



INSTITUTO FEDERAL

Sertão Pernambucano

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
SERTÃO PERNAMBUCANO
COORDENAÇÃO DO CURSO DE FÍSICA
CURSO 2013.1**

LUCIANO LEITE SILVA

**UMA ABORDAGEM SOBRE EXPERIMENTO DE OERSTED NOS LIVROS
DIDATICOS DO 3º ANO DO ENSINO MÉDIO**

SALGUEIRO

2018

LUCIANO LEITE SILVA

**UMA ABORDAGEM SOBRE EXPERIMENTO DE OERSTED NOS LIVROS
DIDATICOS DO 3º ANO DO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do curso de FÍSICA do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, campus Salgueiro, como requisito parcial à obtenção do título de licenciatura em Física

Orientador(a): Prof. Getulio E. R. Paiva

SALGUEIRO

2018

Ficha Catalográfica
Serviço de Biblioteca e Documentação
IF Sertão PE - Campus Salgueiro

530.7 Silva, Luciano Leite.

S586a Uma abordagem sobre experimento de oersted nos livros didáticos do 3º ano do ensino médio.

XIV, 82f: il.; 31 cm.

Monografia (Licenciatura em Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IF Sertão PE) / Campus Salgueiro, Salgueiro, PE, 2018.

Orientador (a): Prof.º Getúlio E. R. de Paiva

1. Ensino de Física 2. História da Ciência 3. Experimento Oersted I. Título II. Paiva, Getúlio E. R.

CDD 530.7

Para citar esse documento:

SILVA, Luciano Leite. **Uma abordagem sobre experimento de oersted nos livros didáticos do 3º ano do ensino médio**. 2018. 82f. Monografia (Licenciatura em Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Salgueiro, Salgueiro, PE, 2018.

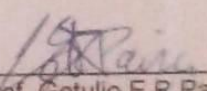
LUCIANO LEITE SILVA

UMA ABORDAGEM SOBRE EXPERIMENTO DE GERSTED NOS LIVROS
DIDÁTICOS DO 3º ANO DO ENSINO MÉDIO

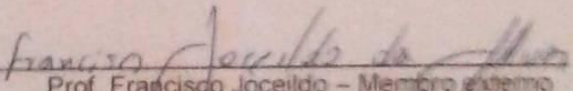
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Coordenação do curso de
FÍSICA do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Sertão
Pernambucano, campus Salgueiro, como
requisito parcial à obtenção do título de
licenciatura em Física.

Aprovado em: 07/08/2018

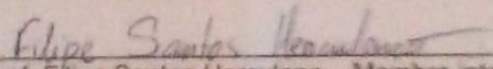
BANCA EXAMINADORA



Prof. Getulio E R Paiva - Orientador
IF-Sertão-PE - Campus Salgueiro



Prof. Francisco Joceildo - Membro externo
Escola de Referência em ensino Médio de Salgueiro



Prof. Filipe Santos Herculano - Membro interno
IF Sertão-PE - Campus Salgueiro

SALGUEIRO

2018

Dedicatória.

Gostaria de deixar registrada a importância da minha esposa, meus filhos e minha mãe, pois sem eles não chegaria até este estágio da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte deste momento de minha vida, e por isso peço desculpas aos que não estão presentes entre essas linhas.

Ao Prof. Getulio E.R Paiva, pela sua excelente orientação e dedicação a esse trabalho.

Agradeço ao professor Eriverton Rodrigues por ter iniciado esse trabalho.

Agradeço ao professor Dr. Marcelo Souza da Silva por ter me apoiado a fazer um trabalho de natureza Histórica.

Aos professores participantes da banca examinadora Dr. Marcelo Souza da Silva, Filipe Santos Herculano e Francisco Joceildo pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas da turma, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

E, por tudo isso escrito acima, a Deus.

Lagrange disse sobre Newton em uma ocasião similar: “Tais acidentes apenas ocorrem com pessoas que os merecem”.

RESUMO

O livro didático é uma das ferramentas que facilita na compreensão dos fenômenos naturais. Por estruturar os conhecimentos da humanidade ao longo do tempo, esses livros têm passado por um rigoroso processo avaliativo, na procura de uma melhor qualidade, contudo é possível encontrar falhas. O desafio desse trabalho é avaliar essas falhas através da realização de um estudo detalhado de alguns episódios da história da ciência, que visa preparação dos alunos na busca de se obter uma visão adequada sobre a natureza das ciências e aptos a enfrentarem o mundo do trabalho e dar continuidade aos estudos. O trabalho apresenta uma análise realizada sobre os livros didáticos de Física recomendados pelo PNLD 2018, o resultado de um estudo de ordem cronológica sobre a experiência de Oersted, relatando os primeiros indícios entre a Eletricidade e o Magnetismo, com isso trazendo até o momento em que se encontrou a relação entre os fenômenos, originando um fenômeno revolucionário denominado Eletromagnetismo. Essa pesquisa é qualitativa, na qual foi realizada uma pesquisa histórica, estabelecendo uma fundamentação teórica.

Palavras-chave: Ensino de Física. História da Ciência. Experimento de Oersted.

ABSTRACT

The textbook is one of the tools that facilitates the understanding of natural phenomena. By structuring the knowledge of humanity over time, these books have been undergone a rigorous evaluation process, in search of a better quality, however it is possible to find fault. The challenge of this work is to evaluate these shortcomings by conducting a detailed study of some episodes in the history of science, which aims to prepare students to obtain an adequate view of the nature of the sciences and to face the world of work and give continuity of studies. The paper presents an analysis of the physics textbooks recommended by the PNLD 2018, the result of a chronological study of Oersted's experience, reporting the first signs of Electricity and Magnetism. That the relation between the phenomena was found, originating a revolutionary phenomenon called Electromagnetism. This research is qualitative, in which a historical research was carried out, establishing a theoretical foundation.

Keywords: Physics Teaching. History of Science. Oersted's experiment.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Mostra região da magnésia. Fonte: (imagem extraída de <http://maps.pickatrail.com/europe/greece/magnesia.html> em 09/03/2017 às 18h51min)..... 17
- Figura 2 – Mostra a primeira bússola chinesa si nan (séc. I a.c.). Fonte (imagem extraída de <http://origemdascoisas.com/a-origem-da-bussola/> em 09/11/2017 às 18h20min.)..... 19
- Figura 3 – Quando um ímã for dividido, originam-se dois pólos magnéticos em cada uma das partes. Fonte: (imagem extraída de <http://professordiminoi.comunidades.net/magnetismo> em 06/09/2017 às 20h20min.)..... 20
- Figura 4 – Gilbert mostrando que a terra funcionava como um grande ímã gigante. Fonte: (imagem extraída de <https://ebooks.adelaide.edu.au/g/gilbert/william/on-the-magnet/book> em 15/09/2017 às 22h30min.)..... 21
- Figura 5 – Máquina eletrostática (sobre a mesa, à esquerda) e outros equipamentos do laboratório de Galvani. Fonte: (imagem extraída de [/http://www.feiradeciencias.com.br/cientistas/galvani.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/cientistas/galvani.asp) em 20/07/2017 às 22h37min.)..... 23
- Figura 6 – Experimento que ele denominou como eletricidade animal. Fonte: (imagem extraída de [/www.awesomestories.com/asset/view/meet-galvani-and-volta](http://www.awesomestories.com/asset/view/meet-galvani-and-volta) em 11/11/2017 às 14h37min.)..... 24
- Figura 7 – Pilha construída por Volta, apresentada no artigo de 1800. Fonte: (imagem extraída de [/www.awesomestories.com/asset/view/meet-galvani-and-volta](http://www.awesomestories.com/asset/view/meet-galvani-and-volta) em 11/08/2017 às 23h07min.) 25
- Figura 8 – Imagem de Hans Cristian Oersted. Fonte: (imagem extraída de http://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/hans_cristian em 02/04/2017 às 10h13min.) 28

Figura 9 – Fazendo uma análise do período em que Oersted viveu, acreditava-se que quando uma corrente elétrica percorresse um fio condutor e este fosse colocado perpendicular à agulha de uma bússola na direção leste-oeste, a expectativa era de que os pólos magnéticos se movessem para ficarem paralelos ao fio na direção oposta (a), a segunda hipótese seria quando o condutor fosse colocado na lateral de um dos pólos magnéticos, formando um ângulo reto de acordo com o plano apresentado (b). A rotação da agulha só foi observada, quando o fio foi colocado paralelo aos pólos (c).	36
Figura 10 – Capa do livro 3 da coleção A.....	49
Figura 11 – Sessão do livro 3 da coleção A que aborda o experimento de Oersted.....	50
Figura 12 – Digitalização da página do livro 3 da coleção A que trata a lei de Biot-Savart.....	52
Figura 13 – Capa do livro 3 da coleção B.....	53
Figura 14 – Digitalização da página do livro 3 da coleção B que trata do tem:	54
Figura 15 – Capa do livro 3 da coleção C.....	57
Figura 16 – Reprodução da abordagem do livro feita no livro 3 da coleção C	58
Figura 17 – Abordagem feita no livro 3 da coleção C, tem o intuito de enriquecer o processo dinâmico de compreensão do conteúdo em análise.....	60
Figura 18 – Abordagem feita no livro 3 da coleção C, o autor convida o aluno a interpretar o contexto estudado com base nos princípios estudados.....	61
Figura 19 – Capa do livro 3 da coleção D.....	62
Figura 20 – Abordagem do experimento de Oersted na coleção D.....	63
Figura 21 – Proposta para investigação do tema da coleção D.....	66
Figura 22 – Capa do livro 3 da coleção E.....	67

Figura 23 – Abordagem do fenômeno pela coleção E.....	68
Figura 24 – Panorama histórico proposto pela coleção E.....	69
Figura 25 – Capa do livro 3 da coleção F.....	71
Figura 26 – Abordagem do tema pela coleção F.....	72
Figura 27 – O cilindro em rotação é simétrico com relação a qualquer plano perpendicular ao seu eixo.	78
Figura 28 – No entanto, o cone não é simétrico com relação a um plano perpendicular.....	78
Figura 29 – Vetor polar possui a mesma simetria quando submetido a sua reflexão paralela.....	79
Figura 30 – Quando a reflexão é perpendicular ao vetor polar ele é antissimétrico.....	79
Figura 31 – Quando a reflexão é perpendicular o vetor axial simétrico.....	80
Figura 32 – Porém quando um vetor axial é submetido a uma reflexão paralela, ele é antissimétrico.....	80
Figura 33 – Experimento de Oersted.....	81

LISTA DE SÍMBOLOS

A Ampère

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Motivação e Objetivo.....	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Uma análise cronológica sobre o estudo do magnetismo e da eletricidade	17
3	ORIGEM E FONTE DE CONHECIMENTO DE OERSTED.....	26
4	OS PRIMEIROS INDÍCIOS ENTRE A ELETRICIDADE E O MAGNETISMO.....	28
5	PILARES QUE FUNDAMENTAM A EXPERIENCIA DE OERSTED	32
6	A UNIFICAÇÃO ENTRE A ELETRICIDADE E O MAGNETISMO.....	35
7	ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS.....	48
8	CONCLUSÃO.....	77
	REFERÊNCIAS.....	79
	APÊNDICE - Importância da simetria nas grandezas Físicas.....	81

1 INTRODUÇÃO

Para realização desse trabalho acadêmico monográfico, trazemos questões relativas a alguns equívocos que aparecem nos livros didáticos de Física do 3º ano do ensino médio, a respeito da interpretação inicial que foi dada ao fenômeno da interação eletromagnética descoberta por Oersted em 1820. Segundo Martins (1988), através de um estudo adequado de alguns episódios históricos que permite compreender as inter-relações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que essa experiência fundamental desencadeou uma série de pesquisas que levou a criação de um novo ramo da Física, relacionado à eletricidade e o magnetismo criando uma forte ligação entre fenômenos naturais aparentemente distintos.

Ainda nesse trabalho será realizada uma reflexão sobre a análise simétrica da experiência de Oersted que traz uma discussão sobre as dificuldades encontradas para se alcançar o fenômeno e o quanto esse estudo sobre simetria é importante para descrever fenômenos Físicos. De acordo com Silva (2006), na experiência foi encontrada uma aparente quebra de simetria, pois ao posicionar a bússola perpendicularmente ao fio que conduzia a corrente elétrica nada acontecia, e quando se colocava a bússola paralelamente ao fio, ela sofria uma deflexão. Esse efeito não era esperado pelos cientistas da época, já que para que um fenômeno físico ocorra deve existir alguma assimetria no sistema analisado e não o contrário. Nenhum fenômeno similar era conhecido até a descoberta de Oersted, onde uma força circular era ao mesmo tempo imprevista e inexplicável. Martins (1988) mostra a estranha simetria do fenômeno descoberto por Oersted parecia indicar que a eletricidade e o magnetismo, embora inter-relacionados, possuíam estruturas muito diferentes. Qualquer teoria do eletromagnetismo teria que de alguma forma enfrentar esse fenômeno peculiar e ou reduzi-lo à ação resultante de forças centrais ou criar uma nova mecânica na qual, forças circulares teriam um papel permitido.

Conforme Rocha (2002), provavelmente o interesse da humanidade pelo magnetismo tenha começado há milhares de anos, quando o homem conheceu o poder dos ímãs sobre certos materiais. Desde então, vários novos

fenômenos foram descobertos, explicados e muitos se transformaram em equipamentos que tornaram nossa vida muito mais cômoda. Segundo Nussenzveig (2003), até o fim do século XVIII a eletricidade e o magnetismo eram pouco mais que curiosidades de laboratório, sem qualquer interconexão conhecida. Assim, como nos revela Martins (1986a), Foi durante no século XIX, que se descobriram os efeitos magnéticos das correntes. A busca de Oersted pela unificação de dois efeitos de naturezas distintas, elétricos e magnéticos, foi motivada pela escola filosófica Naturphilosophie. Isso resultou no revolucionário experimento da deflexão da agulha de uma bússola quando se aproximava um fio com corrente. De acordo com Assis; Chaib (2007), Apesar disso, a experiência de Oersted é considerada por alguns autores como uma descoberta inesperada, porque seu trabalho é descrito como algo casual e as principais interpretações do conflito elétrico foram dadas por Ampère, Faraday, Arago e pela dupla Biot e Savart. Ao contrário do que se mostra em muitos livros didáticos atuais, Oersted não realizou seu experimento por acaso, mas já havia proposto seu efeito em 1812, quando realizou o distinto experimento da deflexão da agulha no ano de 1820.

Segundo Neves (1998), a História da Ciência é uma estratégia de ensino defendida por diversos pesquisadores, principalmente devido a seu caráter de desmistificador da Ciência como verdade absoluta, criando possibilidades para novas formulações. Percebe-se que a educação científica, em todos os níveis de ensino, tem se caracterizado por uma educação empobrecida, desprovida de historicidade. Diante desse cenário, é importante repensar o currículo, de forma que ele contemple uma formação científica em que o aluno perceba que: quando se estuda a História da Ciência e especificamente a da Física, nota-se que ela é fruto de um processo histórico, construído e sistematizado ao longo do tempo, marcado por muitas contradições e divergências de pensamentos.

O presente trabalho acadêmico é composto de oito capítulos. No segundo capítulo, relata-se o início dos estudos da eletricidade e magnetismo, até o descobrimento da relação entre ambos. São citados trabalhos de Pierre de Maricourt, G. Cardano, Willian Gilbert, Luigi Galvani, Alessandro Volta e algumas das figuras de renome da ciência do século passado. No terceiro

capítulo, é realizado um levantamento sobre a origem e fonte de conhecimento de Oersted. No quarto capítulo, são relatados os primeiros indícios da relação entre a eletricidade e o magnetismo. No quinto capítulo, os pilares que fundamentam a experiência de Oersted, de acordo com as palavras de Oersted, em seu livro de 1812, as experiências comprovavam que com a passagem de uma corrente galvânica em fios finos eles poderiam produzir luz e calor, e esse “conflito elétrico” apresentado por Oersted era uma explicação plausível para tal fenômeno. No sexto capítulo, a unificação entre a eletricidade e o magnetismo, um estudo de Pierre Curie (Vetores polares e Axiais), os primeiros trabalhos importantes, Magnetismo induzido (Oersted) Ampère e a divulgação dos resultados de Oersted (explicado por Faraday). No sétimo capítulo, a análise dos livros didáticos. No oitavo capítulo, a conclusão.

1.1 Motivação e Objetivo

Um dos motivos que proporcionaram este trabalho é investigar a importância que os autores de livros didáticos relatam sobre experiência feita por Oersted. Essa análise contribui para o esclarecimento conceitual de alguns livros didáticos do 3º ano do ensino médio, através de um levantamento Histórico criando uma fundamentação teórica. Neste contexto será mostrado como compreender o processo histórico, filosófico e simétrico sobre a descoberta do Eletromagnetismo através de uma metodologia histórico-científica enriquecendo as aulas e trazendo uma compreensão mais próxima da realidade científica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Uma análise cronológica sobre o estudo do magnetismo e da eletricidade

Segundo Rocha (2002, p. 202), foi na Grécia antiga que se falou pela primeira vez sobre o *magnetismo*. Segundo a crença, tudo teve um início quando um pastor de ovelhas que se chamava Magnes notou que a ponta de seu cajado foi atraída por uma pedra que estava em seu caminho. A região grega onde Magnes teria vivido passou a se chamar Magnésia em sua homenagem, da mesma maneira nomearam a pedra de magnetita. Esta é uma das versões de Plínio, o antigo (23-79 d.C.), entretanto o nome magnetita (Fe_2O_4) é dado ao minério que tem propriedades para atrair ferro e seus compostos, provavelmente atribuiu-se o nome pelo motivo de ter sido descoberta na região da Grécia, chamada de magnésia que fica nas proximidades da costa grega banhada pelo Mar Egeu, na Tessália (Fig. 1).



Figura 1 - Mostra região da magnésia Fonte: (Imagem extraída de <http://maps.pickatrail.com/europe/greece/magnesia.html> em 09/03/2017 às 18h51min.)

Para Rocha (2002), também existe outra versão sobre o termo magnetismo e que o nome está ligado a uma localidade da Ásia menor, cujas pedras teriam sido encontradas, nesse mesmo período já se conhecia as propriedades do âmbar de atrair pequenos corpos leves ao seu redor. No entanto foram os chineses que construíram as primeiras bússolas as quais não tinham agulhas. Eram feitas de com um prato de formato quadrangular e um objeto em forma de uma concha para indicar a direção. O prato era feito de bronze, sua base era quadrada e representava a terra, seu centro era um círculo que representava o céu. A concha era constituída por uma pedra imantada que continham inscritos em sua base símbolos os quais registravam oito pontos: norte, sul, leste, oeste, nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste. O cabo da concha apontava para o sul (Fig. 2). Para se tornar mais eficiente e viabilizar as grandes navegações do século XV, a bússola sofreu várias modificações como um invólucro para proteção, uma agulha leve e um eixo para facilitar a rotação. Então a bússola é uma agulha magnetizada permanente, colocada na horizontal com seu centro de gravidade suspenso por um fio para que possa girar livremente, e que possa orientar-se próximo a direção norte-sul geográfico.



Figura 2 - Mostra a primeira bússola chinesa Si Nan (Séc. I a.C.)

(Imagem extraída de <http://origemdascosas.com/a-origem-da-bussola/> em 09/11/2017 às 18h20min.)

Segundo Rocha (2002), durante a era medieval, um dos maiores conhecedores das propriedades do imã natural foi Pierre de Maricourt (Petrus Peregrinus), francês e militar responsável também pela denominação de *polos* do magneto, fez várias observações entre eles notou que os polos de um imã não podiam existir separadamente (monopolos magnéticos). Cortando-se um imã ao meio, surgiu um novo imã, ainda que menor continua tendo dois polos, que por sua vez podem ser divididas em outras partes (Fig. 3). Esse processo pode ser repetido várias vezes até que se chegue na molécula ou átomo do material que constituído. Muitos pesquisadores observaram, qualquer que seja a forma do imã sempre existirá dois polos, polo norte e o polo sul, os polos iguais se repelem e os opostos se atraem, nesses polos a força do imã é mais intensa.

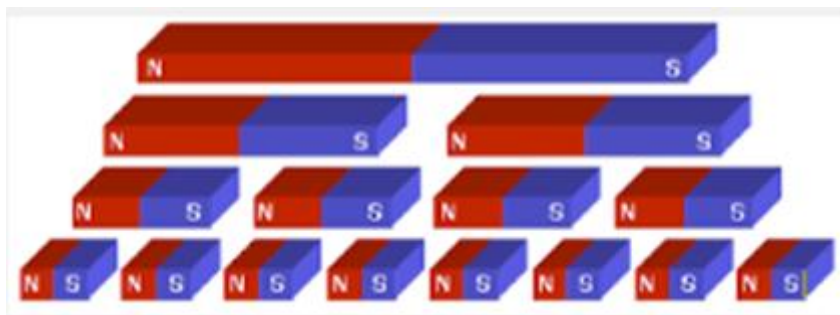


Figura 3 - Quando um ímã for dividido, originam-se dois pólos magnéticos em cada uma das partes. Fonte: (Imagem extraída de <http://professordiminoi.comunidades.net/magnetismo> em 06/09/2017 às 20h20min.)

Até o século XVI, foi uma época onde houve pouca evolução registrada sobre os fenômenos elétricos (eletrostáticos) e magnéticos (magnetostáticos), entretanto matemático italiano G. Cardano o qual começou sua pesquisa acreditando nas propriedades medicinais do âmbar, acumulou um amplo conhecimento sobre tal matéria. Durante o ano de 1550, podendo então determinar as diferenças entre as propriedades do âmbar e as do ímã.

William Gilbert é visto como o primeiro grande físico britânico, foi morar em Londres aproximadamente em 1570, estudou medicina na Universidade de Cambridge por isso foi nomeado médico da rainha Elizabeth I. Tinha uma forma teórica muito parecida com a dos estudiosos antigos e medievais, apesar de ter causado uma grande transformação científica na época. Também foi um dos primeiros a destacar os benefícios da experimentação na ciência.

Segundo os pesquisadores Rocha (2002); Assis e Chaib (2007), em 1600, publicou um livro *De Magnete* que falava das diferenças entre os efeitos do âmbar e do ímã (nunca citou os trabalhos de Cardano, ainda que muito semelhante), ele reuniu vários trabalhos importantes sobre os fenômenos magnéticos e elétricos e cita várias observações originais sobre os mesmos. Ele acreditava que as propriedades magnéticas do ímã alteravam a região ao seu redor, apesar de serem impalpáveis, e quando colocavam um ferro dentro desse espaço surgia uma atração muito perceptível. Os ímãs criavam uma “esfera de influência” em sua volta. Como não adotava a teoria do eflúvio para explicar o fenômeno de atração, sua teoria se aproximava da idéia de campo. Tentando revelar que as propriedades magnéticas e as de corpos eletrizados

são diferentes (contudo ambos exercerem atração), ele observava que os materiais de natureza elétrica “barrados” pela umidade do ar ou pela água, enquanto o imã e o ferro não sofriam com isso. Sua maior contribuição foi perceber que a terra funcionava como um grande imã gigante e a agulha de uma bússola apontava sempre na direção dos polos geográficos, notou isso através de suas experiências com imã esférico, contudo contribuiu para grandes navegações naquele período como as de Cristóvão Colombo e Pedro Álvares Cabral (Fig. 4).

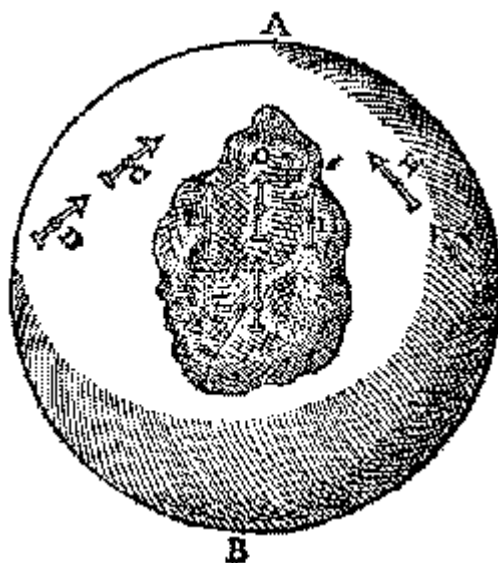


Figura 4 – Gilbert mostrando que a terra funcionava como um grande ímã gigante. (Imagem extraída de <https://ebooks.adelaide.edu.au/g/gilbert/william/on-the-magnet/book> em 15/09/2017 às 22h30min.)

De acordo com Martins (1986a), durante 200 anos seguintes, não houve evolução significativa na compreensão do magnetismo. No entanto, dois acontecimentos mudaram completamente todo o cenário. Começando pela *pilha eletroquímica* (pilha de volta), a partir das análises de Luigi Galvani e de Alessandro Volta, a qual é capaz de produzir corrente elétrica contínua; e o outro acontecimento foi a descoberta de Oersted que usou a “pilha de volta” no seu experimento. Inclusive neste período Oersted já ensinava Eletricidade (eletrostática), Galvanismo (efeitos produzidos pela corrente contínua da bateria) e o Magnetismo (antiga ciência dos ímãs, das agulhas magnéticas e do magnetismo terrestre) na Universidade de Copenhague. Galvani era professor de anatomia e ginecologia na Universidade de Bolonha, na Itália, por conta de

sua formação fez experiências com rãs, fazendo aplicações com eletricidade estática. Depois de inúmeros experimentos realizados por Galvani, entre 1780 a 1790, foi o começo de uma descoberta a qual dizem que foi sorte. No ano de 1780, Galvani dissecou uma rã e a deixou próximo a máquina de eletricidade estática, um de seus pupilos tocou, casualmente, a ponta do bisturi nos nervos internos da coxa da rã, no momento em que a máquina estática emitia centelhas (Fig. 5). A partir do acontecimento Galvani repetiu o experimento e escreveu por diversas vezes. A respeito, Rocha (2002) afirma que:

Eu dissecava uma rã e a preparava como indica a figura nº. 2 desta memória. Depois, propondo-me a fazer outra coisa, coloquei-a sobre a mesa em que se encontrava uma máquina elétrica. A rã não estava de nenhum modo em contato com o condutor da máquina; estava até afastada a uma distância muito grande. Um dos meus ajudantes aproximou, casualmente, a ponta de um bisturi dos nervos cruciais internos, tocou-a ligeiramente e, em seguida, os músculos dos membros inferiores se contraíram como se houvessem experimentado, de repente, convulsões tetânicas violentas. Contudo, uma pessoa presente às experiências acreditou observar que o fenômeno se produzia só quando saltava uma centelha do condutor da máquina elétrica. Maravilhado pelo fato novo me comunicou em seguida. Estava então ocupado com outras coisas, porém, para investigação desta ordem, meu zelo não tem limites e quis repetir o experimento por mim mesmo e explicá-lo. Aproximei a ponta do meu bisturi de cada um dos nervos cruciais, enquanto uma das pessoas presentes produziam centelhas de uma máquina. O fenômeno se produziu da mesma maneira (ROCHA, 2002, p.206)...

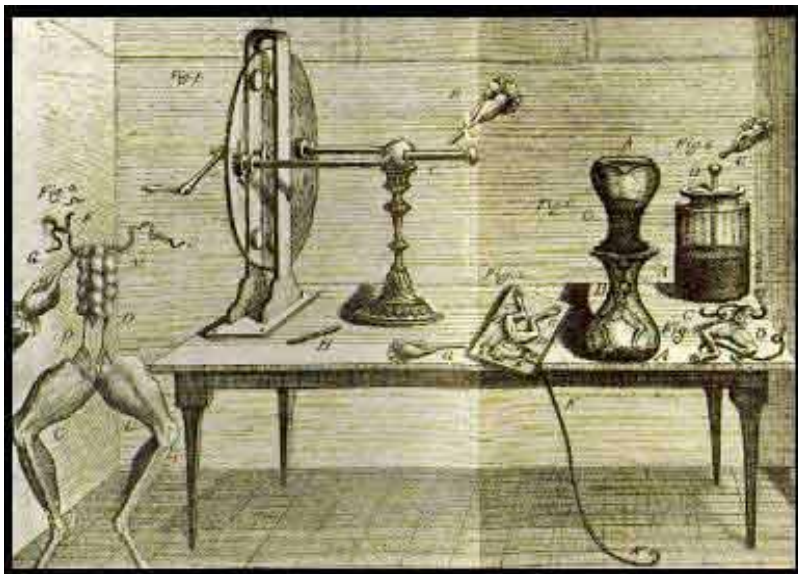


Figura 5- Máquina eletrostática (sobre a mesa, à esquerda) e outros equipamentos do laboratório de Galvani. Fonte: (Imagem extraída de <http://www.feiradeciencias.com.br/cientistas/galvani.asp> em 20/07/2017 às 22h37min.)

Segundo a definição concebida por Rocha (2002), Galvani não conseguiu entender o que estava acontecendo naquele instante, mas o que havia presenciado lhe motivou para fazer muitas outras experiências. Em 1786, ele tentou aumentar os efeitos produzidos pelo fenômeno, ao invés de centelhas, utilizou descargas elétricas que ocorrem durante as tempestades. Fixou as pernas da rã em um gancho de latão e as colocou sobre um corrimão que ficava distante de seu laboratório. Então, pôde observar que mesmo sem relâmpagos as pernas da rã se contraíam, quando entravam em contato com o metal da grade. Entretanto Galvani relacionou o fenômeno com “eletricidade animal” e não com o contato entre os metais e as pernas da rã.



Figura 6 – Experimento que ele denominou como eletricidade animal. Fonte: (Imagem extraída de www.awesomestories.com/asset/view/MEET-GALVANI-and-VOLTA em 11/11/2017 às 14h37min.)

De acordo com as precisas conclusões de Martins (1986), Não obstante, foi Volta quem conseguiu dar o verdadeiro significado a “eletricidade animal, através das experiências de Galvani e com suas observações ele viu que o fenômeno era exclusivamente inorgânico. Em meados de 1793, Alessandro Volta afirmava: “metais usados nas experiências, sendo aplicados aos corpos úmidos dos animais, podem por eles mesmos (...) excitar e desalojar o fluido elétrico (...)”. Volta demonstrou sua experiência com dois metais ligados entre si, dentro de uma solução de água e sal, exibindo que a corrente antes descrita por Galvani era a mesma, provando que o efeito era mesmo inorgânico. Ao empilhar discos de prata e zinco, intercalados por um papel ou tecido embebido em solução salina, Volta mostrou a primeira fonte de suprimento de corrente elétrica feita pelo homem, ou seja, a brilhante “pilha de Volta” (Fig. 7).

Em 18 de março de 1800, ele escreveu seu trabalho em francês e enviou para Royal Society, em Londres. A este respeito Rocha (2002) afirma que:

Sim! O aparelho de que falo e que, sem dúvida, vos surpreenderá, consiste apenas na montagem num certo número de bons condutores de diferentes tipos, dispostos de determinado modo. São necessárias 30, 40, 60 ou mais peças de cobre ou, melhor ainda, de prata, ficando

cada uma delas em contato com uma peça de latão ou, melhor ainda, com peças de zinco e um número igual de camadas de água ou outro líquido que seja melhor condutor que a água pura, nomeadamente a água salgada ou uma solução alcalina, ou então camadas de cartão, ou couro, bem impregnadas de um destes líquidos (ROCHA, 2002, P.)...

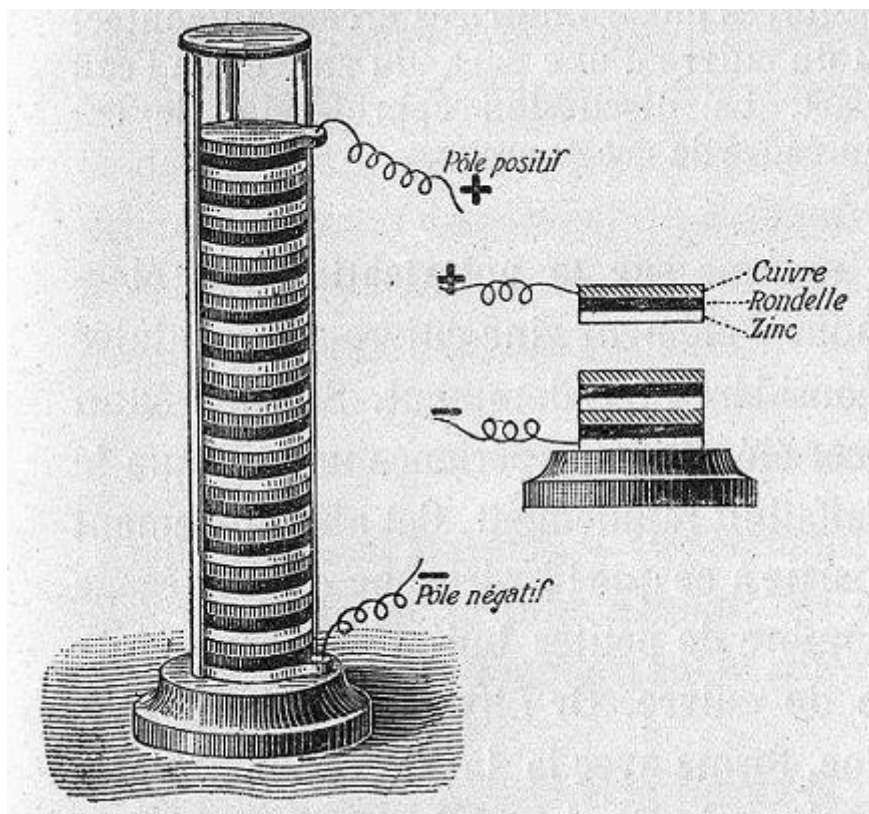


Figura 7- Pilha construída por Volta, apresentada no artigo de 1800. Fonte: (Imagem extraída de www.awesomestories.com/asset/view/MEET-GALVANI-and-VOLTA em 11/08/2017 às 23h07min.)

Uma das grandes vantagens da “pilha” voltaica, à qual Volta chamou de *bateria*, foi a capacidade de se gerar corrente elétrica mais ou menos constante durante um intervalo de tempo consideravelmente extenso. Oposta a garrafa de Leiden, a pilha não tinha a necessidade de se carregar toda vez que fosse utilizada. Esse período foi chamado de Galvanismo, pois tratava-se dos efeitos produzidos pela corrente elétrica, diferente de eletricidade, a qual referia-se sobre eletricidade estática. A pilha Voltaica é considerada como um grande passo para a aproximação entre a Física e a Química.

3 ORIGEM E FONTE DE CONHECIMENTO DE OERSTED



Figura 8 - Imagem de Hans Cristian Oesrted. Fonte: (Imagem extraída de http://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/Hans_Cristian em 02/04/2017 às 10h13min.)

Segundo Rocha (2002), Hans Cristian Oersted nasceu em Rudkobing, na Dinamarca, em 14 de março de 1777. Localizado na ilha de Langeland, existia um pequeno vilarejo com mais ou menos 1000 habitantes. Ele nasceu nesse meio isolado do resto da civilização e totalmente adverso à cultura e ao conhecimento. Mesmo diante de tanta dificuldade, ou seja, longe dos grandes centros de pesquisa científica, Oersted e um de seus irmãos (Anders Sandoc) conseguiram uma excelente formação básica. Seus pais precisavam trabalhar e colocavam os seus filhos aos cuidados dos vizinhos com quem aprenderam a ler e escrever em dinamarquês e alemão. Um antigo estudante de teologia, ensinou-lhes latim e grego; aprenderam francês e inglês com o delegado da região. Conseguiram ler todos os livros que estavam ao seu alcance, obtendo uma boa formação humanística, e aprenderam química e física com os livros de farmácia de seu pai.

Em busca de uma melhor formação, ingressou na Universidade de Copenhague aos 17 anos. Em 1795, recebeu um prêmio de Estética da

Universidade o qual se chamava “como a linguagem prosaica pode ser corrompida por sua proximidade a poética, e quais são as fronteiras entre as expressões poética e prosaica”. Nos dois anos seguintes, concluiu sua graduação em farmácia e nas suas avaliações finais, conseguiu os melhores resultados até então registrados da Universidade (feito também alcançado pelo irmão no curso de advocacia). Em 1799 concluiu seu doutorado em Filosofia defendendo a tese “Dissertatio de forma Metaphysices elementaris naturae externae”. Em que fazia uma descrição crítica das ideias de Kant a respeito da filosofia natural. Hans adquiriu um conhecimento diversificado (Literatura, Ciência e Filosofia) e na companhia de seu irmão, Anders Sandoc, o qual se tornou um grande jurista e ocupou o posto de primeiro ministro da Dinamarca, ambos estavam conectados aos meios políticos, científicos, e artísticos de Copenhague. Em 1800 resolveu trabalhar em uma farmácia tradicional (Farmácia de leão) de Copenhague. No decorrente ano, recebeu uma proposta de seu ex-professor (Manthey) para trabalhar como farmacêutico adjunto da Faculdade de Medicina. Naquela época os trabalhos de Volta já estavam sendo divulgados com muita abrangência, com isso motivou Oersted a fazer experiências relativas à pilha e a eletricidade. Logo depois, foi estudar no exterior (o “stipendium cappelianum”), que lhe proporcionou conhecer os grandes centros de estudos (Alemanha, França e Holanda) nos quais sempre manteve contato constante, também fez amizades com membros da “Naturphilosophie” germânica, como Shelling e Ritter. Nessa época publicou Berlin o livro: “Ideem zu einer neuen Architektonik der Naturmetaphysik” (1802). Em Paris, visitou o École Polytechnique onde foram criados os primeiros laboratórios físicos públicos do mundo, pois naquela época as pesquisas eram realizadas por conta própria, ou seja, dentro da residência dos cientistas.

Em 1804, Oersted voltou à Dinamarca e começou a ensinar física na Universidade, onde se tornou professor extraordinário em 1806, e professor ordinário em 1817. Fez várias pesquisas sobre figuras acústicas (linhas nodais em corpos vibrantes), as quais lhe ajudaram muito a ganhar a eleição para Academia de Ciências de Copenhague. Em 1809, isolou o alcaloide ativo da pimenta, ao qual daria (1820) o nome de “piperidina”. Como já tinha contato constante com os intelectuais do exterior, fez alguns trabalhos, inclusive um

livro (“Ansicht der chemischen Naturgesetze, durch die neueren Entdeckungen gewonnen” Berlin, 1812) o qual foi feito em uma versão modificada que foi publicada na França em 1813 (“Recherches sur l’identité des force chimiques et életriques”). Em seguida fez outro trabalho, relacionado à classificação dos elementos químicos, o qual mais uma vez foi bem recepcionado no exterior. Apesar de tantos trabalhos importantes, Oersted queria algo grandioso, no entanto seus esforços o levaram ao cargo de Secretário Vitalício da Academia de Copenhagen, onde ele tinha acesso direto ao Rei e ainda conseguia manter contatos com os grandes cientistas do exterior. Em seguida, o Rei nomeou-o cavaleiro da Ordem de Danneborg.

4 OS PRIMEIROS INDÍCIOS DA RELAÇÃO ENTRE A ELETRICIDADE E O MAGNETISMO

Segundo Martins (1986); Souza Filho e Caluzi (2009), no início do século XVIII, registrou-se no Philosophical Transactions of the Royal Society de Londres que raios eram capazes de imantar ferro sem precisar tocá-los. Então os grandes cientistas daquela época iniciaram uma grande corrida para descobrir a relação entre o magnetismo e a eletricidade, pois queriam saber por que os raios produzidos por tempestades perturbavam as bússolas ao ponto de inverter sua polaridade. Quando descobriram que raios eram fenômenos de descarga elétrica, os estudos sobre a relação entre eletricidade e o magnetismo ganhou uma direção. Em 1750, orientado por esses estudos, Franklin foi capaz de magnetizar agulhas de costura através de descargas elétricas de garrafa de Leyden. Os mesmos efeitos foram obtidos por Wilke, Beccaria, Van-Swinden e Van-Marun. Os resultados experimentais semelhantes pareciam um bom sinal sobre a eletricidade e o magnetismo, mas Franklin não via tudo isso com muita clareza, portanto fez uma análise detalhada através de uma carta que enviou a Peter Collinson, datada em 27 de julho de 1750, e enviada de Philadelphia. Além disso, é importante constatar que:

“Pela eletricidade, frequentemente demos polaridade a agulhas, e as invertemos, à vontade (aqui na Philadelphia). O Sr. Wilson, de Londres, tentou fazê-lo com massas demasiado grandes, e com

força [elétrica] muito pequeno [e por isso não obteve sucesso]. Uma descarga elétrica de quatro grandes jarras de vidro [garrafas de Leyden] enviada através de uma agulha de costura fina, dá-lhe polaridade, e ela gira quando colocada sobre a água. Se a agulha, ao ser atingida, estiver em uma direção leste-oeste, a extremidade penetrada pela descarga elétrica apontará para o norte. Se ela estiver apontando na direção norte-sul, a extremidade que estava apontando para o norte continuará a indicar o norte quando colocada na água, tenha o fogo penetrado por esse extremo, ou pela extremidade contrária. “A polaridade é mais forte quando a agulha é atingida estando na direção norte-sul; é mais fraca, na direção leste-oeste. Talvez, se a força fosse ainda maior, a extremidade sul, penetrada pelo fogo (quando a agulha estivesse norte-sul) poderia tornar-se o norte; de outra forma, seria problemático explicar a inversão das bússolas pelos raios” (MARTINS, 1986a p.92).

Em dezembro de 1751, Kinnersley na tentativa de reproduzir as experiências de Franklin, só conseguiu imantar as agulhas na direção norte-sul. Algum tempo depois, em uma carta enviada a James Bowdoin, datada em 02 de março de 1752, Franklin corrigiu seu erro, afirmando que a polaridade colocada nas agulhas sempre dependia da posição inicial. Ele propõe que o efeito dos raios parece ser diferente do produzido pela eletricidade, nesse sentido.

Então, observou-se que a descarga elétrica não era causa direta da imantação das agulhas, nesse caso. O que realmente magnetizava as agulhas era o campo magnético terrestre. A descarga elétrica apenas ajudava o processo, como também ocorria quando as agulhas eram aquecidas através de chamas, ou ao martelá-las fortemente, posicionando-as no sentido norte-sul. Em todos os casos a agulha sempre ficava imantada. Diante de todos esses resultados, Franklin aceitou os estudos feitos por Aepinus (de São Petersburgo), o qual atribuiu o efeito ao aquecimento produzido pelas descargas. Então em 10 de março de 1773, Franklin escreveu uma carta para D'Arbois de la Jubourg onde discutia a relação entre eletricidade e magnetismo. Nesse sentido é importante constatar que:

“Em relação ao magnetismo, que parece ser produzido pela eletricidade, minha opinião real é que esses dois poderes da natureza não possuem afinidade mútua, e que a aparente produção do

magnetismo [pelas descargas elétricas] é puramente acidental”
(MARTINS, 1986a, p.93)

Então era essa a relação mais próxima entre a eletricidade e o magnetismo. No início do século XIX, os físicos esclarecidos daquela época acreditavam que existia a tal relação, pois eles eram guiados pela suposição sobre as semelhanças entre as simetrias dos fenômenos elétricos e magnéticos.

Nesse período, era normal fazer uma comparação entre os polos norte e sul de um ímã com cargas elétricas positivas e negativas: polos e cargas iguais se repelem, e polos e cargas diferentes se atraem, com forças inversamente proporcionais ao quadrado da distância, como havia sido demonstrado (nos dois casos) por Coulomb, em 1795 (COULOMB, *Mémoire*). Isso levava a assimilar um ímã a um dipolo elétrico, e a procurar-se não só interações entre os mesmos, mas também gerar com um deles os efeitos produzidos pelo outro.

Por volta de 1805, Hatchett e Desormes tentando verificar se uma pilha voltaica, com circuito aberto, era capaz de girar livremente guiado pelo magnetismo terrestre, como uma bússola. Não tiveram êxito com pilhas pequenas, em seguida montaram uma sequência com 1480 placas de cobre e zinco, e colocaram o conjunto em um pequeno bote, mesmo assim não foi possível observar qualquer efeito. Então surgiram outras tentativas de se produzir interações entre polos magnéticos e cargas elétricas em momentos diversos também não tiveram êxito. Depois de tanta frustração, as atenções ficaram direcionadas para Ritter que defendia os efeitos “magnético-químicos” análogos à eletrólise. Esse momento fez com que Oersted tomasse nota tudo que estava acontecendo, talvez até influenciado suas descobertas.

“As primeiras experiências de Ritter sobre ação do ímã foram feitas com rãs. Ele descobriu que um fio de ferro imantado, combinado com outro não imantado, produziam uma palpitação galvânica nesses animais. Notou que o pólo sul produzia palpitações mais fortes do que o ferro não imantado... Ritter colocou um fio de ferro imantado sobre pedaços de vidro, em um prato de porcelana; derramou aí ácido nítrico diluído: o pólo sul foi mais fortemente atacado do que o norte, e ficou assim mais rapidamente envolto por um depósito de óxido.”Mostra-se igualmente a diferente oxidação dos dois polos

magnéticos tomando três pequenos frascos cheios de água pura ou ligeiramente acidulada; coloca-se em um dos frascos a extremidade sul de um fio de ferro imantado, em outro o polo norte de um fio semelhante, e no terceiro um fio de ferro não imantado: o óxido começa a se formar primeiro sobre o polo sul; um pouco depois ele é percebido sobre o ferro não imantado; a oxidação do polo norte ocorre sensivelmente mais tarde. Essa experiência exige muito cuidado. É preciso cobrir a superfície de água com óleo bem fresco de amêndoas, para impedir a entrada de ar. Deve-se também tomar cuidado para não expor um dos frascos mais à luz solar do que os outros, pois a luz acelera a oxidação...“Se na experiência precedente, substituir-se a água por tintura de tornassol, nos três frascos, as oxidações relativas embora pareçam as mesmas, são acompanhadas por uma mudança de cor que mostra que há uma produção de ácido, proporcional a cada oxidação...”(MARTINS, 1986a, p. 94).

As experiências apresentadas por Ritter foram consideradas instáveis e sutis, e não dependiam da intensidade de magnetização do fio de ferro. Depois que as experiências foram divulgadas, as mesmas foram consideradas um mero episódio singular e inexplicável. Mesmo depois da descoberta do eletromagnetismo alguns cientistas tentaram reproduzir as experiências de Ritter, em alguns casos foi um sucesso. Pouco depois os resultados positivos foram desmentidos. Também Hansteen e Muschman aparentemente observaram os efeitos químicos do campo magnético terrestre, notando que a precipitação da prata, em solução de ácido nítrico, na presença de mercúrio metálico, era muito mais rápida e intensa no ramo norte de um tubo em forma de V. Os pesquisadores falaram que esses experimentos foram realizados em 1817 e 1818, havendo comunicado seus resultados a Oersted através de carta. Era comum naquela época atrelar a eletricidade e o magnetismo através de fenômenos químicos afetados pela eletricidade, Oersted estava consciente de todo esse estudo como também sabia que era fundamental para sua descoberta.

5 OS PILARES QUE FUNDAMENTAM A EXPERIENCIA DE OERSTED

Conforme demonstra o estudo de Martins (1986), além de sua formação científica e os estudos da época, Oersted também tinha suas convicções filosóficas e acreditava na unidade das forças naturais. Guiando-se pela corrente “Naturphilosophie” Oersted acreditava que o universo era um todo orgânico, como um ser vivo, e dotado de uma alma ativa, criadora de uma força natural (esta concepção ele carregou por toda sua vida, como mostra o livro que escreveu que se chamava *Aanden i naturen - A alma na natureza*, como um epílogo de toda sua obra intelectual). Essa diretriz metafísica conduziu Oersted em uma idéia de unidade íntima entre eletricidade, calor, magnetismo e luz, muito antes de qualquer descoberta experimental nova, e algumas décadas antes da formulação da primeira lei da termodinâmica. Oersted escreveu em um artigo que foi enviado para a Enciclopédia de Edinburgh.

“O eletromagnetismo foi descoberto no ano de 1820 pelo professor Hans Cristian Oersted, da Universidade de Copenhagen. Durante toda sua carreira como escritor ele aderiu a opinião que os efeitos magnéticos são produzidos pelos mesmos poderes que os elétricos. Ele não foi levado a isso pelas razões comumente alegadas a favor dessa opinião, mas por um princípio filosófico, o de que todos esses fenômenos são produzidos pelo mesmo poder original. Em um tratado sobre as leis químicas da natureza, publicado na Alemanha em 1812, com o título *Ansichten der chemischen Naturgesetze*, e traduzido para o francês com o título *Recherches sur l'indépendance des forces électriques et chimiques* em 1813, ele procurou estabelecer uma teoria química geral, em harmonia com este princípio. Nesse trabalho, ele provou que não apenas as afinidades químicas, mas também o calor e a luz, são produzidos pelos mesmos dois poderes, que provavelmente seria apenas duas formas diferentes de um poder primordial. Ele também afirmou que os efeitos magnéticos eram originados dos mesmos poderes; mas ele estava bem consciente de que a razão alegada a favor disso era a parte menos satisfatória de toda a obra. Suas pesquisas sobre esse assunto foram infrutíferas, até o ano de 1820.”(MARTINS 1986a, p.95)

Além disso, ainda de acordo com a análise de Martins (1986), Prechtl assim como Oersted acreditavam que o magnetismo era um efeito

derivado da eletricidade.

“Todos os efeitos da natureza se dividem em efeitos atrativos e efeitos químicos da eletricidade. À primeira categoria pertence ao fenômeno de coesão, cristalização, fenômenos elétricos costumeiros, os fenômenos gerais de atração, da gravidade e do magnetismo; à segunda categoria pertencem todas as transformações estudadas pela química; e assim, o estudo do magnetismo e da química são dois ramos principais da ciência geral da eletricidade.” (MARTINS, 1986, p.95).

Tanto Oersted como Prechtl não podiam explicar tais fenômenos através do senso comum, tornado a pesquisa de Oersted ainda mais científica. Oersted ao contrário dos outros estudiosos concentrava sua atenção na corrente elétrica e os outros na eletrostática. Em contrapartida, através das descargas ou correntes elétricas que se observavam os efeitos químicos, caloríficos e luminosos da eletricidade.

De acordo com as conclusões de Martins (1986), no início do século XIX, surgem duas vertentes de pensamento, os que defendiam o fluido elétrico único e os que defendiam dois fluidos elétricos. Oersted acreditava na teoria de dois fluidos elétricos, isso levava a crer que a corrente galvânica transportaria, em sentidos opostos, no mesmo fio, cargas elétricas negativas e positivas. Os movimentos opostos de dois fluidos elétricos pelo mesmo fio criariam um tipo de conflito entre as eletricidades, e ao invés de um fluxo contínuo de eletricidade surgiria um movimento de interrupções e restabelecimentos do equilíbrio manifestando-se e difundindo-se através do espaço de modo “ondulatório”. Em cada segmento do fio condutor, existiriam sucessivas separações e reuniões de cargas elétricas opostas, isto é, uma contínua ruptura e restabelecimento do equilíbrio elétrico.

Em 1812, Oersted escreveu um livro que falava que a eletricidade se propaga “por um tipo de contínua decomposição e recomposição, ou melhor, por uma ação que perturba o equilíbrio em cada momento, e o restabelece no instante seguinte. A ideia que prevalecia naquela época, era de que a eletricidade se propagava de modo ondulatório” (MARTINS 1986a, p.96).

Como relata Martins (1986), partindo do pressuposto de que na

natureza haveria um eterno conflito de forças, Oersted aceitava essa concepção e utilizava sua ideia do conflito elétrico, isto é, quando uma corrente elétrica percorre um fio fino o conflito é ainda maior, e suas oscilações seriam responsáveis pelo surgimento da luz, do calor e também do magnetismo. Apesar de parecer diferente das teorias atuais, vários outros cientistas contemporâneos a ele tentaram explicar tal fenômeno. Tanto que Prechtl a retrata, ligando-a ao prestígio de Oersted, e ele abraçou-a na íntegra. Em seguida, Ampère talvez influenciado por Oersted não só aceita como também compartilha de tal teoria: definindo que o galvanismo é o estudo dos efeitos produzidos por corrente elétrica.

“...em uma dupla corrente de eletricidade negativa e positiva ao longo de um circuito continuo de corpos condutores. Concebe-se, portanto, na teoria ordinária da eletricidade, que dois fluidos que a compõe se separam incessantemente um do outro em uma parte do circuito, e são levados rapidamente em sentidos contrários a uma outra parte do mesmo circuito, onde se reúnem continuamente (MARTINS, 1986a, p.96).

“...os dois fluidos elétricos atravessam o condutor em direções opostas por meio de uma série de decomposições e recombinações quase instantâneas: um movimento admitido desde Volta por todos os físicos que adotam a teoria dada por este ilustre sábio... (MARTINS, 1986a, p.96).

De acordo com os estudos de Martins (1986), nessa época não se conseguia imantar as agulhas de aço através da corrente de uma pilha voltaica, a maioria dos cientistas acreditava que existia uma diferença quantitativa de descargas elétricas de garrafa de Leyden e a corrente galvânica. Oersted sempre direcionou o magnetismo ao “conflito elétrico”. Este conflito se baseava em duas hipóteses: uma era transformar um fio em um polo magnético e a outra era que uma corrente elétrica percorrendo um fio se aproxime de uma agulha imantada. Antes de chegar na descoberta, Oersted tentou aplicar suas ideias de várias maneiras, entre elas:

1ª) Colocar um fio condutor acima de uma agulha magnetizada móvel (bússola), perpendicular a ela, em um plano horizontal, examinando se a agulha seria deslocada da sua posição ao passar-se uma corrente pelo fio; esperar-se-ia neste caso que a agulha girasse para um lado ou para outro, de

acordo com o sentido da corrente, tendendo a tornar-se paralela ao fio (fig.9a);

2ª) Colocar um fio condutor vertical, próximo a uma das extremidades de uma agulha magnética, e observar se o pólo magnético seria atraído ou repellido pelo fio, quando passasse uma corrente por ele (fig.9b)

Oersted naquele momento não conseguiu ter êxito, pois ambos experimentos não estavam corretos, no primeiro experimento, como o fio estava acima da agulha, seus pólos somente poderiam sofrer uma pequena deflexão na vertical, impossibilitando-a de girar na horizontal. No segundo instante, de acordo com a posição do fio, aparecerá uma pequena componente de força tentando fazer a agulha girar na horizontal.

6 A UNIFICAÇÃO ENTRE A ELETRICIDADE E O MAGNETISMO

De acordo com Rocha (2002), na Universidade de Copenhagen no inverno de 1819 a 1820, Oersted ministrava uma aula como tantas outras, onde ele defendia a teoria de unidade de todas as forças da natureza, tratando a possível relação entre a eletricidade e o magnetismo como casos particulares da sua teoria, porém suas ideias não estavam ligadas a comprovação experimental, pois suas apresentações eram feitas através de ilustrações da não observabilidade da teoria defendida. Hansteen estava presente naquele evento tomou nota e enviou uma carta para Faraday, na qual relatava que durante uma aula noturna, no início de abril de 1820, quando Oersted questionava seu trabalho na conferência, fez a descoberta, tornando esta versão a mais conhecida pelos historiadores.

“Oersted sempre colocou o fio condutor de sua pilha em um ângulo reto sobre a agulha magnética, sem notar movimentos perceptíveis. Uma vez, após sua aula, em que empregara uma forte pilha para outras experiências, disse-nos: “Experimentemos colocar o fio paralelamente à agulha”. Fazendo isto, ficou perplexo ao ver a agulha oscilar com força (quase em ângulo reto com meridiano magnético). “Invertamos – disse depois - a direção da corrente”. E então a agulha se desviou na direção contrária. Deste modo foi feita a grande descoberta. Há razão em dizer-se que tropeçou com a sua descoberta por acaso. Assim como os outros, não teve idéia alguma de que a força não poderia ser transversal” (ROCHA, 2002, p.).

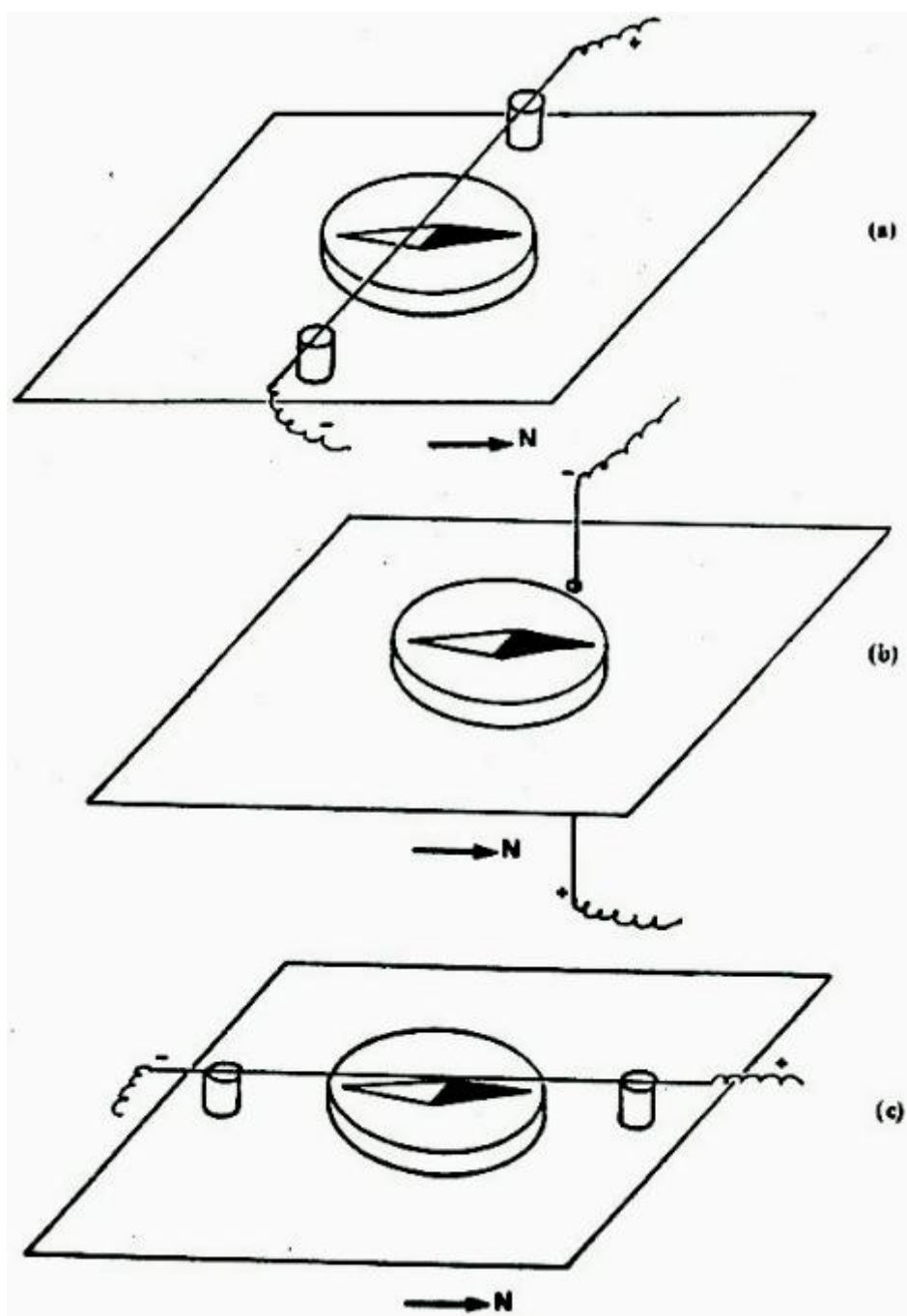


Figura 9 – Fazendo uma análise do período em que Oersted viveu, acreditava-se que quando uma corrente elétrica percorresse um fio condutor e este fosse colocado perpendicular à agulha de uma bússola na direção Leste-Oeste, a expectativa era de que os polos magnéticos se movessem para ficarem paralelos ao fio na direção oposta (a), a segunda hipótese seria quando o condutor fosse colocado na lateral de um dos polos magnéticos, formando um ângulo reto de acordo com o plano apresentado (b). A rotação da agulha só foi observada, quando o fio foi colocado paralelo aos polos (c). Fonte: (Imagem extraída de https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3384518/mod_resource/content/2/SEMINÁRIO%20-%20OERSTED%/ em 07/04/2017 às 10h13min.)

A partir dessa carta que Hansteen escreveu para Faraday vários livros adotaram como a verdadeira sua versão da unificação entre os fenômenos, seguindo tal carta, alguns livros serão citados no presente estudo:

Quando uma corrente elétrica percorre um fio condutor cria um campo magnético de capaz causar uma deflexão em uma agulha imantada, conforme visto (fig.9c).

Nas primeiras experiências de Oersted, o condutor era colocado perpendicularmente sobre a agulha magnetizada na direção Leste-Oeste; de acordo com essa formação ele pretendia que a agulha girasse no sentido oposto até ficar na direção paralela ao fio, porém nenhum movimento foi visto. Entretanto, quando o fio condutor e colocado acima da agulha, na direção norte-sul, os pólos da agulha giram.

No entanto esta versão não condiz com o com um artigo que Oersted escreveu sobre termo-eletricidade, publicado na enciclopédia de Edinburgh apenas 7(sete) anos após sua descoberta. Martins (1986) nos relata onde a descrição da aula onde o efeito eletromagnético foi observado:

“no inverno de 1819 – 1820, ele (Oersted) apresentou um curso de conferência sobre eletricidade, galvanismo e eletromagnetismo, diante de uma audiência previamente familiarizada com os princípios da filosofia natural. Ao preparar a conferência na qual versaria sobre a analogia entre o Magnetismo e a eletricidade, isso não poderia ocorrer na direção da corrente, pois tal havia sido frequentemente tentado em vão; mas que deveria ser produzido por uma ação lateral...

“Assim como os efeitos luminosos e caloríficos da corrente elétrica saem de um condutor em todas as direções, quando este transmite uma grande quantidade de eletricidade; assim, imaginou ser possível que o efeito magnético se irradiasse de forma semelhante. As observações registradas acima, de efeitos magnéticos produzidos por raios em agulhas que não foram diretamente atingidas, confirmaram-no em sua opinião. Ele estava longe de esperar um grande efeito magnético da pilha galvânica; supôs que poderia ser exigido um poder suficiente para tornar incandescente o fio condutor.

“o plano da primeira experiência consistia em fazer a corrente de um pequeno aparelho galvânico de frascos, comumente usado em suas conferencias, passar através de um fio de platina muito fino, colocado sobre uma bússola coberta com vidro. A experiência foi preparada, mas como acidentalmente ele foi impedido de ensaiá-la antes da aula, planejou adiá-la para outra oportunidade; no entanto, durante a conferência, pareceu-lhe mais forte a probabilidade de seu sucesso, e

assim realizou a primeira experiência na presença da audiência. A agulha magnética, embora fechada em uma caixa, foi perturbada; como o efeito era muito fraco, e deveria parecer muito irregular, antes da descoberta de sua lei, a experiência não impressionou fortemente o público. Pode parecer estranho que o descobridor não tenha realizado mais experiência sobre o assunto durante três meses; ele próprio acha difícil concebê-lo; mas pode ter sido levado a postergar suas pesquisas até uma época mais conveniente, pela extrema fraqueza e aparente confusão dos fenômenos na primeira experiência, pela lembrança de numerosos erros cometidos nesse assunto por filósofos anteriores (particularmente seu amigo Ritter) e porque tal assunto tem de ser tratado com atenção e cuidado.

“No mês de julho de 1820, ele novamente retornou a experiência, utilizando um aparelho galvânico muito poderoso. O sucesso agora foi evidente, embora os efeitos fossem ainda fracos nas primeiras repetições do experimento, pois empregou apenas fios muito finos, supondo que o efeito magnético não ocorreria quando a corrente galvânica não produzisse calor e luz; mas logo descobriu que os condutores de um diâmetro maior proporcionam um maior efeito; e então descobriu, por experiências continuadas durante alguns dias, a lei fundamental do eletromagnetismo, a saber, que o efeito magnético da corrente elétrica tem um movimento circular em torno dela”(Martins, 1986a, p. 99).

Segundo Martins (1986), após comparar a carta de Hansteen com o artigo que Oersted escreveu, nota-se facilmente várias diferenças: (1º) Hansteen falou que Oersted usou uma pilha forte nas experiências preliminares, este fato ocorreu após três meses da sua primeira experiência; (2º) Hansteen disse que Oersted ficou perplexo ao ver a agulha oscilar com força, no entanto a agulha oscilou fracamente; (3º) não foi nas primeiras experiências, que Oersted conseguiu perceber os movimentos harmônicos, descritos por Hansteen (que quando invertemos a corrente, também invertemos o sentido da agulha); (4º) no artigo, Oersted não fala na posição que o fio condutor ocupava, porém Hansteen fala que antes ele colocava o fio em um ângulo reto com a agulha e depois colocou em paralelo com a mesma; (5º) a descoberta não aconteceu por acaso, percebe-se que Oersted viu as possibilidades aumentarem antes da sua primeira experiência, em seguida obteve sucesso.

Ao analisar o artigo que Oersted escreveu, antes da sua primeira apresentação, ele já falava que os efeitos magnéticos e elétricos não podiam estar na mesma direção da corrente, porém paralelos a ela. Para explicar esses efeitos magnéticos, ele fez uma analogia aos efeitos caloríficos e luminosos da corrente elétrica que se propagam do condutor quando este é submetido a uma grande quantidade de energia elétrica. Se ele imaginava o condutor como um pólo magnético longitudinal. Partindo deste princípio ele teria colocado o fio acima da agulha da bússola e o mesmo paralelo a agulha, contudo não era a melhor teoria para o experimento. Porém somente isso não era o suficiente para ele obter sucesso, tendo em vista que realizou experiências continuadas por alguns dias de diferentes maneiras: quando ele colocou a bússola dentro de uma caixa coberta por um vidro, era para ela não sofrer interferência externa (força do ar), pensando em ter uma melhor interação, ele deve ter colocado o fio sobre o vidro o qual estava acima da bússola, dessa forma teremos em um dos pólos da agulha uma atração e no outro uma repulsão, onde a agulha faz um pequeno movimento na direção vertical, que se torna quase imperceptível. No entanto o mais lógico seria colocar o fio em uma das laterais (do lado direito ou do lado esquerdo) da bússola, com isso ele esperava que a agulha fizesse um pequeno movimento horizontal, devido às forças de atração em um dos pólos e a de repulsão no outro, porém quando ele mudou o fio de lado o resultado não foi o mesmo.

A partir desses resultados, Oersted tinha muitas experiências para serem feitas e explicar o resultado de cada uma. Então ele começou pela teoria de que o fio condutor se tornou um polo magnético. Pensado dessa maneira um dos pólos da agulha seria atraído e o outro repelido. Se o fio for colocado do lado leste, e a agulha atraída no sentido horário, a mesma irá para o sentido anti-horário, se o fio for deslocado para o lado oeste, e para se obter um movimento na direção vertical bastava colocar o fio sobre a agulha. Contudo não era isso que se observava: qualquer uma das três posições citadas, a agulha se posicionaria para o mesmo lado. Portanto essa teoria não estaria correta. Agora supondo que o fio se tornaria um dipolo magnético longitudinal. Defendendo essa ideia ele teria as seguintes observações: se os pólos do fio estivessem contrários aos da agulha, esta seria atraída pelo condutor, estando

ele em qualquer posição, o que forçaria a agulha a sair do suporte – pelo visto tal efeito não era descrito. Agora se o fio fosse colocado de modo inverso (os pólos do fio e da agulha estivessem no mesmo sentido), os pólos da agulha tenderiam a se repelir. Se nesse mesmo momento, o fio fosse deslocado exatamente sobre a agulha, ela sofreria uma força contrária e proporcional nos seus extremos; e deslocando o fio para um dos lados, a agulha se deslocaria para um dos lados e vice e versa. Porém essas observações não tinham sido notadas. Ou seja, se ele colocasse o fio acima da agulha ou de qualquer um de seus lados, a agulha teria o mesmo movimento. Foi a partir desses resultados que Oersted começou a questionar as idéias defendidas por ele e seus antecessores.

Esse fenômeno era mais visível, quando o fio era colocado de lado da agulha, pareceria que o plano vertical que contivesse o fio e a agulha deveria ser o plano de simetria do sistema. Seguindo esse raciocínio, o mais esperado era que a agulha fizesse um movimento no plano vertical, porém não se esperava que acontecesse um movimento frequente, ordenado, sempre para o mesmo lado do plano, pois não haveria uma explicação plausível para que ela girasse em sentido de preferência ao outro. Desta maneira, os movimentos horizontais que a agulha realizava não poderiam ser explicados pela simetria, contudo eles aconteciam. Então se aproximava da hora em que Oersted iria explicar aquele fenômeno, pois somente relação entre a corrente e o ímã não era suficiente para ele entrar para história. Ele teria que definir as características do fenômeno, antes de anunciá-lo; a priori ele teria que explicar o tipo de simetria que era produzido por aquele evento. Com ajuda de alguns amigos, Oersted realizou vários experimentos e de todas as formas possíveis, usou também uma pilha voltaica mais potente. Em 1820, após todo o trabalho realizado, ele descobriu a conexão dos efeitos produzidos pela corrente elétrica sobre uma agulha magnetizada, em todas as direções e sentidos possíveis, e conseqüentemente elaborou os efeitos vistos.

Para discutir questões sobre a simetria dos fenômenos Físicos, neste trabalho tem um apêndice que analisa como o Físico francês Pierre Curie (1859-1906), no final do século XIX, aliou seus argumentos teóricos sobre as propriedades de simetria de grandezas Físicas com resultados experimentais,

tais como eletrólise e polarização da luz, para determinar as propriedades de simetria das grandezas eletromagnéticas. Através de uma análise geral, sem as limitações da época em que Oersted viveu, era muito difícil explicar a complexidade da experiência, pois na situação em que o efeito se manifestou, com o fio paralelo à agulha, na verdade o que se esperava era que o plano vertical que tinha o fio e a agulha seria o mais aceitável para aquele período. Assim sendo, com argumentos modernos de simetria explicados por Curie (maiores detalhes ver o Apêndice), fica mais claro entender a aparente quebra de simetria que ocorre no desvio de uma agulha imantada próxima a um fio percorrido por uma corrente.

Conforme Martins (1986); Rocha (2002), Oersted tinha total convicção da magnitude de sua experiência, por isso resolveu publicar seu trabalho em latim (por se tratar de uma língua mais universal), por esse motivo pretendia atingir toda comunidade científica o mais rápido possível, e para garantir exclusividade, sua obra foi feita em forma de folhetos (apenas quatro páginas), em seguida enviou-os a um grande número de cientistas famosos de vários países, editores de revistas científicas, sociedades científicas e culturais. Em seu artigo publicado em 1820 (Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética), Oersted fez um resumo com aproximadamente 60 séries bem detalhadas, ele teve a preocupação de apresentar o movimento da agulha imantada na presença de um fio condutor por onde circulava corrente elétrica, como um efeito novo sem qualquer ligação aos supostos efeitos eletrostáticos de atração ou repulsão. Nesse artigo ele também explica que a influência da corrente elétrica sobre a bússola não depende da natureza do fio condutor, pois este pode ser formado por vários fios ou fitas metálicas juntas e que a natureza do metal não altera o efeito, porém influi em sua magnitude. Também descreve que o efeito não é reduzido quando se coloca materiais isolantes ou condutores entre o fio e a agulha magnetizada; para que tal fenômeno ocorra a agulha tem que ser imantada; estudou o fio e a agulha de todas as maneiras possíveis, sempre direcionou seus experimentos de uma forma geral, contudo explicando suas diversas posições; e o aspecto mais importante do fenômeno, era quando ele falava que em torno do fio que conduz a corrente o “conflito elétrico” (a um efeito que se

manifestado no condutor e no espaço que o cerca) se manifesta sob a forma de dois turbilhões que circulam em torno do fio, em sentidos opostos. Portanto considerava que o conflito elétrico ao se tornar intenso não se mantinha no fio, ultrapassava esse limite, ocupando, então, todo o espaço, fazendo com que outros efeitos que não elétricos fossem percebidos.

6.1 Primeiros trabalhos importantes

De acordo com Martins (1986), o impacto da descoberta na comunidade científica foi muito grande, pois se referia de um fenômeno revolucionário. A França foi um dos primeiros países a verificar a autenticidade do trabalho de Oersted. François Arago (1786-1853) foi um dos primeiros cientistas franceses a discordar dos efeitos relatados por Oersted, somente se convenceu da veracidade do fenômeno, quando Auguste de la Rive auxiliado por Pictet reproduziu várias repetições do fenômeno na presença de Prévoste, de Saussure, Marcet, de Candole e muitos outros. Arago ficou tão convencido que publicou uma obra (*Annales de chimie et physique*, no qual teve como editor Gay-Lussac) que em seguida comunicou à Academia de ciências de Paris. Contudo a descoberta foi tratada como algo impossível. Esse sentimento ficou resumido em uma carta que Berzelius escreveu a Bertholet.

“Há alguma coisa de misteriosa nas exposições que foram feitas dos fenômenos magnéticos de um fio condutor ...sabe-se que os corpos que possuem a virtude magnética encontram-se em um estado de polaridade que geralmente segue o comprimento do corpo; mas como conceber isso a um fio fino, magnético no sentido de sua largura, e encontra acima ou abaixo dele? (MARTINS, 1986a, p.102).

A grande resistência em aceitar o trabalho de Oersted não era a relação entre a eletricidade e o magnetismo, pois muitos cientistas já esperavam tal analogia, porém eles não concordavam, era com a ideia revolucionária de que o campo magnético em torno de um fio condutor era circular. Meses após a descoberta muitos físicos eram contrários, por isso muitos artigos como o de Berzelius foram publicados, no intuito de mostrar que a simetria estava errada. Diante de tantas críticas Oersted foi levado a construir um experimento capaz de mostrar que o em volta do fio, atuava um campo

circular.

“A idéia de rotações magnéticas em torno do fio de conexão gerou muita oposição ao ser publicada pela primeira vez. O professor Schweigger objetou a ela que, se tais rotações existissem, seria possível fazer um imã girar em torno do fio de conexão. O Dr. Wollaston tirou a mesma conclusão, mas com atitude oposta: considerando provável esse resultado, ele inventou um instrumento para demonstrá-lo. A experiência foi interrompida por acidente, e o Sr. Faraday a retornou, realizando uma extensa serie de experiências sobre o assunto, conduzidas com a mesma destreza que exibiu em tantas outras investigações. Ele descobriu que não só um imã pode girar em torno do condutor, mas que da mesma forma um condutor móvel pode girar em torno do imã”. (MARTINS, 1986, p.105).

Apesar da comunidade científica ainda não concordar com a simetria do fenômeno, em seguida convocou Arago para reproduzir as experiências diante dos membros da Academia, no dia 11 de setembro de 1820, logo após uma semana de ter sido notificado, ele demonstrou tudo que havia descrito. Logo após a demonstração de Arago, a comunidade científica se convenceu de que o fenômeno escrito por Oersted era verdadeiro, a notícia se espalhou por toda a Europa, cientistas de todas as partes do mundo começaram a reproduzir suas experiências, então Oersted ficou conhecido no mundo e sua obra foi traduzida em inglês, alemão, italiano e dinamarquês (1820a). Após reconhecimento mundial, o trabalho de Oersted foi rapidamente difundido por vários pesquisadores e alguns que dispunham de melhores laboratórios e equipamentos mais avançados, com melhores recursos o trabalho de Oersted logo seria superado e seu nome ficaria apenas conhecido como o descobridor “casual” de um efeito qualitativo, com isso Ampère e outros que criaram as leis matemáticas do eletromagnetismo ficaram com grande reconhecimento. Ainda em 1820, Oersted publicou outro artigo (Oersted, 1820b) onde relatava novos experimentos, nos quais ele fundamentava a relação de que a lei da ação e reação tinha sobre o fio condutor e o imã, ou seja, o fenômeno que faz uma corrente elétrica girar uma agulha magnetizada é o mesmo que faz com que um imã bem posicionado e fixo produza um torque oposto naquele condutor, fazendo-o girar.

6.2 Magnetismo induzido de André-Marie Ampère e sua interpretação sobre o experimento de Oersted

Em Paris, logo após a demonstração de Arago, no dia 18 de setembro de 1820, André-Marie Ampère (1775–1836) fez sua primeira apresentação em “Memória análoga aos novos fenômenos galvano-elétricos” em que falou de um equipamento capaz de medir a corrente elétrica através do fenômeno eletromagnético, dando o nome de “galvanômetro”. Uma semana após a primeira apresentação, Ampère faz mais uma apresentação e fala da existência de uma interação entre duas correntes elétricas, que se atraem quando são paralelas e de mesmo sentido, e se repelem quando são de sentidos opostos, esse segundo trabalho também tratasse de “uma homenagem sobre os efeitos da pilha” em 25 de junho de 1820. Ampère sempre tratou o magnetismo como um fenômeno secundário que para explicá-lo precisaria criar mecanismos adequados, porém as forças entre correntes elétricas são dirigidas paralelamente à reta que as une, com isso mais próximo de um modelo newtoniano que o agradava.

“Guiado pelos princípios da filosofia newtoniana, reduzi o fenômeno observado por Oersted a forças que agem sempre ao longo da reta que une as duas partículas entre as quais são exercidas essas forças” (MARTINS, 1986a, p.106).

Ampère como um grande defensor da física newtoniana, a qual defendia que todas as ações a distância serem exercidas em linha reta, na direção que une os corpos que estão em interação, por isso tinha uma grande resistência em aceitar que o campo magnético possuía uma forma circular. Segundo Assis e Chaib, apesar de Ampère admitir ter sido influenciado pela experiência de Oersted, a conclusão de que seja possível existir uma ação mútua entre circuitos elétricos a partir do experimento de Oersted não é simples e nem direta.

Quando o Sr. Oersted descobriu a ação que o fio condutor exerce sobre um ímã, se devia, na verdade, ser levado a supor que poderia haver uma ação mútua entre dois fios condutores. Porém esta não seria uma consequência necessária da descoberta deste célebre físico, já que uma barra de ferro doce age também sobre uma agulha

imantada e, contudo, não existe qualquer ação mútua entre duas barras de ferro doce. Enquanto somente se conhecia o fato da deflexão da agulha imantada pelo fio condutor, não se poderia supor que a corrente elétrica somente comunicava a este fio a propriedade de ser influenciado pela agulha de uma maneira análoga à maneira em que o ferro doce é [influenciado] por esta mesma agulha – o que seria suficiente para que ele agisse sobre ela – sem que para isso devesse resultar em alguma ação entre dois fios condutores quando eles se encontrassem fora de influência de qualquer corpo imantado? Somente a experiência podia decidir essa questão. Realizei-a no mês de setembro de 1820, e foi demonstrada a ação mútua entre os condutores voltaicos (ASSIS e CHAIB, 2007).

Ampère não só imaginou a possibilidade da ação entre os fios condutores com corrente, como realizou experiências minuciosas, observando, entre outros fenômenos, que quando as correntes em fios retos paralelos fluem no mesmo sentido, os fios se atraem, e quando fluem em sentidos opostos, eles se repelem. Também se percebe que Ampère adotava um padrão no qual transporta a rotação do campo magnético do fio condutor para correntes invisíveis dentro do imã. Ampère deu origem a uma área da Física que conhecemos como eletrodinâmica, a qual estuda a interação entre correntes e em homenagem à sua contribuição, adotamos como unidade de corrente elétrica, no Sistema Internacional, o ampère (sigla: A).

Segundo Martins (1986), Arago, havia se tornado um defensor do trabalho de Oersted, fez suas próprias experiências, ele mostrou que um fio onde se percorre uma corrente elétrica funciona semelhante ao um imã, sobre limalhas de ferro e agulhas de ferro não imantadas. Arago também observou que existia a possibilidade imantar agulhas de aço através de uma corrente galvânica, porém ainda não conseguia explicar como acontecia. Inicialmente, ele começou colocando as agulhas de aço próximas ao fio condutor, porém os resultados não foram bons; em seguida, passou a ligar o fio condutor nas agulhas, só que para prender o fio na agulha, ele o enrolou em volta da mesma, desta maneira ele conseguiu imantar as agulhas, porém ainda não antecipava a polaridade (mais tarde descobriu-se que não dependia somente do sentido da agulha, contudo também dependia de como o condutor era envolvido em volta da agulha). Arago só conseguiu prever os pólos da agulha

imantada, quando construiu solenóides dextrógiros (solenóide que gira sentido horário ou para direita) e sinistrógiros (solenóide que gira anti-horário ou para esquerda) com ajuda da teoria de Ampère.

Jean-Baptiste Biot (1774–1862) e Félix Savart (1791–1841) a princípio realizaram um estudo direcionado a explicar como a medida da força magnética, advinda de correntes elétricas exercia sobre uma agulha imantada, ou seja, ambos defendiam que a passagem de corrente elétrica pelo fio fazia com que o fio se magnetizasse, e desta forma a deflexão da agulha imantada se dava pela interação magnética entre os dois corpos. Guiados pelas ideias já estabelecidas por Coulomb, eles buscavam encontrar a intensidade e a direção da força magnética força. Com a ausência do campo magnético terrestre, eles observaram que a agulha fazia pequenas oscilações quando estava na posição de equilíbrio. Com isso concluíram que quando um dos pólos da agulha e submetido à intensidade da referida força a distância entre ambos e inversamente proporcional.

6.3 Michael Faraday explicando os resultados do experimento de Oersted

Conforme Assis e Chaib (2011), durante os anos de 1821 e 1822, Faraday publicou um artigo em que apresentou um resumo histórico sobre o eletromagnetismo, o qual dividiu em três partes. Nesse artigo fez uma síntese do trabalho de Oersted, suas convicções e hipóteses e também escreveu a contribuição dos pesquisadores posteriores a Oersted e os fenômenos descobertos por eles. Nas suas primeiras experiências, Faraday acreditava que um fio conduzindo corrente deveria atrair ou repelir polos magnéticos de uma agulha magnética, interpretação que inicialmente divergia com a descrita por Oersted. Colocando o fio condutor em uma posição vertical e aproximando uma agulha para verificar as posições de repulsão e atração, Faraday concluiu que esses polos não estavam na extremidade da agulha, mas que para cada polo existiam duas posições de atração e duas de repulsão, permitindo assim, que a agulha tomasse sua posição original em relação ao fio.

[...]. Em 1821, Faraday realizou algumas experiências analisando o torque sofrido por uma agulha imantada horizontal, colocada nas proximidades de um fio vertical no qual circulava uma corrente

constante. Interpretou-as em termos de forças exercidas pelo fio com corrente sobre os supostos polos magnéticos da agulha. De suas experiências, concluiu que esses polos não estavam localizados exatamente nas extremidades da agulha. Além disso, as forças exercidas pelo fio sobre o polo não apontavam para o fio, mas sim ortogonalmente ao fio e à reta unindo o polo ao fio. Ou seja, eram forças que causariam o giro ou revolução do polo ao redor do fio. Não eram forças atrativas e repulsivas, mas sim forças revolutivas. Embora nessas experiências Faraday não tivesse observado o movimento do fio, devido às forças exercidas sobre ele pelo ímã, acreditava que essas forças opostas deveriam existir. Provavelmente estava pensando em termos da lei de ação e a reação de Newton. Palavras de Faraday descrevendo suas experiências, que de certa forma são análogas à experiência original de Ørsted:

Disto é evidente que o centro da porção ativa de cada perna da agulha [imantada], ou o polo verdadeiro, como pode ser chamado, não está na extremidade da agulha, mas pode ser geralmente representado por um ponto no eixo da agulha, a uma certa distância da extremidade. Também era evidente que este ponto tinha uma tendência a girar ao redor do fio [com corrente] e portanto, necessariamente, o fio [tinha uma tendência a girar] ao redor do ponto. E como os mesmos efeitos aconteciam na direção oposta com o outro polo, era evidente que cada polo tinha o poder de agir sobre o fio por ele mesmo, e não como qualquer parte da agulha, ou como estando conectado com o polo oposto. [...] Várias conclusões importantes seguem destes fatos; tais como não haver atração entre o fio e qualquer polo de um ímã; que o fio tem de girar ao redor de um polo magnético e um polo magnético [tem de girar] ao redor de um fio; [...] Tentaram-se várias maneiras de produzir a revolução de um fio e de um polo um ao redor do outro, sendo [esta] a primeira coisa importante necessária para provar a natureza da força exercida mutuamente entre eles (ASSIS e CHAIB 2011, p. 219-220).

De acordo com Assis e Chaib (2011), Faraday enviou esse experimento para Ampère e outros cientistas, que puderam testar seu trabalho. Foi percebido que o sentido de rotação nesses instrumentos sofria alteração quando se invertia a polaridade do ímã, ou quando se invertia o sentido da corrente. Caso se invertessem simultaneamente a polaridade do ímã e o sentido da corrente, o sentido de rotação da parte móvel permaneceria o mesmo. Para Faraday a rotação do ímã em torno do seu próprio eixo era

explicada devido a interação entre a corrente elétrica que passa por ele e os polos magnéticos do próprio ímã e não pela existência de correntes circulares no seu interior, como acreditava Ampère.

Ainda de acordo com Assis e Chaib (2011), Michael Faraday complementou a descoberta do eletromagnetismo por Oersted e ofereceu a base necessária para o desenvolvimento de novas pesquisas. Faraday realizou em 17 de outubro de 1831 o seu experimento mais conhecido: a indução de uma corrente pela movimentação de uma barra magnética dentro de uma bobina (a indução eletromagnética). Com esse experimento, o princípio que o movimento de um ímã gera uma corrente elétrica em um condutor foi comprovado. Em seguida criou o dínamo, um aparelho que consistia em transformar energia mecânica em energia elétrica, esse aparelho é feito com um ímã fixado em um eixo girante no qual as bobinas ao redor conduzem a corrente elétrica. Outra grande invenção foi a gaiola de Faraday, esse equipamento consistia em colocar uma pessoa dentro de uma gaiola mecânica eletrizada, no entanto essa pessoa não sofria descarga alguma devido o campo elétrico no seu interior ser nulo, pelo fato das cargas elétricas se distribuírem na superfície da estrutura.

7 ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA RECOMENDADOS PELO PNLD 2018

Esta análise vai permitir aos alunos (3º ano do ensino médio) uma contextualização histórica e filosófica, favorecendo um processo de construção do conhecimento mais elaborado, e assim fomentando um pensamento mais crítico acerca do papel fundamental que o experimento de Oersted representa ao longo do desenvolvimento científico, e, contudo, pode ajudar a reduzir os equívocos e distorções que ocorrem nos livros didáticos do ensino médio. Portanto, proporcionando uma visão adequada sobre a construção da ciência como uma criação humana.

As coleções para análise foram retiradas dos Guias dos Livros Didáticos: PNLD 2018 FÍSICA (Guia dos Livros Didáticos, 2017). Foram escolhidas 06 coleções que ainda estavam em análise pelos professores de

física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano/campus Salgueiro (IF SERTÃO-PE/ campus Salgueiro). **Coleção A, Coleção B, Coleção C, Coleção D, Coleção E e Coleção F**, e agora será feita uma abordagem da experiência de Oersted de acordo com o que traz cada um desses livros didáticos.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Coleção A:

YAMAMOTO, K.; FUKU, L. F. **Física para o ensino médio**. 4º Ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2017, v.3.



Figura 10 - Capa do livro 3 da coleção A.

Na unidade 3 e nas páginas 181 e 182, o volume 3 deste livro fala da experiência de Oersted da seguinte maneira:

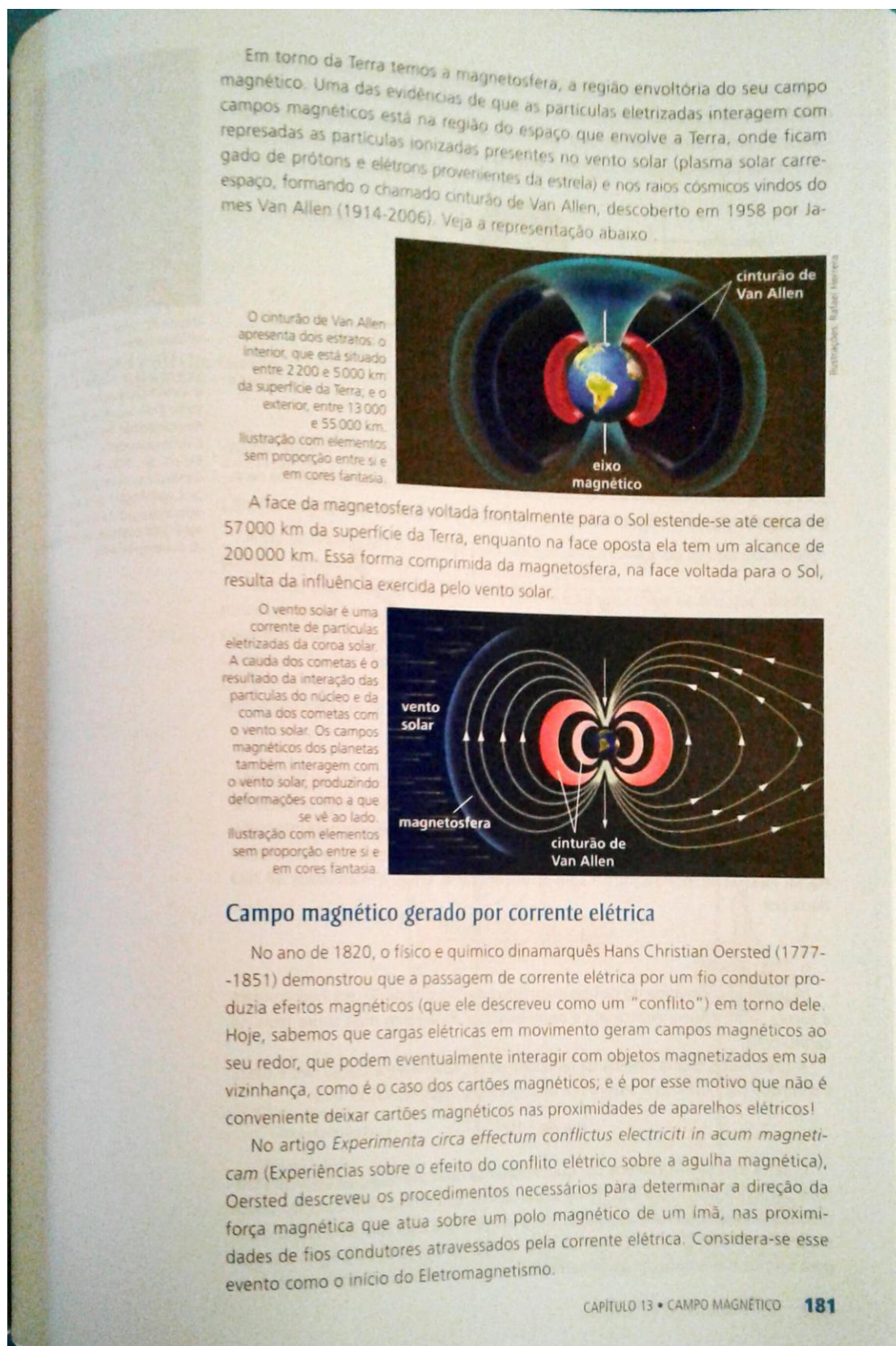


Figura 11 - Sessão do livro 3 da coleção A que aborda o experimento de Oersted.

Na página 181, o autor fala de um “conflito,” contudo não explica direito do que se trata esse fenômeno que para Oersted foi crucial. Para Oersted explicar esse desvio da agulha devido à corrente elétrica no fio (que ele chamava de conflito elétrico, com cargas positivas e negativas movendo-se em direções opostas ao longo do fio, encontrando-se e separando-se ao longo do circuito), ele supôs que o conflito não estava confinado ao fio condutor, mas se espalhava no espaço ao redor dele.

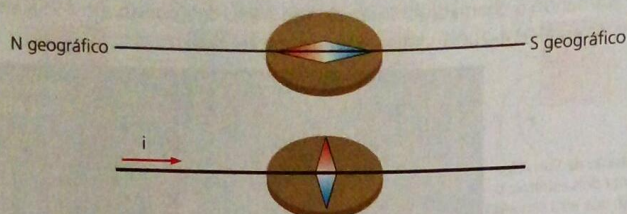
“... em uma dupla corrente de eletricidade positiva e negativa ao longo de um circuito continuo de corpos condutores. Concebe-se, portanto, na teoria ordinária da eletricidade, que dois fluidos que a compõe se separam incessantemente um do outro em uma parte do circuito, e são levados rapidamente em sentidos contrários a uma outra parte do mesmo circuito, onde eles se reúnem continuamente.

“...os dois fluidos eletricos atravessam o condutor em direções opostas por meio de uma serie de decomposições e recombinações quase instantâneas: um movimento admitido desde Volta por todos os físicos que adotam a teoria dada por este ilustre sábio (MARTINS, 1986a, p.).

Segundo o trabalho de Assis e Chaib (2007):

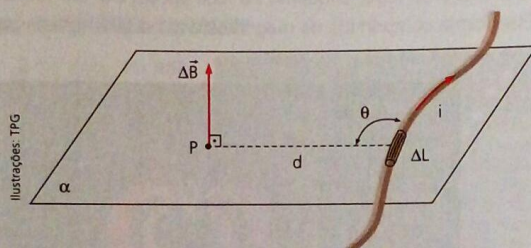
Este termo utilizado por Oersted vinha de sua concepção da natureza da corrente elétrica. Ele imaginava que existiam duas correntes em um fio metálico ligado a uma bateria, uma positiva e outra negativa, fluindo em sentidos opostos. Elas teriam que se encontrar e se separar várias vezes ao longo do fio. Segundo Oersted, a eletricidade se propaga “por um tipo de contínua decomposição e recomposição, ou melhor, por uma ação que perturba o equilíbrio em cada momento, e o restabelece no instante seguinte. Pode-se exprimir essa sucessão de forças opostas que existe na transmissão da eletricidade, dizendo que a eletricidade sempre se propaga de modo ondulatório (ASSIS e CHAIB, 2007).

No experimento de Oersted, uma bússola é colocada com os ponteiros em equilíbrio na direção paralela a um fio retilíneo sem passagem de corrente elétrica. Quando a corrente atravessa o fio, os ponteiros da bússola sofrem um desvio, equilibrando-se numa direção ortogonal (perpendicular) a ele.



Lei de Biot-Savart

Coube a dois físicos franceses, Jean-Baptiste Biot (1774-1862) e Félix Savart (1791-1841), a formulação da equação que permitiu calcular a intensidade do campo magnético gerado por uma corrente elétrica. É o que vamos ver agora.



Consideremos um trecho bem pequeno, de comprimento ΔL , de um fio condutor sendo percorrido por uma corrente elétrica de intensidade i , cuja unidade de medida no SI é o ampère (A). Essa corrente gera um campo magnético de intensidade ΔB , num ponto situado a uma distância d do trecho em questão. Se essa distância for medida de modo a formar com ΔL um ângulo θ , então a intensidade ΔB será dada por:

$$\Delta B = \frac{\mu \cdot i \cdot \Delta L \cdot \sin \theta}{4\pi \cdot d^2}$$

A unidade de medida do campo magnético no SI é o tesla (T), em homenagem a Nicola Tesla, engenheiro croata e multi-inventor. Falaremos mais sobre Tesla no capítulo 16.

A grandeza μ é uma medida da facilidade de produzir magnetização nesse meio, é chamada permeabilidade magnética do meio e seu valor, no vácuo, é de

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

O vetor indução magnética $\vec{\Delta B}$, que representa cada ponto do campo magnético, é perpendicular ao plano α formado por ΔL e d . Seu sentido e direção são dados pelo produto vetorial, uma operação entre vetores que está fora do escopo desta obra; assim, vamos utilizar a *regra da mão direita*, apresentada na página a seguir, para sermos coerentes com as demais convenções adotadas no Eletromagnetismo.



Depois de Luigi Galvani e William Gilbert, o trabalho de Oersted relacionando a eletricidade o magnetismo foi o grande incentivador para físicos como Biot, Savart e Ampère desenvolverem os resultados do Eletromagnetismo. Retrato de 1820 de Christian Oersted na Universidade de Copenhague durante a demonstração do desvio da agulha da bússola na presença de corrente elétrica.

Figura 12 - Digitalização da página do livro 3 da coleção A que trata a lei de Biot-Savart.

Nesta página 182 encontramos o seguinte equívoco: o autor fala que no experimento após a corrente elétrica atravessar o fio, os ponteiros da bússola sofrem um desvio equilibrando-se numa direção ortogonal (perpendicular) a ele. Entretanto, de acordo com estudo de Martins (1986).

No mês de julho de 1820, ele novamente retornou a experiência, utilizando um aparelho galvânico muito poderoso. O sucesso agora foi evidente, embora os efeitos fossem ainda fracos nas primeiras repetições do experimento, pois empregou apenas fios muito finos, supondo que o efeito magnético não ocorreria quando a corrente galvânica não produzisse calor e luz; mas logo descobriu que os condutores de um diâmetro maior proporcionam um maior efeito; e então descobriu, por experiências continuadas durante alguns dias, a lei fundamental do eletromagnetismo, a saber, que o efeito magnético da corrente elétrica tem um movimento circular em torno dela (MARTINS 1986a, p.99).

Em outra passagem percebe-se que o efeito que a agulha sofria era muito fraco.

A direção exata apontada pela agulha vai depender da distância entre o centro da agulha e o fio retilíneo. Quando essa distância era de $\frac{3}{4}$ de polegada, o desvio que Ørsted obteve foi de 45° . Aparentemente há uma quebra de simetria aqui. Seria mais natural se o polo Norte da agulha fosse atraído ou repelido pelo fio, mantendo-se no mesmo plano vertical. Esse desvio do polo Norte da agulha para um dos lados do plano vertical não era algo esperado. Foi isso que chamou a atenção dos cientistas da época (MARTINS 1986b, p.119).

Coleção B:

PIETROCOLA, M. *et. al.* **Física em contextos**. São Paulo: Editora Brasil, 2016, v. 3.



Figura 13 - Capa do livro 3 da coleção B.

Na página 26 da primeira unidade, o autor fala o seguinte:

André-Marie Ampère

(1775-1836), físico e matemático francês que elaborou teorias e experimentos fundamentais para o desenvolvimento do eletromagnetismo. A unidade ampère (A) recebeu esse nome em sua homenagem.



Ecole Polytechnique, Palaiseau.
Leonard de Selva/Corbis/
Fotoarena

Ver orientação 1 no
Manual do Professor

Seria possível medir a intensidade da corrente elétrica acrescentando uma seção transversal no condutor (Figura 2.6). Caso contássemos o número de elétrons, teríamos como resultado a intensidade do fluxo da carga a cada instante. Matematicamente, a **intensidade da corrente elétrica (i)** é obtida pela razão entre a quantidade de carga efetiva (Q) que atravessa a seção durante certo tempo (Δt):

$$i = \frac{Q}{\Delta t}$$

Daniel das Neves



Figura 2.6: Cargas elétricas atravessando uma seção do condutor.

Sendo a quantidade de carga medida em coulomb (C) em um intervalo de tempo medido em segundo (s), a unidade da medida da intensidade da corrente elétrica é C/s. No SI, convencionalmente, o valor unitário dessa grandeza seria denominado **ampère**. Assim, $1 \text{ C/s} = 1 \text{ A}$.

Também é comum usarmos submúltiplos da unidade medida ampère:

- 1 miliampère ou $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$
- 1 microampère ou $1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$
- 1 nanoampère ou $1 \text{ nA} = 10^{-9} \text{ A}$
- 1 picoampère ou $1 \text{ pA} = 10^{-12} \text{ A}$

CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE

Pilhas

Oxidação significa perda de elétrons e redução significa ganho de elétrons. Quando esses fenômenos acontecem simultaneamente, a reação é denominada oxirredução. Essa reação pode acontecer, por exemplo, quando dois metais diferentes são colocados em contato em uma solução ácida ou alcalina. Nessas condições, o metal menos nobre (aquele que tem maior tendência de doar elétrons e é chamado ânodo) sofrerá espontaneamente oxidação, enquanto o metal mais nobre (que tem maior tendência de receber elétrons e é chamado cátodo) sofrerá redução. Se conectarmos os dois metais por um fio condutor, verificaremos uma corrente elétrica fluindo (Figura 2.7). Ver orientação 2 no Manual do Professor

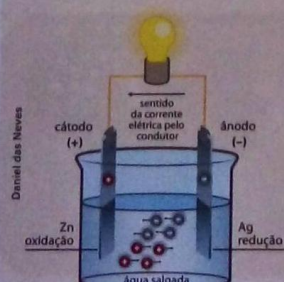


Figura 2.7: Representação da corrente de cátions e ânions (íons positivos e negativos) na eletrólise.

Na pilha do físico italiano Alessandro Volta (1745-1827), elaborada em 1800, placas de prata (o ânodo equivalente ao polo negativo) e zinco (cátodo, equivalente ao polo positivo) eram intercaladas com papel mata-borrão (um tipo de papel-filtro) embebido em salmoura (solução alcalina), formando pilhas de $\text{Ag} + \text{Zn} + \text{papel} + \text{Ag} + \text{Zn} + \text{papel} \dots$ (daí a origem do nome desse aparelho). Nesse conjunto também ocorria o processo de oxidação; assim, quando um fio condutor era conectado aos terminais da pilha, surgia uma corrente elétrica (Figura 2.8). Com 20 conjuntos empilhados, o cientista relatou que sentia choques leves; já com o dobro de pilhas eram produzidos choques dolorosos e até insuportáveis.

As pilhas atuais seguem o mesmo princípio, porém a combinação dos materiais é diversificada. Além do zinco, há pilhas com chumbo, manganês, lítio, níquel, cádmio e mercúrio.

Figura 2.8: Pilha desenvolvida pelo físico italiano Alessandro Volta, em 1800.



Figura 14 Digitalização da página do livro 3 da coleção B que trata do tema.

A única vez que o livro cita o fenômeno é através desta figura na referida página, portanto não fala da importância revolucionária que a experiência de Oersted representa para a ciência. Segundo Assis e Chaib (2011), após assistir às demonstrações do experimento de Oersted, Ampère realizou várias experiências inovadoras e inéditas, com isso revolucionou as

pesquisas em eletrodinâmica.

É esta ação [isto é, ação de um longo condutor com corrente defletindo um ímã] descoberta pelo Sr. Oersted que me levou a reconhecer a ação de duas correntes elétricas, uma sobre a outra, assim como a ação do globo terrestre sobre uma corrente, e a maneira como a eletricidade produzia todos os fenômenos apresentados pelos ímãs, [como devidos a] uma distribuição semelhante à que ocorre no condutor de uma corrente elétrica, que segue curvas fechadas perpendiculares ao eixo de cada ímã. Estes pontos de vista – cuja maior parte só foi confirmada mais tarde pela experiência – foram comunicados à Academia Real das Ciências, em sua reunião de 18 de setembro de 1820 (ASSIS e CHAIB, 2011).

Segundo Assis (2011), Ampère interpretou esta experiência como sendo devida a uma interação direta entre correntes elétricas existentes no ímã e no fio. Assim, para fundamentar sua posição, realizou uma série de experiências para estabelecer uma analogia entre os fenômenos magnéticos (interação entre ímãs ou entre ímãs e a terra) e os fenômenos que denominou de eletrodinâmicos (interação entre correntes).

[...] Ampère assistiu às demonstrações que Arago fez do trabalho de Ørsted e foi a partir da primeira reunião que passou a trabalhar intensamente sobre este tema. Interpretou a experiência de Ørsted e todos os fenômenos magnéticos já conhecidos em termos de uma interação entre elementos de corrente. Para isto, teve de supor também que existem correntes elétricas na Terra e nos ímãs usuais. De acordo com Ampère, essas correntes é que seriam as responsáveis pelas propriedades magnéticas desses corpos. Todos esses fenômenos seriam devidos a um único princípio, a saber, a força entre condutores com corrente. Com essa hipótese, Ampère esperava explicar tanto os fenômenos, já conhecidos há séculos, de interação entre ímãs, quanto o fenômeno descoberto por Ørsted do torque exercido por um fio com corrente sobre uma agulha imantada. E mais, a partir dessa hipótese, Ampère previu um fenômeno novo, ainda não observado por ninguém antes dele. Esse novo fenômeno era a interação direta entre dois condutores com corrente. (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 26).

O autor refere-se a Ampère como principal personagem do eletromagnetismo, porém Ampère era contrário às idéias de Oersted, e também não acreditava na concepção de polos magnéticos. Ampère preferia descrever

a interação de maneira análoga à de Newton, com a força ao longo da linha reta que une os dois corpos.

“Guiado pelos princípios da filosofia newtoniana, reduzi o fenômeno observado por Oersted a forças que agem sempre ao longo da reta que une as duas partículas entre as quais são exercidas essas forças” (MARTINS, 1986a p.106).

Coleção C:

MARTINI, G. *et. al.* **Conexões com a física.** 3º Ed. São Paulo: Editora moderna, 2016, v.3.



Figura 15 capa do livro 3 da coleção C.

Na página 170 o autor escreveu o seguinte:

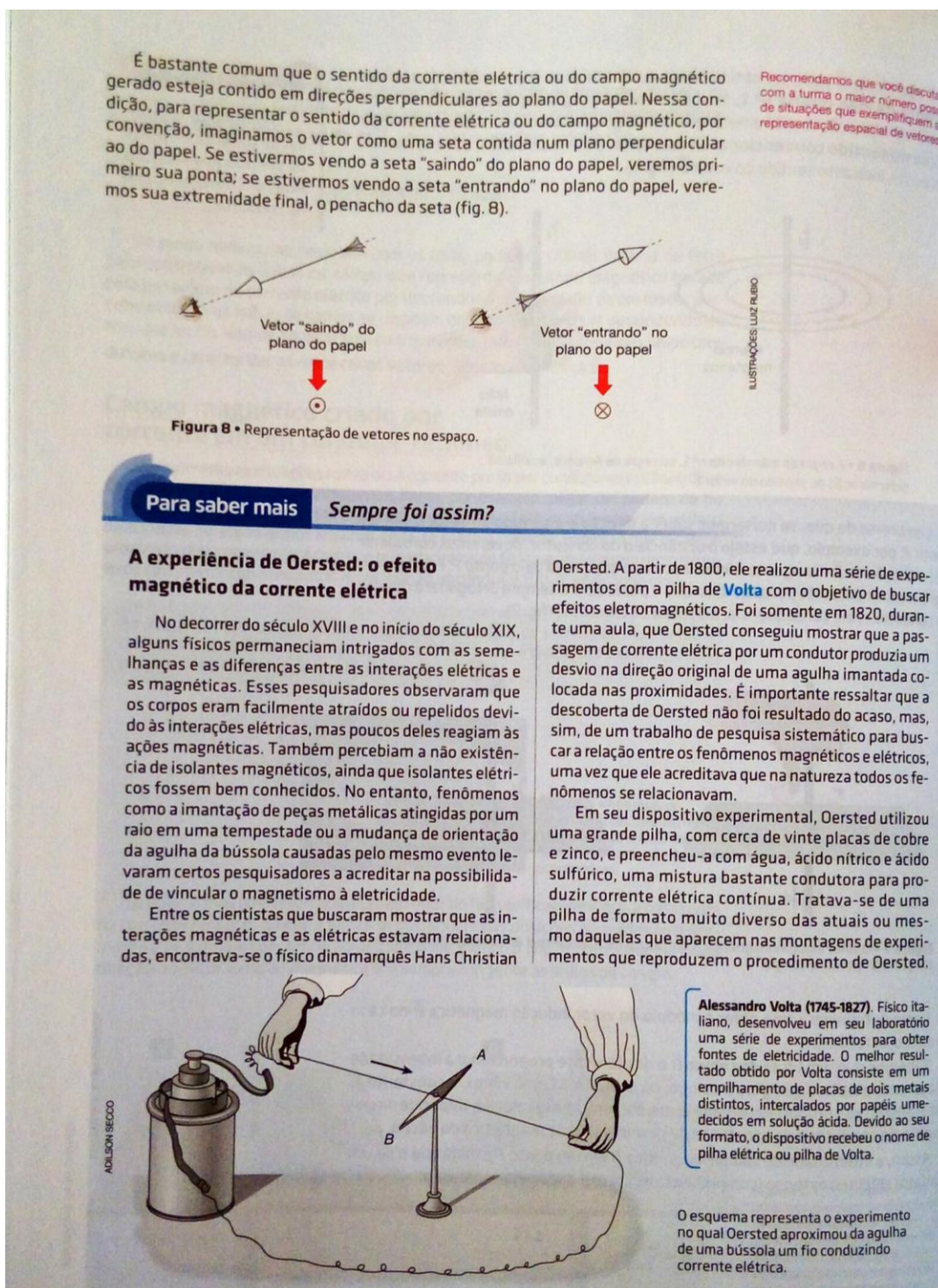


Figura 16 reprodução da abordagem do livro feita no livro 3 da coleção C.

No texto, o autor relata fatos históricos que antecederam a experiência de Oersted, porém existem fatos históricos que precisam de ênfase como: quando o autor fala da deflexão da agulha como principal objetivo da

experiência. Entretanto Martins (1986), a deflexão por si só não colocaria o nome Oersted na história. Ele procurava era a lei fundamental do eletromagnetismo, a saber, que o efeito magnético da corrente elétrica tem um movimento circular em torno dela.

“No mês de julho de 1820, ele novamente retornou a experiência, **utilizando um aparelho galvânico muito poderoso**. O sucesso agora foi evidente, embora os efeitos fossem ainda fracos nas primeiras repetições do experimento, pois empregou apenas fios muito finos, supondo que o efeito magnético não ocorreria quando a corrente galvânica não produzisse calor e luz; mas logo descobriu que os condutores de um diâmetro maior proporcionam um maior efeito; e então descobriu, por experiências continuadas durante alguns dias, **a lei fundamental do eletromagnetismo, a saber, que o efeito magnético da corrente elétrica tem um movimento circular em torno dela**”.(MARTINS, 1986a, p.106).

Segundo MARTINS (1986), no artigo que Oersted escreveu, ele falou como a pilha era constituída:

O aparelho galvânico que empregamos consistia em 20 recipientes retangulares de cobre, cujo comprimento e altura eram iguais a 12 polegadas, e cuja largura era pouco maior do que duas polegadas e meia. Cada recipiente era provido de duas lâminas de cobre, dobradas de modo a poderem manter o bastão de cobre que sustenta a lâmina de zinco imersa na água do receptáculo vizinho. A água dos recipientes contém 1/60 de seu peso de ácido sulfúrico e 1/60 de ácido nítrico. A parte de cada lâmina de zinco submersa na água é um quadrado cujo lado é cerca de 10 polegadas. Pode-se utilizar um aparelho menor desde que seja capaz de tornar incandescente um fio metálico.

Os terminais opostos do aparelho galvânico são unidos por um fio metálico, que por concisão, chamaremos de condutor de conexão ou fio de conexão. Atribuiremos o nome de conflito elétrico ao efeito que se manifesta nesse condutor e no espaço que o cerca.

A parte retilínea desse fio é colocada em posição horizontal, suspensa acima da agulha magnética, e paralela a ela. Se for necessário, o fio de conexão pode ser dobrado para que uma parte dele assumira a posição correta necessária à experiência. Nessa situação, a agulha magnética será movida, e a sua extremidade que está sob a parte do fio de conexão mais próxima ao terminal negativo do aparelho galvânico será desviada para oeste (MARTINS 1986b,

p.116).

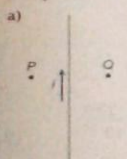
Na página 171, o autor chama o leitor a fazer uma análise sobre o experimento, e em seguida ele pergunta como ficaria e experiêcia se fossem feitas algumas modificações.

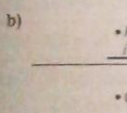
AMPLIANDO SUA LEITURA

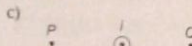
- 1 Como se explica que a agulha da bússola no experimento de Oersted se oriente na direção perpendicular à do fio que conduz a corrente elétrica?
- 2 No caso de um circuito de corrente alternada, com frequência de 60 Hz, qual seria o comportamento da agulha da bússola no experimento de Oersted?

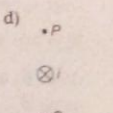
QUESTÕES RESOLVIDAS

R1 Nas situações a seguir estão representados condutores muito longos percorridos por uma corrente elétrica. Determine a direção e o sentido do vetor de indução magnética \vec{B} nos pontos P e Q situados a certa distância do condutor.

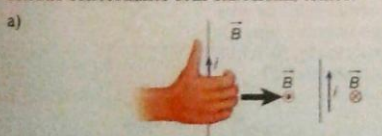
a) 

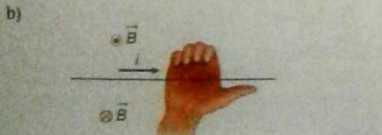
b) 

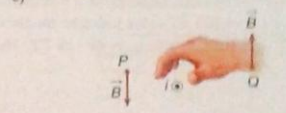
c) 


d) 

Resolução
O vetor \vec{B} tem direção perpendicular à do condutor e sentido dado pela regra da mão direita nº 1. O polegar acompanha o sentido da corrente, e os dedos envolvem o fio indicando o sentido das linhas de indução do campo. O vetor \vec{B} deve ser tangente à linha de campo e estar em sentido concordante com ela. Assim, temos:

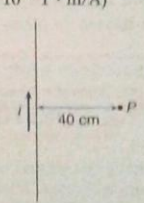
a) 

b) 

c) 

d) 

R2 Um fio muito longo, no vácuo, é percorrido por uma corrente de intensidade 3 A, no sentido mostrado na figura. Determine as características do vetor \vec{B} em um ponto P situado a 40 cm do fio.
(Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$)



Resolução
Pela regra da mão direita nº 1, determinamos a direção e o sentido do vetor de indução magnética \vec{B} em P , conforme ilustra a figura abaixo.

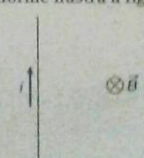


Figura 17 - Abordagem feita no livro 3 da coleção C, tem o intuito de enriquecer o processo dinâmico de compreensão do conteúdo em análise.

Na página 172, o autor convida os leitores para reproduzirem o experimento de Oersted e fazer reflexões sobre a experiência.

► A intensidade de \vec{B} será dada pela expressão:

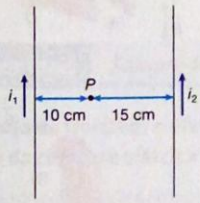
$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi d}$$

em que $i = 3 \text{ A}$; $d = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m} = 4 \cdot 10^{-1} \text{ m}$.
Assim, temos:

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3}{2\pi \cdot 4 \cdot 10^{-1}} \therefore B = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

Essa intensidade do vetor campo magnético não é muito elevada quando comparada ao valor aproximado do campo magnético terrestre, que é da ordem de 10^{-5} T .

R3 Os fios 1 e 2 representados na figura são percorridos por correntes i_1 e i_2 de intensidades 10,0 A e 22,5 A, respectivamente. Determine a intensidade, a direção e o sentido do vetor indução magnética no ponto P da figura. (Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$)

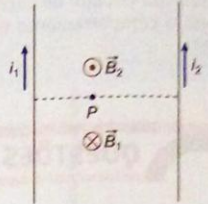


► **Resolução**

As correntes i_1 e i_2 geram campos magnéticos \vec{B}_1 e \vec{B}_2 , respectivamente. No ponto P, portanto, temos o vetor indução magnética resultante \vec{B}_R , cuja direção, sentido e intensidade devem ser obtidos pela soma vetorial entre \vec{B}_1 e \vec{B}_2 .

Na figura, percebemos que, ao aplicar a regra da mão direita, o campo \vec{B}_1 , no ponto P, está orientado para dentro do plano do papel, e o campo

\vec{B}_2 está orientado para fora do mesmo plano. Assim, a intensidade do campo resultante \vec{B}_R é dada pela diferença das intensidades de \vec{B}_1 e \vec{B}_2 . O sentido de \vec{B}_R será o mesmo do vetor indução de maior intensidade.



Cálculo da intensidade de \vec{B}_1

$$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi d} \Rightarrow B_1 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10,0}{2\pi \cdot 10^{-1}}$$

$$\therefore B_1 = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

Cálculo da intensidade de \vec{B}_2

$$B_2 = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi d} \Rightarrow B_2 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 22,5}{2\pi \cdot 15 \cdot 10^{-2}}$$

$$\therefore B_2 = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

Logo, como \vec{B}_1 e \vec{B}_2 têm sentidos opostos, temos:

$$B_R = 3,0 \cdot 10^{-5} - 2,0 \cdot 10^{-5} \therefore B_R = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

Como \vec{B}_2 tem intensidade maior que \vec{B}_1 , o sentido de \vec{B}_R concorda com o sentido de \vec{B}_2 .

Em síntese, \vec{B}_R tem a mesma direção e o mesmo sentido de \vec{B}_2 e intensidade $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ T}$.

QUESTÕES PROPOSTAS

Lembre-se: resolva as questões no caderno.

1 Na experiência de Oersted, o fio de um circuito passa sobre a agulha de uma bússola. Com a chave C aberta, a agulha se alinha, como mostra a figura I. Fechando a chave C, a agulha da bússola assume nova posição (fig. II). A que conclusões Oersted chegou com base nos resultados do experimento?

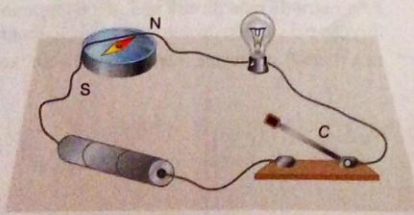


Figura I

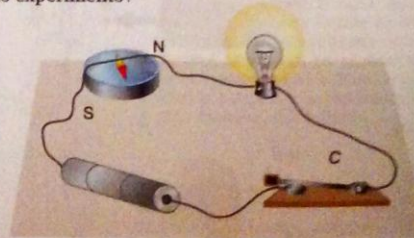


Figura II

Figura 18 - Abordagem feita no livro 3 da coleção C, o autor convida o aluno a interpretar o contexto estudado com base nos princípios estudados.

Coleção D:

BONJORNO, A. J. *et al.* **Física: Eletromagnetismo, Física Moderna.** 3^o edição. São Paulo: Editora FTD, 2016, v.3.



Figura 19 - Capa do livro 3 da coleção D.

Na página 145 da unidade 3, o experimento de Oersted foi recriado da seguinte forma:

EXPERIMENTO

O experimento de Oersted

O físico dinamarquês Hans Christian Oersted estava entre os pesquisadores que acreditavam que os efeitos magnéticos são produzidos pelos mesmos poderes que os elétricos. Para tentar confirmar suas ideias, realizou uma célebre experiência que foi apresentada à Academia Real de Ciências da França em 4 de setembro de 1820.

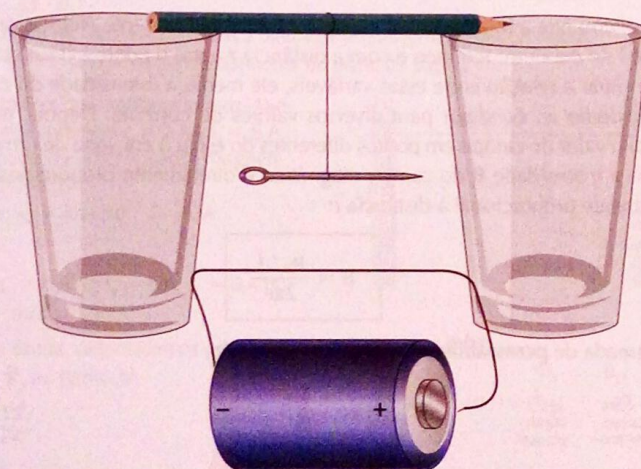
Embora muitos classifiquem a descoberta de Oersted como acidental, ela foi realmente fruto de uma longa jornada. Não só de Oersted, mas de todos os outros que o antecederam e contribuíram para que se chegasse aos resultados obtidos. Vamos agora recriar esse experimento.

Material

- ✓ 1 bússola (como a proposta no experimento anterior)
- ✓ 1 pilha de 1,5 V
- ✓ 30 cm de fio elétrico (cabo) com as pontas descascadas
- ✓ fita adesiva

Procedimento

- 1) Com um pedaço de fita adesiva, fixe uma das extremidades do fio elétrico ao polo negativo da pilha, posicionando o fio paralelamente abaixo da agulha.
- 2) Faça o contato entre a extremidade livre do fio elétrico e o polo positivo da pilha. Não mantenha esse contato por muito tempo. Um tempo igual ao toque de uma campainha é suficiente. Observe o comportamento da agulha.



Editoria de Arte

Agora responda

1. Por que o contato entre o fio e o polo positivo da pilha não deve ser mantido por muito tempo?
Porque, ligado, o fio estará causando curto-circuito na pilha, o que promoverá seu aquecimento excessivo e sua descarga.
2. O que observamos ao efetuar o contato entre o fio e o polo positivo da pilha?
A agulha se move, mudando sua posição de equilíbrio.
3. A que conclusão nos leva o experimento de Oersted?
As correntes elétricas, como a corrente que atravessa o fio, são fontes de campo magnético, razão pela qual a agulha sofreu deflexão.

NÃO ESCREVA
NO LIVRO

Figura 20 - Abordagem do experimento de Oersted na coleção D.

O autor descreve como a experiência foi apresentada à Academia Real de Ciências da França em 4 setembro de 1820, contudo essa informação

que o livro traz é imprecisa é ambígua, quando alguém ler esse enunciado do livro, fica com a impressão de que essa foi a data em que Oersted apresentou sua experiência. Segundo Assis e Chaib (2011), como Ampère interpretou o experimento de Oersted.

[...]. Arago (1786-1853) descreveu o trabalho de Ørsted perante a Academia de Ciências de Paris em 4 de setembro de 1820. Diante da descrença generalizada, repetiu a experiência de Ørsted perante a Academia em 11 de setembro. O motivo dessa descrença é que a experiência de Ørsted ia contra as ideias de simetria da época. Imaginemos o caso em que a bússola está inicialmente em repouso apontando aproximadamente na direção Norte-Sul geográfica terrestre. O polo Norte da agulha aponta aproximadamente para o polo Norte geográfico terrestre. Um fio retilíneo paralelo à agulha da bússola é colocado verticalmente sobre ela. Inicialmente não passa corrente no fio. O fio e a agulha definem um plano vertical. Em princípio não há nada que privilegie um lado desse plano vertical em relação ao outro lado. Contudo, a experiência de Ørsted mostra que, ao fluir uma corrente pelo fio, com a corrente indo do Sul para o Norte geográfico da Terra, o polo Norte da agulha imantada deixa o plano vertical inicial. Em particular, o polo Norte da agulha fica inclinado para Oeste em relação ao plano vertical. Ou seja, o polo Norte da agulha vai apontar para algum lugar entre o Norte e o Oeste da Terra. A direção exata apontada pela agulha vai depender da distância entre o centro da agulha e o fio retilíneo. Quando essa distância era de $\frac{3}{4}$ de polegada, o desvio que Ørsted obteve foi de 45° . Aparentemente há uma quebra de simetria aqui. Seria mais natural se o polo Norte da agulha fosse atraído ou repelido pelo fio, mantendo-se no mesmo plano vertical. Esse desvio do polo Norte da agulha para um dos lados do plano vertical não era algo esperado. Foi isso que chamou a atenção dos cientistas da época. [...]. Ampère assistiu às demonstrações que Arago fez do trabalho de Ørsted e foi a partir da primeira reunião que passou a trabalhar intensamente sobre este tema. Interpretou a experiência de Ørsted e todos os fenômenos magnéticos já conhecidos em termos de uma interação entre elementos de corrente. Para isto, teve de supor também que existem correntes elétricas na Terra e nos ímãs usuais. De acordo com Ampère, essas correntes é que seriam as responsáveis pelas propriedades magnéticas desses corpos. Todos esses fenômenos seriam devidos a um único princípio, a saber, a força entre

condutores com corrente. Com essa hipótese, Ampère esperava explicar tanto os fenômenos, já conhecidos há séculos, de interação entre ímãs, quanto o fenômeno descoberto por Ørsted do torque exercido por um fio com corrente sobre uma agulha imantada. E mais, a partir dessa hipótese, Ampère previu um fenômeno novo, ainda não observado por ninguém antes dele. Esse novo fenômeno era a interação direta entre dois condutores com corrente. Mais tarde realizou diversas experiências mostrando a existência dessa interação entre fios com corrente elétrica (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 26). Segundo trecho (ASSIS; CHAIB, 2011, p. 59-60)

Portanto a informação correta seria que tal descoberta foi descrita (Arago foi o primeiro físico francês a tomar conhecimento do trabalho de Oersted, porém era contrário, somente se convenceu após assistir várias repetições apresentadas por outros físicos) na Academia Real de Ciências da França em **4 de setembro de 1820 pelo então presidente Arago**. Diante da descrença generalizada, este repetiu a experiência de Oersted perante a Academia em 11 de setembro.

Na página 155 o autor pede para repetir o experimento anterior e faz algumas perguntas que levam os leitores a discutir e refletir sobre o experimento.

pelas ilustrações, é possível compreender que o disjuntor é um dispositivo mecânico acionado por respostas magnéticas ou elétricas. A trava é mecânica; por isso, ele "desarma", desmonta ou dispara quando sai de sua condição de equilíbrio.

Agora responda

1. Um verbo bastante utilizado por eletricitistas ao comentarem o funcionamento dos disjuntores é "desarmar". Observando as ilustrações do texto, explique intuitivamente o uso desse verbo.
2. Qual a vantagem do disjuntor térmico em relação ao magnético?

O disjuntor térmico é mais sensível às alterações da corrente elétrica, desarmando o sistema logo que a corrente supera o valor máximo estimado.

NÃO ESCREVA
NO LIVRO

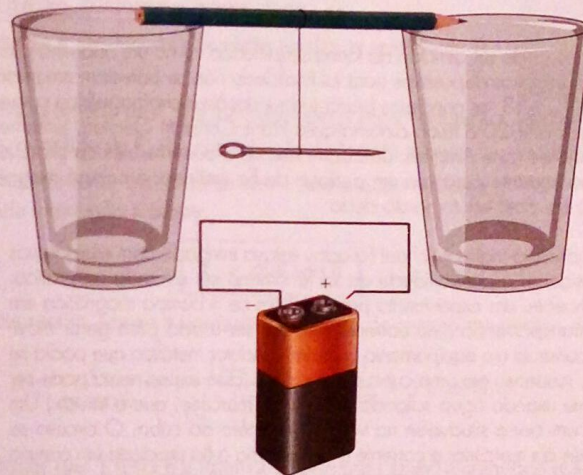
EXPERIMENTO

O campo magnético de um condutor retilíneo

O experimento de Oersted possibilitou entender que a corrente elétrica é uma fonte de campo magnético. Vamos agora verificar as características do campo magnético criado ao redor de um condutor retilíneo percorrido por corrente elétrica.

Procedimento

- 1) Faça novamente a montagem do experimento de Oersted. Você pode usar uma pilha como no experimento anterior ou substituí-la por uma bateria 6 V.



- 2) Faça o contato entre a extremidade livre do fio elétrico e o polo positivo da pilha. Não mantenha esse contato por muito tempo. Um tempo igual ao toque de uma campainha é suficiente. Observe o comportamento da agulha, atentando para o sentido de rotação dela.

Agora responda 2. O campo magnético criado pela corrente é simultaneamente perpendicular ao fio e também à direção em que se orienta inicialmente a agulha (campo magnético terrestre).

NÃO ESCREVA
NO LIVRO

1. Que disposição apresentam as linhas de indução do campo magnético criado pela corrente elétrica que atravessa o fio? As linhas de indução são circulares, concêntricas ao fio e estão contidas em planos perpendiculares à direção da corrente.
2. Observando o movimento da agulha, que direção tem o campo magnético criado pela corrente elétrica em relação ao fio e à direção do campo magnético terrestre indicado inicialmente pela agulha?
3. Aplique a regra da mão direita e verifique o sentido do campo magnético criado pela corrente elétrica na região em que está a agulha. É possível a partir daí descobrir a polaridade magnética da agulha? Explique.

Sim. O polo norte da agulha será desviado no sentido do campo magnético criado pela corrente.

Figura 21 - Proposta para investigação do tema da coleção D.

Coleção E:

VÁLIO, A. B. M. *et at.* **Ser Protagonista**. 3ª Edição. São Paulo: Editora SM, 2016 v.3.



Figura 22 - Capa do livro 3 da coleção E.

O livro se refere à experiência nas páginas 113 e 131, nelas ele fala

o seguinte:

Campo magnético de correntes elétricas em fios retilíneos

Durante muito tempo, os fenômenos elétricos e magnéticos foram estudados separadamente, pois não havia nenhuma evidência de que existia relação entre eles. Isso começou a mudar no século XIX, com o trabalho do físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851), que analisou a possibilidade de fenômenos elétricos serem influenciados por fenômenos magnéticos, em seu livro *Pesquisa sobre a identidade de forças elétricas e químicas* (publicado em 1812).

Em um famoso experimento (ver boxe ao lado), Oersted mostrou que a direção da agulha de uma bússola é desviada quando dela se aproxima um fio em que há corrente elétrica. Esse experimento é considerado o início da junção entre eletricidade e magnetismo e, por isso, diz-se que foi o marco inicial do eletromagnetismo.

Ao mover o fio com corrente elétrica ao redor da bússola, Oersted constatou que a agulha tendia a se posicionar perpendicularmente à direção em que o fio estava. A força que movia a agulha era diferente das forças retilíneas propostas por Newton. Para explicar esse e outros fenômenos, foi criado um novo modelo teórico, cujo fundamento principal era o fato de cargas elétricas em movimento produzirem campo magnético.

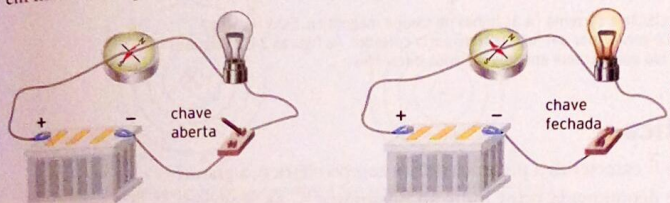


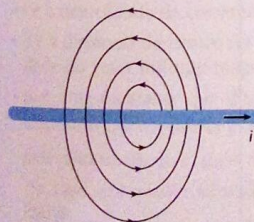
Figura 1

Figura 2

Representação da experiência de Oersted: na figura 1, não há corrente passando pelo fio, e a agulha da bússola está alinhada com a direção do campo magnético terrestre. Na figura 2, a passagem de corrente elétrica altera a direção da agulha, que está alinhada quase perpendicularmente com o fio. Se não houvesse a ação do campo magnético da Terra, a agulha ficaria exatamente perpendicular ao fio. Quando o sentido da corrente é invertido, a agulha da bússola inverte sua orientação, permanecendo praticamente perpendicular ao fio.

Anos depois do experimento de Oersted, o físico francês André-Marie Ampère (1775-1836) propôs que todo fenômeno magnético tem correntes elétricas como causa. Após constatar que há atração entre dois fios com corrente elétrica (fenômeno a ser estudado mais adiante), Ampère tentou calcular a força de atração entre eles utilizando a lei da gravitação universal como modelo – e fracassou nessa tentativa.

Foi o inglês Michael Faraday (1791-1867) quem apresentou pela primeira vez a ideia de campo elétrico e magnético. Para ele, a interação entre os corpos poderia ser descrita por meio de linhas de campo – nos ímãs, essas linhas partiriam do polo norte e apontariam para o polo sul; nas cargas elétricas, partiriam das cargas positivas e convergiriam para as cargas negativas; nos fios com corrente elétrica, as linhas de campo B seriam circulares em torno do fio (veja a figura a seguir).



Representação das linhas de campo magnético produzido pela corrente elétrica em um fio retilíneo. As linhas são fechadas – como é em todos os campos magnéticos. Ao contrário dos campos de ímãs, esse campo não parte de nenhum polo magnético. O sentido da corrente influencia na direção do campo magnético (conforme veremos adiante).

Não escreva no livro.

FATOS E PERSONAGENS

A experiência de Oersted

[...] Apesar dos indícios citados, havia uma grande dificuldade em relacionar os dois fenômenos. Vários pesquisadores tentaram em vão encontrar algum efeito empírico que relacionasse a eletrostática e o magnetismo. [...] Tendo isso em vista, Oersted colocou um fio metálico paralelo a uma agulha magnética que estava orientada ao longo do meridiano magnético terrestre. Ao passar uma corrente elétrica constante no fio observou que a agulha era defletida de sua direção original. Tal descoberta foi descrita na Academia Real de Ciências da França em 4 de setembro de 1820 [...] É importante ter em mente as dificuldades da realização prática do experimento, bem como sua concepção. Na época, o tipo de materiais para a realização da experiência era muito diferente do que temos hoje em dia. Oersted usa uma grande pilha como fonte de corrente elétrica. Não temos detalhes da força eletromotriz produzida pela pilha, mas em termos de comodidade e praticidade não se compara a uma pequena bateria moderna de 9 V. [...]

Revista Brasileira de Ensino de Física.
Disponível em: <[http://www.ifsc.unicamp.br/~assis/Revista-Bras-Ens-Fis-V29-p41-51\(2007\).pdf](http://www.ifsc.unicamp.br/~assis/Revista-Bras-Ens-Fis-V29-p41-51(2007).pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2016.

Figura 23 - Abordagem do fenômeno pela coleção E.

O texto principal da página 113 é complementado por boxes que promovem uma reflexão, ampliam, retornam ou contextualizam o conteúdo.

Porém a informação descrita pelo boxe é vaga e incompleta, pois não explica quem fez tal demonstração naquela data e nem os ganhos que a ciência obteve a partir daquele momento. Segundo Assise Chaib (2007), Arago descreveu o trabalho de Oersted perante a Academia de Ciências de Paris em (4) de setembro de 1820. Diante da descrença generalizada, repetiu a experiência de Oersted perante a Academia em 11 de setembro. Ampère assistiu às demonstrações que Arago fez do trabalho de Oersted e Interpretou a experiência, e todos os fenômenos magnéticos já conhecidos em termos de uma interação entre elementos de corrente.

Foi uma observação crucial realizada em 1820 por Oersted (1777-1851), sendo anunciada por ele à comunidade científica em 21 de julho de 1820. Ele colocou um fio metálico paralelo a uma agulha magnética que estava orientada ao longo do meridiano magnético terrestre. Ao passar uma corrente elétrica constante no fio, observou que a agulha era defletida de sua direção original. Tal descoberta foi descrita na Academia Real de Ciências da França em 4 de setembro de 1820 pelo então presidente Arago (1786-1853). Diante da descrença generalizada, repetiu a experiência de Oersted perante a Academia em 11 de setembro. É importante notar o curto espaço de tempo entre a divulgação da experiência de Oersted e a apresentação dos primeiros trabalhos de Ampère na área (ASSIS e CHAIB, 2007).

O campo magnético

[...] Em 1820, Hans Christian Oersted descobriu que a passagem de uma corrente elétrica por um fio condutor desviava uma agulha imantada situada nas proximidades. Contudo, ao contrário do que o modelo de força newtoniana sugeria, a agulha se movimentava não paralelamente, mas perpendicularmente ao fio condutor. Além disso, quando era colocada acima do fio, a agulha tomava uma direção inversa àquela observada quando estava sob o fio. Como essa experiência sugeria que a linha de ação da força magnética é um círculo em torno do fio, havia necessidade de uma nova teoria para explicar essa força evidentemente estranha ao esquema newtoniano das linhas de ação retilíneas.

Os anos seguintes permitiram o estabelecimento de um vínculo fundamental entre a eletricidade e o magnetismo. Efetuando medições precisas das forças magnéticas, André-Marie Ampère descobriu que uma corrente elétrica não só cria um magnetismo que desvia uma agulha imantada, mas é também por sua vez influenciada pelo magnetismo. Por exemplo, dois fios retilíneos condutores percorridos por correntes exercem um sobre o outro forças atrativas ou repulsivas devidas ao magnetismo criado por cada corrente. Ampère deduziu de seus estudos que, longe de ser um fenômeno autônomo, o magnetismo resulta da presença de uma corrente elétrica; interpretou ainda a ação de um ímã comum pela existência, na matéria imantada, de correntes elétricas permanentes que exerceriam forças atrativas ou repulsivas sobre as correntes homólogas de um segundo ímã.

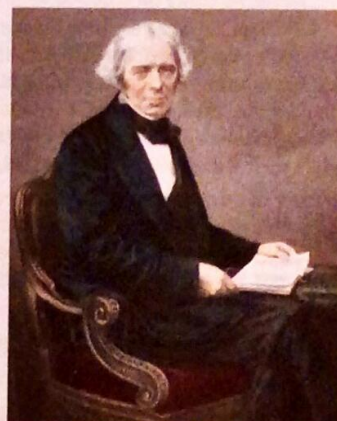
Se o ímã era um conjunto de correntes, o problema do magnetismo se reduzia a um problema de forças entre correntes elétricas. Ampère tentou então descrever essas forças com a ajuda de um modelo newtoniano, substituindo as partículas em interação por fios retilíneos condutores. Infelizmente, tal descrição só se aplica quando os fios têm orientações particulares como, por exemplo, quando são paralelos. Para duas direções quaisquer, a ação das forças é mais complexa. Os esforços empreendidos nesse sentido por Ampère e seus continuadores redundaram em fracasso.

O problema iria encontrar finalmente sua solução graças a uma abordagem totalmente diferente, que teve uma

Bris-Dov, Y. *Convite à Física*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1996. p. 99-100.

influência decisiva sobre o desenvolvimento posterior da Física. Essa abordagem se funda no conceito de campo inventado por Michael Faraday. Faraday iniciou sua carreira como aprendiz de encadernador e adquiriu sua cultura científica lendo os livros que encadernava. Experimentador inigualável, ele jamais chegou, contudo, a dominar as delicadas técnicas matemáticas introduzidas por Ampère no estudo da eletricidade. Para atenuar essa desvantagem, forjou uma imagem mental que lhe havia sido inspirada pelo seguinte fenômeno: quando salpicamos limalha de ferro em torno de um ímã, ela se deposita segundo curvas que ligam os dois polos do ímã. Por analogia, Faraday propôs então um modelo de "linhas de força" que se estendiam em torno do ímã, emergindo de seu polo norte para convergir rumo a seu polo sul. A atração e a repulsão entre polos de ímãs diferentes se explicavam por uma afinidade entre a convergência e a divergência das linhas de força e um antagonismo das convergências ou das divergências. Faraday batizou de "campo magnético" esse conjunto de linhas de força e interpretou também a atração e a repulsão entre cargas elétricas pela ação de um "campo elétrico" composto de linhas de força que levavam de uma carga elétrica positiva a uma carga elétrica negativa.

Ainda que Faraday jamais tenha explicado a natureza exata dessas linhas de força, a própria ideia de campo foi uma importante inovação. [...]



O físico inglês Michael Faraday. Gravura colorizada, século XIX, autor desconhecido.

Georgina Kallias/Stock/Getty Images

Compreender e relacionar

1. O texto faz menção ao modelo newtoniano. Qual seria esse modelo?
2. Explique como Faraday chegou à ideia de campo magnético.
3. Explique por que, quando a bússola era colocada acima do fio na experiência de Oersted, sua orientação era oposta àquela observada quando colocada abaixo do fio.
4. Escreva um parágrafo em seu caderno sobre as diferenças entre os métodos de trabalho de Ampère e de Faraday e sobre como seus trabalhos se complementaram.

Figura 24 - Panorama histórico proposto pela coleção E.

Na página 131, o livro traz um contexto histórico de como algumas ideias científicas foram construídas e propõe questões que estimulam a discussão.

Coleção F:

TORRES, C. M. A. *et al.* **Física: ciência e tecnologia.** 4^o Edição. São Paulo: Editora Moderna, 2016 v.3.



Figura 25 - Capa do livro 3 da coleção F.

Na página 79, o autor relata que a experiência de Oersted foi um acidente ou um acaso:

Atividade em grupo

Ver comentário no Suplemento para o professor.

Os chineses foram os primeiros a utilizar a bússola, no século III a.C., mas há referências de que somente no século XII ela foi usada para orientação em viagens terrestres e marítimas. A partir de então, esse instrumento desempenhou um papel importante nas navegações, inclusive nas que resultaram nos descobrimentos da América e do Brasil.

Forme um grupo com seus colegas e façam uma pesquisa que mostre a importância desse instrumento nas viagens marítimas. Expliquem como é feita essa orientação utilizando uma carta magnética. Consultem livros de História e analisem a importância da bússola na chamada Era das Grandes Navegações, com destaque para a Escola de Sagres. Consultem, também, livros de Geografia que enfatizem o uso das bússolas na orientação cartográfica.

Exponham para a classe o resultado das pesquisas sob a forma de uma apresentação em slides, com textos, fotos, figuras e vídeos.

3 Campo magnético gerado por corrente elétrica

As propriedades dos ímãs foram estudadas durante muito tempo, sem se estabelecer nenhuma relação entre os fenômenos magnéticos e os fenômenos elétricos. Entretanto, em 1820, o físico dinamarquês **Hans Christian Oersted** constatou que, ao aproximar uma bússola de um fio percorrido por corrente elétrica, sua agulha sofria um desvio (fig. 2.14). Concluiu que, como os ímãs, toda corrente elétrica gera um campo magnético no espaço que a envolve.

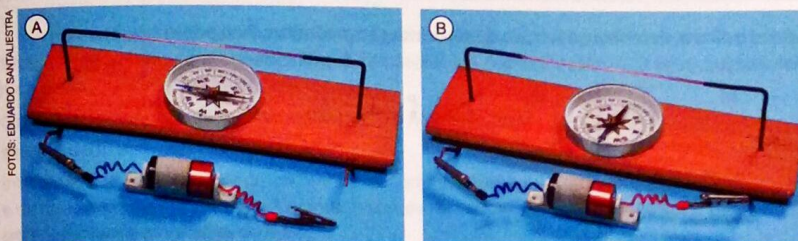


Figura 2.14

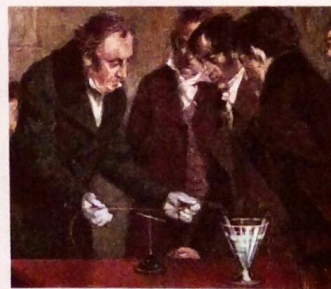
Experiência de Oersted. (A) Um fio condutor, em um circuito aberto, é colocado paralelamente à agulha de uma bússola; (B) fechando o circuito, o fio é percorrido por corrente elétrica e a agulha sofre um desvio.

A pergunta que se poderia fazer neste momento é a seguinte: existiriam dois tipos de campo magnético: um produzido por ímãs e outro, por correntes elétricas? A resposta é não. Mesmo no caso dos ímãs, o campo magnético é produzido por correntes elétricas originadas pelos movimentos particulares que os elétrons realizam em seus átomos. Podemos dizer, genericamente, que todo campo magnético é produzido por cargas elétricas em movimento.

Hans Christian Oersted

Hans Christian Oersted (1777-1851) foi um físico e químico dinamarquês. Em 1793, ingressou na Universidade de Copenhague, doutorando-se em Filosofia em 1799. Em 1806, tornou-se pesquisador e professor dessa universidade, concentrando seus estudos nos campos da Física e da Química.

Em uma aula de Eletricidade aproximou, acidentalmente, uma bússola de um condutor percorrido por corrente elétrica e constatou que a agulha magnética da bússola sofria um desvio. No primeiro momento não encontrou nenhuma explicação para o fenômeno observado. Passou a realizar pesquisas procurando estabelecer uma conexão entre corrente elétrica e fenômenos magnéticos. Em 1820, publicou o resultado de suas investigações. A notícia da nova descoberta disseminou-se pela comunidade científica e outros cientistas, como François Arago (1786-1853) e André-Marie Ampère (1775-1836), passaram a se dedicar ao estudo e à pesquisa dos fenômenos elétricos. Nascia assim o Eletromagnetismo.



Gravura de R. Storch, datada de 1820, mostrando Oersted e o experimento realizado na Universidade de Copenhague.

Figura 26 - Abordagem do tema pela coleção F.

Contudo são muitas essas evidências contrárias a essa afirmação de TORRES. Martins (1986) nos relata a aula onde o eletromagnetismo foi observado:

“o plano da primeira experiência consistia em fazer a corrente de um

pequeno aparelho galvânico de frascos, comumente usado em suas conferências, passar através de um fio de platina muito fino, colocado sobre uma bússola coberta com vidro. A experiência foi preparada, mas como acidentalmente ele foi impedido de ensaiá-la antes da aula, planejou adia-la para outra oportunidade; no entanto, durante a conferência, pareceu-lhe mais forte a probabilidade de seu sucesso, e assim realizou a primeira experiência na presença da audiência. A agulha magnética, embora fechada em uma caixa, foi perturbada; como o efeito era muito fraco, e deveria parecer muito irregular, antes da descoberta de sua lei, a experiência não impressionou fortemente o público... “No mês de julho de 1820, ele novamente retornou a experiência, utilizando um aparelho galvânico muito poderoso. O sucesso agora foi evidente, embora os efeitos fossem ainda fracos nas primeiras repetições do experimento, pois empregou apenas fios muito finos, supondo que o efeito magnético não ocorreria quando a corrente galvânica não produzisse calor e luz; mas logo descobriu que os condutores de um diâmetro maior proporcionam um maior efeito; e então descobriu, por experiências continuadas durante alguns dias, a lei fundamental do eletromagnetismo, a saber, que o efeito magnético da corrente elétrica tem um movimento circular em torno dela”(Martins1986a, p. 99).

Também afirma que:

Em um tratado sobre as leis químicas da natureza, publicado na Alemanha em 1812, com o título *Ansichten der chemischen Naturgesetze*, e traduzido para o francês com o título *Recherches sur l'identité des forces électriques et chimiques* em 1813, ele procurou estabelecer uma teoria química geral, em harmonia com este princípio. Nesse trabalho, ele provou que não apenas as afinidades químicas, mas também o calor e a luz, são produzidos pelos mesmos dois poderes, que provavelmente seria apenas duas formas diferentes de um poder primordial. Ele também afirmou que os efeitos magnéticos eram originados dos mesmos poderes; mas ele estava bem consciente de que a razão alegada a favor disso era a parte menos satisfatória de toda a obra. Suas pesquisas sobre esse assunto foram infrutíferas, até o ano de 1820. (MARTINS 1986a, p.95)

Portanto, fica evidente que o fenômeno encontrado por Oersted não é fruto do acaso, mais sim, resultado de um trabalho de pesquisa sistemático.

8 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo geral analisar os livros didáticos de Física selecionados pelo Programa Nacional do Livro didático – PNLD, do ano de 2018, na unidade temática como é abordado a “experiência de Oersted”, foram selecionados seis livros de Física, sendo que todos vêm de coleções que são compostas de três volumes. As análises dos livros se concentraram na temática de como os livros didáticos apresentam a experiência de Oersted, sendo a necessidade de incorporação de elementos históricos e filosóficos no ensino médio que chega a ser praticamente consensual, o que passou a orientar currículos de parcela significativa das licenciaturas. No entanto, os professores do nível médio dificilmente incorporam esse tipo de conhecimento em suas práticas.

É importante destacar aqui que, os trabalhos destes cientistas foram fundamentais para a formação e a consolidação das leis do eletromagnetismo, e que, acredita-se na relevância do estudo adequado de alguns episódios históricos que também permite que os alunos tenham uma maior compreensão do conteúdo, bem como, evidenciando as dificuldades que os cientistas encontraram no processo teórico e prático dos seus experimentos. Além disso, percebe-se um processo social e gradativo da construção do conhecimento, permitindo formar uma visão mais concreta e correta da real natureza da ciência, seus procedimentos e suas limitações – o que contribui para a formação de um espírito crítico e desvendado do conhecimento científico, sem, no entanto, negar seu valor. Espera-se que o aluno, através do adequado processo de ensino-aprendizagem, valorize os conteúdos estudados e amplie seus saberes.

Durante a análise simétrica ficou evidente que os livros didáticos do ensino médio nem ao menos citam que há tipos de vetores diferentes, com isso ocultam problemas conceituais profundos, visto que não discutem as diferenças entre os vetores polares e axiais. Uma teoria eletromagnética coerente só pode ser formulada se um deles for um vetor (polar) e o outro um pseudovetor (axial). A história da ciência nos permite compreender melhor o assunto, entender as dúvidas dos alunos, respeitando as dificuldades trazidas

pelo conteúdo e procurar trabalhar o problema com um olhar diferenciado. Os relatos históricos têm contribuindo fortemente no desenvolvimento e na aprendizagem dos alunos, fazendo com que eles tenham uma maior compreensão do assunto, no entanto, a solução para essas dificuldades não é puramente histórica: ele requer uma profunda discussão das propriedades de simetria dos dois tipos de vetores.

Portanto, ao terminar a análise das obras, verificou-se não apenas o conteúdo da pesquisa que estava presente na relação dos assuntos do livro, mas também a forma de apresentação do tema. Apesar dos livros didáticos passarem por um rigoroso controle de qualidade sobre diversos assuntos, é necessário aprimorá-los através de uma boa revisão literária e subsídios que mostrem com mais clareza esses erros conceituais, históricos e simétricos para que favoreçam o domínio de conteúdos específicos que proporcionem a evolução das competências e habilidades análogas às fases de ensino. A intenção desse trabalho é melhorar os livros didáticos sobre esse tema através do estudo da história da ciência e a simetria do fenômeno, com isso pretende-se o desenvolvimento e ampliação dos conhecimentos científicos, que além de refletirem a história, podem dar uma grande contribuição ao ensino conceitual mais profundo que é extrema importância no estudo do eletromagnetismo e outras áreas da Física.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, P. **Imagens de natureza, imagens de ciência**. São Paulo: Papyrus Editor, 1998. Caderno Catarinense do Ensino de Física, v.17, n.2 p.235-238, agosto 2000. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/>> Acesso em: 09 de março de 2018.

ASSIS, A.K.T.; CHAIB, J.P.M.C. **Experiência de Oersted em sala de aula**. Revista Brasileira de Ensino de Física, Campinas, São Paulo: Editora da Unicamp, v.29, n.1, p. 41-51, 2007. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/-gtc/>> Acesso em 19 de outubro de 2017.

ASSIS, A.K.T.; CHAIB, J.P.M.C. **Eletrodinâmica de Ampère**: análise do significado e da evolução da força de Ampère, juntamente com a 31 tradução comentada de sua principal obra sobre eletrodinâmica. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2011. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/-gtc/>> acesso em 21 de outubro de 2017.

ASSIS, A.K.T.; CHAIB, J.P.M.C. **Ampère e a origem do magnetismo terrestre**: Simpósio de Pesquisa em Ensino e História de Ciências da Terra, III Simpósio Nacional sobre Ensino de Geologia no Brasil. setembro 2007. Disponível em: <<http://www.ige.unicamp.br/>>. Acesso em: 29/12/2017.

DIAS, V.S. **Michael Faraday: subsídios para metodologia de trabalhos experimentais**. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física, USP, São Paulo, 2003.

GRIFFITHS, David J. **Introduction to Electrodynamics**. 3 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999.

GUERRA, A. et al. **Uma Abordagem Histórico-Filosófica Para o Eletromagnetismo no Ensino Médio**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v.21, n.2: p. 224-248, agosto 2004. Disponível em: <<http://www.inf.unioeste.br>>. Acesso em 06 de março de 2018.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J.; **Fundamentos da Física**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 3 v.

MARTINS, A. F. P. **História e filosofia da ciência no ensino**: há muitas pedras nesse caminho. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007. Disponível em: 23 de outubro de 2017.

MARTINS, R. de A. **Contribuição do conhecimento Histórico ao ensino do ao ensino do eletromagnetismo**. Caderno Catarinense do Ensino de Física 5, 1988. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/-gtc/>>. 22 de outubro de 2017.

MARTINS, R de A. **Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética**. Caderno de História e Filosofia da Ciência, São Paulo, v.10, p.115-122, 1986a. Disponível em: <<https://www.academia.edu>>. Acesso em 30 de setembro de 2017.

MARTINS, R. de A. **Oersted e a descoberta do eletromagnetismo**. Caderno de História e Filosofia da Ciência, São Paulo, v.10, p.89-114, 1986b. Disponível em: <<http://www.academia.edu-ghtc/>>. Acesso em 30 de julho de 2017.

Nussenzveig, H. Moysés. **Curso de Física Básica**. vol. 3 São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1997.

PIRES, A. S. T. **Evolução das Idéias da Física**. 1º ed.; São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

ROCHA, J. F. M. et al. **Origens e Evolução das Idéias da Física**. Salvador: Editora da Universidade Federal da Bahia, 2002.

RIBEIRO, G. A. P. **As Propriedades Magnéticas da Matéria: Um Primeiro Contato**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Carlos, vol. 22, nº 3, setembro 2000.

SILVA, C.C. et al. **Estudo de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

SILVA, C. C. (ed.) Pierre Curie e a simetria das grandezas eletromagnéticas. In: **Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, no prelo.

SOUZA FILHO, M.P.; CALUZI, J.J. **Sobre as experiências relativas à imantação do ferro e do aço pela ação da corrente voltaica: uma tradução comentada do artigo escrito por François Arago**. Revista Brasileira do Ensino de Física. vol. 31, nº.1, pp. 1603.1-1603.12. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/>>. Acesso em: 21/11/2017.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A.; Sears e Zemansky Física III: **Eletromagnetismo**. 10 ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2007. 3 v.

APÊNDICE – A importância da simetria nas grandezas Físicas Simetria das grandezas eletromagnéticas

Segundo Silva (2006), o físico francês Pierre Curie (1859-1906), fez um trabalho em 1894 sobre as propriedades de simetria de grandezas físicas com resultados experimentais, especificamente eletrólise e polarização da luz, para determinar as propriedades de simetria das grandezas eletromagnéticas.

Nesse trabalho, ele cita os vetores polares e axiais e discute a importância que a simetria tem para explicar melhor os fenômenos físicos, dentro desse estudo Curie fala que é a assimetria de um sistema é que possibilita a existência de algum fenômeno. Ele fala que “a simetria das causas se mantém nos efeitos”, ou seja, se dentro de um determinado sistema existe simetria, os fenômenos advindos desse mecanismo permanecem simétricos.

Um dos conceitos básicos da simetria é o “plano de simetria”. Para que uma figura seja considerada simétrica, sua reflexão tem que ser igual à outra metade no plano. Também existem figuras que além de possuírem simetria por reflexão, possuem simetria por rotação que é o caso do hexágono e do círculo, isso acontece quando o hexágono gira em torno do seu centro no próprio plano da página, onde ele permanecerá semelhante ao original. E por último temos figuras que possuem simetrias diferentes, quando estão paradas são simétricos e quando estão girando em torno do seu próprio eixo de rotação não são simétricos. Um exemplo seria o cilindro em rotação, não é simétrico em relação a reflexões nos planos que passam pelo seu eixo (figura 10).

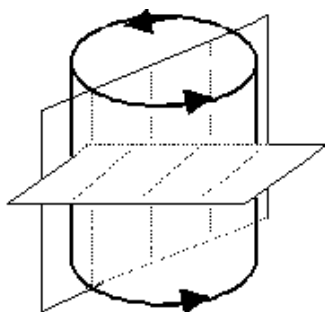


Figura 27 – O cilindro em rotação é simétrico com relação a qualquer plano perpendicular ao seu eixo.

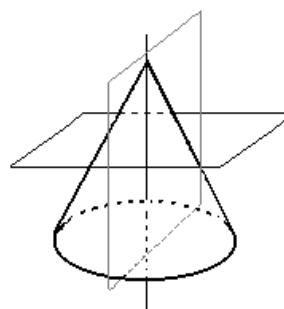


Figura 28 – No entanto, o cone não é simétrico com relação a um plano perpendicular

Vetores polares (duas extremidades de pólos de tipos diferentes) são grandezas que possuem o mesmo tipo de simetria que um segmento de

reta orientada. Como exemplo: a velocidade que é um deslocamento (vetor polar) dividido por um tempo (escalar), com isso a velocidade é também um vetor polar. Seguindo os mesmos argumentos, as forças são consideradas vetores polares, pois a segunda lei de Newton diz que **força = massa x aceleração**.

Com relação a esse estudo é que duas coisas iguais entre si devem ter a mesma natureza, ou seja, quando ele afirma que a força e o produto da massa pela aceleração então a simetria da força e semelhante a da aceleração porque a massa é o tempo são escalares. As grandezas vetoriais que são representadas por segmentos de retas orientadas, como velocidade, deslocamento, força e campo elétrico mostram a mesma simetria de um cone. No entanto, existem também grandezas vetoriais decorrente de rotações e resultantes de um produto vetorial como velocidade angular, torque, momento angular e o campo magnético e que possuem simetria igual ao de um cilindro girando. Vetores polares são simétricos em relação a um plano paralelo (figura 12), porém quando essa reflexão fica em um plano perpendicular o vetor em questão é antissimétrico (figura 13). Agora, quando se trata de vetores axiais ou pseudo-vetores as relações se invertem, ou seja, quando esse vetor é posicionado a uma reflexão perpendicular a um plano, ele é simétrico (figura 14), no entanto quando se coloca o mesmo vetor no plano paralelo, ele é considerado antissimétrico (figura 15).

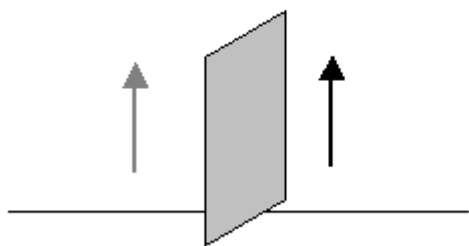


Figura 29 - Vetor polar possui a mesma simetria quando submetido a sua reflexão paralela.

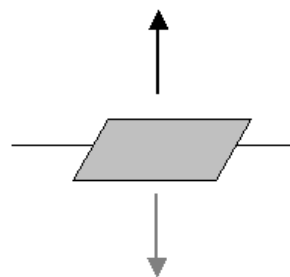


Figura 30 - Quando a reflexão é perpendicular ao vetor polar ele é antissimétrico.

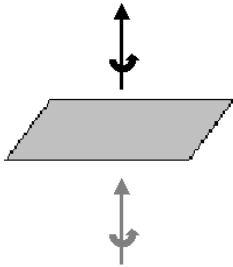


Figura 31 – quando a reflexão é perpendicular o vetor axial é simétrico.

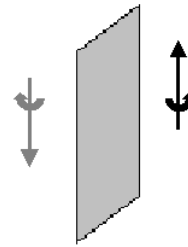


Figura 32 - porém quando um vetor axial é submetido a uma reflexão paralela, ele é antissimétrico

Abordagem atual de simetria da experiência de Oersted

De acordo com Silva (2006), do ponto de vista do conceito da simetria, é definido que a figura (16a) é antissimétrica e a figura (16b) é simétrica. Tendo em vista o que já foi discutido, esperava-se que o sistema da figura (a) demonstrasse a existência de um fenômeno, pois a causa é antissimétrica e previa-se um efeito antissimétrico também. No entanto, o fenômeno é visto no sistema simétrico da figura (b) que deveria conservar sua simetria. Com isso, concluiu-se que se a agulha sofreu alguma deflexão o resultado é antissimétrico. Curie diferencia as grandezas envolvidas como: as grandezas elétricas (corrente elétrica) representadas pelo vetor \mathbf{i} e as grandezas magnéticas (agulha imantada) pelo vetor \mathbf{u} .

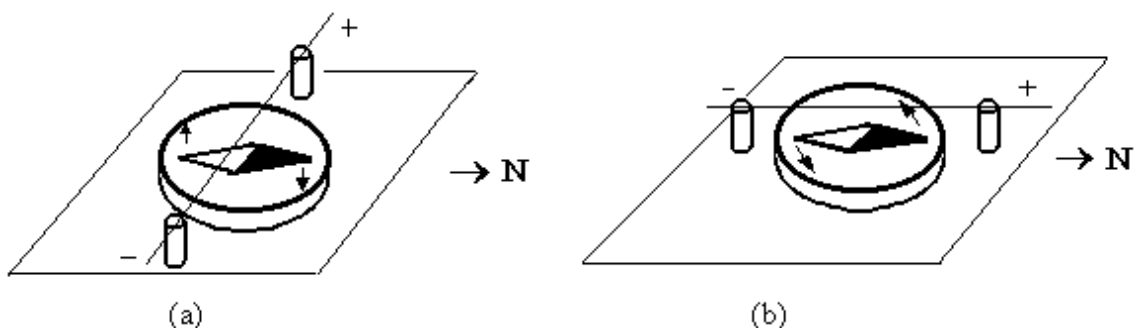


Figura 33- mostra o experimento de Oersted.

Quando Curie estudou o campo elétrico entre duas placas de zinco e cobre, como as placas de um capacitor. Ele colocou uma carga em algum ponto do campo e percebeu que esta carga receberá uma força que tem a simetria de uma seta, logo concluiu que a simetria do campo elétrico é uma seta.

Curie demonstra que o campo magnético tem simetria axial através do plano de polarização da luz. Se colocarmos um sólido (vidro) que não produz rotação do plano de polarização da luz, e nesse vidro aplicarmos um forte campo magnético (com o campo direcionado paralelo a direção de propagação da luz), o sólido terá novas propriedades e produzirá a rotação do plano de polarização da luz (efeito Faraday). O sólido sozinho não produz efeito algum, porém quando é aplicado um campo magnético é inserido, surge uma espécie de simetria que causa um efeito novo. Em vista disso, o campo magnético não tem simetria em relação à reflexão em um plano paralelo ao campo. Conclui-se que o vetor em questão é axial e não polar.