegas mostra a dificuldade no trabalho de equipe.

Durante o desenvolvimento da atividade, observou-se entre os estudantes um comportamento totalmente diferente do comportamento normal em sala de aula. Houve participação, empenho, debate e muita discussão. Observou-se também a grande dificuldade desses estudantes em transcrever suas ideias para o papel.

Como trabalhos futuros, vale ressaltar que a metodologia proposta é muito ampla e pode ser aplicada em diferentes tópicos do ensino de Física. Como professor, já estou utilizando na prática a ideia de usar experimentos para geração de conflito cognitivo em conteúdos do primeiro e segundo anos, mecânica, máquinas simples, termometria, etc.

Sendo professor dessa turma nos três anos de ensino médio pude constatar o impacto positivo da proposta.

Analisando as dificuldades que a escola enfrenta, de espaço físico, falta de equipamentos, pouca quantidade de aulas. Isso dificulta o uso da experimentação como estratégia didática. Para a realização da atividade, o

problema do espaço físico foi contornado, montando as bancadas em parte do refeitório. Mesmo com esses improvisos, acreditamos que, de alguma maneira, a atividade resgata o interesse dos estudantes. A partir desta atividade, todos daquela turma passam a ter com um olhar diferenciado para o ensino de física. Em especial, a tudo que envolver magnetismo e eletro magnetismo, como aparelho de tomografia, aparelho de ressonância magnética, motores elétricos, geração de energia, etc. Até eu, constato, não sou mais o mesmo professor!

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, V. C.; STACHAK, M. A importância de aulas experimentais no processo ensino aprendizagem em física: eletricidade. *XVI Simpósio Nacional de ensino de Física-SNEF. Universidade do Oeste Paulista-UNOESTE, Presidente Prudente-SP*, p. 1–4, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 59.

ARAÚJO, M. S. T. de; ABIB, M. L. V. dos S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 25, n. 2, 2003. Citado na página 59.

ARAÚJO, M. S. T. de; ABIB, M. L. V. dos S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Rev. Bras. Ens. Fis.*, v. 25, n. 2, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.

ARRUDA, S. de M.; SILVA, M. R. da; LABURÚ, C. E. Laboratório didático de física a partir de uma perspectiva kuhniana. *Investigações em Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 6, n. 1, p. pp. 97 – 106, 2001. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID70/v6_n1_a2001.pdf>. Citado na página 31.

AUSUBEL, D. P. Algunos aspectos psicológicos de la estructura del conocimiento. *Elam, S.(Comp.) La educación y la estructura del conocimiento. Investigaciones sobre el proceso de aprendizaje y la naturaleza de las disciplinas que integran el currículum. Ed. El Ateneo. Buenos Aires. Págs.*, v. 211, p. 239, 1973. Citado 3 vezes nas páginas 22, 27 e 59.

BONADIMAN, H.; NONENMACHER, S. E. O gostar e o aprender no ensino de física: Uma proposta metodológica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 24, n. 2, p. 194–223, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.

BRASIL, M. Pcn+ do ensino médio: orientações educacionais complementares aos pcn. *Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias.. Brasília: MEC*, p. 59–86, 2002. Citado na página 22.

BRASIL, M. Diretrizes curriculares nacionais gerais da educação básica. *Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias.. Brasília: MEC*, p. 562p., 2013. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.

CHABAY, R.; SHERWOOD, B. Restructuring the introductory electricity and magnetism course. *American Journal of Physics*, American Association of Physics Teachers, v. 74, n. 4, p. 329–336, 2006. Citado na página 35.

CHEVALLARD, Y. On didactic transposition theory: Some introductory notes. In: *International Symposium on Research and Development in Mathematics, Bratislava, Czechoslovakia*. [S.l.: s.n.], 1988. Citado na página 36.

CHI, M. T. Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *The journal of the learning sciences*, Taylor & Francis, v. 14, n. 2, p. 161–199, 2005. Citado na página 36.

CHINN, C. A.; BREWER, W. F. The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of educational research*, Sage Publications, v. 63, n. 1, p. 1–49, 1993. Citado na página 32.

CROUCH1, C. H.; MAZUR1, E. Peer instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, American Association of Physics Teachers, v. 69, n. 9, p. p. 970, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1119/1.1374249>>. Citado na página 32.

DISESSA, A. A. Knowledge in pieces. Lawrence Erlbaum, 1988. Citado na página 36.

FILHO, M. S. et al. Demonstração didática da interação entre correntes elétricas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SBF, v. 29, n. 4, p. p. 605–612, 2007. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/070402.pdf>>. Citado na página 24.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Além da detecção de modelos mentais dos estudantes uma proposta representacional integradora (beyond the detection of students mental models. an integrative representational approach). *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 7, n. 1, p. 31–53, 2002. Citado na página 68.

HESTENES, D. Modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, American Association of Physics Teachers, v. 55, n. 5, p. pp. 440–454, 1987. Citado na página 32.

ITZA-ORTIZ et al. Students' models of newton's second law in mechanics and electromagnetism. *European Journal of Physics*, IOP Publishing, v. 25, n. 1, p. 81, 2004. Citado na página 35.

- KUHN, T. S. *The Structure of Scientific Revolutions*. 2. ed. [S.l.]: The University of Chicago, 1970. 210 p. Citado na página 67.
- LEPPAVIRTA, J. Assessing undergraduate students' conceptual understanding and confidence of electromagnetics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, Springer, v. 10, n. 5, p. 1099–1117, 2012. Citado na página 34.
- LOURENÇO, R.; PALMA, A. O conflito cognitivo como princípio pedagógico no processo ensino-aprendizagem nas aulas de educação física. *Revista de Educação do Cogeime*, p. 43–54. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 59.
- MARR, M. et al. Development of instructional systems for teaching an electricity and magnetism course for engineers. *American Journal of Physics*, American Association of Physics Teachers, v. 67, n. 9, p. 789–802, 1999. Citado na página 35.
- MOREIRA, M. A. Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: A teoria da aprendizagem significativa. *Porto Alegre-RS*, 2009. Citado 3 vezes nas páginas 28, 34 e 35.
- MOREIRA, M. A. *Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares*. [S.l.]: 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012. Citado na página 29.
- NUSSENZVEIG, H. M. Curso de física básica, eletromagnetismo. *Curso de Física Básica 3: Eletromagnetismo*, Ed. Edgard Blucher São Paulo, 1998. Citado na página 55.
- OLIVEIRA, M. et al. *Introdução à Estatística*. [S.l.: s.n.], 2014. 307–372 p. Citado 2 vezes nas páginas 72 e 73.
- PIAGET, J.; CHOMSKY, N. *Teorias da linguagem; teorias da aprendizagem*. [S.l.]: Edições 70, 1987. Citado 3 vezes nas páginas 27, 31 e 59.
- POSNER G. J., S. K. A. H. P. W. e. G. W. A. Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Sci. Ed.*, Wiley Online Library, v. 66, n. 2, p. pp. 211–227, 1984. Disponível em: <doi:10.1002/sce.3730660207>. Citado 4 vezes nas páginas 21, 32, 67 e 68.
- POSNER G. J., S. K. A. H. P. W. e. G. W. A. Mental models and cognitive change. *Journal of Cognitive Psychology*, Routledge, v. 25, n. 2, p. pp. 131–138,

2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/20445911.2012.759935>>. Citado na página 68.

SAARELAINEN, M.; LAAKSONEN, A.; HIRVONEN, P. Students' initial knowledge of electric and magnetic fields—more profound explanations and reasoning models for undesired conceptions. *European Journal of Physics*, IOP Publishing, v. 28, n. 1, p. 51, 2007. Citado na página 35.

SÉRÉ, M.-G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. O papel da experimentação no ensino da física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, p. 31–43, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 59.

SILVA, S. de Carvalho Rutz da; SCHIRLO, A. C. Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel: Reflexões para o ensino de física ante a nova realidade social. *Imagens da Educação*, v. 4, n. 1, 2014. Citado na página 21.

SOKOLOFF, D. R. *RealTime Physics Active Learning Laboratories Module 4 Light and Optics*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2012. Citado 5 vezes nas páginas 27, 32, 33, 59 e 60.

VOSNIADOU, S. et al. Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and instruction*, Elsevier, v. 11, n. 4, p. 381–419, 2001. Citado na página 36.

YATES, F. Tests of significance for 2×2 contingency tables. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, Wiley for the Royal Statistical Society, v. 147, n. 3, p. pp. 426–463, 1984. ISSN 00359238. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2981577>>. Citado na página 73.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Roteiros da sequência didática

A.1 Roteiro I — Materiais magnéticos

A.1.1 Parte 1 — Ficha de questionamento

Ficha de questionamento e previsão de resultado

Escola Estadual Prefeito Celso Vieira Vilela

Professor: José Amilton Fernandes

Alunos: _____

Data: _____ Série: _____

Objetivo: Reconhecer os tipos de materiais e o efeito de um ímã sobre eles.

Considere os materiais listados na tabela 20. Se você aproximar um ímã de cada um desses materiais, qual seria o efeito observado? Anote suas previsões e justificativas na tabela.

Tabela 20 – Lista de materiais e previsão de efeito

Materiais	Efeito previsto	Justificativa
Fio de cobre		
Fio de alumínio		
Ferro		
Isopor		
Moeda de Níquel		
Canudinho plástico		
Lápis		

A.1.2 Parte 2 — Ficha de resultado

Ficha de resultado do experimento e observação

Escola Estadual Prefeito Celso Vieira Vilela

Alunos: _____

Data: _____ Série: _____

Objetivo: Constatar os efeitos do ímã sobre vários materiais.

Verifique experimentalmente o efeito de aproximar um ímã a cada um dos materiais da tabela 21. Anote suas observações e interprete os resultados observados. Em especial, destaque na coluna “Interpretação”, como você interpreta os casos em que o que você previu foi diferente do observado.

Tabela 21 – Lista de materiais e efeitos observados

Materiais	Efeito observado	Interpretação
Fio de cobre		
Fio de alumínio		
Ferro		
Isopor		
Moeda de Níquel		
Canudinho plástico		
Lápis		

A.2 Roteiro II — Linhas de campo magnético

A.2.1 Parte 1 — Ficha de questionamento

Ficha de questionamento e previsão de resultado

Escola Estadual Prefeito Celso Vieira Vilela

Professor: José Amilton Fernandes

Alunos: _____

Data: _____ Série: _____

Objetivo: prever como são as linhas de campo magnético

Como observamos na última aula, o ferro e o níquel são materiais que respondem à presença de um ímã de forma mais clara. Imagine o seguinte experimento: você vai colocar um pedaço de acrílico sobre um ímã e espalhar limalha de ferro sobre o acrílico. Descreva os resultados e faça uma representação gráfica do que você espera observar nas seguintes situações.

1) Situação 1: quando você coloca um único ímã sob o acrílico, disposto com os polos na horizontal.

2) Situação 2: quando você coloca dois ímãs com polos opostos, na horizontal, voltados um para o outro.

3) Situação 3: quando você coloca dois ímãs com polos iguais, na horizontal, voltados um para o outro.

A.2.2 Parte 2 — Ficha de resultado**Ficha de resultado do experimento e observação**

Escola Estadual Prefeito Celso Vieira Vilela

Professor: José Amilton Fernandes

Alunos: _____

Data: _____ Série: _____

Objetivo: Materializar e visualizar as linhas de campo magnético

Lista de material: Dois ímãs, suporte de madeira adaptado, limalha de ferro, placa de acrílico, folha de papel.

1. Realize o seguinte experimento: encaixe os ímãs no suporte e coloque a placa de acrílico sobre ele. Espalhe lentamente a limalha de ferro sobre a placa. Se necessário, bata suavemente na placa. Tire fotos e faça um desenho do que você observa nas seguintes situações.

Situação 1: quando você coloca um único ímã sob o acrílico.

Situação 2: quando você coloca dois ímãs com polos opostos, na horizontal, voltados um para o outro.

Situação 3: quando você coloca dois ímãs com polos iguais, na horizontal, voltados um para o outro.

2. Compare o que foi previsto na primeira parte deste roteiro com o que foi observado no experimento.

A.3 Roteiro III - Sentido do campo magnético

A.3.1 Parte 1 — Ficha de questionamento

Ficha de questionamento e previsão de resultado

Escola Estadual Prefeito Celso Vieira Vilela

Professor: José Amilton Fernandes

Alunos: _____

Data: _____ Série: _____

Objetivo: Identificar o sentido do campo magnético.

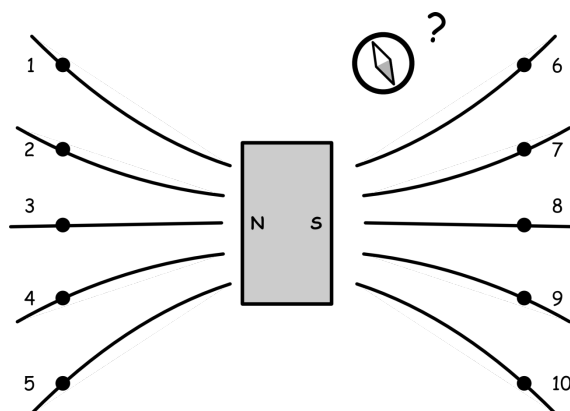


Figura 23 – Sentido das linhas de campo que se espera observar

O sentido das linhas do campo magnético pode ser revelado usando uma bússola. Faça uma previsão do resultado e uma representação gráfica do que você espera observar quando você colocar uma bússola nos pontos (1 – 10) próximos de um ímã?

A.3.2 Parte 2 — Ficha de resultado

Ficha de resultado do experimento e observação

Escola Estadual Prefeito Celso Vieira Vilela

Professor: José Amilton Fernandes

Alunos: _____

Data: _____ Série: _____

Objetivo: Identificar o sentido do campo magnético.

Utilizando uma bússola, posicione a agulha magnética nas posições (1 – 10) próximas ao ímã, de forma que lhe permita identificar a direção das linhas do campo magnético. Anote suas observações, desenhando setas que indiquem a direção do campo magnético em cada caso.

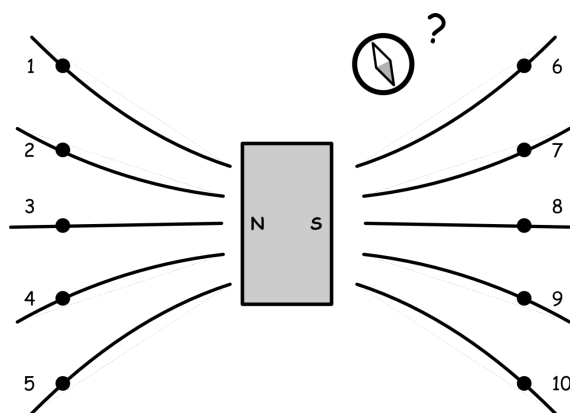


Figura 24 – Sentido das linhas de campo observado - experimento

A.4 Roteiro IV - Direção da força magnética sobre correntes

A.4.1 Parte 1 — Ficha de questionamento

Ficha de questionamento e previsão de resultado

Escola Estadual Prefeito Celso Vieira Vilela

Professor: José Amilton Fernandes

Alunos: _____

Data: _____ Série: _____

Objetivos:

1. Identificar a relação entre a força magnética e a direção do campo magnético.
2. Identificar a relação entre a força magnética e a direção da corrente elétrica no fio.

Imagine um condutor elétrico percorrido por uma corrente elétrica na presença de campo magnético. Que tipo de interação pode ocorrer? Considerando as três configurações abaixo, explique com desenhos a direção do campo magnético e represente a força magnética por seta, em cada caso.

Configuração - 1

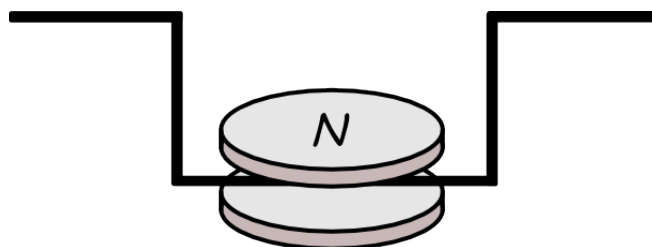


Figura 25 – Campo de ímãs no sentido vertical

Configuração - 2

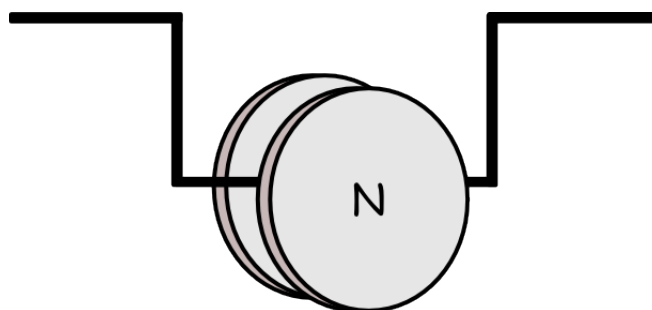


Figura 26 – Campo de ímãs no sentido horizontal

Configuração - 3

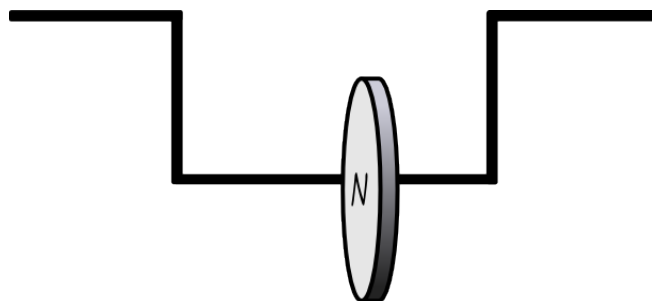


Figura 27 – Campo de um ímã

A.4.2 Parte 2 — Ficha de resultado**Ficha de resultado do experimento e observação**

Escola Estadual Prefeito Celso Vieira Vilela

Professor: José Amilton Fernandes

Alunos: _____

Data: _____ Série: _____

Objetivos:

1. Constatar a relação entre a força magnética e a direção do campo magnético.
2. Constatar a relação entre a força magnética e a direção da corrente elétrica.

Materiais para o experimento: ímã, um fio de alumínio ou cobre, pedaços de chapa de zinco, pedaço de madeira, pilhas, pedaço de fio, etc. Leia como operar a fonte de tensão. Ligue a fonte de tensão aos pinos ligados ao balanço em forma de “U”. Ajuste a corrente, se necessário. Aperte o botão de ligar e desligar para verificar o efeito do campo magnético sobre a corrente.

1) Verifique o que acontece nas três configurações, 1, 2, e 3, mostradas nas figuras: [28](#), [29](#) e [30](#).

2) Compare o que observou com o que foi previsto na primeira parte.

3) Qual a relação entre a direção do campo magnético e da força magnética?

Configuração - 1

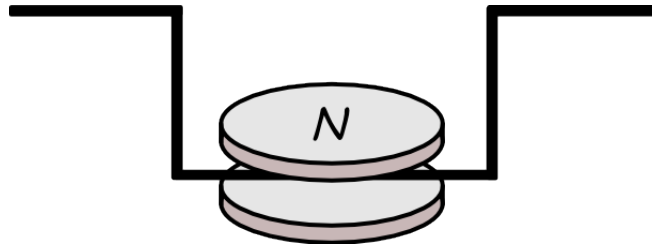


Figura 28 – Campo de ímãs no sentido vertical

Configuração - 2

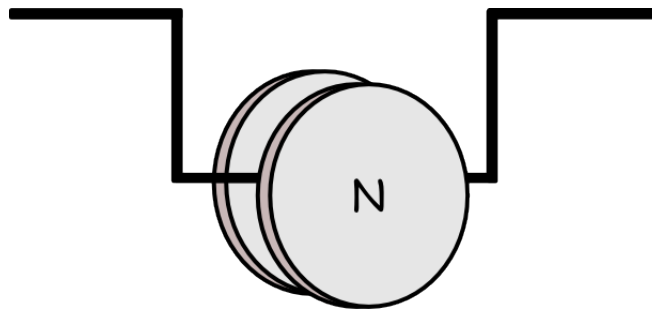


Figura 29 – Campo de ímãs no sentido horizontal

Configuração - 3

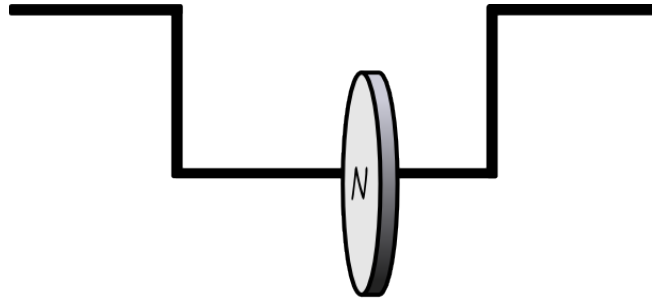


Figura 30 – Campo de um ímã

A.5 Roteiro V - Medida da força magnética sobre correntes

Ficha de resultado do experimento e observação

Escola Estadual Prefeito Celso Vieira Vilela

Professor: José Amilton Fernandes

Alunos: _____

Data: _____ Série: _____

Objetivo: Medir a intensidade da força magnética sobre um condutor percorrido por uma corrente elétrica, usando a balança de Ampère-Faraday.

Realize o experimento, mantendo o campo magnético na horizontal. Ligue a fonte de tensão e ajuste a corrente para o menor valor possível. Lentamente, aumente a corrente em passos de aproximadamente 0,25 A, para medir uns doze pontos em valores diferentes até a corrente máxima de 3,2 A. Na planilha abaixo, anote os valores das correntes e os valores encontrados na balança eletrônica.

1) Faça esta medida com cuidado, sem balançar a mesa, pois o sistema é muito sensível! Se necessário, recomece a medida do zero.

2) Utilizando o valor da aceleração da gravidade dada por $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ e o fator de multiplicação de dez vezes, discutido acima, calcule os valores de força correspondente e preencha a última coluna da tabela.

3) Construa o gráfico, força magnética (N) X corrente elétrica (A) em papel milimetrado.

4) Realize agora algumas medidas do experimento na configuração de campo vertical.

Tabela 22 – Medidas do experimento

	Corrente (A)	Massa (g)	Força (N)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

5) Compare os resultados obtidos no experimento mantendo o campo magnético na horizontal com os da configuração de campo magnético na vertical.

6) Escreva suas conclusões.

APÊNDICE B – Questionário de percepção dos estudantes

Identificação do estudante é opcional: Nome, número, série, data.

Orientação: Todas as questões são obrigatórias e devem ser respondidas. Dê uma nota de 1 a 5 dependendo de seu grau de concordância com a afirmativa.

1. Eixo 1 – Relevância da atividade

- a) A atividade especial sobre campo magnético abordou a temática de forma interessante?
- b) Considero que o que eu aprendi é importante para minha formação?
- c) Na atividade especial eu aprendi um pouco mais de como melhorar meu estudo?
- d) O que eu aprendi na atividade pode ser aplicado em minha vida diária?

2. Eixo 2 – Reflexão crítica

- a) A atividade me fez refletir com como eu estudo e aprendo?
- b) A atividade me fez refletir sobre minhas próprias ideias?
- c) A atividade me fez refletir sobre as ideias dos outros participantes?
- d) A atividade me fez refletir sobre os conteúdos abordados?

3. Eixo 3 – Interatividade Nessa atividade eu:

- a) Tive oportunidade de explicar as minhas ideias aos outros participantes?
- b) Tive oportunidade de ouvir explicações dos outros participantes?
- c) Observei que os outros participantes aceitaram as minhas ideias?
- d) Observei que os outros participantes reagiram às minhas ideias?

4. Eixo 4 – Apoio do professor e orientação da atividade

Com referência ao texto da sequência didática e ao professor

- a) Eles me estimularam a refletir sobre os conteúdos?
- b) Eles me encorajam a participar das atividades?
- c) Eles ajudaram a melhorar a qualidade das atividades?
- d) Eles ajudaram a melhorar o processo de reflexão?

5. Eixo 5 – Apoio dos colegas

- a) Os outros participantes me encorajam a participar?
- b) Os outros participantes elogiaram as minhas contribuições?
- c) Os outros participantes discutiram as minhas contribuições?
- d) Os outros participantes demonstram empatia quando me esforcei para aprender?

6. Eixo 6 – Nível de compreensão conceitual

- a) Eu compreendi bem a descrição das tarefas das atividades?
- b) Os outros estudantes compreenderam bem as minhas explicações?
- c) Eu compreendi bem as explicações dos outros estudantes?

d) Eu compreendi bem as explicações do professor?

7. Eixo 7 – Metodologia

- a) As minhas previsões foram sempre comprovadas na etapa de realizar as experiências?
- b) Eu achei que a estratégia de prever os resultados antes da observação é muito estimulante?
- c) Eu achei que a estratégia de prever os resultados antes da observação foi importante para eu refletir e mudar minha concepção sobre os conceitos envolvidos?
- d) Eu compreendi bem as diferenças entre o que eu previ e o que eu observei nas atividades?