

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Gilberto de Oliveira Paulino

O EXPERIMENTO DEMONSTRATIVO DE OLIVER LODGE: UMA
PROPOSTA DE INSERÇÃO DA ABORDAGEM HISTÓRICO-
FILOSÓFICA PARA O ELETROMAGNETISMO

Juiz de Fora
2018

Gilberto de Oliveira Paulino

O EXPERIMENTO DEMONSTRATIVO DE OLIVER LODGE:
Uma proposta de inserção da abordagem histórico-filosófica para o
eletromagnetismo

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de
Física, polo 24 - UFJF/IF-Sudeste-MG, como
parte dos requisitos necessários à obtenção do
título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Wilson de Souza Melo

Juiz de Fora
2018

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Paulino, Gilberto de Oliveira.

O experimento demonstrativo de Oliver Lodge : uma proposta de inserção da abordagem histórico-filosófica para o eletromagnetismo / Gilberto de Oliveira Paulino. -- 2018.

135 f.

Orientador: Wilson de Souza Melo

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, ICE/IFSEMG. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2018.

1. Ensino de Física. 2. História e Filosofia da Ciência. 3. Experimentos Históricos. 4. Oliver Lodge. 5. Pedagogia Histórico Crítica. I. Melo, Wilson de Souza, orient. II. Título.

Gilberto de Oliveira Paulino

O EXPERIMENTO DEMONSTRATIVO DE OLIVER LODGE:
Uma proposta de inserção da abordagem histórico-filosófica para o
eletromagnetismo

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 24 - UFJF/IF-Sudeste-MG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em ____/_____/_____, por:

Dr. Nome do Membro da Banca

Dr. Nome do Membro da Banca

Dr. Nome do Membro da Banca

Juiz de Fora
2018

Dedicatória

Dedico esta dissertação aos trabalhadores em educação que bravamente resistem aos ataques de toda natureza e permanecem em luta por uma educação pública, de qualidade, laica, com acesso universal e em melhores condições de transmitir as classes populares o conhecimento científico e cultural acumulado pela humanidade.

Agradecimentos

Penso que não seriam justos agradecimentos restritos apenas ao período que compreendeu este mestrado. Permito-me aqui, em que pese torná-lo um pouco longo, fazer agradecimentos relativos a todo o processo que me formou e que hoje me possibilita realizar esta pequena contribuição.

Pertencer a um grupo estatisticamente ínfimo me faz refletir sobre os agradecimentos. Para agradecer é preciso entender o que determina um filho de pedreiro e costureira, ambos sem sequer o 4º ano do Ensino Fundamental completo, alcançar a instrução de pós-graduado em um país extremamente desigual, onde os números apontam que tal fato quase se configura um milagre. Não acredito em um indivíduo que perambula pelo mundo capaz de tomar decisões livremente e que colha os louros do sucesso de suas escolhas de maneira pessoal. A meritocracia é um conjunto de ideias para justificar o fracasso como algo pertinente apenas ao indivíduo, disso não há a menor dúvida. Somos seres determinados por diversos fatores complexos, quer os reconheçamos ou não.

Isso dito, agradeço a alguns destes determinantes que consigo limitadamente identificar.

Agradeço aos amigos feitos na adolescência, enquanto aluno de escola pública em São João Nepomuceno, com os quais aprendi a manusear e fazer uso com prazer de um livro, objeto formador imprescindível que não constava sequer como adorno no ambiente familiar. Aqui, talvez, o ponto de inflexão determinante para chegar até esta dissertação.

Agradeço aos movimentos sociais aos quais me associei ao longo da minha vida e que me despertaram para a necessidade de refletir sobre a realidade e em despender força para auxiliar na sua modificação. A todos os amigos e amigas de movimento estudantil, de corrente “O Trabalho” e de Sindicato dos Professores.

Agradeço a UFJF por toda assistência estudantil que usufruí durante minha graduação, que em falta teria me obrigado a desistir e que, por vezes, precisou de complementação de amigos aos quais sou profundamente agradecido. Os nomino nas pessoas de Joanisio Dias e Felipe Salles, ambos de benevolência incomum.

Aos colegas professores em meu local de trabalho, onde juntos resistimos aos ataques em busca de uma educação pública de qualidade.

À minha família pelos valores cultivados em seu seio que busco conservar.

Agradeço, especialmente, a minha esposa pelo seu companheirismo, sem o qual seria impossível manter a sanidade durante esta empreitada.

A todos os professores do programa com os quais muito aprendi nesta caminhada.

Ao meu orientador, Wilson Melo, que pacientemente me auxiliou nesta tarefa.

Aos professores Paulo Henrique Dias Menezes, André Koch Torres Assis, a professora Ivoni de Freitas Reis, pelas importantes dicas e contribuições a respeito deste trabalho.

Aos alunos do 3MA de 2017 da Escola Estadual Duque de Caxias, por se disporem a colaborar com a aplicação deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradecemos à FAPEMIG pelo apoio de taxa de bancada - Projeto MPR 00703-15.

.

RESUMO

**O EXPERIMENTO DEMONSTRATIVO DE OLIVER LODGE:
Uma proposta de inserção da abordagem histórico-filosófica para o
Eletromagnetismo**

Gilberto de Oliveira Paulino

Orientador:
Wilson de Souza Melo

Este trabalho tem a finalidade de propor uma sequência didática, com abordagem histórico-filosófica, utilizando-se de experimentos e demonstrações históricas na introdução de conceitos do eletromagnetismo no Ensino Médio. Através desta sequência didática, apresenta-se aos estudantes do Ensino Médio o conceito de ondas eletromagnéticas, numa dinâmica histórica que inclui discussões a respeito da natureza da ciência. O experimento histórico escolhido didaticamente como central é o experimento demonstrativo de Oliver Lodge, que projetou um sistema efetivo de recepção das ondas eletromagnéticas cuja principal inovação foi o emprego do coesor no lugar da antena de Hertz. Nessa dissertação, assume-se uma perspectiva pedagógica que se aproxima da Pedagogia Histórico-Crítica (PHC) na medida em que considera a difusão dos conteúdos, vivos e atualizados e a transmissão de conhecimentos historicamente acumulados pela humanidade, tarefas centrais da Educação. Constatamos uma afinidade entre a PHC e o ensino de ciências e concluímos que o referencial da PHC pode subsidiar o uso da História e da Filosofia da Ciência no ensino de ciências. Por fim, apresenta-se um relato e avaliação do desenvolvimento e aplicação efetiva da sequência didática proposta em sala de aula. O Produto Educacional desenvolvido neste trabalho de mestrado consiste na sequência didática e sua descrição, dos textos e questionários utilizados nas aulas e do texto de apoio ao professor.

Palavras-chave: Ensino de Física, História e Filosofia da Ciência, Experimentos Históricos, Oliver Lodge, Pedagogia Histórico-Crítica.

Juiz de Fora
2018

ABSTRACT

THE OLIVER LODGE DEMONSTRATION EXPERIMENT: A proposal of insertion of the historical-philosophical approach for the Electromagnetism

Gilberto de Oliveira Paulino

Supervisor(s):
Wilson de Souza Melo

This work has the goal of proposing a didactic sequence, with historical-philosophical approach, using experiments and historical demonstrations in the introduction of electromagnetism concepts in High School. Through this didactic sequence, the students of high school are presented to the concept of electromagnetic waves, in a historical dynamic that includes discussions about the nature of science. The historical experiment chosen didactically as central is the Oliver Lodge's demonstrative experiment, which designed an effective system for receiving electromagnetic waves whose main innovation was the use of the coesor instead of the Hertz's antenna. In this dissertation, is assumed a pedagogical perspective that approaches the Historical-Critical Pedagogy (PHC) insofar as it considers the dissemination of live and up-to-date contents and the transmission of knowledge historically accumulated by humanity, central tasks of Education. We verified an affinity between the PHC and the Science Teaching and we concluded that the PHC referential can subsidize the use of History and Philosophy of Science in Science Teaching. Finally, a report and evaluation of the development and effective application of the didactic sequence proposed in the classroom is presented. The Educational Product developed in this master's work consists of the didactic sequence and its description, in the texts and questionnaires used in the classes and in the text to support the teacher.

Keywords: Teaching Physics, History and Philosophy of Science, Historical Experiments, Oliver Lodge, Historical-Critical Pedagogy.

Juiz de Fora
2018

Sumário

Capítulo 1 Introdução	11
Capítulo 2 O Eletromagnetismo	18
2.1 Hans Christian Oersted e o descobrimento do eletromagnetismo	19
2.2 André-Marie Ampère	23
2.3 Michael Faraday	27
2.4 O éter	32
2.5 James Clerk Maxwell	34
Capítulo 3 O recorte histórico	39
3.1 Oliver Lodge	39
3.2 O trabalho de Oliver Lodge	41
3.3 Heinrich Hertz	45
3.4 Lodge e o efeito Branly	47
3.5 O episódio histórico: a palestra de 1894.	48
Capítulo 4 Desenvolvimento do trabalho	51
4.1 Em busca de um sentido e significado para o trabalho	51
4.2 Da síncrese a síntese	56
4.3 Porque este recorte histórico?	63
4.4 Tempo didático	64
4.5 Experimentos históricos	65
4.6 Simplificações e omissões	67
4.7 A historiografia	68
Capítulo 5 Sequência didática	70
5.1 Estrutura da sequência didática	71
5.2 Descrição da sequência didática	72
5.2.1 Encontro 1	72
5.2.2 Encontro 2	74
5.2.3 Encontro 3	75
5.2.4 Encontro 4	77
5.2.5 Encontro 5	78
5.3.6 Encontro 6	80
5.3 Avaliação	80
Capítulo 6 Aplicação, resultados e discussões	81
6.1 Relato da aplicação	81
6.1.1 Encontro 1	81
6.1.2 Encontro 2	83
6.1.3 Encontro 3	84
6.1.4 Encontro 4	87
6.1.5 Encontro 5	88
6.1.6 Encontro 6	89
6.2 Discussão dos resultados e observações sobre a prática	90
Capítulo 7 Conclusão	96
Referências Bibliográficas	99
Apêndice A Produto educacional	104
Apêndice B Questionários aplicados	115
Apêndice C Textos utilizados na sequência didática	122

Capítulo 1

Introdução

As recentes reformas educacionais em nosso país, como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e a Base Nacional Curricular Comum (BNCC), apontam para a necessidade da contextualização histórico-social do conhecimento científico. Os PCN, por exemplo, indicam entre as competências e habilidades no ensino de Física que o aluno deve ser capaz de reconhecer a Física enquanto construção humana através de aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político e econômico (BRASIL, 2002).

Em que pese toda a crítica as dimensões pedagógicas de conjunto destes documentos, que faremos de maneira apropriada no decorrer do trabalho, é preciso destacar essa percepção da Ciência, e em particular da Física, presentes nos documentos oficiais que regulam o currículo no país, como ponto de apoio para uma intervenção que implica em considerar a contribuição da História e Filosofia da Ciência (HFC) ao ensino.

A importância da HFC no ensino das ciências tem sido reforçada e abordada em vários trabalhos nos últimos anos. Ao longo das últimas décadas, a pesquisa em ensino de ciências tem evidenciado a relevância do papel desempenhado pela HFC no ensino e aprendizagem das ciências. Há grande número de artigos publicados em revistas especializadas na área, além de eventos e congressos que destinam espaços específicos para essa temática (MARTINS, 2007).

Dentre as potencialidades desta abordagem destaca-se que

O uso da História da Ciência no ensino e na formação do professor teria o condão de transformar o discurso científico frio, dissertativo, impessoal e estático, num discurso narrativo, sequenciado, passível de inter-relações. [...] A introdução da dimensão histórica no conteúdo científico teria, assim, a capacidade de tornar o conteúdo mais interessante por trazê-lo para mais perto do universo cognitivo não só do aluno, mas do próprio homem, que antes de conhecer cientificamente, constrói historicamente o que conhece. (CASTRO, 2016, p.30)

Segundo apontam pesquisadores como Matthews (1995), a aproximação da HFC ao ensino de ciências humaniza as ciências tornando-a algo palatável aos estudantes e ao professor. Esta abordagem contribui para aproximar as ciências dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade, tornando as aulas de ciências mais reflexivas, permitindo o desenvolvimento do pensamento crítico (MATTHEWS, 1995).

Para este autor as abordagens histórico-filosóficas podem

Contribuir para um entendimento mais integral da matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do “mar de falta de significação” que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde formulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam (MATTHEWS, 1995, p.165).

Ainda que a reflexão acima seja datada de 1995 e que o autor não se refira à realidade do ensino de ciências no Brasil ao descrever um ensino carente de significação e repleto de fórmulas e equações, podemos, sem prejuízo na análise, transpor suas palavras para o quadro atual da educação científica no Brasil.

Como argumentam Nascimento, Fernandes e Mendonça (2010), o distanciamento existente entre o que se deseja do ensino de ciências no Brasil e as possibilidades de sua efetivação concreta se deve ao quadro real de dificuldades dos professores em romper com uma profunda concepção positivista de ciência e com uma concepção conservadora autoritária de ensino-aprendizagem como acumulação de informações e de produtos da ciência. Esses fatores seguem influenciando e orientando a prática educativa assim como as carências de informação geral, científica e pedagógica, as inadequadas condições objetivas de trabalho que encontram no exercício da profissão e a determinadas políticas educacionais fundamentadas em princípios contraditórios a formação crítica dos cidadãos (NASCIMENTO, FERNANDES e MENDONÇA, 2010). É na perspectiva de enfrentamento dessa realidade que as potencialidades da abordagem da História e Filosofia da Ciência aplicada ao ensino se tornam aliadas ao professor.

É preciso atenção aos perigos do mau uso da HFC e de suas consequências ao ensino. Como alerta Martins (1990), o uso da História da Ciência como recurso de convencimento acerca da “verdade” das leis evocando o nome de cientistas com um discurso de autoridade, o uso de anedotas históricas com o intuito

de suavizar as aulas de ciências e a simples inserção de nomes e cronologia durante a exposição de conteúdos em nada ajudam o ensino da própria ciência e ainda colaboram para uma visão distorcida e mistificada da própria ciência (MARTINS, 1990).

Existem outras dificuldades apresentadas por diversos autores, dentre elas o anacronismo e problemas na formação dos professores de ciências. Contudo, acreditamos que, em face da contribuição que uma abordagem histórico-filosófico para um ensino de ciências que se pretenda crítico oferece, compensa o enfretamento dos obstáculos proporcionados pela complexidade da sua inserção no ensino.

Os autores Teixeira, Greca e Freire Jr. (2012) com o intuito de levantar o estado da arte na área de pesquisa referente ao uso didático da HFC no ensino de ciências, em particular de Física, concluíram que há uma comunidade relativamente numerosa de pesquisadores trabalhando em seu uso didático no ensino de ciências (em particular, de Física), no cenário brasileiro. Em contrapartida, o número de trabalhos que se ocupam de fato em investigar intervenções didáticas em salas de aula de Física com uso de HFC é significativamente pequeno.

Cerca de 87% dos trabalhos analisados não são de pesquisas que investigam a intervenção efetiva em sala de aula. Isso mostra uma relativa escassez das pesquisas de natureza empírica que são publicadas sobre intervenção em sala de aula de Física com uso de HFC (TEIXEIRA; GREGA; FREIRE, 2012). Oliveira e Silva (2011) pesquisaram trabalhos que relatavam o uso da HFC no Ensino de Física em anais de dois dos principais eventos de Ensino de Física (EPEF e SNEF) entre os anos 2000 e 2009 e concluíram que, de 125 trabalhos levantados inicialmente, apenas 26 tiveram uma intervenção prática em sala de aula, concluindo que há muito o que fazer na área que envolve História e Filosofia da Ciência no que diz respeito à parte prática em sala de aula. É neste contexto que se enquadra o presente trabalho.

O objetivo geral de nosso trabalho é contribuir com uma sequência didática de abordagem histórico-filosófica, que se utiliza de experimentos e demonstrações históricas na introdução de conceitos do eletromagnetismo no Ensino Médio e avaliar sua aplicação efetiva em sala de aula.

Os objetivos específicos que destacamos são apresentar aos estudantes, através da sequência didática, o conceito de ondas eletromagnéticas em uma dinâmica histórica e discutir a respeito da natureza da ciência no Ensino Médio.

Entende-se por natureza da ciência (NdC) o estudo dos aspectos constituintes da ciência como sua relação com a cultura e a sociedade, o caráter mutável das ideias científicas, a humanização dos cientistas dentre outras questões. A NdC como sendo um conjunto de conhecimentos sobre a ciência que trata de seus métodos, objetivos, limitações, influências, etc. (SILVA; MOURA, 2008).

Ao discutir a natureza da ciência como um objetivo da sequência didática busca-se afastar concepções equivocadas e ingênuas sobre a ciência tais como a concepção empírico-indutivista da ciência, a visão rígida (algorítmica, exata, infalível) da metodologia científica, a visão acumulativa e linear da História da Ciência, a visão descontextualizada e socialmente neutra da atividade dos cientistas, a visão individualista e elitista da ciência, entre outras. Essas noções compõem o que poderia ser caracterizado como uma concepção de senso comum da ciência e de seu desenvolvimento, amplamente presente em nosso cotidiano e propagada pelos veículos midiáticos (jornais, revistas, TV, etc.) em geral, e até por livros didáticos e professores de ciências (MARTINS, 2015).

Seguindo a orientação de Acevedo, Vázquez, Paixão, Acevedo, Oliva e Manassero (2005) a respeito das preocupações na didática em ciências responderemos, dentro dos limites deste trabalho, a duas das perguntas levantadas pelos autores que precisam ser respondidas ao se construir uma proposta didática: a primeira é “que tipo de ciência nos referimos quando falamos de NdC?”; e a segunda questão é “para que queremos ensinar NdC?”.

Sobre a primeira pergunta, pretendemos favorecer uma visão de ciência que a compreenda em desenvolvimento em um contexto cultural, de relações humanas, de dilemas profissionais e de necessidades econômicas, ou seja, promover uma visão sobre a construção do conhecimento científico como uma atividade humana, assim como Forato (2009).

O método científico, como meio para se conhecer a realidade, pode ser compreendido como um conjunto de concepções sobre o homem, a natureza e o próprio conhecimento que sustenta um conjunto de regras de ação, de procedimentos prescritos para se construir o conhecimento científico. Nesta perspectiva, é importante ressaltar que o método não é único e nem permanece

exatamente o mesmo, uma vez que ele reflete as condições históricas do momento em que o conhecimento foi elaborado. Os métodos científicos transformam-se no decorrer da História, ou mesmo coexistem diferentes métodos em determinados momentos que coexistem diferentes concepções de homem, natureza e conhecimento. Ou seja, o método científico é historicamente determinado e só pode ser compreendido dessa forma (ANDERY; MICHELETTO; SÉRIO; RUBANO; MOROZ; PEREIRA; GIANFALDONI; SAVIOLI; ZANOTTO, 2014).

Nesse sentido, Forato (2009) defende que a História da Ciência pode ser utilizada para fomentar uma concepção de ciência de acordo com os pressupostos que queremos defender.

A respeito da segunda pergunta, o interesse no ensino sobre a natureza da ciência se relaciona diretamente com a forma como compreendemos a educação e, em particular, a concepção de qual deva ser o papel da educação científica na Educação Básica. É uma perspectiva de educação que considera a difusão dos conteúdos vivos e atualizados e a transmissão de conhecimentos e de conteúdos culturais uma das tarefas primordiais do processo educativo em geral e da escola em particular. A educação científica, portanto, deve estar a serviço desta tarefa. Um ensino de ciências que transmita o conhecimento, que não seja neutro e que seja historicamente acumulado pela humanidade de tal maneira que se perceba a sua dinâmica histórica. Nesse sentido, discutir aspectos da natureza da ciência ganha relevância. Esta discussão será apresentada de maneira mais aprofundada no Capítulo 4.

No que tange ao outro objetivo específico da sequência didática em que destacamos a construção do conceito de ondas eletromagnéticas, podemos entender “conceito” por uma representação de um objeto pelo pensamento, por meio de suas características gerais. É uma ideia, ou seja, a “representação mental de uma coisa concreta ou abstrata” ou “os objetos de pensamento enquanto pensados” (FERREIRA, 1999 apud GASPARIN, 2008, p. 4).

Será importante ressaltar o aspecto histórico do conceito enquanto constituinte do conhecimento científico e, por isso mesmo, datado, carregando as intenções, as preocupações e as dificuldades de sua sistematização e as soluções que apresentou para as questões do tempo em que foi produzido e como foi transposto para a história atual. Ao trabalhar o conhecimento científico na perspectiva universal, pode-se correr o risco de pensar que, por ser universal e

neutro, que os conceitos correspondentes também sejam neutros por serem universais (GASPARIN, 2008).

Nenhuma ciência é neutra; nenhum conceito é neutro. Os conceitos científicos, ao se apresentarem como universais, carregam a marca de sua origem burguesa, ou proletária, religiosa, cultural, de um determinado tempo, etc. Essas e outras dimensões são facilmente esquecidas ou deixadas de lado quando o professor se atém apenas ao que trazem os manuais e apresenta aos alunos como sendo a verdade universal e, portanto, sem as marcas históricas. Os conceitos científicos universais devem ser conhecidos, transpostos e reinterpretados dentro do novo tempo, para que os educandos compreendam a universalidade do conhecimento que explica os fenômenos gerais, mas também esclarece e faz compreender a realidade concreta, específica, particular de cada educando (GASPARIN, 2008, p. 123).

Disso decorre a relevância da apresentação de um conceito em uma perspectiva histórica. Como afirma Dias (2001), a História é o foro onde a análise conceitual pode ser feita permitindo rever conceitos, criticá-los, recuperar significados e os entender a luz de novas descobertas. Ela é, pois, o instrumento da formação intelectual e da assimilação de conceitos. Consequentemente, a História de uma ciência é essencial à heurística da descoberta científica. Ela é o instrumento de formação de pensadores. Na medida em que crítica, ela subverte, mas dentro de métodos e categorias do pensamento; portanto, a História é o instrumento da formação de uma mente disciplinadamente indisciplinada na crítica dos conceitos científicos (DIAS, 2001).

Diante do exposto podemos dizer que os dois objetivos específicos da sequência didática, a saber, discutir o conceito de ondas eletromagnéticas e a natureza da ciência, deva ser trabalhado de maneira concomitante e em articulação, uma vez que o conceito de ondas eletromagnéticas se dá em uma construção histórica, o que implica compreender aspectos da natureza histórica da ciência.

A aplicação deste trabalho nos possibilitou constatar que uma abordagem com recorte histórico bem delimitado se mostrou um instrumento pertinente para a realização dos objetivos específicos que nos propomos a atingir.

A sequência didática apresentada como produto educacional resultante deste trabalho se utiliza de experimentos e demonstrações históricas com foco no experimento demonstrativo de Oliver Lodge, que projetou um sistema efetivo de

recepção das ondas eletromagnéticas em 1894, cuja principal inovação foi o emprego do coesor no lugar da antena de Hertz.

O Capítulo 2 fará uma apresentação do eletromagnetismo em uma perspectiva histórica e contextualizada, preocupada em superar o senso comum e a abordagem linear e simplista da história da ciência.

O Capítulo 3 apresenta o recorte histórico em que se situa o episódio histórico que destacamos na sequência didática. Este capítulo permite uma melhor compreensão do contexto em que estava o eletromagnetismo no momento da apresentação que Lodge fez de seu experimento.

Em seguida, o Capítulo 4 descreverá o processo de formulação e desenvolvimento da proposta de sequência didática que passa pela motivação para o trabalho em primeiro lugar e transcorre pelas escolhas dos objetivos educacionais, da estratégia didática para atingir tais objetivos e dos recursos didáticos utilizados em cada aula. Relatamos também as dificuldades encontradas nesse caminho.

O Capítulo 5 trata-se da sequência didática e de seu detalhamento.

No desenvolvimento do trabalho algumas questões surgiram, como:

1) os estudantes se utilizam da ideia de ondas eletromagnéticas para explicar fenômenos?

2) a sequência didática permitiu aos estudantes incorporarem o conceito de ondas eletromagnéticas como ferramenta explicativa de fenômenos?

3) os estudantes compreenderam a dimensão histórica da construção deste conceito?

4) foi possível aos estudantes compreenderem aspectos relativos a natureza da ciência?

Outra pergunta que separamos do conjunto acima é relativa ao referencial teórico utilizado. Pode ser expressa como:

5) a sequência didática com um enfoque histórico–filosófico contribui para a realização dos pressupostos PHC? A estas questões, o Capítulo 6 busca apresentar as devidas respostas e relata a aplicação da sequência em uma escola da rede estadual de Minas Gerais.

Por fim, o Capítulo 7 traz algumas conclusões deste empreendimento.

Capítulo 2

O Eletromagnetismo

Este capítulo apresenta o eletromagnetismo em uma perspectiva histórica e contextualizada, coerente com a proposta de abordagem presente na sequência didática do Capítulo 5. Essa sequência didática se propõe indicar uma possibilidade de abordagem histórico-filosófica do eletromagnetismo no ensino de Física no Ensino Médio.

A apresentação que realizamos aqui difere da maioria dos livros didáticos quando estes abordam a história do eletromagnetismo. Estamos preocupados em superar o senso comum e a abordagem linear e simplista da História da Ciência e, ressaltar como aspectos sociais se relacionaram com o desenvolvimento da Física e em particular, com o desenvolvimento do eletromagnetismo. Estamos de acordo com Allchin (2004 apud FORATO, 2009), de que se nos esforçamos para não ensinar pseudociências porque deveríamos ensinar a pseudohistória da ciência?

Faremos referência aos mais importantes cientistas intervenientes no tema, deixando de fora muitíssimos outros que, embora em menor escala, nele participaram. Não fugiremos aqui dos nomes comumente ressaltados ao contar a história do eletromagnetismo como Oersted, Biot, Savart, Ampère, Faraday e Maxwell, mas com a preocupação de não retratá-los linearmente como se cada um desse sua contribuição de maneira cumulativa para uma “evolução” do eletromagnetismo.

Trataremos de superar alguns equívocos históricos que se comete no ensino de eletromagnetismo, tais como a casualidade atribuída ao descobrimento experimental de Oersted; que Biot e Savart chegaram a conclusões em termos de campo magnético; que Ampère teria chegado a uma expressão para campo magnético; que Maxwell teria formulado em seus trabalhos quatro leis que resumem o eletromagnetismo, etc.

2.1 Hans Christian Oersted e o descobrimento do eletromagnetismo

O fenômeno de atração entre o ferro e a magnetita é conhecido e explorado desde a Grécia antiga, assim como a capacidade do âmbar atritado atrair corpos leves. Desde, pelo menos, o século XI d.C., já se utilizava na China as propriedades de orientação de uma agulha magnetizada ao longo da direção norte-sul geográfica terrestre. No ocidente este conhecimento foi adquirido por volta do século XII (ASSIS; CHAIB, 2007).

Já em 1600, o médico inglês William Gilbert (1540-1603) publicou um livro sobre seus estudos com magnetismo e em suas conclusões fazia analogia comparando a Terra a um enorme ímã, onde os polos magnéticos do planeta estariam localizados próximo aos polos geográficos. Gilbert estudou também os fenômenos elétricos e concluiu que a possibilidade de se eletrizar com atrito não era característica exclusiva do âmbar. O vidro, o enxofre e algumas pedras preciosas também se tornavam eletrizados e, portanto, atraíam para si corpos leves quando atritados (GUERRA; REIS; BRAGA, 2004).

Com base nos experimentos, Gilbert mostrou que os fenômenos elétricos tinham características diferentes comparadas aos fenômenos magnéticos. Como o magnetismo não precisava de atrito para se manifestar e o atrito não alterava a intensidade do magnetismo, os corpos eletrizados interagiam com objetos que não interagiam com os ímãs, por exemplo (GUERRA; REIS; BRAGA, 2004).

Assis e Chaib (2007) também ressaltam as diferenças entre os fenômenos elétricos e magnéticos como o fato de não haver nada parecido no magnetismo aos isolantes na eletricidade. As cargas elétricas podem ser isoladas uma das outras, algo que não ocorre com os polos magnéticos.

Assim, por um ângulo parecia não haver relação entre eletricidade e magnetismo, mas, por outro, questões como o fato de peças metálicas serem magnetizadas ao cair um raio sobre elas levavam estudiosos a cogitarem tal relação.

De certa maneira, a relação entre eletricidade e magnetismo era conhecida antes de Gilbert. Porém, estas relações não eram de fácil compreensão e não se considerava possíveis relações intrínsecas para explicar os fenômenos conhecidos. Já se sabia, por exemplo, através de observação, que as bússolas eram

perturbadas durante tempestades e que, por ação de raios, sua polaridade podia ser invertida (MARTINS, 1986).

No início do século XIX, as semelhanças entre a simetria dos dois fenômenos guiavam a busca por demonstrações de suas relações. Uma analogia era estabelecida entre os polos norte e sul do ímã e as cargas elétricas positivas e negativas: polos e cargas de mesmo tipo se repelem e de tipos diferentes se atraem com forças inversamente proporcionais ao quadrado da distância, para ambos os casos, como já havia demonstrado Charles Augustin de Coulomb (1736-1806), em 1795. Essa analogia orientou uma série de experimentos na tentativa de demonstrar interações entre um ímã e um dipolo elétrico, além de tentativas de criar com um ímã os efeitos de um dipolo elétrico e vice-versa (MARTINS, 1986).

Hans Christian Oersted (1777-1851) não só estava a par dessas experiências, mas era considerado, antes de 1820, figura chave para os estudos destes fenômenos (MARTINS, 1986). Oersted foi um filósofo dinamarquês nascido em 1777 e reconhecido, sobretudo, por seu interesse no estudo dos fenômenos elétricos, magnéticos e de suas relações. Ele defendia existir uma relação intrínseca entre eletricidade e magnetismo em função de sua concepção filosófica a respeito da natureza. Para ele a natureza tratava-se de um todo orgânico que tinha o mesmo princípio básico e que se constituía em manifestações distintas de uma mesma força definida como atividade pura (GUERRA; REIS; BRAGA, 2004).

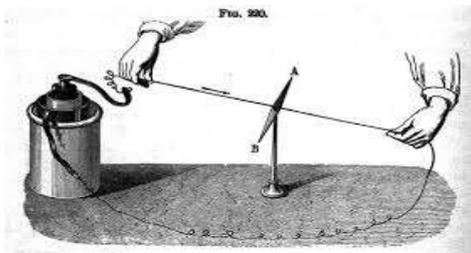
Oersted pode ser compreendido como adepto de um movimento chamado *Naturphilosophie*, corrente do pensamento alemão que se espalhou por outros países, identificado como uma rejeição de uma filosofia da natureza mecanicista típica do Iluminismo, cuja substituição seria por uma visão orgânica do universo, tal como aquela apresentada pelo filósofo Friedrich Wilhelm Joseph von Schelling (1775-1854), que enfatizava a ideia da natureza como um todo e recomendava a pensadores que perseguissem essa união (MAGALHÃES, 2005).

Magalhães (2005) defende a ideia de que a *Naturphilosophie* - identificada, às vezes, com ressalvas devido ao romantismo alemão - influenciou a ciência de maneira decisiva como se pode identificar na história das teorias da eletricidade no período de 1800 a 1850, sobretudo no trabalho de Oersted.

Oersted estava empenhado em demonstrar que eletricidade e magnetismo estavam relacionados e, em 1820, publicou os resultados, fruto de suas

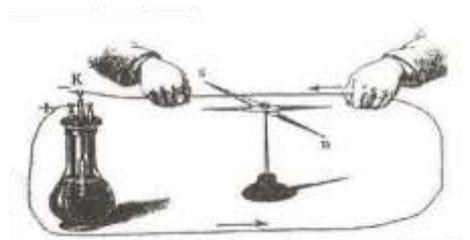
observações. O trabalho descrevia que uma agulha imantada sofria deflexão quando colocada próxima a um fio condutor por onde circulava corrente elétrica.

Figura 1. Experimento de Oersted.



Fonte: Coordinaciones Academicas¹ (2018).

Figura 2. Experimento de Oersted.



Fonte: Rocha, 2002, p.247.

Sua descoberta, portanto, foi resultado de um cuidadoso plano para explorar a unidade da natureza. Oersted já esperava encontrar a relação entre os fenômenos, como podemos ver em texto anterior a descoberta, cuja tradução encontramos em Magalhães (2005):

Como poderia haver três efeitos mais diferentes do que o calor, a eletricidade e o magnetismo? Contudo, todos eles são devidos ao efeito das mesmas forças fundamentais, só que em diferentes formas... [ainda:] De fato, seria um assunto valioso para o pensador que procurasse aquela unidade interna de todas as ciências (OERSTED, 1998, p.197 e 245 apud MAGALHÃES, 2005, p. 5).

Quando se trata de abordar o experimento de Oersted e o descobrimento de eletromagnetismo propaga-se a ideia que a verificação do efeito se deu totalmente ao acaso, como se Oersted tivesse se deparado com a experiência por sorte em seu laboratório, fato que não se verifica historicamente.

Ainda antes da experiência de 1820, as ideias mais plausíveis de se esperar para verificação eram que o fio percorrido por uma corrente se tornaria algo semelhante a uma agulha magnetizada (semelhante a um ímã com dois polos) ou que o fio se tornaria um polo magnético. Segundo Martins (1986), suposições deste tipo devem ter norteado os trabalhos de Oersted desde o início e, nesse sentido, ele teria tentado colocar um fio percorrendo uma corrente perpendicular a agulha e

¹Disponível em:

<http://dcb.fic.unam.mx/CoordinacionesAcademicas/FisicaQuimica/ElectricidadMagnetismo/biografias/8%20Hans%20Christian%20Oersted.pdf> >. Acesso em: 26/06/2018.

paralelo ao plano da agulha, além de uma corrente perpendicular ao plano da agulha.

Como sabemos, tais tentativas não resultam em nenhum movimento da agulha de maneira que não há interação entre a corrente elétrica no fio e a agulha magnetizada. Segundo o próprio Oersted, em um artigo escrito para a enciclopédia de Edinburg sobre sua descoberta, com interpretação presente em Martins (1986),

Ao preparar a conferência na qual versaria sobre a analogia entre magnetismo e eletricidade, conjecturou [Oersted] que, se fosse possível produzir algum efeito magnético pela 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 [...] 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 agulha magnética, embora fechada em uma caixa foi perturbada, mas como o efeito era muito fraco, e deveria parecer muito irregular, antes da descoberta da sua lei, a experiência não impressionou fortemente o público. [...] No mês de julho de 1820, ele novamente retomou a experiência, utilizando um aparelho galvânico muito mais poderoso. O sucesso foi agora 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 condutores de um diâmetro maior proporcionam 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 (OERSTED, 1827, apud MARTINS, 1986, p. 99).

Como pontua Martins (1986), seja qual for a direção do fio utilizada por Oersted, a descoberta não foi resultado do acaso, mas de uma mudança de atitude do cientista que se convenceu que o efeito magnético não poderia ser paralelo ao fio. Foi necessário a Oersted visualizar o fenômeno de maneira diferente da simetria que se esperava. O efeito magnético de uma corrente não era paralelo a corrente, mas apresentava um aspecto de rotação ou circulação em torno do fio (MARTINS, 1986).

A explicação que Oersted deu para sua experiência é baseada em uma interação local entre as cargas elétricas circulando ao redor do fio e os polos magnéticos da agulha imantada (ASSIS; CHAIB, 2007). É importante ressaltar ainda que a descoberta do eletromagnetismo em 1820 por Oersted, no contexto específico abordado acima, foi possível também a partir de descobertas anteriores, como a Pilha de Volta (MARTINS, 1986).

Alessandro Volta (1745-1827), após realizar vários experimentos elétricos, verificou que dois metais distintos em contato formavam uma fonte de eletricidade. Com o objetivo de aperfeiçoar seu experimento, ele empilhou placas de zinco e cobre, colocado entre cada par do metal um papel umedecido em solução ácida. Quando tentou ligar as duas extremidades da pilha por meio de um fio, observou que a simples aproximação do condutor produzia uma faísca. Devido a sua forma, o dispositivo recebeu o nome de Pilha de Volta. A pilha era um aparelho muito importante para as experiências com eletricidade, pois era bem mais poderoso do que a conhecida garrafa de Leyden² e as máquinas eletrostáticas. Com a pilha havia uma corrente elétrica circulando de forma contínua por tempo bastante longo (GUERRA; REIS; BRAGA, 2004). Em pouco tempo, a pilha passou a auxiliar todos os filósofos naturais e não foi diferente com Oersted que, com ela em seu laboratório, pode obter a corrente em um fio para seus experimentos eletromagnéticos.

2.2 André-Marie Ampère

A repercussão da descoberta de Oersted ganhou grande destaque no mundo. Nas semanas seguintes as sociedades científicas mais importantes da Europa discutiram o fenômeno. Na França, o primeiro cientista francês a tomar conhecimento do trabalho de Oersted foi François Jean Dominique Arago (1786-1853), secretário perpétuo da Academia de Ciências de Paris, que publicou uma tradução do trabalho de Oersted. A reação foi de ceticismo e desconfiança mesmo após várias reproduções dos experimentos. A dificuldade de aceitação estava relacionada com a simetria incomum do fenômeno, o que levou vários pesquisadores a se dedicarem em novos experimentos e em explicar os fenômenos

² Em 1745, Ewald von Kleist (1700-1748) na Alemanha e Pieter van Musschenbroek (1692-1761), da universidade de Leyden, na Holanda, trabalharam na busca de aumentar a potência das faíscas que as máquinas eletrostáticas geravam. Para tanto, utilizaram uma garrafa de vidro tampada com uma cortiça e nela, através da cortiça, um objeto metálico. A garrafa contendo água em seu interior em contato com o metal deveria “guardar” o fluido elétrico se estivesse isolada. O que se percebeu foi que a garrafa só produzia faísca em contato com algum condutor. Esse aparato recebeu o nome de garrafa de Leyden em homenagem a Musschenbroek e foi uma grande novidade para os que se dedicavam ao estudo da eletricidade dada a possibilidade de gerar descargas elétricas mais intensas (GUERRA; REIS; BRAGA, 2004).

relacionados. André-Marie Ampère (1775-1836) estava no centro dos desdobramentos da descoberta de Oersted (MARTINS, 1986).

Ampère nasceu em Lyon, na França, em 20 de janeiro de 1775. Tanto sua mãe como seu pai tinham origens burguesas, sendo o Sr. Ampère negociante de seda em Lyon. O pai de Ampère foi muito influenciado pelas teorias educacionais de Jean-Jacques Rousseau (1712- 1778) e, como não havia escola no vilarejo para a qual a família tinha mudado, resolveu educar seu filho seguindo as orientações do livro *Émile*, de Rousseau. O método consistia essencialmente em dar-lhe acesso a uma vasta biblioteca, deixando-o livre para educar a si mesmo de acordo com seus próprios interesses. Ampère nunca frequentou, como aluno, uma escola ou uma Universidade, sendo sempre autodidata. Devido a liberdade de estudar somente quando desejasse, aprendeu a ler tardiamente. O tempo livre, o isolamento das influências de uma vida atribulada na cidade, a distância dos problemas que a França passava e a vasta biblioteca na casa de seu pai, foram algumas das condições em que o pequeno Ampère encontrou que lhe permitiram ler tudo o quanto podia e queria (CHAIB, 2009).

Ampère perdeu, quando tinha entre 17 e 18 anos, sua irmã de 20 anos e seu pai foi morto guilhotinado na Revolução Francesa, em 23 novembro de 1793. Nesse período, Ampère entra em depressão profunda e recupera-se após um ano de inatividade. Tendo seu pai morrido, os rendimentos que antes lhe sustentavam diminuíram consideravelmente, de maneira que teve que procurar trabalho para se sustentar. A facilidade que tinha com matemática lhe permitiu ser primeiramente professor particular. Em 1802, dado o reconhecimento que obteve como professor, foi aceito na Bourg Ecole Centrale na cidade de Ain, ensinando Matemática, Química e Física. Em 1806, tornou-se membro e secretário do escritório consultivo de Artes e Manufaturas. Em 1808, Ampère torna-se inspetor geral dos estudos da Université Imperiale, fundada por Napoleão. Obtém também o cargo de professor da Escola Politécnica. Em 1814 ele ocupa a cadeira de Geometria na Academia de Ciências de Paris. Em 1819, torna-se professor de Filosofia na Faculdade de Letras de Paris. Já em 1824, torna-se professor de Física no Collège de France. No período de 1820 a 1826 realiza suas principais pesquisas eletrodinâmicas. Depois de 1827 a atividade científica de Ampère declinou rapidamente (CHAIB, 2009).

Ampère se interessou com afinco por Filosofia, dentre outros campos, e seus estudos nessa área, além de sua fé religiosa (católico por influência da mãe),

deram-lhe um olhar muito particular sobre ciência. Defendia que, embora as experiências fossem importantes e indicassem um caminho seguro ao cientista, a ciência não podia se basear exclusivamente na experiência e observações da natureza. Era preciso ir além dos fatos experimentais e investigar a causa dos fenômenos estudados (GUERRA; REIS; BRAGA, 2004).

Logo após a demonstração experimental de Arago reproduzindo os experimentos de Oersted, no mesmo ano de 1820, em Paris, Ampère apresenta uma série de trabalhos. Em um deles apresentou a ideia de um aparelho, que chamou de Galvanômetro, para, a partir do magnetismo gerado por uma corrente, medir esta corrente. Em seus estudos sobre o eletromagnetismo faz a sugestão teórica de que o magnetismo é um fenômeno secundário e que na superfície dos ímãs existiriam correntes elétricas fechadas, invisíveis, responsáveis por seus efeitos contrariando a explicação dada por Oersted de cargas elétricas circulando o condutor. Em todo o seu trabalho posterior, Ampère será guiado por essa mesma ideia central, a saber, que o fenômeno fundamental do eletromagnetismo é a ação entre correntes elétricas, não sendo necessário se concentrar na interação entre corrente e ímã. Desta forma Ampère fugia do “problema” de simetria do fenômeno e retomava a interpretação de que todas as forças a distância eram exercidas em linha reta na direção que une os corpos (MARTINS, 1986).

Nas palavras de Ampère, com tradução e palavras entre colchetes dos autores Assis e Chaib (2007), temos:

A época marcada pelos trabalhos de Newton na história das ciências não é somente [o período] das descobertas mais importantes que o homem fez sobre as causas dos grandes fenômenos da natureza, é também a época onde o espírito humano abriu uma nova rota nas ciências que tem por objeto estudar estes fenômenos. Até então tinha-se quase que exclusivamente procurado as causas [dos fenômenos naturais] no impulso de um fluido desconhecido que arrastava as partículas materiais seguindo a direção de suas próprias partículas. E para todo lugar onde se via um movimento giratório, imaginava-se um turbilhão no mesmo sentido. Newton nos ensinou que este tipo de movimento deve, como todos os que a natureza nos oferece, ser reduzido pelo cálculo a forças agindo sempre entre duas partículas materiais seguindo a reta que as une, de maneira que a ação exercida por uma delas sobre a outra seja igual e oposta à ação que esta última [partícula] exerce ao mesmo tempo sobre a primeira. Consequentemente não se pode, quando se supõem estas duas partículas invariavelmente ligadas entre si, resultar qualquer movimento [do centro de massa do sistema] devido à ação mútua entre elas. [...] Não parece que este caminho [newtoniano] - o único que pode conduzir a resultados independentes de toda hipótese - seja preferido pelos físicos do resto da Europa, tal como é [preferido] pelos franceses. E o sábio ilustre [Oersted] que viu pela primeira vez os polos de um ímã transladados pela ação de um fio condutor em direções perpendiculares à direção do fio, concluiu que a

matéria elétrica girava em torno deste, e empurrava os polos no sentido de seu movimento, precisamente como Descartes girava a matéria de seus turbilhões no sentido das revoluções planetárias. Guiado pelos princípios da filosofia newtoniana, reduzi o fenômeno observado pelo Sr. Oersted - como se fez com respeito a todos os fenômenos do mesmo gênero que nos oferece a natureza - às forças agindo sempre ao longo da reta que une as duas partículas entre as quais as forças se exercem (AMPÈRE, 1990, p. 175 e 177 apud ASSIS; CHAIB, 2007, p. 67).

Ampère, levado por essa interpretação fundamental de interação entre correntes elétricas, buscou a existência de um fenômeno novo ainda não observado por ninguém, que era a interação direta entre dois fios conduzindo correntes elétricas constantes. Encontrou não só o que buscava como explorou o fato de 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. Com isso unificou o tratamento das três classes do fenômeno, a saber; magnéticos, eletromagnéticos e eletrodinâmico (termo que cunhou mais tarde para fenômenos de interações entre correntes elétricas). Ou seja, todos eles seriam devidos a forças centrais de ação e reação entre condutores conduzindo correntes elétricas (ASSIS; CHAIB, 2007).

Ampère chegou ao final de sua pesquisa na seguinte expressão para a força a distância entre dois elementos de correntes, aqui representada em notação vetorial moderna e no sistema internacional de unidades (ASSIS; CHAIB, 2007).

Figura 3. Força de Ampère.

$$d^2\mathbf{F}_{21}^A = -\frac{\mu_0}{4\pi} I_1 I_2 \frac{\hat{r}_{12}}{r_{12}^2} \left[2 \left(d\vec{\ell}_1 \cdot d\vec{\ell}_2 \right) - 3 \left(\hat{r}_{12} \cdot d\vec{\ell}_1 \right) \left(\hat{r}_{12} \cdot d\vec{\ell}_2 \right) \right] = -d^2\mathbf{F}_{12}^A.$$

Fonte: Assis e Chaib, 2007, p. 67.

Outra interpretação alternativa para a compreensão dos fenômenos eletromagnéticos foi dada por Jean-Baptiste Biot (1774-1862) e Felix Savart (1791-1841) que, em 30 de outubro de 1820, anunciaram resultados das medições de força sobre um polo magnético (de uma agulha magnetizada, por exemplo) colocada nas vizinhanças de um fio condutor comprido percorrido por uma corrente. Diziam que a corrente elétrica ao passar pelo fio o imantava e, assim, se comportaria como um ímã comum, interagindo então com outros ímãs. Essas forças não seriam mais de atração e repulsão ao longo de uma reta que une um elemento de corrente a um

polo magnético, mas seriam perpendiculares ao plano formado pela direção do elemento de corrente e pela reta, unindo o elemento de corrente ao polo magnético. Foi a partir de tais resultados que, Laplace (1749-1828) tirou a chamada Lei de Biot-Savart, que dá a expressão geral do campo magnético criado pela passagem de uma corrente por um elemento (pequeno segmento) de fio (ROCHA, 2002).

Como veremos abaixo, Michael Faraday (1791-1867) também participara deste debate interpretativo dos fenômenos eletromagnéticos. Martins (1986) ressalta que durante alguns anos houve uma disputa interpretativa entre uma visão de interação mediada através de campos ou um tipo de “matéria elétrica” circundando em torno de um fio e uma interação a distância da forma newtoniana. Depois de certo tempo, acabou-se por perceber que os dois tipos de abordagem eram igualmente possíveis e davam conta de todos os fenômenos (MARTINS, 1986).

2.3 Michael Faraday

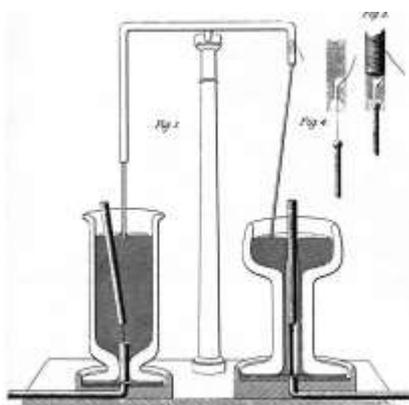
Michael Faraday nasceu em 22 de setembro de 1791, em Newington Butts, Surrey. A família Faraday se mudou para Londres quando Michael tinha cinco anos, época em que a Inglaterra sofria as consequências da Revolução Francesa. A família vivia frágil situação financeira, o que implicou em uma precária formação básica de Faraday, que aprendeu somente o necessário para ler, escrever e um pouco de matemática (DIAS; MARTINS, 2004).

Em 1804, com 13 anos, Faraday começou a trabalhar para G. Riebau como ajudante em sua livraria. Neste contato com os livros ele teve a oportunidade de melhorar sua formação, lendo com grande interesse todos os livros que podia. Em 1812, através da ajuda de um cliente da livraria, assistiu a uma série de quatro conferências do brilhante químico Humphry Davy, na Royal Institution. Anotou cuidadosamente essas conferências e enviou uma cópia para Davy, pedindo-lhe um emprego em qualquer função relacionada à Ciência. Em março do ano seguinte Faraday conseguiu o emprego e tornou-se, aos 22 anos, auxiliar de laboratório de Humphry Davy na Royal Institution de Londres. Em outubro de 1813, Faraday acompanhou Davy em viagem pela França, Itália e Suíça, onde manteve contato com cientistas de diferentes áreas, contribuindo de maneira significativa para seu enriquecimento científico. Durante vários anos apenas auxiliou Davy, que tinha um

dos mais bem equipados laboratórios da Inglaterra, em seus estudos em Química, adquirindo familiaridade com a experimentação (DIAS; MARTINS, 2004).

A Descoberta de Oersted em 1820 desperta Faraday para pesquisas independentes em eletromagnetismo. Em 1821, Faraday foi convidado a escrever um artigo de revisão sobre eletromagnetismo para a revista *Annals of Philosophy*, o que o levou a estudar o que tinha sido feito até então na área. Com isso foi instigado a realizar novas experiências, as quais foram feitas inicialmente com a ideia de que a agulha sofria atração e repulsão. Entretanto, ele logo se convenceu de que o polo magnético da agulha tendia a girar em torno do fio condutor, visão compatível com os resultados de Oersted. Faraday conseguiu inicialmente produzir a rotação de um fio condutor em torno de um ímã e, posteriormente, conseguiu fazer o polo magnético girar ao redor do fio com corrente. Em ambos os casos, ao inverter o sentido da corrente elétrica, observou que a rotação mudava de sentido. Trata-se do primeiro registro da conversão de eletricidade em movimento (DIAS; MARTINS, 2004).

Figura 4. Representação de aparelho onde na direita gira o condutor e na esquerda gira o ímã.³



Fonte: Dias e Martins, 2004, p. 522.

Em artigo de 1821, discutindo seu resultado experimental descrito acima, Faraday fez a defesa de que o efeito primitivo do eletromagnetismo era o aspecto rotacional evidenciado pelo seu experimento em detrimento de explicações como as

³ Trata-se de um aparato miniatura no qual Faraday observa o fenômeno eletromagnético de rotação com o uso de magnetos fixos e fios de cobre móveis e fios de cobre fixos, imersos em mercúrio, um metal condutor. (REIS, 2006)

de Ampère ou de Biot e Savart de ação a distância linear entre elementos infinitesimais, como na atração gravitacional.

Faraday, para defender sua tese, retomou o trabalho de Ampère sobre atração e repulsão de fios condutores lineares. Dessa análise, após árduo trabalho, concluiu que todas as diferentes atrações e repulsões observadas naquelas situações eram fruto de combinações de vários movimentos rotacionais e que, na verdade, toda ação eletromagnética se dava em linha curva (GUERRA; REIS; BRAGA, 2004).

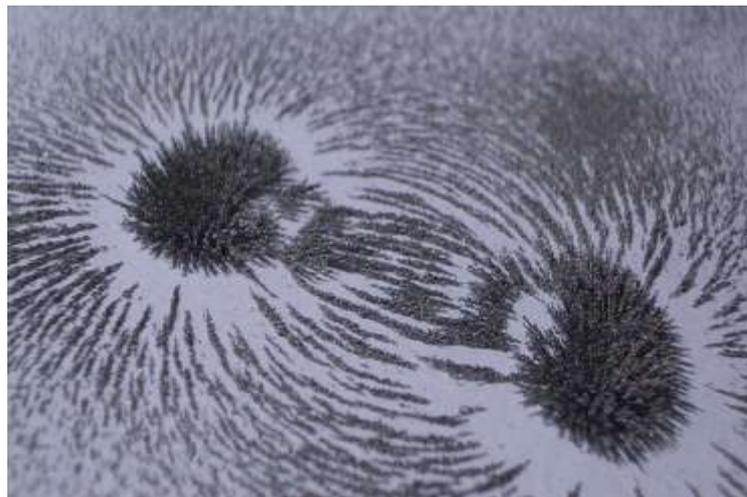
Para entendermos melhor Faraday é importante citar, como apontam alguns historiadores da ciência, seu entendimento da natureza como sendo uma unidade, o que influenciou diretamente em suas pesquisas. Segundo Magalhães (2005), Faraday chegou a escrever trabalhos científicos sobre experimentos que realizou para comprovar a interação entre a luz e o magnetismo, assim como a unidade da eletricidade e gravidade. Para Faraday, todas as forças da natureza eram dependentes entre si e tinham uma origem comum. Faraday se via como um filósofo da natureza, muito próximo à tradição da *Naturphilosophie* (MAGALHÃES, 2005).

Para Faraday a questão que se colocava era, uma vez que Oersted havia mostrado que uma corrente elétrica produzia efeito magnético, seria possível um fenômeno magnético puro gerar corrente elétrica? Em uma visão de natureza una, a resposta deveria ser sim. Buscando evidências experimentais de fenômenos relacionados à indução, Faraday construiu diversos experimentos que mostraram que ao conectar e desconectar uma pilha de um circuito era possível induzir corrente em um outro circuito que estivesse nas vizinhanças do primeiro. No dia 17 de outubro de 1831, Faraday realizou seu experimento mais conhecido, embora não tenha sido a primeira evidência, ao introduzir uma barra magnetizada no interior de uma bobina, obtendo corrente induzida enquanto a barra estivesse em movimento (GUERRA; REIS; BRAGA, 2004).

Para explicar os fenômenos de indução, Faraday recorreu à ideia, sem muito prestígio naquele momento, de que deveria existir uma mediação na interação entre corpos a certa distância um do outro. Tito de Lucrécio Caro (95 – 52 a.C.) e William Gilbert (1540-1603) já argumentavam sobre tal possibilidade via intermediação na tentativa de explicar os efeitos da magnetita ou do âmbar atritado. Lucrécio imaginava que da magnetita saíam numerosos elementos em fluxo na direção do ferro e do ferro em direção à magnetita (ROCHA, 2009). René Descartes

(1596 - 1650), por sua vez, em seu *Principia Philosophine*, de 1644 explicou os fenômenos magnéticos por intermédio de sua teoria de vórtices. Descartes imaginou que os fenômenos magnéticos da Terra, e dos pequenos ímãs, se deviam a pequenas partículas fibradas e fluidas que circulavam pela Terra em dutos, entrando através de dos poros em um dos pólos da Terra e saindo pelo outro. Como admitia existir dois tipos destas partículas, considerou que uma delas penetrava no pólo norte e o outro pelo pólo sul. A viagem de retorno dessas partículas se dava pelo ar. No entanto se nesse retorno encontrassem uma substancia magnética dotada de dutos, elas "prefeririam" passar por ela e ali permaneciam, entrando e saindo, formando vórtices. (BASSALO, 1994). Mas foi ao longo do século XIX, principalmente com Faraday, que esta ideia se consolidou. No curso de suas experiências, após observar figuras de limalhas de ferro produzidas por um ímã colocado sob uma folha de papel (Figura 5), Faraday passou a visualizar as forças magnéticas e elétricas como uma espécie de tubos de borracha ou linhas elásticas que se estendiam no espaço a partir de ímãs ou corpos eletrizados. Essas linhas, que podiam ser distorcidas, ele denominou linhas de força. Como essas linhas deveriam preencher o espaço vazio, este passa a se constituir como um campo de forças (ROCHA, 2009).

Figura 5. Limalha de ferro sofrendo ação de um ímã.

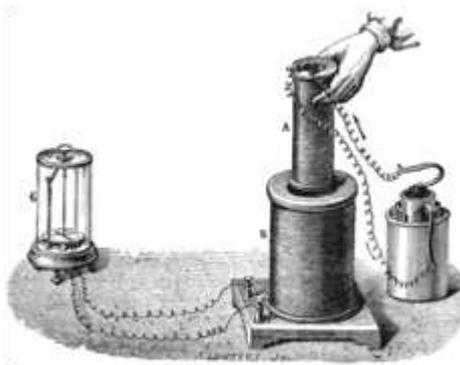


Fonte: Aprender Eletricidade (2018)⁴.

⁴ Disponível em: <<http://aprendereletricidade.com/magnetismo-limalha-de-ferro/>>. Acesso em: 26/06/2018.

Para Faraday, o meio externo como um todo se encontrava perturbado pelos condutores e pelo ímã. A indução seria provocada por variações nas linhas de força magnética da mesma maneira que um fio condutor estaria, quando por ele passa uma corrente, envolvido em todas as partes por tais linhas de força em forma de anéis, cujas intensidades diminuía conforme aumentava a distância ao fio (GUERRA; REIS; BRAGA, 2004).

Figura 6. Representação de um dos experimentos de Faraday com bobinas concêntricas⁵.



Fonte: UFPE (2018)⁶.

Faraday começava a desafiar a visão ortodoxa predominante de que fenômenos eletromagnéticos eram resultado direto da ação a distância entre partículas elétricas ao propor que os fenômenos eram causados por uma deformação em um “campo” que preenchia o espaço contíguo. No decorrer de seus estudos, Faraday negou que houvesse algo chamado “eletricidade” no sentido de uma substância que se concentrasse em condutores e fluísse em fios. Ele considerava cargas e correntes como simples consequências do estado do campo em seu entorno. Mas todo o conjunto de “linhas de força” e deformações no campo sugerido por Faraday parecia a muitos contemporâneos como um conceito vago e deselegante, especialmente se comparado com as elegantes e precisas teorias da

⁵ A bateria alimenta a bobina A e na ocorrência de uma corrente induzida na bobina B, ocorre uma pequena deflexão na agulha magnética do galvanômetro C.

⁶ Disponível em:
<<https://www3.ufpe.br/fontana/Eletromagnetismo2/EletromagnetismoWebParte02/mag2cap6.htm>>. Acesso em: 26/06/2018.

ação a distância (HUNT, 2015). Foi através do trabalho de um jovem escocês, como veremos adiante, que as ideias de Faraday ganharam destaque e legitimidade científica.

2.4 O éter

A ideia de um meio que preencheria todo o espaço nos remete a antiguidade. Muitos filósofos da época insistiram na necessidade de postular a existência de um meio que preenchesse o Universo. O nome “éter” proveio então dos escritos destes eruditos.

Alguns filósofos admitiram a existência de diversos éteres, cada um ocupando determinada região do Universo. (BRITO, 2008).

Para Aristóteles (384-322 a.C.) o éter era um fluido puro e transparente que preencheria a chamada esfera celeste (sublunar). Aristóteles aprimorou a ideia dos quatro elementos: terra, fogo, ar e água, e admitiu que tais elementos comporiam apenas as coisas na Terra, de forma que o espaço celeste seria formado por um quinto elemento – o éter. Sendo estranho ao mundo sublunar, o éter não poderia se transformar em outras substâncias, sendo incorruptível e eterno tal como o mundo celeste. O éter, então, seria uma substância que se distinguiria de todas as formas de matéria.

Mais tarde, na Idade Média, os aristotélicos denominaram o éter de “quinta essência” e, por quase 2000 anos, prevaleceu no estudo da natureza as ideias aristotélicas como um todo, incluindo esta perspectiva sobre o éter (ROCHA, 2009). Ainda na Idade Média, Tomás de Aquino (1225-1274) e os escolásticos, receando divinizar a natureza dos corpos celestes, evitaram o termo “éter”, preferindo o uso da expressão “substância sublime e luminosa” (BRITO, 2008). No século XVII, entretanto, a ideia do éter sofreu modificações com os trabalhos de René Descartes, Christiaan Huygens (1629-1695), Isaac Newton (1642-1727) e outros.

O filósofo e matemático francês René Descartes, por volta de 1638, defendeu a ideia do éter como um simples meio sutil e penetrante, o que veio a exercer influência dominante em todas as posteriores teorias sobre o mesmo tema. A principal característica da cosmologia cartesiana é concepção de que as forças

atuariam unicamente por contato. A luz e o calor eram formas de pressão transmitidas instantaneamente e, por conseguinte, a luz e o calor do Sol só poderiam atuar sobre a Terra assumindo-se que o espaço entre os dois astros seria forçosamente preenchido por uma forma de matéria, a saber, o imperceptível éter. Assim Descartes retirava à luz qualquer natureza material, exigindo porém um meio constituído por um fluido incompressível, entendido como éter, para se transmitir (BRITO, 2008).

Huygens modificou a estrutura do éter cartesiano ao considerá-lo um fluido compressível e elástico, capaz de sustentar ondas de pressão. Com base na sua teoria, Huygens conseguiu demonstrar que as vibrações mecânicas do éter eram compatíveis com a propagação retilínea da luz e derivou as leis de reflexão e refração (POLITO, 2016).

Segundo Rocha (2009), o meio propagador da luz de Huygens tinha características tais que explicaria o fato da luz ter grande velocidade, por ele já avaliada em 230.000 km/s. O fio condutor do raciocínio de Huygens foi a analogia com o som, que é uma vibração mecânica em meios como o ar, os sólidos e os líquidos. Assim como o som não se propaga no vácuo, a luz também haveria de se propagar por um meio e nunca em um espaço vazio. Em 1817, as discussões em torno desse meio elástico especial, cujas propriedades eram essencialmente diferentes daquelas que possuem os meios elásticos comuns, ganharam nova dimensão devido à hipótese da transversalidade da onda luminosa introduzida por Thomas Young (1773-1829), na tentativa de explicar os fenômenos relacionados à dupla refração.

Como consequência das ideias de Young, o cientista francês Augustin Jean Fresnel (1788-1827) foi levado a introduzir um novo modelo para o éter luminífero. O éter de Fresnel deveria comportar-se como um sólido elástico e não como um fluido, como pensavam Huygens e outros. De acordo com este modelo, o éter deveria ser rígido, pois sendo a luz uma onda transversal ela não se propagaria (da mesma forma que as ondas mecânicas transversais também não o fazem) através de um meio fluido. Mas, simultaneamente, o éter teria que ser muito tênue para, por exemplo, não oferecer resistência ao movimento dos planetas (ROCHA, 2009).

Apesar das dificuldades inerentes a tal modelo que exigia propriedades contraditórias para o éter, a hipótese da sua existência perdurou por muito tempo

recebendo, inclusive, reforço significativo na década de 1860 com o desenvolvimento do eletromagnetismo e das conclusões de que a luz era uma onda eletromagnética. Com a teoria eletromagnética da luz, o éter deixaria de ter natureza necessariamente mecânica como considerado até então, pois nessa teoria as propriedades do meio eletromagnético deveriam ser idênticas as do meio luminífero (ROCHA, 2009).

A natureza da luz sempre foi, ao longo da evolução do conhecimento científico, objeto das mais diversas especulações e controvérsias. Deve-se frisar que o que realmente interessava e preocupava os cientistas era a complexidade da natureza da luz e o seu modo de propagação. pode-se dizer que as diversas “nuances” do conceito de éter evoluíram basicamente em função dos conceitos atribuídos à luz. Assim, os modelos utilizados para definir a estrutura íntima do éter apresentam grande diversidade (BRITO, 2008).

A hipótese da existência do éter encontrou dificuldades e contestações no fim do século XIX e início do século XX, mas seu abandono enquanto ideia auxiliar explicativa dos fenômenos físicos não foi fácil e muitos cientistas tardaram, ou mesmo recusaram-se, a mudar suas concepções.

2.5 James Clerk Maxwell

James Clerk Maxwell (1831-1879) nasceu em 13 de junho de 1831, em Edimburgo, na Escócia. Maxwell mostrou desde a sua adolescência aptidão para as Ciências Naturais. Logo aos 14 anos publica o seu primeiro artigo científico, *On the Description of Oval Curves* (Descrição das Curvas Ovais, tradução livre). Este não era um trabalho inédito, tendo sido realizado anteriormente por René Descartes, mas foi um trabalho notável para um jovem de somente 14 anos. Em 1847, então com 16 anos, Maxwell ingressa na Universidade de Edimburgo, onde permanece por três anos. Posteriormente, em 1850, começa a estudar Matemática no Trinity College, em Cambridge, alegando que seria mais fácil conseguir uma bolsa de estudos nesta faculdade. Em 1854 termina sua graduação e, um ano depois, escreve o artigo *On Faraday's Lines of Force* (Sobre as Linhas de Força de Faraday, tradução livre), desenvolvendo trabalhos anteriores de Faraday sobre eletricidade e

magnetismo. Em 1860 assume o cargo de professor do King's College, na Universidade de Londres. Lá foi o primeiro cientista a utilizar a teoria das probabilidades no estudo das propriedades dos gases. É neste período que desenvolve sua teoria eletromagnética da luz. Com o falecimento de seu pai, em 1865, resolve voltar para a Escócia, assumindo uma cátedra de professor de Filosofia Natural na Universidade de Aberdeen. Neste período, Maxwell realiza constantes viagens à Universidade de Cambridge, da qual se torna professor em 1871, a fim de ajudar na construção do laboratório Cavendish. Em 1873 publica seu livro principal, *Treatise on Electricity and Magnetism* (Tratado de Eletricidade e Magnetismo, tradução livre) e, a partir de 1874, Maxwell se dedica quase que exclusivamente a editar os artigos de Henry Cavendish. Permanece na Universidade de Cambridge até a sua morte, em 5 de novembro de 1879 (TORT; CUNHA; ASSIS, 2004).

As ideias de Faraday estavam apenas à margem da respeitabilidade científica quando William Thomson (depois Lord Kelvin) (1824-1907) e Maxwell começaram a estudá-las em meados dos anos 1850 (HUNT, 2015). Thomson, em trabalho de 1843 sobre o problema da transmissão da ação elétrica em meio contínuo, explorou a analogia entre o fluxo de calor e o “fluxo de força elétrica”, mostrando a equivalência matemática entre as linhas de força em alguns problemas eletrostáticos e as linhas de fluxo de calor em um sólido elástico infinito (POLITO, 2016).

As superfícies equipotenciais em um caso correspondem às superfícies isotérmicas no outro, e a carga elétrica corresponde a uma fonte de calor. Tal exercício matemático comparativo era aparentemente de pouca valia, pois, nessa época, a eletrostática era tratada de forma simples e eficaz com base na ideia de ação a distância. O mecanismo de transferência de calor, que pressupunha ação de partes em contato, não parecia ter análogo na eletricidade. Em 1846, Thomson desenvolve um pouco mais este assunto e, adotando a ideia de um meio permeando todo o espaço (o éter clássico), compara os efeitos elétricos no éter com as variações encontradas em um corpo sólido submetido a tensões. Era uma ideia que prometia esclarecer como tal éter podia transmitir efeitos de um lugar para outro (ROCHA, 2009).

Maxwell se impressionou muito com os resultados obtidos por Faraday sobre as linhas de força. No artigo *Sobre as linhas de força de Faraday*, publicado

em 1856, procurava mostrar que por trás da ideia de linhas de força havia um pensamento matemático, embora Faraday não tenha estabelecido explicitamente. Maxwell interpretou as linhas de força como uma representação geométrica de fluxo, empregando uma analogia com a mecânica de fluidos. Uma maior concentração de linhas de força correspondia a uma maior intensidade da força elétrica, do mesmo modo que em um fluido incompressível as linhas de força corresponderiam a maior velocidade de escoamento. Maxwell assumiu que a estrutura do éter material deveria sustentar o campo de forças de modo análogo ao campo de tensões em um sólido elástico (POLITO, 2016).

Maxwell mostrou como mecanicamente um conjunto de campos elétricos e magnéticos perpendiculares e mutuamente induzidos se propagava no éter como pulsos transversais, cuja direção de propagação era perpendicular aos dois campos (POLITO, 2016). Sua conclusão matemática era que tanto o campo elétrico quanto o campo magnético obedecem à equação análoga a uma equação de ondas elásticas em sua propagação. (Rocha, 2002).

Apesar de ter sido proposto, inicialmente, como meio propagador da luz, o éter poderia agora ser pensado também como meio propagador das ondas elétricas e magnéticas. Para Maxwell, independentemente das dificuldades em formar uma ideia consistente sobre a constituição do éter, não poderia haver qualquer dúvida de que os espaços interplanetários e interestelares não eram vazios, mas ocupados por uma substância material (ROCHA, 2009).

A partir do modelo acima, Maxwell foi capaz de demonstrar matematicamente que a luz poderia ser uma onda eletromagnética. Maxwell desenvolveu um trabalho com o propósito de construir expressões que descrevessem como as ações eletromagnéticas ocorriam e como eram transmitidas (GUERRA; REIS; BRAGA, 2004).

É importante observar que a mais completa exposição que Maxwell formulou de sua teoria na obra de 1873, não contem as quatro famosas “equações de Maxwell”, tal como conhecemos hoje (Figura 7). Maxwell escreveu 20 equações diferenciais que foram reduzidas posteriormente. Maxwell tampouco sugere como as ondas eletromagnéticas são produzidas ou detectadas. A tarefa de desenterrar aspectos latentes da teoria de Maxwell, dada sua morte prematura aos 48 anos, foi

dada a outros físicos como George Francis FitzGerald (1851-1901), Oliver Lodge (1851-1940), Oliver Heaviside (1850-1925) e Heinrich Hertz (1857-1894).⁷

Figura 7. As 4 equações de Maxwell em sua formulação atual.

NO.	NOME	EQUAÇÃO
I	Lei de Gauss (elétrica)	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$
II	Lei de Gauss (magnética)	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$
III	Lei de Faraday	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$
IV	Lei de Ampère-Maxwell	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i$

Fonte: Alessandro Santos (2018) ⁸.

Uma questão que Hunt (2015) levanta sobre Maxwell é a razão para o pesquisador nunca ter tentado produzir as ondas eletromagnéticas. O autor diz que está de acordo com a asserção de Chalmers (1974) de que Maxwell simplesmente nunca percebera que uma corrente oscilante emitiria ondas eletromagnéticas. Tal emissão não seria consequência óbvia de suas equações, especialmente na forma como ele originalmente as formulou. Portanto, a crença de Maxwell de que as ondas de luz eram eletromagnéticas não implicava que ele acreditava em sua geração eletromagneticamente. Ao contrário, parece que ele considerava a produção de luz como processo mecânico, cuja origem estava na vibração de partes de moléculas e, portanto, dependente de conexão entre matéria e éter. O éter de Maxwell era essencialmente mecânico e a luz e todos os fenômenos eletromagnéticos eram manifestações de deformação desse éter. As leis do eletromagnetismo seriam então consequências de movimentos microscópico do éter. Como ele considerava que a produção de luz era processo essencialmente molecular e mecânico, anterior às leis eletromagnéticas em certo sentido, Maxwell pôde elaborar uma descrição eletromagnética da propagação da luz sem nunca supor que ondas do éter fossem

⁷ Cf. Hunt, 2015.

⁸ Disponível em: <http://alessandrosantos.com.br/emanuel/usp/fisica3/notas_de_aula/node101.html>. Acesso em 26/06/2018

produzidas eletromagneticamente. Assim, Maxwell deixou de perceber o que hoje é considerado a mais intrigante aplicação de sua teoria, a saber, o fato de ondas eletromagnéticas relativamente longas, ou talvez a própria luz, pudessem ser geradas em laboratórios com equipamentos elétricos comuns. Foi só na década 1880 que alguns cientistas adeptos das teorias de Maxwell começaram a explorar essa questão (HUNT, 2015).

A teoria de Maxwell solidificada, concisa e bem confirmada, pelo menos para o espaço livre como a conhecemos hoje, se deve ao tratamento de nomes como FitzGerald, Lodge, Heaviside e Hertz, que primeiro exploraram a possibilidade de se gerar ondas eletromagnéticas e depois demonstraram a existência de tais ondas. Com Jonh Henry Poynting (1852-1914) esses pensadores foram os primeiros que delineararam os caminhos do fluxo de energia do campo eletromagnético e que depois perseguiram as profundas implicações dessa descoberta. Foram eles que reformularam a longa lista de equações que Maxwell apresentara no *Treatise* (1873), concebendo um conjunto compacto da maneira do que conhecemos hoje como as “Equações de Maxwell” (HUNT, 2015).

A evolução da teoria de Maxwell nos anos posteriores a sua morte constitui um impressionante exemplo de um processo muito comum em outros campos do empreendimento intelectual. As teorias científicas raramente brotam completamente formadas na mente de uma só pessoa; o mais provável é que uma teoria seja refinada e reinterpretada por pensadores posteriores de tal forma que, quando for codificada e posta em circulação, ela tenha pouca semelhança com sua versão original. A prática, em ciência, de dar a teorias os nomes de seus proponentes originais frequentemente obscurece o processo pelo qual as sínteses são formuladas (HUNT, 2015, p.15).

Veremos no próximo capítulo o trabalho de Oliver Lodge e Heinrich Hertz, dois dos responsáveis por desbravar a teoria de Maxwell. É nestes autores, especialmente em Lodge, que se concentra o recorte histórico e o episódio histórico em destaque na sequência didática proposta no Capítulo 5.

Capítulo 3

O recorte histórico

A sequência didática proposta neste trabalho tem como núcleo a palestra que Oliver Joseph Lodge (1851-1940) apresenta no Royal Institution, em Oxford, no ano de 1894, onde demonstra seu gerador e receptor de ondas eletromagnéticas usando como receptor um coesor. Em resumo, Lodge faz disparar uma campainha a distância, emitindo e recebendo ondas eletromagnéticas. Este evento tem desdobramentos em toda tecnologia da comunicação.

Este capítulo apresenta o recorte histórico no qual se situa esse episódio para melhor compreensão do contexto em que estava o eletromagnetismo no momento da apresentação de Lodge. Trataremos de apresentar o próprio Lodge, o que nos leva a recorrer a nomes como Francis FitzGerald (1851-1901), Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) e Edouard Branly (1844-1940).

3.1 Oliver Lodge

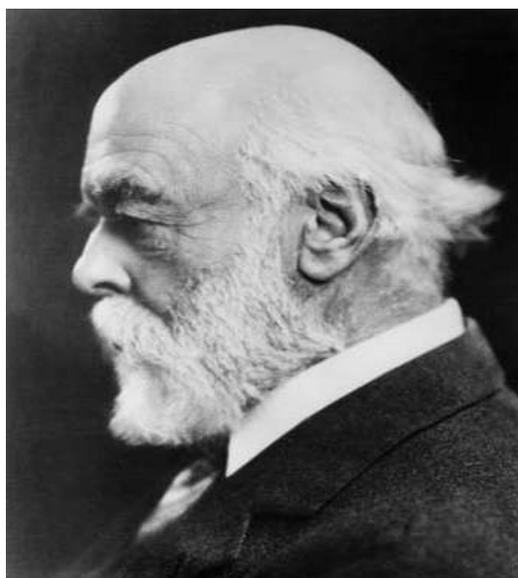
Oliver Joseph Lodge (1851-1940) nasceu em 12 de junho de 1851, na vila inglesa de Penkhull. Quando menino, frequentou internato rigoroso do qual não gostava. A ciência não constava em seu currículo, mas, no entanto, Lodge já demonstrava desejo em aprendê-la (RYBAK, 1990).

Lodge era o filho mais velho de um comerciante de argila e aos 14 anos teve que se afastar da escola para trabalhar com seu pai. Seu entusiasmo pela Física foi especialmente estimulado quando, aos 16 anos, passou o inverno com sua tia em Londres e assistiu a conferência de Jonh Tyndall (1820-1893), na *Royal Institution*. Começou, então, a frequentar aulas noturnas e a fazer experiências em laboratório caseiro. Como muitos jovens ambiciosos de então, seu objetivo era passar nos exames de acesso da Universidade de Londres. Alcançou seu objetivo em 1872, então com 21 anos e, depois de ganhar uma bolsa, passou o inverno de 1872-1873 estudando no *Royal College of Science*, em Londres.

Um ano depois, Lodge se desligou do negócio do pai para sempre e, depois de perder por um triz uma bolsa em Cambridge, matriculou-se na *University*

College de Londres, período em que por três anos morou em um minúsculo quarto, dado os poucos recursos que vinham de bolsas. Obteve o título de Doutor em 1877, aos 26 anos, conseguindo com o trabalho de professor mudar-se para melhores aposentos (HUNT, 2015).

Figura 8. Oliver J. Lodge, 1894.



Fonte: Britannica (2018) ⁹

Lodge descobriu que tinha a capacidade e o desejo de dar palestras com demonstrações interessantes sobre temas científicos para praticamente qualquer tipo de público. Esse foi o tipo de palestras que inicialmente o interessaram pela ciência. De fato, em 1879, ele publicou seu primeiro livro, com texto escrito para aqueles com pouca experiência científica (RYBAK, 1990).

Em 1881, partiu de Londres para assumir como primeiro professor de Física na cátedra de Física Experimental e Matemática Aplicada no *University College* em Liverpool, formada para oferecer cursos de apoio para uma escola de medicina, instituição em que permaneceu por 20 anos (HUNT, 2015).

A nova universidade ainda não possuía equipamentos para ensinar Física. Lodge convenceu os gestores do novo colégio a permitir-lhe visitar as principais universidades da Europa Continental para obter ideias e equipamentos para sua nova missão. Entre os lugares no itinerário de Lodge estava a Universidade de Berlim, onde conheceu o famoso professor Hermann Ludwig Ferdinand von

⁹ Disponível em: <https://www.britannica.com/biography/Oliver-Joseph-Lodge>. Acesso em 26/06/2018.

Helmholtz (1821-1894) e seu assistente, Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) . Depois de retornar à Inglaterra, Lodge não conseguiu manter contato próximo com Hertz, embora ambos tivessem interesses de pesquisa semelhantes (RYBAK, 1990).

3.2 O trabalho de Oliver Lodge

Em 1873, Lodge ouviu a conferência de James Clerk Maxwell (1831-1879) na reunião da British Association em Bradford e, logo após, comprou um exemplar do *Treatise on Electricity and Magnetism*. Lodge só foi examiná-lo em detalhes no verão de 1876, particularmente o primeiro volume. O resultado foi um par de artigos na *Philosophical Magazine* descrevendo o modelo mecânico que ele concebera para ilustrar os fenômenos elétricos baseados nos princípios de Maxwell. O mecanismo de Lodge, feito com cordões de contas e polias, não pretendia representar o próprio éter, mas, ilustrar de maneira simples fenômenos macroscópicos tais como condução elétrica e polarização dielétrica. Era uma ferramenta didática muito eficaz (HUNT, 2015)

Em 1879, Lodge começou a ponderar sobre as ondas eletromagnéticas e como elas poderiam ser reproduzidas diretamente, segundo a teoria de Maxwell. Ele foi aparentemente a primeira pessoa a fazê-lo. Embora esse trabalho não tenha produzido frutos imediatos, ele influenciou sua própria forma de pensar e a de seu companheiro Francis FitzGerald (1851-1901), os levando a áreas que Maxwell deixara inexploradas. Em meados da década de 1880, eles já tinham codificado, como parte da teoria de Maxwell, um conjunto de ideias sobre as ondas eletromagnéticas que diferia significativamente de tudo o que o próprio Maxwell concebera (HUNT, 2015).

Em um primeiro momento para abordar a questão da geração de ondas eletromagnéticas, Lodge abordou a teoria de Maxwell não a partir de equações, mas a partir do modelo semi-mecânico que concebera para representá-la. Este modelo e sua representação do éter permitiu a Lodge uma ideia que aparentemente fugira ao próprio Maxwell: gerar ondas por meios eletromagnéticos. Lodge teve algumas ideias de como experimentalmente gerar ondas eletromagnéticas, especificamente a luz, que possui pequeno comprimento de onda e alta frequência. Assim ele evitava o

problema de detectar estas ondas por bastar-lhe apenas o uso de seus olhos, mas enfrentava o problema de gerar oscilações elétricas de altas frequências (HUNT, 2015).

FitzGerald se dedicou a investigar as possibilidades teóricas do problema e, inicialmente, chegou à conclusão de que as ondas no éter não poderiam ser geradas eletromagneticamente. Essa conclusão influenciou Lodge diretamente, uma vez que ele seguia a liderança FitzGerald nestas questões de ótica e de teoria eletromagnética. Hunt (2015) diz que Lodge estava consciente das limitações de seu conhecimento e reconhecia estar despreparado a respeito da teoria ondulatória naquele momento, estando, então, disposto a recorrer ao conhecimento superior do amigo. Diante das conclusões de FitzGerald, Lodge diminuiu seu ímpeto sobre a tentativa de gerar ondas de luz eletromagneticamente (HUNT, 2015).

As conclusões de Fitzgerald estavam equivocadas e Lodge só retomou seus esforços de produzir ondas no éter em laboratório no começo de 1888. Na medida em que a teoria de Maxwell foi integralmente explorada nos anos de 1880, os argumentos de que era impossível gerar ondas eletromagneticamente começaram a parecer menos convincentes. A melhor compreensão das correntes de deslocamento de Maxwell e da distribuição do fluxo de energia no campo ajudou a desacreditar a impossibilidade de geração das ondas eletromagneticamente. Foi o próprio FitzGerald que encontrou as falhas de suas provas. Ele então prosseguiu seu trabalho a fim de colocar o problema sobre bases teóricas firmes e, em 1883, compreendeu claramente como as ondas eletromagnéticas poderiam ser produzidas e quais seriam suas características (HUNT, 2015).

A percepção de que correntes oscilatórias poderiam gerar ondas no éter descortinou todo o espectro das ondas eletromagnéticas de maior comprimento do que a luz. Uma vez que esclarecera seu mal-entendido anterior, FitzGerald reconheceu que deveria ser possível produzir ondas de, virtualmente, qualquer comprimento desejado e reconheceu que elas estavam sendo produzidas a todo tempo pelos dispositivos elétricos ordinários. O trabalho de FitzGerald, depois de um longo desvio, estava finalmente levando-o de volta às ideias de Lodge sobre como produzir e detectar ondas eletromagnéticas (HUNT, 2015).

FitzGerald mencionou a possibilidade de usarem descargas para gerar ondas eletromagnéticas em artigo de 1882, numa referência a ideias de Lodge sobre a luz eletromagnética. Porém, o passo mais importante foi olhar para além de

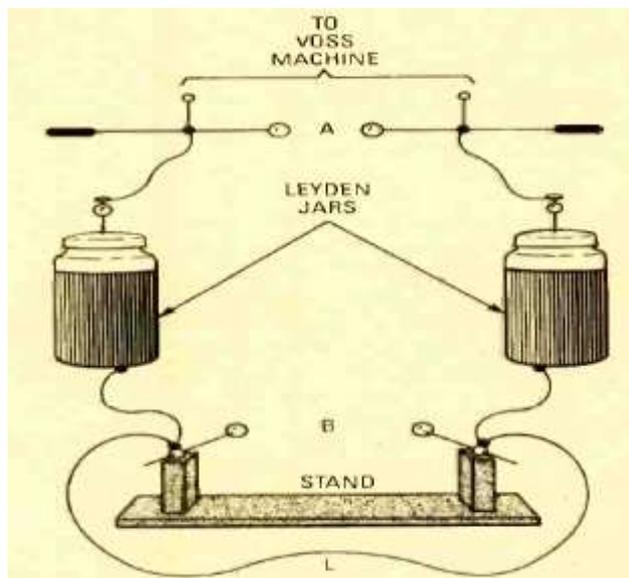
produzir luz, na direção da possibilidade de produzir e detectar ondas de comprimento muito maior, pois isso não só descortinou todo o espectro eletromagnético e abriu caminho à confirmação particularmente clara e decisiva da teoria de Maxwell (HUNT, 2015). Estava posto então o problema sobre como detectar as ondas de maior comprimento, uma vez que para a luz podemos usar nossos olhos, mas não temos órgãos sensíveis para observar as ondas mais longas.

Em 1887, a Sociedade Real de Artes pediu à Lodge que preparasse uma série de palestras (a serem dadas no ano seguinte) sobre a forma para que os edifícios pudessem ser mais bem protegidos contra danos causados por raios. Ele imediatamente iniciou uma série de experiências para aprender mais sobre proteção contra raios.

A fim de simular os raios, ele descarregou uma garrafa de Leyden através uma fenda. Por uma questão de visibilidade, ele alimentou a garrafa de Leyden continuamente com uma poderosa máquina eletrostática, conhecida como máquina de Voss. Seu arranjo é representado na Figura 9. (sem a linha pontilhada L para este momento). As garrafas estão na mesma mesa de madeira de baixa condutividade. No início de um ciclo, a máquina Voss carrega os dois jarros de Leyden lentamente até a tensão de ruptura da fenda A é atingido. A faísca resultante causa um curto-circuito na abertura A, de modo que uma diferença de potencial aparece na lacuna B. Enquanto o último espaço não for muito largo, os frascos descarregam através dele. Todas as faíscas cessam no final deste processo e um novo ciclo pode começar. (DARRIGOL, 2000)

Com este simulador de raios, Lodge passou a comparar diferentes raios condutores. Ele introduziu condutores L (veja Figura 9) de várias formas e constituições e determinou o tamanho mínimo do intervalo B para o qual as garrafas preferiam descarregar através do caminho alternativo L. Para um público acostumado a raciocinar exclusivamente em termos de resistência ôhmica, os resultados foram bastante contra-intuitivos. Mesmo quando a resistência de L era uma pequena fração de um ohm e a abertura B era tão largamente como A, a descarga preferiu a abertura. Lodge explicou este fato pela auto-indução do fio L, que obstruiu rapidamente as correntes variáveis. Ele estava mais surpreso ao descobrir que um fio de ferro conduzia a descarga melhor do que um cobre. (DARRIGOL, 2000)

Figura 9. Representação do aparelho usado por Lodge para demonstrar que o raio era uma descarga de alta frequência.



Fonte: Ribak, 1990, p.63.

Além do problema do raio, o foco de Lodge na descarga oscilatória resulta em uma observação muito importante.

Lodge viu sinais de ondas em fios condutores pela primeira vez em fevereiro de 1888, quando tentava uma variante de seu experimento do caminho alternativo com uma garrafa de Leyden, usando suas centelhas para simular raios a fim de testar modelos de proteção. Ele observou que a descarga da garrafa de Leyden através de um fio curto causava grandes centelhas que soltavam o intervalo entre as terminações livres dos fios conectados à garrafa e se estendiam a alguma distância delas. Lodge percebeu que as descargas estavam emitindo ondas eletromagnéticas para o éter, tal como FitzGerald previa teoricamente em 1883, e que essas ondas estavam se ondulando no espaço em torno dos fios. Lodge continuou seus experimentos com a garrafa de Leyden depois das palestras solicitadas e, em julho, publicou um artigo em que resumia suas principais descobertas e descrevendo em detalhes seus experimentos sobre caminho alternativo. Afirmou explicitamente que descargas do capacitor perturbavam o meio circundante e emitiam radiações da mesma natureza da luz, mas de comprimento de onda de alguns metros. Lodge planejava continuar seus experimentos com ondas em fios e prometia apresentar uma descrição completa de suas medições dos comprimentos de onda no encontro da Bath da British Association, em setembro de 1888. Lodge acreditava que estava no caminho de uma grande descoberta quando

partiu de férias para os Alpes, no meio de Julho, e que suas ondas seriam um sucesso na reunião da Associação. Porém, as ondas que causaram sensação foram aquelas descobertas pelo jovem físico experimental alemão, Heinrich Hertz (HUNT, 2015).

Essas investigações laboratoriais revelaram-se extremamente importantes e contribuiriam substancialmente para o desenvolvimento da telegrafia sem fio, estabelecendo a reputação mundial de Lodge como cientista destacado. Além de demonstrar os efeitos da indutância em circuitos com correntes variáveis no tempo, os experimentos resultaram na comprovação da existência de ondas eletromagnéticas independentemente, mas praticamente em simultâneo com Hertz (RIBAK, 1990)

3.3 Heinrich Hertz

Heinrich Rudolf Hertz nasceu em Hamburgo, em 1857. Depois de ser preparado inicialmente para ser engenheiro, decidiu-se pela Física em 1877. Após um ano em Munique, foi para Berlim estudar sob orientação Hermann von Helmholtz, mostrando grande talento tanto na teoria como nos experimentos. Logo passou a ser considerado um dos mais promissores físicos alemães. Lodge, que o conheceu pessoalmente durante uma viagem à Alemanha em 1881, se impressionou com o domínio de Hertz sobre a Física.

Nos primeiros anos da década de 1880, Hertz teve poucas facilidades para experimentação e se dedicou a estudos puramente teóricos. Em 1885, mudou-se para Technische Hochschule, em Karlsruhe, que possuía excelente laboratório, e lá gradualmente retornou ao trabalho. Em observação fortuita no ano de 1886, Hertz percebeu que a descarga oscilatória de uma garrafa de Leyden através de uma espira causava centelhas numa semelhante espira interrompida a uma pequena distância. Percebeu então que estas espiras interrompidas poderiam servir de detectores muito sensíveis de correntes oscilatórias e, como descobriu mais tarde, de ondas eletromagnéticas. Em março de 1888 realizou experimentos, publicados em julho com o título *Ondas eletromagnéticas no ar e suas reflexões*, em que relata a experiência onde Hertz refletiu as ondas nas paredes da sala de aula,

estabelecendo um padrão de ondas estacionárias cujos nós e antinós podiam ser localizados com sua espira detectora (Figura 10). Ele mediu um comprimento de onda aproximadamente de 9m, em boa concordância com os cálculos teóricos (HUNT, 2015).

Figura 10. Um instrumento capaz de criar e detectar as ondas eletromagnéticas de Hertz.



Fonte: Spark Museum (2018)¹⁰.

A simplicidade destes experimentos fê-los especialmente impressionantes. Quando nos meses subsequentes Hertz descobriu formas de mostrar que as ondas eletromagnéticas podiam ser refletidas, refratadas, difratadas e polarizadas exatamente como ondas de comprimentos muito menores que constituem a luz, a sua confirmação da teoria de Maxwell parecia completa. Quando da divulgação de suas descobertas, os adeptos da teoria de Maxwell na Inglaterra se moveram rapidamente para dar aos experimentos de Hertz a mais ampla publicidade, além de repetí-los e ampliá-los (HUNT, 2015).

Na reunião Bath da British Association, FitzGerald abriu a seção de Física em 6 de setembro de 1888, anunciando a descoberta das ondas eletromagnéticas por Hertz. Lodge, que também preparava material de suas descobertas para apresentar, se rendeu à beleza dos experimentos de Hertz o considerando mais abrangentes. Lodge e seus colegas ingleses ficaram surpresos de encontrar a confirmação da teoria de Maxwell, que eles por tanto tempo

¹⁰ Disponível em: www.sparkmuseum.com. Acesso em: 26/06/2018.

procuravam, nas primeiras páginas de uma revista alemã. A Alemanha fora por décadas baluarte das teorias de ação à distância, e as ideias de Faraday e Maxwell sobre campo pouco progrediram por lá, até Hertz começar seus experimentos (HUNT, 2015).

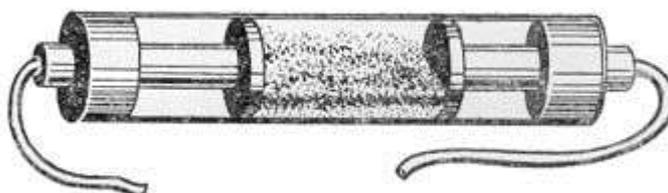
Os presentes na reunião e, mais tarde, outras pessoas conhecedoras do tema, reconheceram que as descobertas de Lodge eram equivalentes às de Hertz e tinham chegado, independentemente e praticamente em simultâneo, à descoberta das ondas eletromagnéticas. Heinrich Hertz, no entanto, sempre receberia o principal reconhecimento do mundo porque seu trabalho foi publicado um pouco antes que o de Lodge. As ondas eletromagnéticas geradas por Hertz foram irradiadas para o espaço, enquanto as geradas pelo Lodge foram guiadas por fios. Consequentemente, o trabalho de cada homem ajudou a confirmar a validade do que o outro havia feito. Lodge e Hertz se corresponderam e trocaram artigos científicos. Eles sempre mantiveram grande respeito um pelo outro como cientistas e seres humanos. Lodge nunca se ressentiu do fato de que o trabalho de Hertz recebeu maior aclamação. Quando Hertz morreu em 1894, Lodge escreveu um magnífico tributo às suas conquistas (RIBAK, 1990).

3.4 Lodge e o efeito Branly.

No curso de seus experimentos de condução de raios, Lodge observou o que chamou de efeito coesor. Ele descobriu que duas esferas de metal muito próximas normalmente não faziam contato suficiente para permitir fluxo de corrente. No entanto, quando uma descarga de faísca ocorre através delas, ou até mesmo perto delas, elas se juntam e a corrente passa a fluir facilmente entre elas. As esferas permanecem unidas até que são levemente tocadas, quando a corrente deixa de fluir por elas. Lodge, a princípio, não viu a utilidade prática desse fenômeno para seu trabalho. Além disso, ele não sabia que Edouard Branly (1844- 1940), um cientista francês, em 1890 havia encontrado o mesmo efeito aproximadamente ao mesmo tempo, enquanto trabalhava com um tubo cheio de limalhas de metal. Branly também não viu utilidade para o efeito naquele momento. Lodge percebeu mais tarde, em 1894, que o coesor seria útil como detector de ondas eletromagnéticas de

tal maneira que se uma onda eletromagnética for gerada nas proximidades do coesor, as partículas de metal tornam-se fundidas e a resistência, antes alta, cai significativamente em função da passagem da onda eletromagnética pelo coesor. A resistência permanece baixa até o tubo ser batido e as partículas fundidas retornarão à condição original e separada (RIBAK, 1990).

Figura 11. Representação de um coesor.



Fonte: Stack Exchange (2018)¹¹.

Este detector foi aprimorado por Lodge com a evacuação do ar do tubo e o desenvolvimento de um dispositivo automático de "tapagem traseira" que utilizava uma roda de raio giratória movida por mecanismo de relógio. Os impulsos mecânicos fornecidos pelo dispositivo traseiro de derivação restauraram o tubo de depósito coerente em seu estado não condutor em intervalos regulares, independentemente da detecção de ondas eletromagnéticas. Este detector era consideravelmente mais sensível do que o "ressonador" de fio com uma faísca que Heinrich Hertz usara como detector de ondas eletromagnéticas em seus experimentos (RIBAK, 1990).

3.5 O episódio histórico: a palestra de 1894.

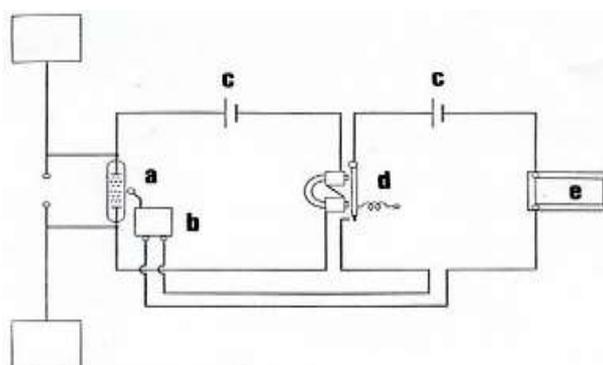
No ano 1894, Lodge deu uma série de palestras na Royal Institution e na Associação Britânica para o Avanço da Ciência na Universidade de Oxford em memória ao trabalho de Hertz, falecido naquele ano. Nestas palestras, Lodge demonstrou publicamente o trabalho de seu coesor compacto que funcionava como

¹¹ Disponível em: <<https://electronics.stackexchange.com/questions/224259/can-i-detect-nuclear-explosions-with-coherer>>. Acesso em: 26/06/2018.

receptor de ondas “Hertzianas” e foi feito para ser muito sensível às ondas curtas de uma esfera de seis polegadas, se os botões e a superfície fossem bem polidos (ROWLANDS, 1990).

Seu aparelho consistia em acionar uma campainha a distância, sem fios, utilizando apenas ondas eletromagnéticas que eram emitidas por um circuito centelhador de ondas eletromagnéticas e captadas por outro circuito através de um coesor.

Figura 12. Diagrama da estação de recepção de ondas eletromagnéticas desenvolvidas por Oliver Lodge em 1894 onde: a) Coesor. ou detector b) Dispositivo para causar a de-coesão por percussão. c) Bateria. d) Relé. e) Registrador.



Fonte: Portal Digital RJ (2018)¹².

Em sua primeira apresentação, quando se deu uma centelha em um circuito próximo, o circuito foi fechado e a campainha começou a tocar, continuando assim até que o coesor fosse desagregado por uma pequena pancada. Quando Lodge colocou a campainha no mesmo suporte do coesor, a vibração mecânica da primeira batida da campainha foi suficiente para desfazer o efeito coesionador. Cada centelha foi então assinalada por um toque separado da campainha. A plateia manifestava surpresa em, como a partir de um dispositivo a distância, se poderia tocar uma campainha, situação parecida com a máquina de telégrafo para transmissão de informação, só que sem os fios e cabos (RIBAK, 1990).

Em apresentações posteriores, com o aprimoramento dos dispositivos, os que compareceram testemunharam o equipamento de recepção de Lodge detectando ondas eletromagnéticas que haviam percorrido a distância de 55 metros.

¹² Disponível em: <<http://portaldigital-rj.blogspot.com.br/2012/05/inventores-e-inovadores-da-transmissao.html>>. Acesso em: 26/06/2018.

Lodge tinha claramente todos os elementos necessários de um sistema de telegrafia sem fio elementar. Embora pudesse ser argumentado com sucesso que Lodge realmente conseguiu uma sinalização, não há indícios de que o envio de qualquer mensagem verdadeira foi realizado ou mesmo tentado com este aparelho. Não era intenção dele fazê-lo. Oliver Lodge nunca considerou usar seu equipamento para se comunicar, embora a idéia de telegrafia sem fio tenha sido sugerida dois anos antes por William Crookes (1832-1919). As duas primeiras demonstrações foram realizadas simplesmente para mostrar que as ondas eletromagnéticas podem ser geradas e detectadas. O propósito da demonstração de Lodge foi propor que talvez exista analogia entre a forma como um coesor responde às ondas eletromagnéticas e a maneira como o olho responde à luz (RIBAK, 1990). Todavia, uma nova forma de comunicação estava ali estabelecida em princípio. As mentes mais atentas às oportunidades da nova tecnologia se esforçaram para aperfeiçoar o dispositivo e dar funcionalidade ao mesmo.

Capítulo 4

Desenvolvimento do trabalho

Este capítulo tratará do processo de formulação e desenvolvimento da proposta de sequência didática, apresentada neste trabalho como produto educacional. Este processo passa pela motivação para o trabalho em primeiro lugar e transcorre pelas escolhas dos objetivos educacionais, da estratégia didática para atingir tais objetivos e dos recursos didáticos utilizados.

Conforme discutido no capítulo primeiro, a finalidade deste trabalho é contribuir com uma sequência didática de abordagem histórico-filosófica que utiliza experimentos e demonstrações históricas na introdução de conceitos do eletromagnetismo no Ensino Médio. Os objetivos específicos são, através da sequência didática, apresentar aos estudantes o conceito de ondas eletromagnéticas numa dinâmica histórica e discutir a respeito da NdC no Ensino Médio.

Para refletir a respeito das escolhas didáticas, tomamos por referência Forato (2009) que irá identificar alguns obstáculos no intento de discutir a NdC enquanto saber escolar, com ponderações a respeito do recorte histórico escolhido, do tempo didático, das simplificações e omissões, além da historiografia que contemplamos em nossa pesquisa bibliográfica. Abordamos também a opção por experimentação na sequência didática, especificamente o uso de experimentos históricos.

4.1 Em busca de um sentido e significado para o trabalho

No decorrer da construção deste trabalho sentimos a inquietante necessidade de dotá-lo de sentido e significado motivador nesse cenário de reformas na educação brasileira. Esta reflexão acabou por revelar a necessidade de expor uma perspectiva de Educação, de ensino de ciências, e discutir o lugar da HFC no ensino das ciências ultrapassando as justificativas apresentadas inicialmente.

Em nosso país, ao longo da História, sempre se discutiu as políticas públicas educacionais e o papel da escola e dos currículos, em especial das escolas públicas, no intuito de minimizar investimentos e reduzir conteúdos. No momento atual, esta discussão ganha novamente centralidade com os ataques a educação pública através de uma contrarreforma do Ensino Médio e a implementação de uma nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Nesse sentido, é importante refletir acerca das justificativas para a defesa da educação científica na Educação Básica, sobretudo no Ensino Médio, o que por sua vez justificaria a existência deste trabalho. A reforma do Ensino Médio e a BNCC abrem caminho para questionamentos sobre a utilidade e a necessidade de tais conteúdos no sistema público e universal de ensino. A partir da motivação para o desenvolvimento deste trabalho, pautada em nossa visão de educação e educação científica, pretende-se combater tais questionamentos.

De acordo com Marsiglia, Pina e Lima (2017), a concepção de educação que orienta a BNCC implica que, para os alunos, não cabe compreender a realidade para fazer a crítica e se comprometer com sua transformação, mas entender melhor quais as “competências” que o mercado exige dos indivíduos. Os autores identificam que, de acordo com a Base, os conteúdos devem estar a serviço das competências, cujo conceito é sintetizado, conforme consta na Lei de Diretrizes e Bases (LDB), enquanto “a possibilidade de mobilizar e operar o conhecimento em situações que requerem aplicá-lo para tomar decisões pertinentes” (BRASIL, 2017, p. 3). Também define o conhecimento como uma soma entre as habilidades necessárias para aplicá-lo, mais a atitude para refletir e utilizar as habilidades adequadamente, isto é, trata-se de utilizar o conhecimento para encontrar novas formas de ação que permitam melhorar adaptação dos indivíduos aos interesses da classe empresarial (MARSIGLIA; PINA; MACHADO & LIMA, 2017). Ao enfatizar as “habilidades”, as “competências”, os “procedimentos” e a “formação de atitudes” em detrimento dos conteúdos escolares, do trabalho educativo e do ensinar, o documento traz uma perspectiva que visa adaptar os alunos ao mercado de trabalho ou, mais propriamente, ao “empreendedorismo”. Ou seja, com o crescente desemprego e a consequente diminuição do trabalho formal, o objetivo dessa formação é preparar os filhos da classe trabalhadora para o mundo do trabalho informal e precarizado, compatível com as demandas do capital (MARSIGLIA; PINA; MACHADO & LIMA, 2017).

Já a Medida Provisória nº 746/2016 (Lei nº 13.415/2017), conhecida como reforma do Ensino Médio, tem seu cerne na dissociação entre ensinar e educar e na condução de um processo de ensino com base na fragmentação e no pragmatismo, segundo Ramos e Frigotto (2016).

A respeito da contra-reforma do Ensino Médio os autores dizem ainda que

Essas medidas farão o ensino médio regredir à lógica da Reforma Capanema da Era Vargas, pela qual os estudantes deveriam optar pelo ramo científico ou clássico, sendo a formação técnica e profissional destinada aos pobres, partida e sem equivalência para o curso superior, dividida, ainda, nos ramos do ensino comercial, industrial e normal. Retroage, também, às reformas da ditadura empresarial militar pautada pela ideologia do capital humano, no presente redefinida pela pedagogia das competências, num contexto em que o capital já não postula a integração de todos ao mercado, mas somente daqueles que se conformam dentro do que o mercado exige. Na ditadura, a formação técnica e profissional tornou-se um dos ramos igualmente destinados aos mais pobres, tendo moral e cívica como substituta das disciplinas com potencial de desenvolver a capacidade crítica dos estudantes (RAMOS & FRIGOTTO, 2016, p. 44).

Ou seja, a MP 746/2016 destrói a possibilidade da educação integral e de acesso ao patrimônio científico, cultural, social, ético, político, produzido pela humanidade, bases para a autonomia econômica e política para a grande maioria dos jovens que pertencem à classe trabalhadora (RAMOS & FRIGOTTO, 2016).

Estamos de acordo com Santos (2012) quando o autor diz que educar é uma tarefa complexa que requer posicionamento teórico e método de ação havendo dificuldade diante de nós, professores, em descobrir o sentido do que fazemos e o significado de nossa tarefa. Com intuito de busca por referencial para a ação, constatamos que nossa perspectiva de Educação, na condução deste trabalho, se coloca em campo oposto a política educacional implementada pelos órgãos governamentais neste último período. Assumimos um ponto de vista pedagógico que se aproxima da Pedagogia Histórico-Crítica (PHC), na medida em que considera a difusão dos conteúdos, vivos e atualizados, a transmissão de conhecimentos, de conteúdos culturais uma das tarefas primordiais do processo educativo em geral e da escola em particular (SAVIANI, 1999).

De acordo com Saviani (1999), esta pedagogia – cujos métodos estimulam a atividade e iniciativa dos alunos sem abrir mão, porém, da iniciativa do professor – favorece o diálogo dos alunos entre si e com o professor, sem deixar de valorizar o diálogo com a cultura acumulada historicamente. Ela leva em conta os

interesses dos alunos, os diferentes ritmos de aprendizagem e o desenvolvimento psicológico, sem perder de vista a sistematização lógica dos conhecimentos, sua ordenação e gradação para efeitos de processo de transmissão-assimilação dos conteúdos cognitivos.

Alinhamos-nos com a perspectiva apresentada por Bezerra (2015) sobre a defesa do direito das classes populares em geral ao conhecimento abstrato, generalizado, teórico, para além dos conhecimentos imediatos necessários apenas para habilitá-las ao mundo do trabalho. Trata-se de defender o direito a um conhecimento científico que ultrapasse, como dizem Queirós, Nascimento Júnior e Souza (2013), a visão prático-utilitária que apenas explica o cotidiano, o que caracterizaria este conhecimento como alienado. De acordo com Saviani (2003), o cotidiano deve ser o ponto de partida e não o ponto de chegada para a educação escolar.

Segundo Gasparin (2002), o conhecimento escolar deve ser apropriado teoricamente como elemento fundamental na compreensão e na transformação da sociedade, o que implica trabalhar os conteúdos de forma contextualizada, possibilitando ao aluno constatar que os conteúdos são sempre produção histórica de como os homens conduzem suas vidas nas relações sociais de trabalho em cada modo de produção. Dessa maneira os conhecimentos científicos necessitam ser reconstruídos em suas plurideterminações, dentro de novas condições de produção da vida humana, respondendo, quer de forma teórica, quer de forma prática, aos novos desafios da prática social. Nesse quadro é preciso, a partir da defesa do currículo e do patrimônio comum da humanidade, esforços para elevar “os conteúdos fixos, abstratos formais em conteúdos reais dinâmicos e concretos” (SAVIANI, 1999).

Rejeitamos a visão idealista da educação como elemento determinante da sociedade ou agente direto de transformação da realidade social. Conscientes de seu caráter determinado no seio da sociedade dividida em classes sociais antagônicas, onde a classe dominante implementa seus interesses no campo educacional, entendemos que existe luta de interesses e que os interesses das classes populares passam pela defesa em educação, da laicidade, da universalidade, da transmissão do conhecimento científico e da cultura, da universalização do acesso e da progressão dos alunos sobre a base em sequência curricular lógica, como aponta Bezerra (2015).

A escola moderna, como agência especializada na transmissão de conhecimentos naturalmente marcada pelo modo de produção em que surge e daqueles através dos quais se desenvolveu, resulta de duplo movimento. Do ponto de vista da burguesia, a escola expressa, no plano educativo, a igualdade em oposição a desigualdade fundante do Regime da Nobreza. Do ponto de vista da classe operária, resulta da luta dos trabalhadores para impor efetiva igualdade no acesso ao conhecimento formal para superar o caráter puramente formal da democracia burguesa (BEZERRA, 2015). A partir deste ponto de vista, é necessária uma pedagogia, como defendida por Saviani (1999), centrada na igualdade essencial entre os homens, igualdade real e não apenas formal.

Souza (2017), ao analisar as publicações voltadas para o ensino de ciência, referenciadas pela PHC, identificou que o ponto de partida comum entre os trabalhos é que o ensino de ciências contribui para a construção da concepção de mundo dos envolvidos no processo educacional, uma vez que a apropriação dos conceitos científicos qualifica a relação homem/ambiente. Na prática social essa relação ganha contextos mais amplos, revelando que a ciência produzida atende a interesses da sociedade forjada na desigualdade. Nesse sentido, o referencial da PHC pode subsidiar o uso da HFC no ensino de ciências, uma vez que a historicidade é uma das bases desta teoria educacional (QUEIRÓS; NASCIMENTO JUNIOR; SOUZA, 2013).

Para Saviani (2003), uma das tarefas da PHC em relação a educação escolar se refere à procura do indivíduo por reconhecer as condições históricas da produção do saber objetivo, compreendendo suas principais manifestações bem como as tendências atuais de transformação. Assim, a inserção da HFC ao ensino de ciência, na perspectiva da PHC, ganha destaque à medida que permite apresentar um conceito dentro da dinâmica histórica, desenvolvendo a compreensão do conhecimento como historicamente construído e determinado, contribuindo de maneira decisiva já que, como diz Saviani (1999), os conteúdos culturais são históricos e o seu caráter revolucionário está intimamente associado a sua historicidade. No nosso entendimento a HFC auxiliariam na transformação dos conteúdos formais, fixos e abstratos em conteúdos reais, dinâmicos e concretos, o que Saviani (1999) julga necessário para a mudança da igualdade formal em igualdade real.

Como aponta Santos (2012), ao mergulharmos profundamente na história alcançamos as contradições do real, os fatores que realmente determinam as mudanças sociais e históricas e que construíram a ciência de hoje. Desta forma, defendemos, como Queirós, Nascimento Júnior e Souza (2013), que a Filosofia e a História da Ciência que competem mostrar o processo de construção dos conceitos científicos e a discussão da natureza da ciência de tal maneira a apresentar aos estudantes que o conhecimento em construção não é neutro e nem absoluto, mas influenciado pela cultura de uma época, por interesses econômicos e políticos nos quais a produção do conhecimento científico se insere, pode conduzir a objetivação de conhecimento não alienante em uma perspectiva da PHC.

Veremos abaixo, nas opções didáticas realizadas em nossa sequência didática, como foi pensado o uso da HFC no ensino de ciências como um instrumento a realização da PHC.

4.2 Da síncrese a síntese.

O método da Pedagogia Histórico-Crítica é o método dialético que, aplicado à educação escolar, gera o processo pelo qual o conhecimento científico realiza o movimento “síncrese-análise-síntese”, no qual a síncrese significa o conhecimento concreto-empírico, enquanto análise expressa a teorização, as abstrações, a reflexão, e a síntese é o novo conhecimento elaborado, o concreto pensado, visto em suas múltiplas determinações. Ou seja, do concreto real empírico, pelas mediações da abstração, chega-se ao concreto pensado (GASPARIN, 2008).

A estruturação da presente sequência didática se deu observando, dentre outras preocupações discutidas neste capítulo, os 5 passos que Saviani (1999) didaticamente estabelece como necessários para a intervenção Histórico-Crítica, a saber: Prática Social, Problematização, Instrumentalização, Catarse e o retorno à Prática Social.

Estes momentos da prática pedagógica foram pensados na elaboração de nossa sequência didática para trabalhar o conceito de ondas eletromagnéticas inserido no processo histórico de desenvolvimento do eletromagnetismo. Trataremos de cada passo no contexto da sequência didática.

O primeiro passo, a Prática Social Inicial, deve ser o ponto de partida que é comum a professor e alunos. Significa partir do social, ou seja, das preocupações coletivas, da dimensão na qual se manifestam nossas lutas, realizações e contradições (SANTOS, 2012). Caracteriza-se pela preparação e mobilização do aluno para a construção do conhecimento escolar como primeira leitura da realidade, um contato inicial com o tema a ser estudado (GASPARIN, 2002).

Neste trabalho, buscamos a Prática Social na história e trouxemos para o contexto concreto do aluno em sala de aula. Inicialmente através do conhecimento da existência de fenômenos eletromagnéticos e algumas propriedades do fenômeno que se verifica pela manipulação (Encontro 1). Quando os estudantes tomam contato com o fenômeno, eles estão diante do conhecimento localizado historicamente, que se apresenta como conhecimento desorganizado na medida em que não é possível apreendê-lo em sua essência apenas pela manipulação. Saber que uma corrente elétrica interage com uma bússola ou que uma corrente elétrica pode produzir efeitos de ímã (eletroímã), tais quais os estudiosos da eletricidade contemporâneos a Oersted sabiam, não implica em conhecer as motivações para que o fenômeno se estabeleça.

De modo semelhante, posteriormente o primeiro passo se realiza com uma demonstração, amparada na História da Ciência, do protótipo que simula o experimento de Lodge, fazendo tocar uma campainha sem ligação por fios. Diante deste evento os estudantes passam a conhecê-lo, mas de maneira desorganizada na medida em que se trata do conhecimento sincrético já que, por mais conhecimentos e experiências que os alunos detenham, sua própria condição de alunos implica em impossibilidade de articulação da experiência pedagógica na prática social de que participam ainda no ponto de partida (SAVIANI, 1999).

Assume-se que o aluno sabe de forma não organizada, o que indica ser o professor o organizador da estratégia de ensino (SANTOS, 2012). Ao professor, como estratégia pedagógica para a efetivação dos objetivos educacionais traçados, cabe buscar compreender como o aluno constrói e articula explicações para fenômenos que observa a partir de sua visão de mundo.

Como diz Paulo Freire,

O ensino deve sempre respeitar os diferentes níveis de conhecimento que o aluno traz consigo à escola. Tais conhecimentos exprimem o que

poderíamos chamar de a identidade cultural do aluno ligada, evidentemente, ao conceito sociológico de classe. O educador deve considerar essa "leitura do mundo" inicial que o aluno traz consigo, ou melhor, em si. Ele forjou-a no contexto de seu lar, de seu bairro, de sua cidade, marcando-a fortemente com sua origem social (FREIRE; CAMPOS,1991, p. 3).

E ainda:

A escola é autoritária e elitista porque avaliza um saber inteiramente pronto, um saber pretensamente acabado. Essa concepção do conhecimento é um erro científico, uma antiverdade epistemológica. Não existe um saber fechado. Todo conhecimento surge na história, jamais fora dela. Todo novo saber nasce do envelhecimento de um saber anterior que também foi inovador em seu tempo. Nasce, precisamente, quando se aceita com humildade-que esse saber também envelhece [...] Desejamos que aprendam a saber melhor o que já sabiam antes, para que se transformem, por sua vez, nos criadores de um saber que ainda está por surgir. [...] Queremos uma pedagogia que, sem renunciar à exigência do rigor, admita a espontaneidade, o sentimento, a emoção, e aceite, como ponto de partida, o que eu chamaria de "o aqui e o agora" perceptivo, histórico e social dos alunos (FREIRE; CAMPOS,1991, p. 4).

Buscando compreender o "aqui e agora" a que se refere Paulo Freire, entendido como o ferramental explicativo que o aluno já carrega consigo, aplicamos um questionário pelo qual os estudantes devem expressar uma elucidação para o fenômeno que observa na demonstração experimental (Encontro 3).

O segundo passo é a Problematização e se refere a identificação dos principais problemas postos pela Prática Social Inicial. A Problematização trata de detectar quais questões precisam ser resolvidas no âmbito da prática social e, em consequência, qual conhecimento é necessário dominar (SAVIANI, 1999). A Problematização é o elemento chave na transição entre a prática e a teoria, entre o fazer cotidiano e a cultura elaborada. É o momento pelo qual a prática social é posta em questão, analisada e interrogada, levando em conta o conteúdo a ser trabalhado e as exigências sociais da aplicação deste conhecimento. É quando se inicia o trabalho com conteúdo sistematizado (GASPARIN, 2002).

Na sequência didática corresponde ao momento em que se problematiza no experimento de Oersted a razão da agulha se mover apenas quando colocamos o fio percorrido por corrente em determinada posição (Encontro 1); ou questionar como podemos utilizar o fenômeno eletromagnético conhecido em um eletroímã de tal maneira que possamos nos comunicar a uma certa distância (Encontro 2).

A problematização central, contida na sequência pela via da construção do conceito de ondas eletromagnéticas, está localizada após a apresentação do protótipo de Lodge onde os estudantes são levados a se interrogar como é possível a comunicação a distância sem fios, entre um acendedor de fogão e uma campainha¹³, haja vista que a comunicação com fios foi explorada nas aulas anteriores ao momento em questão. É possível construir um telegrafo sem fio? Quais suas vantagens? Onde podemos perceber comunicações sem fios no nosso dia a dia?

No terceiro passo, a Instrumentalização, os estudantes devem se apropriar dos instrumentos teóricos e práticos necessários ao equacionamento dos problemas detectados na prática social em transmissão direta ou indireta, onde o professor tanto pode transmiti-lo diretamente quanto pode indicar meios através dos quais a transmissão venha a se efetivar (SAVIANI, 1999). Segundo Gasparin (2002), a partir das questões levantadas na Prática Social Inicial e sistematizadas na Problematização, todo o processo ensino-aprendizagem é encaminhado para, explicitamente, confrontar os alunos com o objeto sistematizado do conhecimento. A Instrumentalização é o caminho pelo qual o conteúdo sistematizado é posto à disposição dos alunos para que o assimilem e o recriem e, ao incorporá-lo, transformem-no em instrumento de construção pessoal.

A apropriação do conhecimento ocorre com o intuito de equacionar, ainda que teoricamente, as questões sociais que desafiam o professor, os alunos e a sociedade. Nesse processo, o professor auxilia os alunos a elaborarem sua representação mental do objeto do conhecimento. A tarefa docente consiste em trabalhar o conteúdo científico e em contrastá-lo com o cotidiano a fim de que os alunos, ao executarem inicialmente a mesma ação do professor através de operações mentais de analisar, comparar, explicar, generalizar, etc., apropriem-se de conceitos científicos e neles incorporem os anteriores (os conceitos cotidianos), transformando-os também em científicos, construindo a síntese mais elaborada (GASPARIN, 2002).

Na sequência didática proposta, este momento se dá em parte no encontro 3 e nos encontros 4 e 5. Por meio da História da Ciência como recurso, discute-se o conteúdo do eletromagnetismo de tal maneira que o estudante perceba

¹³ Ver seção 5.2.3, p. 74 desta dissertação.

que os instrumentos teóricos e práticos necessários ao equacionamento dos problemas colocados quando da problematização são produzidos socialmente e preservados historicamente. A própria dinâmica do desenvolvimento científico aparece quando lançamos mão da História da Ciência como proposta didática de intervenção.

Para Gasparin (2002), uma vez incorporados os conteúdos e os processos de sua construção, ainda que de forma provisória, chega o momento em que ao aluno é solicitado a mostrar o quanto se aproximou da solução dos problemas anteriormente levantados sobre o tema em questão. Esta é a fase que o aluno sistematiza e manifesta o que assimilou, isto é, que assemelhou a si mesmo os conteúdos e os métodos usados na fase anterior. Este momento se dará no quarto passo, a *Catarse*, como sendo a síntese do cotidiano e do científico, do teórico e do prático a qual o aluno chegou, marcando sua nova posição em relação ao conteúdo e à forma de sua construção social e sua reconstrução na escola. A síntese é compreendida como sendo a sistematização do conhecimento adquirido, a conclusão que o aluno chegou. Assim, a *Catarse* é a demonstração da nova postura mental do educando em relação ao conteúdo estudado. Essa atitude manifesta-se em seu modo de proceder ou agir intelectualmente, que, necessariamente, deve ser muito diverso daquele expresso na Prática Social Inicial do conteúdo (GASPARIN, 2002). O quarto passo é a expressão elaborada da nova forma de entendimento da prática social, uma vez que já foram adquiridos os instrumentos básicos para tal. É a efetiva incorporação dos instrumentos culturais e pode ser considerado o ponto culminante no processo educativo que aí que se realiza por meio da mediação da análise levada a cabo no processo de ensino à passagem da síncrese a síntese (SAVIANI, 1999).

Se o conhecimento verdadeiro é aquele capaz de transformar a realidade e se pensarmos a práxis como o momento que elabora teoria e na prática em unidade dialética, conhecer é agir. Não é qualquer ação que é práxis. A ação sem objetivos “em si” ou “para si” nada mais é do que alienação (SANTOS, 2012).

Segundo Santos (2012), pode se pensar a *Catarse*

Como superação da contradição dialética entre quantidade e qualidade: podemos fornecer uma grande quantidade de conhecimentos a um indivíduo (nível analítico), mas isso não significa que ele estará pronto para agir a partir desse conhecimento (nível sintético). Quando ele o elabora

estabelecendo as funções fundamentais, quando percebe as conexões mais importantes, então se dá a superação: temos a catarse. É como se o indivíduo alcançasse uma “segunda natureza”, pois se apropriou e incorporou os elementos, antes dispostos, em uma unidade sintética. A catarse não é ação; não é, igualmente, teoria. É o momento que elabora esses dois polos, é o instante em que o conhecimento nascido da ação prática do homem transforma-se novamente em ação (SANTOS, 2012 p. 66).

Este momento aparecerá na sequência com o retorno ao protótipo de Lodge (Encontro 5), agora munidos do ferramental teórico para explicar seu funcionamento a partir das ideias do eletromagnetismo e, sobretudo, do conceito de ondas eletromagnéticas, expressando suas conclusões oralmente em debate na turma e por meio da escrita através de questionário.

O quinto passo é o retorno à Prática Social, compreendida agora não mais em termos sincréticos pelos alunos, mas em nível sintético, no qual, por suposto, já se encontrava o professor no ponto de partida. Essa elevação dos alunos ao nível do professor é essencial para se compreender a especificidade da relação pedagógica. Devido a Catarse, neste momento manifesta-se nos alunos a capacidade de expressarem a compreensão prática em termos tão elaborados quanto era possível ao professor (SAVIANI, 1999).

Gasparin (2002) diz que após os passos anteriores há um novo posicionamento perante à prática social do conteúdo adquirido. Porém, esse processo de compreensão do conteúdo ainda não se concretizou como prática. Essa exige a ação real do sujeito que aprendeu e requer aplicação. O autor dirá também que desenvolver ações reais e efetivas não significa somente realizar atividades que envolvam o “fazer” predominantemente material. É também todo o processo mental que possibilita análise e compreensão mais amplas e críticas da realidade, determinando uma nova maneira de pensar, de entender e julgar os fatos, as ideias. É uma nova ação mental. Na nova forma de agir o aluno tem a intenção, a predisposição, o desejo de pôr em prática os novos conceitos aprendidos. Assume, em consequência, o compromisso de usar em seu cotidiano esses conceitos com base em suas características essenciais, concretas, e não mais do ponto-de-vista do fenômeno cotidiano empírico próprio da Prática Social Inicial (GASPARIN, 2002).

Efetivamos este momento na sequência didática no intervalo entre o encontro 5 e 6, onde os alunos estarão refletindo para produzir seus protótipos similares ao experimento de Lodge. E se concretizará no encontro 6 na qual os

alunos apresentarão para o conjunto da turma seus protótipos e explicarão os princípios de seu funcionamento.

Com o findar da sequência pode-se dizer, na perspectiva da teoria pedagógica usada como referência, que a compreensão da prática social passará por alteração qualitativa, como assinala Saviani (1999),

A prática social referida no ponto de partida [primeiro passo] é no ponto de chegada [quinto passo] é e não é a mesma. É a mesma, uma vez que é ela própria que constitui ao mesmo tempo o suporte e o contexto, pressuposto e o alvo, o fundamento e a finalidade da prática pedagógica. E não é a mesma, se considerarmos que o modo de nos situarmos em seu interior se alterou qualitativamente pela mediação de ação pedagógica; e já que somos, enquanto agentes sociais, elementos objetivamente constitutivos da prática social, é lícito concluir que a própria prática social se alterou qualitativamente. É preciso, no entanto, ressaltar que a alteração objetiva da prática só pode se dar a partir de nossa condição de agentes sociais ativos, reais. A educação, portanto, não transforma de modo direto e imediato e sim de modo indireto e mediato, isto é, agindo sobre sujeitos da prática (SAVIANI, 1999, p. 82).

Dessa maneira, o que objetivamos é que o conhecimento desorganizado (sincrético) do momento da manipulação dos fenômenos eletromagnéticos, e da demonstração do protótipo que simula o experimento de Lodge, se transforme com o auxílio da análise, em conhecimento organizado (sintético). Assim, possibilita a Catarse, pela qual o estudante adquire elementos para no retorno à Prática Social dos fenômenos eletromagnéticos e possa abordá-los de maneira qualitativamente superior, utilizando de conceitos construídos historicamente para representar a realidade física.

Uma vez que estes momentos articulados acontecem dentro da perspectiva da HFC, eles permitem que o estudante possa apreender que o conhecimento científico que lança mão para a compreensão da natureza é historicamente construído e determinado. Não se desenvolve de forma linear, mas, pelo contrário, é repleto de idas e vindas, de disputas de interpretações possíveis, e de influências sociais, econômicas e políticas na constituição das ideias científicas.

Este é o tipo de prática pedagógica que encontra abrigo na pedagogia que defenda o direito das classes populares ao conhecimento teórico, abstrato e sistematizado. Em outro meio estaria sujeita aos questionamentos a respeito da utilidade prática aos filhos de trabalhadores conhecerem a maneira como os conhecimentos são gerados na história da ciência ou a complexidade envolta no

conceito de onda eletromagnética. Na visão utilitarista, bastaria ao estudante saber manipular instrumentos que utiliza de ondas eletromagnéticas e ver a ciência como meio pelo qual a humanidade tem criado soluções para os problemas da vida ou gerado bem-estar social que o possibilita ter um celular ou uma TV em casa.

Uma vez que não existe prática de ensino neutra, já que toda ação educativa representa uma postura política, estarmos cientes da intencionalidade da prática pedagógica que desenvolvemos é necessário.

4.3 Porque este recorte histórico?

Segundo Silva e Moura (2008), o estudo de episódios particulares da História da Ciência pode fornecer subsídios para a discussão de aspectos da natureza da ciência em sala de aula, uma vez que oferece uma visão mais profunda e detalhada do processo de construção do conhecimento científico.

Para Forato (2009) a escolha do recorte deve respeitar três elementos: o tema histórico deve favorecer os objetivos epistemológicos pretendidos, o recorte deve se adequar ao ambiente educacional em questão e deve contemplar aspectos viáveis para as possibilidades de o professor tratar o tema adequadamente.

Optamos por fazer o recorte histórico delimitado em nossa abordagem, que se inicia em 1820 com o experimento de Oersted e se estende até 1894, período do desenvolvimento do eletromagnetismo no século XIX. Neste recorte, o episódio histórico selecionado está na extremidade do período com o experimento demonstrativo de Oliver Lodge de seu aparato para detecção de ondas eletromagnéticas em 1894. Contudo, um recorte que antecederesse ao episódio se fez necessário para proporcionar melhor contextualização e compreensão do desenvolvimento da ciência nesse período e que permitiria o evento destacado.

A história do eletromagnetismo permite a abordagem da História da Ciência como construção humana, não neutra, com ambiguidades no seu desenvolvimento, influenciada pelo contexto sociocultural, com relação dinâmica entre teoria e experiência, tal como objetivamos (FORATO, 2009). Por exemplo, destacamos que Oersted aparece como um homem envolvido com discussões científicas de sua época e com uma visão filosófica da natureza que o auxiliou em

suas buscas e em suas conclusões a respeito dos resultados. Mostra-se todo trabalho árduo em experimentações com tentativa e erro até que resultados conclusivos são gerados, ressaltando que o cientista é muito mais do que uma mente brilhante e um método. Pelo contrário, trata-se de um profissional inserido em um contexto cultural e filosófico, com concepções de mundo que se relacionam com o seu fazer científico. Contrariando a apresentação de alguns livros, a descoberta do eletromagnetismo em nada se deve ao acaso.

Em Ampère, os dados selecionados de sua biografia têm intencionalidade. Destacam-se os elementos que o humaniza e o transforma em ser humano comum que se esforça, que sofre, que tem perdas, que tem sucessos. Destaca-se como tempo livre e acesso ao conhecimento, embora sem frequentar a escola formal, o ajudou na sua instrução e isso se deve a condições materiais em uma sociedade que lutava por igualdade e realizava uma revolução. Há também, no caso de Lodge, a desmitificação do cientista como sujeito desvinculado da fé, já que muitos cientistas desta época eram religiosos, assim como Ampère e Faraday.

Estes exemplos demonstram o quanto este recorte histórico pode ser profícuo em promover uma visão sobre a construção do conhecimento científico como atividade humana.

4.4 Tempo didático

A sequência didática foi distribuída em 8 aulas em 6 encontros. Esta distribuição foi pensada levando em consideração os recursos didáticos que inserimos na sequência didática como vídeos e textos.

Outro fator que delimitou a escolha do tempo disponível foi o fato da abordagem histórico-filosófica ser inserida em uma realidade longe da ideal. Não há liberdade de transformações drásticas no currículo da escola ou mesmo muita flexibilidade na maneira pela qual se apresenta os conteúdos. Na prática escolar existe o obstáculo da rigidez curricular atrelada às provas de avaliações externas que pesam sobre os docentes. A proposta de sequência didática foi pensada em uma implementação nesse contexto.

Se privilegiou a inserção de abordagem histórico-filosófica que possa, em outros momentos escolares, ser retomada como referência para que o estudante ao

entrar em contato com novo conteúdo dentro dos padrões usuais no decorrer do processo educacional, possa recorrer a abordagem histórico-filosófica anteriormente realizada para auxiliar no significado do aprendizado. Ela é uma abordagem de referência em um currículo que se apresenta estático.

Dado estes contornos concretos a nossa realidade não poderíamos dispor de todo um bimestre para a abordagem que imaginamos. Acreditamos que estes condicionantes sejam similares, em maior ou menor grau, a maioria das escolas pelo país. Na distribuição contida neste trabalho foi possível contemplar os objetivos educacionais propostos anteriormente e, em cada realidade, o professor poderá adaptar seu tempo escolar de maneira a alcançar seus objetivos.

Também se compreendeu no tempo didático período de 15 dias para que os estudantes produzam um experimento com os mesmos princípios do experimento de Lodge. Este período é importante para a maturação do conceito de ondas eletromagnéticas que estamos interessados em explorar e para a percepção dos elementos históricos envolvidos. Se trata de uma reflexão sobre um experimento que causou impacto em fins do século XIX e que os alunos apresentarão, a partir de seus protótipos, para a turma tal qual Lodge apresentou para uma plateia.

4.5 Experimentos históricos.

O uso da experimentação na sequência didática se preocupa em não perder o sentido da construção científica, relacionando a experimentação com a construção de teorias e a realidade socioeconômica.

O ensino por meio da experimentação é quase uma necessidade no âmbito das ciências naturais. Ocorre que podemos perder o sentido da construção científica se não relacionarmos experimentação, construção de teorias e realidade socioeconômicas e se não valorizarmos a relação entre teoria e experimentação, pois ela é o próprio cerne do processo científico. É necessário discutir a importância da prática e de suas múltiplas dimensões (Santos, 2012, p. 60-61).

A experimentação auxilia-nos a alcançar os dois objetivos específicos da sequência didática proposta. Primeiro, na discussão do conceito de ondas eletromagnéticas é preciso ter em perspectiva que o conhecimento estabelecido em

ciências pode ser testado e que a ciência elabora teorias que respondem as demandas da prática. Não se pode falar de ciência essencialmente teórica ou prática. O saber científico é a relação dialética entre prática e teoria e ressaltar os aspectos práticos da ciência, sem levar em conta suas determinações sociais, é ampliar a taxa de alienação. A prática confirma a teoria, mas também é ponto de partida para a sua superação (SANTOS, 2012); por fim, o segundo ponto é que a experiência se localiza em um determinado momento histórico no qual questões sobre aspectos da natureza da ciência em seu desenvolvimento histórico podem ser ressaltados.

Assim como Jardim e Guerra (2017), consideramos que levar às salas de aulas discussões sobre ciências a partir do estudo de experimentos e práticas experimentais desenvolvidas ao longo da história pode ser um caminho promissor ao ensino de ciências numa abordagem histórica. Estes autores fazem uma revisão bibliográfica, com trabalhos publicados entre 2001 e 2016, em periódicos de grande relevância nacional na área de ensino de ciências, a partir do termo “experimentos históricos”, “museus” e “experiência”, e constataram um número relevante de trabalhos que consideram o uso de experimentos históricos uma estratégia eficaz para se trabalhar com abordagens histórico-filosóficas no ensino de ciências.

Nas primeiras aulas da sequência didática os experimentos são utilizados como auxiliares na compreensão sobre como se manifesta o fenômeno do eletromagnetismo, na relação entre corrente elétrica e magnetismo. Também são discutidos alguns aspectos históricos culturais, com auxílio de texto específico para o experimento de Oersted, observando os limites do tempo didático. No entanto, o experimento que consideramos central na sequência didática é o experimento demonstrativo de Oliver Lodge e o designamos como um experimento histórico relevante cuja abordagem merece um destaque.

A respeito da forma como as reconstruções históricas têm sido utilizadas no ensino de Física, os autores Medeiros e Monteiro Jr. (2001) destacam duas importantes tendências. A primeira, representada pelo grupo da Universidade de Oldenburg, se auto intitula "grupo forte", que tenta reproduzir fielmente os detalhes dos aparelhos envolvidos nos experimentos e reprodução de textos que deem conta da atmosfera cultural da época em causa. A segunda linha é desenvolvida pelo grupo da *Bakken Library and Science Museum* de Minnessota, identificada na pessoa de Nahum Kipnis, para o qual o que está em jogo são os princípios fundamentais

dos conteúdos a serem discutidos. Assim, tenta se preservar a essência dos fenômenos estudados sem deter-se em dificuldades tidas como de segunda ordem. (MEDEIROS; MONTEIRO JR., 2001). Identificamos-nos neste trabalho com a segunda linha exposta acima.

O experimento de Oliver Lodge consiste em um sistema efetivo de recepção de ondas eletromagnéticas cuja principal inovação foi o emprego do coesor, originalmente inventado por Edouard Branly no lugar da antena de Hertz, no qual um circuito de transmissão gera uma onda eletromagnética por centelhamento.

A demonstração do aparelho nas palestras que apresentou em memória de Hertz (falecido naquele ano), em 1894, pode ser considerada o marco inicial para a grande revolução nas comunicações com o advento da comunicação sem fios. O aparato replicado na sequência didática aproxima-se da segunda linha identificada pelos autores acima. A confecção do dispositivo de maneira idêntica ao original se mostrou inviável. Reproduzimos suas características constitutivas essenciais como a recepção de ondas eletromagnéticas por um coesor e o acionamento de uma campainha a distância. A construção de nosso aparato está descrita em detalhes no Capítulo 5 dessa dissertação.

Trabalhamos com o experimento adaptado de Oliver Lodge em dois momentos da sequência didática, em que no primeiro momento apenas o demonstramos e fomentamos discussões respeito de seu funcionamento; no segundo momento tornamos a demonstrá-lo, mas após a contextualização histórica sobre o desenvolvimento do eletromagnetismo pelas aulas que antecedem este momento, tratando de nomes como Ampère, Biot, Savart, Faraday, Maxwell, Hertz e por fim Lodge. Essa contextualização é feita com textos e vídeo que acreditamos dar maior sentido ao experimento histórico.

4.6 Simplificações e omissões

Ao escolhermos o recorte histórico do eletromagnetismo optamos pela narrativa que valorizasse os aspectos do seu desenvolvimento e que corroborasse com nossa visão de ciência e do fazer científico por nós defendidos. Esta narrativa está presente nos textos e no documentário utilizado.

No que se refere ao trabalho abordado com o experimento histórico de Oliver Lodge, existem possibilidade de exploração que de maneira consciente omitimos em função dos objetivos específicos propostos na sequencia didática e do tempo didático disponível. Estamos cientes de que o potencial do experimento histórico abordado é maior do que o explorado, porém para revelar toda sua potencialidade seria preciso um tempo didático maior.

Estamos atentos a Jardim e Guerra (2017) quando dizem que ao remontar experimentos similares aos experimentos históricos é importante agregar discussões que ultrapassem o experimento em si, indo além das portas do laboratório. Devem ser tomados como uma construção de laboratório a partir dos resultados de práticas materiais, sociais e culturais. (JARDIM; GUERRA, 2017).

No experimento que destacamos é possível explorar melhor a cultura científica da época, como as palestras de apresentação científica na Inglaterra, por exemplo. Também questões relativas ao laboratório de Lodge poderiam ser levantadas, tais como “Como este concebia seus experimentos?”, “Qual valor dava as demonstrações experimentais?” e “Como sua visão experimental se relaciona com a cultura científica da época?”. Porém, decidimos por opção didática, omitir tais questionamentos nesta sequência proposta. Omitimos também, neste momento, aspectos relacionados as pesquisas com o coesor e a propriedade física de certos materiais funcionarem como receptores de ondas eletromagnéticas. Há nessa questão boas possibilidades de abordagem simplificadas em nosso trabalho.

4.7 A historiografia

Na busca por traçar a historiografia para a narrativa do desenvolvimento do eletromagnetismo estivemos preocupados em nos afastar de uma História da Ciência de senso comum, aproximando-nos da historiografia moderna.

Seguimos o alerta de Forato (2009) na identificação de abordagens ultrapassadas da História da Ciência, para elementos de anacronismos¹⁴ como o whigguismo (glorifica a genialidade de alguns personagens), a hagiografia (romancear certos personagens transformando-os em heróis ou vilões).

¹⁴ Olhar para fatos do passado com olhar contextualizado no presente.

Forato (2009) com auxílio de Allchin (2004) exemplifica diversos deste problemas classificando tais distorções de pseudo-história, tal como os relatos romantizados; personagens perfeitos; descobertas monumentais e individuais; *insights*, tipo “eureka!”; apenas experimentos cruciais; senso de inevitável, trajetória óbvia; retórica da verdade x ignorância; ausência de qualquer erro; interpretação aproblemática de evidências; simplificação generalizada das evidências; conclusões sem influências ideológicas. Tais elementos inviabilizam aspectos relevantes como o ambiente cultural ou social, as contingências humanas, e ideias antecedentes e ideias alternativas. Dessa maneira, o propósito de compreender a dimensão humana da ciência como construção cultural fica comprometido (FORATO, 2009).

Nesse trabalho, quando não utilizamos fontes primárias recorreremos aos autores referência em nossa narrativa Martins R. (1986), Chalmers (1974), Rybak (1990), Rowland (1990), Rocha (2002 e 2009), Guerra; Reis; Braga (2004), Tort; Cunha; Assis (2004), Magalhães (2005), Reis (2006), Assis; Chaib (2007), Brito (2008), Baldinato (2009), Chaib (2009), Hunt (2015) e Polito (2016).

Capítulo 5

Sequência didática

Apresentamos neste capítulo a sequência didática que também se encontra como produto educacional resultando deste trabalho. Os textos indicados na sequência, assim como os questionários que fazemos referência, estão disponíveis nos apêndices desta dissertação.

Entendemos sequência didática como um modo do professor organizar as atividades de ensino em função de núcleos temáticos. Segundo Zabala (1998), sequência didática é definida como “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos” (ZABALA, 1998, p.18).

O objetivo educacional de uma sequência didática deve estar claro para que possamos avaliar seus resultados. Nossa sequência didática foi construída e pensada com o objetivo geral de contribuir com uma proposta de abordagem histórico-filosófica que utiliza experimentos e demonstrações históricas na introdução de conceitos do eletromagnetismo no Ensino Médio. Os objetivos específicos da sequência didática são apresentar aos estudantes um conceito de ondas eletromagnéticas em uma dinâmica histórica e discutir a respeito da natureza da ciência no Ensino Médio.

5.1 Estrutura da sequência didática

A sequência didática está dividida em 8 aulas em 6 encontros, sendo que os encontros 1 e 4 contêm 2 aulas.

Tabela 1. Distribuição dos conteúdos e atividades por encontro.

Encontro/Tempo	Resumo dos conteúdos trabalhados em cada momento	Atividades realizadas
Encontro 1 / 100 min	<p>Relação existente entre eletricidade e magnetismo.</p> <p>Experiência de Oersted</p> <p>Eletroímã</p>	<p>Leitura do texto 1</p> <p>Demonstração do experimento de Oersted</p> <p>Construção experimental em grupo de um eletroímã com auxílio de vídeo 1.</p> <p>Pedir pesquisa para encontro seguinte sobre Código Morse.</p>
Encontro 2 / 50min	<p>Complemento o encontro anterior, com ênfase em como os conhecimentos em eletromagnetismo auxiliaram na tecnologia de comunicação.</p>	<p>Levantar dados da pesquisa feita pelos alunos e como poderíamos relacionar com o eletromagnetismo.</p> <p>Demonstração de como um eletroímã pode funcionar para comunicação. Exibição do vídeo 2</p> <p>Questionário de avaliação parcial 1.</p>
Encontro 3 / 50 min	<p>Demonstração do funcionamento do protótipo do experimento de Oliver Lodge</p> <p>Exposição sobre eletromagnetismo numa perspectiva histórica.</p>	<p>Apresentar o protótipo adaptado do experimento de Lodge</p> <p>Entregar o questionário 2 para levantar as possíveis explicações de seu funcionamento.</p> <p>Apresentação de texto 2 para discussão sobre o desenvolvimento do eletromagnetismo.</p>
Encontro 4 / 100 min	<p>Continuação do encontro anterior.</p> <p>Desenvolvimento do eletromagnetismo numa perspectiva histórica.</p>	<p>Leitura do texto 3 para discussão sobre o desenvolvimento do eletromagnetismo.</p> <p>Exibição do vídeo 3</p> <p>Experiência do campo magnético e limalha de ferro</p>

		<p>Leitura do texto 4 para discussão sobre o desenvolvimento do eletromagnetismo.</p> <p>Exibição do vídeo 4</p>
Encontro 5 / 50 min	<p>Retorno ao Experimento de Lodge, agora em seu contexto histórico da segunda metade do século XIX no desenvolvimento do eletromagnetismo.</p>	<p>Exibição do vídeo 5 e Texto 5 para discussão.</p> <p>Aplicação de um questionário 3 que remete ao questionário 2 sobre o funcionamento do aparato com base em toda discussão desenvolvida nos 3 encontros anteriores.</p> <p>Passar para os alunos a tarefa de construir em pequenos grupos protótipos com o mesmo princípio de funcionamento do experimento de Lodge.</p>
Encontro 6 / 50 min	<p>Apresentação dos trabalhos para a turma.</p>	<p>Cada grupo apresenta seu protótipo e explica os princípios de seu funcionamento.</p> <p>Aplicação de um questionário final 4.</p>

Fonte: Acervo Pessoal.

5.2 Descrição da sequência didática

5.2.1 Encontro 1

Os encontros 1 e 2 têm por objetivo trazer para a prática do estudante o conhecimento do fenômeno eletromagnético via manipulação de simples aparatos, para que, a partir deste conhecimento, o estudante possa perceber como as descobertas experimentais sobre o eletromagnetismo nas primeiras décadas do século XIX abriram a perspectiva de um avanço inimaginável nas comunicações através do telégrafo. Para tanto, o encontro 1 deve explorar a relação entre eletricidade e magnetismo em dois fenômenos conhecidos, que são o experimento de Oersted e o eletroímã. Divide-se a turma em pequenos grupos para leitura do texto 1 excerto de *Faraday e Maxwell - Eletromagnetismo: da indução aos dínamos* (2004), dos autores Andreia Guerra, José Claudio Reis e Marco Braga. O texto traz

uma abordagem que visa discutir a relação entre a concepção de mundo dos cientistas e o desenvolvimento de seus trabalhos.

Oersted via a natureza como um ser vivo, dotada de alma capaz de gerar todas as forças naturais conhecidas, sendo portanto, a responsável por todos os fenômenos naturais. Ou seja, todos esses fenômenos eram gerados por um único poder original (GUERRA; REIS; BRAGA, 2004, p. 30).

E ainda

Oersted, que conhecia muito bem esses resultados experimentais, considerava-os muito importantes. Afinal, respaldavam sua ideia de que havia na natureza um princípio único original. Essas experiências, segundo ele, não deixavam dúvidas de que os efeitos térmicos, luminosos e químicos estavam todos relacionados e eram gerados por um único poder: a eletricidade. Para ele, um trabalho experimental rigoroso mostraria que o magnetismo também era gerado pelo mesmo princípio do calor, da luz e dos efeitos químicos... (GUERRA; REIS; BRAGA, 2004, p. 31).

É importante observar que Oersted não descobriu acidentalmente a relação entre magnetismo e eletricidade. Sua concepção sobre a natureza aliado a história da sua vida nos permite entender que esta relação faz todo sentido.

No momento seguinte, os estudantes devem observar concretamente como uma corrente elétrica altera a orientação de uma bússola a partir do *kit* 1, cedido pelo professor, que simula o experimento de Oersted (Figura 13). Após a observação, deve ser entregue aos alunos o *kit* 2 para confecção de um pequeno eletroímã (Figura 14) com pilha, fio de cobre, um parafuso e instruções com o Vídeo 1¹⁵ (Como fazer um ímã elétrico, o eletroímã), que orienta na construção do aparato, afim de novamente verificar o fenômeno eletromagnético.

Durante as atividades o professor deverá salientar a relação entre corrente elétrica gerando propriedades magnéticas e, também, como através desta relação podemos, à distância, ligar e desligar esta propriedade no parafuso.

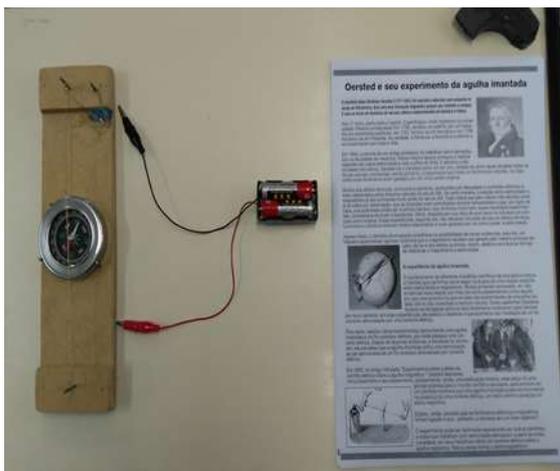
O objetivo geral desse encontro é elucidar que o fenômeno eletromagnético existe e que podemos pensar em como manipulá-lo dado algum interesse, sem a preocupação, neste momento, com a compreensão dos conceitos que hoje utilizamos para explicar os fenômenos observados nas experiências,

¹⁵ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=j2kHpzP7eIQ>. Acesso em: 28/05/2018

embora possa ser registrado, caso surja a necessidade. Na época destas descobertas não havia interesse exclusivo em saber o que realmente era a eletricidade ou o magnetismo, mas havia grande interesse nas implicações práticas do conhecimento destes fenômenos.

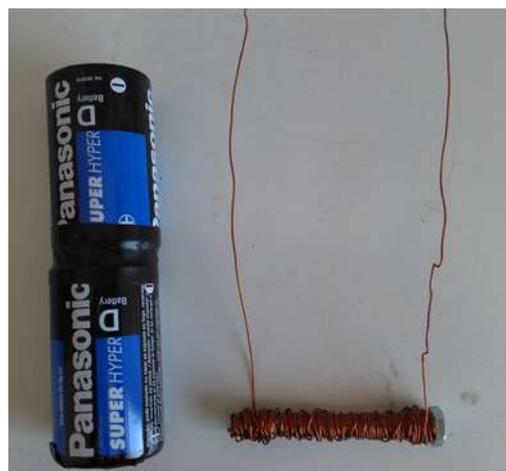
No encerramento do encontro deve-se pedir aos estudantes uma pesquisa sobre código Morse.

Figura 13. Experimento de Oersted



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 14. Eletroímã



Fonte: Acervo pessoal.

5.2.2 Encontro 2

Este encontro se inicia com um levantamento da pesquisa feita pelos estudantes e fomentando a questão sobre como podemos usar um código e o nosso eletroímã para trocar informações. Após registro de apontamentos dos estudantes, verifica-se, com um eletroímã ajustado para tal, a possibilidade de comunicar mensagens entre uma parte da sala a outra, cuja turma é dividida em dois grupos, onde um grupo elabora a mensagem e o outro a decifra. Os ajustes neste novo eletroímã são fios maiores, um botão de liga e desliga e o objeto ferromagnético que emita som com sua batida quando atraído.

Em seguida exibe-se o Vídeo 2 ¹⁶, parte do documentário: *História da eletricidade – A era da invenção* (2011). Sugerimos para este momento uma edição do vídeo para que compreenda o intervalo entre 12 min e 23 min e 10s, trecho que abordará como o eletroímã esteve na base da construção do telégrafo; as dificuldades técnicas encontradas para a comunicação a longa distância; como a

¹⁶ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8NN880JDP8M>. Acesso em 28/05/2018

teoria auxiliou a prática na resolução das dificuldades técnicas; o impacto social do advento do telégrafo.

Será entregue, ao fim do vídeo, o Questionário 1 no qual será levantado dados sobre o objetivo até este estágio da sequência didática. As questões sugeridas são:

- 1) Quais as formas de comunicação entre regiões que você imagina que eram utilizadas antes do telégrafo? Como se enviava uma mensagem de um local ao outro?
- 2) Quais os problemas técnicos encontrados na tentativa de construir um telégrafo para longas distâncias? Quais as dificuldades que apareceram no caminho?
- 3) Explique com suas palavras, quais os fenômenos físicos sobre eletricidade e magnetismo conhecidos na época que permitiram a construção do telégrafo. Descreva como acontece estes fenômenos.

5.2.3 Encontro 3

Este encontro se inicia com uma demonstração experimental do protótipo adaptado do experimento que Oliver Lodge utilizou para uma plateia em 1894, onde fazia uma campainha tocar a distância com o apertar de um botão acionado em outro aparelho. Este protótipo, na sua constituição, não reproduz os materiais utilizados na época por Lodge, mas conserva seus princípios constitutivos e sua funcionalidade como a utilização de um coesor como receptor de ondas eletromagnéticas fechando um circuito e fazendo acionar a campainha (Figura 15).

Figura 15. Experimento que simula o de Oliver Lodge.



Fonte: Acervo pessoal.

Sua confecção é de fácil produção por se tratar de uma campainha residencial com o fio que a ligará na tomada. Interrompendo a ligação do fio, coloca-se um coesor (Figura 16) com limalha de ferro em um tubo plástico ligada por dois parafusos e dois conectores, vindo dos fios da campainha, ligados aos parafusos.

Figura 16. O Coesor.



Fonte: Acervo Pessoal.

Usa-se um acendedor de fogão elétrico como emissor de ondas eletromagnéticas.

Como resultado a campainha é disparada apenas quando se aciona o acendedor de fogão, dada as propriedades físicas do coesor na presença de ondas eletromagnéticas já discutidas no capítulo terceiro.

Não cabe ao professor, neste momento, explicar o funcionamento do dispositivo e é desejável evitar o termo “ondas eletromagnéticas” para não induzir de forma precipitada alguma conclusão por parte dos estudantes.

A demonstração do funcionamento do protótipo em sala de aula remete ao evento histórico utilizado como elemento integrante da sequência didática. Feita a demonstração, entrega-se aos estudantes o Questionário 2 para que os mesmos se manifestem a respeito do princípio de funcionamento do aparelho por meio da questão “Como é possível que o acendedor comunique com a campainha, fazendo com que ela ligue, se não existe ligação (fios) entre eles?”. O objetivo desta questão é problematizar a experimento para análise de ferramentas explicativas que os estudantes lançarão mão para explicar o fenômeno, dado que a comunicação através de fios (como no telégrafo) ainda estará viva em suas ideias devido aos dois encontros anteriores.

Após recolher os questionários, inicia-se um momento de contextualização, que terá continuidade nos próximos dois encontros. Para este momento, utiliza-se o Texto 2, afim de abordar o desenvolvimento do eletromagnetismo em perspectiva histórica por meio de uma aula dialogada com os estudantes

O Texto 2 aborda os impactos do experimento de Oersted no meio científico. Especificamente este texto tratará de Ampère e Biot e Savart em suas biografias, suas experiências e suas explicações para os fenômenos observados, destacando o ambiente científico da época e como suas crenças e concepções influenciaram seus trabalhos.

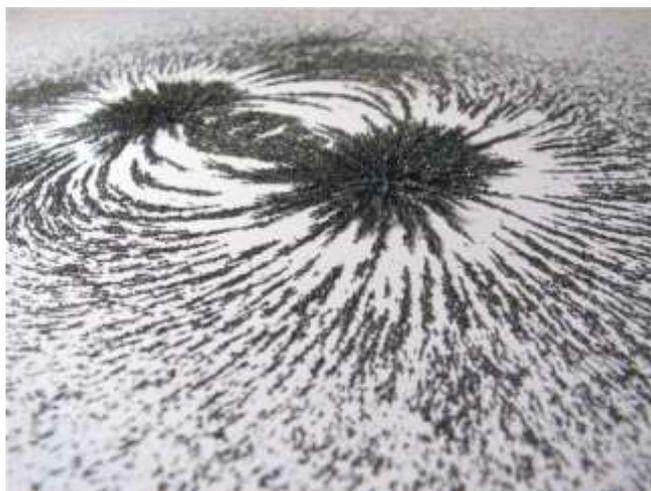
É importante destacar os fenômenos físicos em questão ao falar dos trabalhos destes homens. Porém, este deve ser apenas o primeiro contato com leis e formulações que os estudantes se depararão mais à frente no currículo, como no conteúdo sobre a Lei de Biot Savart e a Lei de Ampère. O objetivo destes encontros é que o aluno possa recorrer a elas para dar sentido aos conteúdos que, em via de regra, são abordados de maneira não contextual e puramente operacional.

5.2.4 Encontro 4

Na mesma perspectiva do encontro 3 este se dá com base no Texto 3 – que trata de Faraday, sua biografia e seu trabalho com eletromagnetismo, como os primórdios do motor elétrico e a indução eletromagnética. É reservada atenção especial à ideia de campo e linhas de força desenvolvida por Faraday, dada sua centralidade para o desenvolvimento posterior em Maxwell.

Após a discussão do texto, exibe-se o Vídeo 3 do documentário *História da eletricidade – A era da invenção*. Sugerimos para este momento a edição do vídeo para que compreenda o intervalo entre 3 min e 11 min e 10s que abordará a temática do texto como recurso visual na tentativa de enriquecer a abordagem. O vídeo deve ser usado como um instrumento auxiliar na contextualização histórica. Após o vídeo realiza-se uma experiência de ilustração do campo magnético usando imã e limalha de ferro como na Figura 17.

Figura 17. Limalha de ferro e campo magnético.



Fonte: Science Daily¹⁷ (2018).

Em seguida deve-se dar continuidade com o Texto 4, que aborda o trabalho de Maxwell com ênfase a sua previsão de que campos elétricos e magnéticos variáveis atrelados se propagam pelo espaço. Ao final do encontro um novo vídeo para ilustrar a contribuição de Maxwell no desenvolvimento do eletromagnetismo deve ser exibido. Trata-se do Vídeo 4¹⁸ do documentário: *História da eletricidade – Revelações e Revoluções*. Sugerimos para este momento a edição do vídeo para que compreenda o intervalo dentre 2 min e 5 min e 45s que tratará das previsões de Maxwell a respeito do eletromagnetismo.

O objetivo geral dos encontros 3 e 4 é estabelecer uma visão panorâmica do desenvolvimento do eletromagnetismo no século XIX, chegando até a previsão teórica de Maxwell da existência de ondas eletromagnéticas

5.2.5 Encontro 5

Este encontro deve ser dedicado à confirmação experimental da existência das ondas eletromagnéticas previstas por Maxwell. Para tal, deve ser utilizado o Texto 5 que aborda a contribuição de Hertz e Lodge e assim voltamos ao experimento demonstrativo de Lodge, agora trabalhado em seu contexto histórico.

¹⁷ Disponível em: <<https://www.sciencedaily.com/releases/2012/04/120417080352.htm>>. Acesso em: 26/06/2016.

¹⁸ Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=BkkoaXCLYGI>>. Acesso em: 28/05/2018.

O texto relata a busca pela comprovação da existência das ondas eletromagnéticas, chamando a atenção para o fato de Hertz e Lodge terem realizado experiências que as comprovaram de forma independente. O texto trata também do episódio motivador para esta sequência, quando em 1894, ano da morte de Hertz, Lodge faz grandes avanços no aparelho de Hertz de detecção de ondas, aparelho este que consistia em detectar ondas eletromagnéticas através do coesor ligado em série com uma bateria e uma campainha elétrica, acionando a campainha.

A exibição do Vídeo 5, após o texto, deve contribuir para a contextualização desejada com partes do documentário *História da eletricidade – Revelações e Revoluções*. Sugerimos para este momento a edição do vídeo para que compreenda o intervalo entre 5 min e 45 s e 14 min e 50s que aborda o experimento Hertz e o experimento de Lodge.

Novamente é demonstrado no encontro o funcionamento do dispositivo da Figura 15 e então é entregue aos estudantes o Questionário 3, que remete ao Questionário 2 sobre o funcionamento do aparato de Lodge com base em toda discussão desenvolvida nos encontros anteriores.

Com as atividades se espera que os estudantes elaborem melhor o funcionamento do dispositivo utilizando a ideia de ondas eletromagnéticas e que também tenha condições de compreender como o conceito emerge em determinadas condições históricas, além de perceber que o processo de desenvolvimento científico envolve fatores sociais, muitas vezes não mencionados. As questões sugeridas são:

- 1) Explique com suas palavras como é possível que o acendedor comunique-se com a campainha fazendo com que ela ligue, se não existe ligação (fios) entre eles?
- 2) Relembre as explicações de Ampère para as ações eletromagnéticas. Responda se sua resposta na questão 1 está de acordo com o pensamento de Ampère? Por quê?
- 3) O que você acha que contribuiu para que Hertz seja lembrado pelos livros até hoje e, ao contrário, Lodge seja esquecido?

Ao fim do encontro será distribuída aos grupos a tarefa de construção de pequenos protótipos com os mesmos princípios de funcionamento do experimento de Lodge para apresentação aos demais estudantes em 15 dias. Os alunos são

livres para pensar nas propostas e alguns modelos são passados apenas para ajudá-los a desenvolver as ideias.

5.3.6 Encontro 6

Este encontro deve ser dedicado para que cada grupo apresente seu experimento e explique os princípios de seu funcionamento. Após a apresentação, cada grupo deve responder ao Questionário 4, que aborda o funcionamento do dispositivo e tenta captar se os alunos conseguem perceber o potencial que se inaugura a partir destes princípios para a comunicação em geral até hoje, relacionando seus dispositivos com a tecnologia atual de comunicação *wireless*.

5.3 Avaliação

Optamos por uma avaliação de caráter qualitativo. A avaliação é realizada de maneira permanente com o envolvimento dos discentes nas tarefas propostas e com os questionários e atividades experimentais durante a sequência. O objetivo da avaliação aqui é manter o controle sobre os objetivos da sequência e, sobretudo, captar informações, no decorrer da aplicação, advindas dos estudantes a respeito do sentido que os mesmos vão atribuindo ao conhecimento trabalhado, para que seja útil em novas investidas previstas no currículo sobre o tema geral, ou seja, o eletromagnetismo.

Capítulo 6

Aplicação, resultados e discussões

Este capítulo inicialmente descreverá a aplicação da sequência didática proposta como produto educacional deste trabalho. Após, trará alguns resultados e levantará algumas discussões que julgamos importantes como fruto da atividade concreta da experiência prática de implementação da abordagem histórico-filosófica que propomos em sala de aula.

A sequência didática foi aplicada em uma turma de 30 alunos, no quarto bimestre do terceiro ano, no turno da manhã, em uma escola estadual de Minas Gerais, na cidade de Juiz de Fora.

6.1 Relato da aplicação

6.1.1 Encontro 1

O primeiro encontro ocorreu em 100 minutos ininterruptos, como previa a sequência didática. No encontro a turma foi dividida em 6 grupos de 5 alunos, sendo entregue a cada aluno o Texto 1, que trata de Hans Christian Oersted e seu experimento para leitura conjunta. Os alunos se revezaram na leitura em voz alta para que todos acompanhassem. Após a leitura estabeleceu-se uma discussão a respeito das informações trazidas pelo texto.

A discussão se deu em torno da questão colocada na época de Oersted a respeito da existência ou não da relação entre eletricidade e magnetismo. O debate foi conduzido para que se percebesse que, de acordo com a visão de Oersted sobre a natureza, a relação entre os dois fenômenos deveria existir.

Após a discussão foi entregue aos grupos o *kit* 1, mostrado na Figura 18, para que, pela manipulação, os estudantes pudessem constatar a relação entre eletricidade e magnetismo. O *kit* é um experimento similar ao experimento de Oersted, cuja referência para sua confecção encontra-se na dissertação *Utilização de elementos de gamificação e instrução por colegas para um maior engajamento dos alunos no Ensino Médio* (2018), de Lélío Fabiano Martins Ribeiro, onde é possível encontrar maiores informações sobre o aparato.

Foi pedido aos estudantes que, a partir do material dado, investigassem os resultados alcançados por Oersted como questão problematizadora. A maioria dos alunos desconhecia o funcionamento empírico de uma bússola e não entendia na prática as implicações da Terra ter propriedades magnéticas, embora na teoria já tivessem tido contato com este conteúdo. Foi necessária uma orientação a respeito do funcionamento da bússola e das características magnéticas da Terra.

Alguns estudantes perceberam de maneira acidental que o fone de ouvido perturbava a bússola mudando sua orientação. A resposta para este efeito veio do próprio grupo, com a fala do aluno **A1**: “ ‘Tá’ mexendo a bússola porque o fone tem ímã lá dentro”.

Figura 18. Estudantes manipulando experimento similar ao de Oersted.



Fonte: Acervo pessoal.

Deste modo, buscou-se observar, ao colocar a bússola no local indicado no aparato, como a corrente elétrica percorrendo um fio ligado a pilhas perturba a bússola, tal qual um ímã (fone) a perturbou anteriormente. A relação com os fones de ouvido não estava programada, mas tal imprevisto possibilitou uma rápida assimilação dos efeitos magnéticos da corrente associada ao mesmo efeito provocado pelos pequenos ímãs dos fones.

Em seguida ao experimento de Oersted, os estudantes receberam o *Kit 2* com o qual confeccionaram pequenos eletroímãs, como na Figura 14 do Capítulo 4 e na Figura 19 abaixo, com auxílio do Vídeo 1 de conteúdo explicativo. Mais uma vez, os alunos constataram o fenômeno eletromagnético, ou seja, a relação entre corrente e magnetismo.

Figura 19. Estudantes manipulando pequenos eletroímãs



Fonte: Acervo pessoal.

No fim do encontro foi pedido aos estudantes que fizessem uma pesquisa sobre o código Morse e que trouxessem seus resultados para o encontro seguinte.

6.1.2 Encontro 2

Iniciamos o segundo encontro fazendo um levantamento da pesquisa dos estudantes a respeito do código Morse. Ficou claro que trata-se de um código transmitido através de sinais de uma região a outra. Após aprofundar as características deste código, foi levantada a questão sobre como poderíamos utilizar nossos eletroímãs para transmitir um código de um ponto ao outro. Após este debate, a discussão foi conduzida para que, através do som, pudéssemos estabelecer uma comunicação empregando os aparatos do encontro anterior de tal maneira que, quando a ligação de um fio mais longo e a pilha se estabelecesse, o eletroímã atrairia um pedaço de metal e quando desfeita a ligação o pedaço de metal se desprenderia ocasionando som com sua queda. Relacionado o tempo de acionamento do eletroímã que significava “início” para determinado intervalo de tempo e “fim” para outro intervalo de tempo, foi possível estabelecer uma comunicação simples do tipo binária. A partir da imaginação do aprimoramento do

dispositivo e aumentando sua complexidade de códigos foi possível o entendimento de como funcionaria um telégrafo.

Após a experiência acima, foi exibido o Vídeo 2, do documentário *História da eletricidade – A era da invenção*, com o recorte recomendado na sequência didática. Este vídeo trata do advento do telégrafo e sobre como o eletromagnetismo sai do laboratório para as demandas da vida prática na sociedade. Mostra como o conhecimento a respeito do eletroímã, ou seja, a possibilidade de controlar um ímã a distância através de fios está na base do funcionamento de um dispositivo que permite a comunicação entre regiões geográficas diferentes. Os impactos sociais provocados pelo telégrafo também são ressaltados no vídeo, além das dificuldades físicas encontradas pelos envolvidos no empreendimento para efetivar uma comunicação através de cabos entre a Europa e os EUA atravessando o Atlântico.

Após o vídeo, os estudantes responderam o Questionário 1 com as questões indicadas na sequência didática.

Figura 20. Estudantes assistindo vídeo que relata o advento do telégrafo.



Fonte: Acervo pessoal.

6.1.3 Encontro 3

Este encontro se iniciou com a apresentação do dispositivo que simula o experimento de Oliver Lodge. Foi descrito os componentes que compõem o aparelho de maneira bem simples (um acendedor elétrico de fogão e uma

campainha ligada na tomada). Em seguida, o aparato foi colocado em funcionamento apertando o acendedor e fazendo tocar a campainha, distante aproximadamente 60 cm.

Alguns estudantes se aproximaram demonstrando curiosidade sobre o funcionamento e alguns pediram para realizarem o procedimento, o que foi permitido.

Para o caso de manipulação pelo estudante é preciso cuidado, pois a campainha é ligada em uma tomada de 110V, o que pode ocasionar choque caso toquem o coesor.

Figura 21. Professor apresentando experimento que simula o experimento de Lodge.



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 22. Alunos manipulando experimento que simula o experimento de Lodge.



Fonte: Acervo pessoal.

Após a demonstração do aparato foi dito aos estudantes que o físico inglês Oliver Lodge havia feito uma demonstração parecida de um experimento que também fazia tocar a campainha com acionamento a distância. Neste momento, alguns estudantes questionaram sobre quem era Oliver Lodge, indagando, inclusive, se havia alguma unidade de medida com seu nome. Essa pergunta nos fez incluir uma questão, no questionário do encontro 5, a respeito do que teria contribuído para que Hertz fosse lembrado pelos livros e Lodge esquecido.

Ainda no encontro 3, entregou-se aos estudantes o Questionário 2, tal como sugerido na sequência didática, com o intuito de analisar quais ferramentas explicativas os estudantes lançam mão para explicar o fenômeno demonstrado na experiência, uma vez que a comunicação através de fios como no telégrafo tinha sido apresentada recentemente nas dois encontros anteriores.

Após a atividade acima, deu-se início ao momento em nossa sequência de estudo do desenvolvimento do eletromagnetismo que, como já sabíamos, iniciou-se com os trabalhos de Oersted e teve desdobramentos posteriores. Iniciamos com a leitura do Texto 2, que destaca o trabalho de Ampère e Biot Savart. Foi dada atenção especial ao fato de termos explicações diferentes para o fenômeno eletromagnético. Para Oersted haveria “matéria elétrica” que circulava no condutor e empurrava os polos do ímã no sentido do seu movimento. Já para Ampère o magnetismo é resultado de correntes circulares no material e que, portanto, o fenômeno fundamental do eletromagnetismo é a ação entre correntes elétricas mantendo uma visão de interação a distância e em linha reta na direção que une os corpos. Para Biot e Savart a ação eletromagnética também se dava a distância, sem intermediações, porém não em linha reta que une os corpos, mas em direção perpendicular a direção de interação.

Mostramos que, a partir de seu entendimento sobre a natureza, Ampère demonstrou a interação entre dois fios conduzindo correntes elétricas, fenômeno novo até então. Comentamos também sobre a definição que utilizamos hoje para a unidade de corrente elétrica 1 A (Ampère) como sendo a intensidade de corrente constante que, mantida em dois condutores retos, longos, paralelos a 1 m de distância um do outro, gera entre eles força de intensidade igual a 2×10^{-7} N em cada metro de comprimento do condutor no vácuo.

Os estudantes levantaram a seguinte questão para debate a partir da leitura: “Qual explicação para o fenômeno eletromagnético é a correta: a ação direta

a distância de Ampère ou a de um meio de contato de Oersted?”. Isso nos levou a dar ênfase sobre as concepções a respeito das interações físicas nos encontros seguintes e alterar o questionário aplicado no encontro 5, incluindo uma questão que nos possibilitasse perceber a retenção da discussão a esse respeito articulado ao fenômeno da onda eletromagnética.

Diante da curiosidade e da repercussão entre os estudantes sobre a interação entre os agentes físicos após o encontro, foi sugerido uma leitura complementar extraclasse do texto *Interações na Física – Ação a Distância versus ação por contato* (2006), do professor André K. T. Assis.

6.1.4 Encontro 4

Este encontro contou com 100 minutos ininterruptos, como indicava a sequência didática. Os estudantes fizeram inicialmente a leitura do Texto 3, que trata de Michael Faraday. O texto relata aspectos de sua biografia e como sua visão de mundo se articula com seu trabalho científico. Aborda de maneira particular sua explicação para os fenômenos eletromagnéticos utilizando-se da ideia de campo de forças.

Em seguida foi exibido o Vídeo 3 do documentário *História da eletricidade – A era da invenção*, com edição sugerida na sequência. O vídeo trata também de Faraday relatando seu trabalho com o eletromagnetismo e retoma o trabalho de Oersted pelo qual Faraday se interessou e reproduziu seus experimentos. Também destaca a explicação que Faraday deu para os fenômenos eletromagnéticos, como no experimento da bússola, dizendo que há fluxo de forças atuando entre o fio e a agulha da bússola. Mostra como o cientista criou um experimento para demonstrar suas ideias sobre o eletromagnetismo, mostrando uma força magnética circular que fazia girar em torno de ímã, sendo um dispositivo que convertia corrente elétrica em movimento contínuo, ou seja, um rudimento do motor elétrico. O vídeo deixa claro que Faraday explorou a relação eletricidade, magnetismo e movimento, estabelecendo para si o desafio de usar magnetismo e movimento para produzir eletricidade – o que ocorreu em 1831 quando detectou uma corrente elétrica em função do movimento e um ímã no interior de uma bobina.

Após a exibição de parte do documentário, estabeleceu-se um debate a respeito das informações trazidas pelo texto e pelo vídeo. Os estudantes destacaram o que lhes tinha chamado mais atenção e a discussão fluiu de forma dialogada com o professor. Após o debate, os estudantes fizeram uma experiência que consiste em observar uma representação das linhas de campo magnético sobre um papel com limalha de ferro e um ímã abaixo, retomando, assim, a ideia de campo de forças de que Faraday se utilizava.

Em seguida foi entregue aos estudantes o Texto 4, com informações sobre James Clark Maxwell. O texto mostra como Maxwell se apoiou nas ideias de Faraday sobre linhas de força para estabelecer a ideia de campo como meio de intermediação entre os corpos nas interações. Maxwell explicava o experimento de Oersted, no qual um fio com corrente próximo a uma agulha imantada irá sentir uma força, pois a corrente elétrica cria ao seu redor uma perturbação que gera efeitos magnéticos iguais aos produzidos por um ímã. Essa perturbação seria o campo magnético e, dessa forma, se colocarmos na região um elemento capaz de perceber o campo, como uma agulha imantada, ele se movimentará pela ação do campo. O texto discute que Maxwell, partindo de suas equações e de algumas outras considerações teóricas, determinou que as oscilações no campo eletromagnético deveriam se propagar como ondas, as ondas eletromagnéticas.

Para finalizar o encontro, foi exibido o Vídeo 4 para ilustrar a contribuição de Maxwell no desenvolvimento do eletromagnetismo editado do documentário *História da eletricidade – Revelações e Revoluções*, tal qual orienta a sequência didática.

Ainda tivemos tempo para uma rodada de discussões a respeito agora de Maxwell e sua contribuição para o desenvolvimento do eletromagnetismo.

6.1.5 Encontro 5

No encontro 5 utilizamos o Texto 5 para dar início as discussões. O texto sobre a comprovação da existência da onda eletromagnética prevista por Maxwell, apresenta os trabalhos e biografias de Heinrich Rudolf Hertz e Oliver Lodge e o fato de ambos terem feito descobertas equivalentes e chegado de maneira independente e simultaneamente à descoberta das ondas eletromagnéticas. Mostra também que a

contribuição de Hertz se destacou na história em função, dentre outras questões, de sua publicação ser datada pouco anteriormente. Outro ponto abordado no texto é o episódio histórico em que Oliver Lodge apresenta seu experimento demonstrativo fazendo soar uma campainha a distância. Há um destaque para o papel do coesor por ele utilizado como um receptor de ondas eletromagnéticas.

Após a leitura do texto, exibiu-se o Vídeo 5 com partes do documentário *História da eletricidade – Revelações e revoluções*, editado como previsto pela sequência didática, o qual mostra a experiência de Hertz de detecção da onda eletromagnética e como paralelamente o trabalho de Lodge também evoluía. O vídeo trata do episódio em que Lodge mostra para uma plateia seu dispositivo que desperta grande curiosidade. Prosseguindo o encontro, novamente é demonstrado nosso aparato similar ao experimento de Lodge, já demonstrado no encontro 3, com o objetivo de relembrar seu funcionamento.

Um debate dialogado na turma foi provocado pelos textos, vídeos e experimento de Lodge e, em sequência, foi entregue aos estudantes o Questionário 3, afim de identificar como os estudantes responderiam agora sobre o funcionamento do aparato similar ao de Oliver Lodge em 1894. Ao fim das respostas ao questionário foi entregue uma proposta de trabalho para que os estudantes, em 15 dias, confeccionassem em grupos pequenos aparatos que simulassem o funcionamento do dispositivo de Lodge com um elemento constituinte principal, o coesor como receptor de ondas eletromagnéticas.

6.1.6 Encontro 6

O encontro 6 foi dedicada à apresentação dos trabalhos realizados pelos estudantes. Após 15 dias e sob orientação no período, os grupos apresentaram os trabalhos diante da turma. Houve trabalhos em que se acendia uma lâmpada, que ligavam uma ventoinha e que acendiam um LED, todos utilizando o coesor como receptor das ondas eletromagnéticas. Após as apresentações, os estudantes responderam o Questionário 4 sobre o funcionamento do dispositivo que construíram.

Figura 23. Dispositivos construídos pelos estudantes.



Fonte: Acervo pessoal.

6.2 Discussão dos resultados e observações sobre a prática

Esta pesquisa não tem a pretensão em ser de conclusão imediata ou de oferecer respostas extensivas a outros meios e condições em que a sequência possa ser aplicada. Seu objetivo é oferecer uma indicação de intervenção capaz de alcançar os objetivos propostos.

Há de se considerar os fatores externos que de alguma maneira influenciaram a aplicação e o intuito de realizar uma segunda aplicação que se frustrou. O primeiro fator externo é o ambiente escolar no quarto bimestre em uma turma de terceiro ano. Ambiente marcado por questões referentes a formatura e a proximidade de avaliações externas, como o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e o Processo de Ingresso Seletivo Misto (PISM) adotado pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Este ambiente se mostrou um obstáculo a se superar para a aplicação satisfatória das atividades em sala de aula, levando a uma disputa pela atenção do estudante neste período. Esta dispersão no quarto bimestre nos leva a propor a aplicação da sequência didática no segundo bimestre para novas experiências. Tínhamos o objetivo de concretizar esta proposta, mas não foi possível devido ao segundo fator mencionado abaixo, que reflete as condições objetivas a que os professores estão sujeitos em todo o país.

O início do ano letivo de 2018 na rede estadual de Minas Gerais foi marcado pela greve dos profissionais da educação, com duração de quase dois meses, em busca de cumprimento da lei do piso salarial, de recebimento de salários em dia e de melhores condições de trabalho. Nesse cenário, uma segunda aplicação se mostrou inviável nos moldes que havíamos planejado e assim ficamos com a primeira aplicação para análise.

Antes de nos concentrarmos nas questões que foram foco principal de análise, iremos destacar alguns aspectos de observações gerais que emergiram com a aplicação concreta da sequência didática proposta.

No primeiro questionário aplicado, ao fim do segundo encontro, os alunos demonstraram compreensão do que estabelecemos como objetivo parcial, ou seja, do conhecimento da relação existente entre magnetismo e corrente elétrica e que os conhecimentos a respeito dos fenômenos eletromagnéticos foram determinantes para o desenvolvimento do telégrafo. Perceberam também o significado do telégrafo naquele momento histórico para a sociedade.

A atividade estimulou boa discussão sobre o magnetismo terrestre e a bússola. Todos os grupos conseguiram, a partir do dispositivo entregue a eles, verificar o efeito de uma corrente elétrica gerada por pilhas na orientação da bússola. A construção de um eletroímã pelos grupos também foi satisfatória e os grupos puderam verificar o efeito. Outra observação que merece melhor exploração didática diz respeito ao funcionamento do coesor apresentado no terceiro encontro. A questão “Por que a limalha de ferro, ao passar por ela ondas eletromagnéticas, muda sua propriedade de condutividade elétrica?” se mostra ainda em aberto, não havendo uma teoria conclusiva a este respeito, o que poderia suscitar boas discussões em sala de aula.

Feita essas observações nos dedicaremos as questões que lançamos para emprego de análise dos dados produzidos na aplicação da sequência didática.

As comunicações sobre as quais nos debruçamos para análise foram as respostas aos questionários e as manifestações orais em sala de aula na interlocução dos estudantes com o professor e dos estudantes entre si. Exploramos considerações a respeito dos objetivos específicos do trabalho, lembrando, através da sequência didática, de apresentar aos estudantes o conceito de ondas eletromagnéticas em uma dinâmica histórica e discutir a respeito da natureza da ciência no Ensino Médio.

Muitas possibilidades de objetos de análise emergiram da prática, porém nos concentramos em responder as seguintes questões que foram formuladas no decorrer do trabalho:

- 1) “Os estudantes se utilizam da ideia de ondas eletromagnéticas para explicar fenômenos?”;
- 2) “A sequência didática permitiu aos estudantes incorporarem o conceito de ondas eletromagnéticas como ferramenta explicativa de fenômenos?”;
- 3) “Os estudantes compreenderam a dimensão histórica da construção deste conceito?”;
- 4) “Foi possível aos estudantes compreenderem aspectos relativos à natureza da ciência?”.

Outra pergunta que separamos do conjunto acima é relativa ao referencial teórico utilizado, sendo:

- 5) “A sequência didática com um enfoque histórico–filosófico contribui para a realização dos pressupostos da Pedagogia Histórico-Crítica?”.

Percebemos que, embora os estudantes vivam em um mundo repleto de aparelhos que funcionam com o emprego de ondas eletromagnéticas e que muitos destes aparelhos pertençam ao seu cotidiano, eles não percebiam os fenômenos enquanto uma ideia explicativa a partir deste conceito. Isto ficou claro quando no encontro 3 os estudantes foram colocados diante do aparato que simula experimento de Oliver Lodge, pelo qual um acendedor elétrico de fogão faz tocar uma campainha a distância.

No questionário entregue aos estudantes para refletirem sobre o funcionamento do experimento a expressão “onda eletromagnética” não foi utilizada em nenhuma expressão na tentativa de explicar a comunicação realizada de um ponto ao outro. Destacamos os seguintes textos:

A1: *“Para que aconteça uma corrente elétrica o acendedor elétrico passou energia para o coesor”*

A2: *“A campainha foi acionada pela força da eletrização com a magnetização...”*

A3: *“No experimento que o professor nos apresentou mostra um circuito elétrico que passa por uma campainha e um coesor, que é responsável por abrir e fechar o circuito quando tocado pelo acendedor de fogão”.*

A4: *“foram usados materiais condutores de energia, um receptor e um estimulador (acendedor de fogão elétrico)”.*

A5: *“Na aula de hoje observamos um sistema onde se risca o acendedor próximo ao campo magnético feito com limalha, temos um fenômeno eletromagnético onde se cria uma corrente que realiza o acionamento”.*

A6: *“Quando o acendedor de fogão elétrico é acionado junto ao coesor, ele é responsável pela descarga que faz a campainha tocar, através da energia passada pelos fios”.*

Há a ideia recorrente nas respostas de que uma “energia” é passada do acendedor para o coesor e de que o coesor tem o papel de fechar o circuito. Porém, a maneira pelo qual essa energia é passada de um ponto ao outro permanece um mistério.

Com o decorrer da sequência didática, no questionário do encontro 5 os estudantes, após nova observação do aparato que simula o experimento de Lodge, construíram explicações diferentes do questionário do encontro 3 sobre o funcionamento do experimento. A expressão onda eletromagnética aparece na imensa maioria dos questionários do encontro 5, como no texto do aluno **A4** abaixo, que exemplifica o que encontramos nas demais respostas.

A4: *“A acendedor elétrico de fogão gera uma faísca que emite uma onda eletromagnética que se propaga pelo espaço entre a acendedor e o coesor. Ao passar pelo coesor a onda eletromagnética faz o coesor virar um condutor e a campainha toca”.*

Além do questionário do encontro 5 e do questionário final no encontro 6, onde os estudantes explicam o funcionamento dos aparatos construído por eles, coletamos informações nas manifestações orais dos estudantes, nos debates em sala pós textos e vídeos e na apresentação do trabalho final dos grupos no encontro

6, de tal maneira que nos permite indicar que os estudantes incorporaram uma nova ferramenta explicativa de fenômenos físicos a partir da ideia de onda eletromagnética como uma perturbação que pode ser originada em uma descarga elétrica e que transporta energia em função da variação do campo eletromagnético.

A respeito da percepção da dimensão histórica do conceito, no encontro 3 os estudantes receberam um texto sobre Ampère, Biot e Savart que gerou discussão a respeito das ações a distância *versus* ações intermediadas. Fomos levados a incluir no Questionário 3 (aplicado no encontro 5) a questão “Relembrando as explicações de Ampère para as ações eletromagnéticas, sua resposta na [questão] número 1 está de acordo com o pensamento de Ampère? Por quê?”. A pergunta número 1 pedia aos estudantes que explicassem o funcionamento do experimento de Lodge, o que os levou a recorrer a ideia de ondas eletromagnéticas, como dito anteriormente.

Na análise das respostas à segunda pergunta percebemos que a ampla maioria dos estudantes respondeu que suas respostas não estavam de acordo com Ampère e justificavam, via de regra, pelo fato de Ampère não acreditar em um meio de interação entre as ações eletromagnéticas, sendo partidário da ação a distância.

A6: “...A onda eletromagnética só é possível em uma visão de campo fazendo a ligação da ação”.

Foi possível identificar que os estudantes que fizeram a leitura complementar proposta após a aula foram capazes de elaborar respostas mais conclusivas a respeito da impossibilidade do conceito de ondas eletromagnéticas na visão de Ampère sobre a natureza do fenômeno. Estas manifestações nos permitem indicar que os alunos retiveram aspectos históricos da construção do conceito de ondas eletromagnéticas por intermédio da aplicação da sequência didática. Sugere também a compreensão de aspectos da própria natureza da ciência quando se percebe a presença de teorias conflitantes sobre o mesmo fenômeno em determinado momento histórico.

Corroboramos para a percepção a respeito de a sequência didática contribuir para a compreensão de aspectos relativos à natureza da ciência as respostas na questão 3 do questionário do encontro 5, sobre o que teria contribuído para que Hertz fosse lembrado pelos livros e Lodge esquecido. Os estudantes apresentaram

justificativas atentas a fatores como o fato de Hertz ter publicado seu trabalho pouco antes de Lodge.

Das perguntas que nos concentramos em responder resta a destacada a respeito da sequência didática com enfoque histórico–filosófico ter contribuído ou não para a realização dos pressupostos PHC. No processo de desenvolvimento da sequência didática foi possível perceber que, no momento em que buscamos aporte teórico na Pedagogia Histórico-Crítica para subsidiar a sua construção, conseguimos ver com maior clareza os passos necessários para efetivação dos objetivos que haviam sido estabelecidos anteriormente. A estruturação da presente sequência didática se deu observando os 5 passos (Prática Social, Problematização, Instrumentalização, Catarse e o retorno a Prática Social) que Saviani (1999) didaticamente estabelece como necessários para uma intervenção Histórico-Crítica.

A aplicação da sequência didática e os resultados que dela colhemos nos permite afirmar que a utilização da História e da Filosofia da Ciência aplicada ao ensino de ciências configura-se como estratégia viável para a realização dos pressupostos da Pedagogia Histórico-Crítica, na medida em que permitiu que a compreensão da prática social passasse por alteração qualitativa. Percebemos que o conhecimento desorganizado, sincrético, do momento da manipulação dos fenômenos eletromagnéticos, no experimento de Oersted, no eletroímã e na demonstração do protótipo que simula o experimento de Lodge, se transformou, com o auxílio da análise, em conhecimento organizado, sintético, passando pela catarse onde o estudante adquiriu elementos para que no retorno à prática social referente aos fenômenos eletromagnéticos consiga abordá-los de maneira qualitativamente superior.

O estudante pôde traduzir oralmente e por escrito a compreensão que teve de todo o processo de trabalho. Expressou sua nova maneira de ver o conteúdo e a prática social. Foi capaz de entendê-los em novo estágio, mais elevado, mais consistente e melhor estruturado, construindo nova síntese mais elaborada, dado que incorporaram uma nova ferramenta explicativa de fenômenos físicos a partir da ideia de onda eletromagnética em detrimento das explicações que apresentaram no momento da Problematização, momento em que não havia algum elemento que explicasse a passagem de “energia” de um ponto ao outro pelo espaço.

Capítulo 7

Conclusão

Nesta dissertação apresentamos uma sequência didática com abordagem histórico-filosófica que utiliza experimentos e demonstrações históricas na introdução de conceitos do eletromagnetismo no Ensino Médio. Através da sequência didática objetivamos apresentar aos estudantes o conceito de ondas eletromagnéticas numa dinâmica histórica, discutindo a respeito da natureza da ciência.

O experimento histórico escolhido é o experimento demonstrativo de Oliver Lodge, um sistema efetivo de recepção das ondas eletromagnéticas cuja principal inovação foi o emprego do coesor no lugar da antena de Hertz.

Como discutimos no capítulo primeiro, a importância da inserção da História e Filosofia da Ciência no ensino de ciências tem sido discutida e relevada em vários trabalhos por inúmeros autores nos últimos anos. Suas potencialidades têm sido destacadas, sobretudo, em tornar o conteúdo mais interessante, contribuir para a humanização da ciência e ajudar a dar significação aos conteúdos. No entanto, podemos constatar com Teixeira, Greca e Freire Jr. (2012) e Oliveira e Silva (2011) a escassez das pesquisas de natureza empírica publicadas sobre intervenção em sala de aula de Física com uso de HFC. Ou seja, há carência de trabalhos a respeito da intervenção prática em sala de aula.

Considerando esses aspectos, nosso trabalho apresentou um relato e avaliação do desenvolvimento e aplicação efetiva da sequência didática proposta em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio em uma escola estadual de Minas Gerais. A aplicação deste trabalho nos possibilitou constatar que a abordagem com recorte histórico bem delimitado se mostrou eficaz para os objetivos específicos que propusemos atingir.

Discutimos neste trabalho o desenvolvimento no processo de elaboração da sequência didática, ressaltando a motivação para sua elaboração, a escolha dos objetivos educacionais, a estratégia didática para atingir seus objetivos e os recursos didáticos utilizados. No processo de formulação deste trabalho sentimos necessidade de dotá-lo de sentido e significado motivador, o que nos aproximou do referencial teórico da Pedagogia Histórico-Crítica à medida que esta pedagogia

considera a difusão dos conteúdos vivos e atualizados e a transmissão de conhecimentos historicamente acumulados pela humanidade uma das tarefas centrais da Educação.

Portanto, a estruturação da sequência didática se deu observando, dentre outras preocupações discutidas no Capítulo 4, os 5 passos que Saviani (1999) estabelece como necessários para a intervenção Histórico-Crítica: Prática Social, Problematização, Instrumentalização, Catarse e o retorno à Prática Social. A aplicação da sequência didática e os resultados que dela colhemos nos permitiu concluir que a utilização da História e da Filosofia da Ciência aplicada ao ensino de ciências configura-se como estratégia viável para a realização dos pressupostos da Pedagogia Histórico-Crítica.

Ademais, com o presente trabalho percebemos que os estudantes não utilizavam a ideia de onda eletromagnética para explicar fenômenos de comunicação a distância. Após a aplicação da sequência didática e da análise dos dados coletados foi possível indicar que os estudantes incorporaram uma nova ferramenta explicativa de fenômenos físicos, absorvendo a ideia de onda eletromagnética como perturbação que pode ser originada em uma descarga elétrica e que transporta energia em função da variação do campo eletromagnético. As manifestações dos estudantes, oral e escrita, nos permitiu sugerir que os alunos retiveram aspectos históricos da construção do conceito de ondas eletromagnéticas e da própria natureza da ciência por intermédio das atividades didáticas desenvolvidas.

Dessa maneira acreditamos que o presente trabalho foi capaz de indicar um caminho seguro através de uma sequência didática capaz de proporcionar ao estudante efetiva incorporação dos instrumentos culturais, do conhecimento científico organizado e de uma nova ferramenta explicativa para a realidade dos fenômenos físicos, passando a abordar manifestações de natureza eletromagnéticas de maneira qualitativamente superior. Ou seja, este trabalho nos permite sugerir que o conhecimento desorganizado, sincrético, do momento da manipulação dos fenômenos eletromagnéticos e da demonstração do protótipo que simula o experimento de Lodge se transformou, com o auxílio da análise amparada na História e na Filosofia da Ciência, em conhecimento organizado, em conhecimento sintético, munindo os estudantes de conceitos construídos historicamente para representar a realidade física.

A perspectiva da História e da Filosofia da Ciência aplicada ao ensino do eletromagnetismo permitiu ao estudante apreender que o conhecimento científico que lança mão para a compreensão da natureza, é historicamente construído e determinado. Não se desenvolve de forma linear, mas dialeticamente em disputas de interpretações possíveis e de influências sociais, econômicas e políticas na constituição das ideias científicas.

Referências Bibliográficas

ACEVEDO, J. A.; VÁZQUEZ, A.; PAIXÃO, M. F.; ACEVEDO, P.; OLIVA, J. M.; MANASSERO, M. A. Mitos da didática das ciências acerca dos motivos para incluir a natureza da ciência no ensino de ciências. In: **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1, pp. 1-15, 2005.

ALLCHIN, D. Pseudohistory and pseudoscience. In: **Science & Education** 13: 179-195, 2004.

AMPÈRE, A.M. **Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expériences**. Editions Jacques Gabay, 1990.

ANDERY, M.A; MICHELETTO, N.; SÉRIO, T. M. P.; RUBANO, D. R.; MOROZ, M.; PEREIRA, M. E.; GIANFALDONI, M.; SAVIOLI, M. R.; ZANOTTO, M. L. **Para compreender a ciência: uma perspectiva histórica**. Rio de Janeiro: Garamond, 2014.

ASSIS, A.K.T.; CHAIB, J.P.M.C. Distorção da obra eletromagnética de Ampère nos livros didáticos. In: **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, pp. 65-70, 2007.

ASSIS, A. K. T.; CHAIB, J. P. M. d. C. **Eletrodinâmica de Ampère**: Análise do significado e da evolução da força de Ampère, juntamente com a tradução comentada de sua principal obra sobre eletrodinâmica. Campinas: Editora da Unicamp, 2011.

ASSIS, A. K. T. Interações na Física – Ação a distância versus ação por contato. In: C. C. Silva (Org.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências**: Subsídios para a aplicação no Ensino. Editora Livraria da Física, São Paulo, 2006.

BALDINATO, J. O. **A Química segundo Michael Faraday**: um caso de divulgação científica no século XIX. Dissertação (Mestrado). 138 f. 2009. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BASSALO, J. M. F. A Crônica da Física do Estado Sólido: IV. Magnetismo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 16, nºs (1-4), 1994

BARDIN, L. Análise de conteúdo. Tradução Luís Antero, Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2011.

BERELSON, B. Content analysis in communication research, Nova York, III. Univ. Press, 1952, Hafner Publ. Co., 1971.

BEZERRA, J. E. B. **O direito à educação e progressão continuada**: para além das aparências. São Paulo: Serpente, 2015.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: terceiro e quarto ciclos do ensino fundamental: introdução aos parâmetros curriculares nacionais. Brasília, DF: MEC/SEF, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretária de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais**: ensino médio. Brasília. MEC. 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretária de Educação Média e Tecnológica. **PCN +- ensino médio, orientações educacionais complementares aos parâmetros curriculares nacionais**. Brasília. 2002.

BRITO, A. A. S. “Flogisto”, “Calórico” & “Éter”. In: **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, vol. 20 n.º 3/4, 2008.

CASTRO, R. S. Investigando as contribuições da Epistemologia e da História da Ciência no ensino das Ciências: de volta ao passado. In: GATTI, S. R. T; NARDI, R. (Orgs.). **A História e a Filosofia da Ciência no ensino de ciências**: A pesquisa e suas contribuições para a prática pedagógica em sala de aula. São Paulo: Escrituras Editora, 2016.

CHAIB, J. P. M. C. Análise do Significado e da Evolução do Conceito de Força de Ampère, juntamente com a Tradução Comentada de sua Principal Obra sobre Eletrodinâmica. Tese (Doutorado). 386 f. 2009. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/~assis>>. Acesso em: 20 maio 2018

CHALMERS, A. F. **The Limitations of Maxwell’s Electromagnetic Theory**. Chrystal, George: Isis, 1974.

DARRIGOL, O. *Electrodynamics from Ampère to Einstein*. Oxford University Press, 2000.

DIAS, V. S.; MARTINS, R. A. Michael Faraday: O caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética. In: **Ciência & Educação**, v. 10, n. 3, pp. 517-530, 2004.

DIAS, P. M. C. A (Im) pertinência da História ao aprendizado da Física (um estudo de caso). In: **Revista Brasileira de ensino de física**, v.23, n.2, pp.226-235, 2001.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo Aurélio século XXI** - o dicionário da língua portuguesa. 3.ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.

FORATO, T. C. M. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v 28, n. 1: p. 27-59, abr. 2011.

FREIRE, P.; CAMPOS, M. O. Leitura da palavra...leitura do mundo. In: **O correio da Unesco**, Rio de Janeiro, vol. 19, n.2, 1991.

FRIGOTTO, G. **Reforma do ensino médio do (des) governo de turno**: decreta-se uma escola para os ricos e outra para os pobres. Set. 2016. Disponível em:

<<http://www.anped.org.br/news/reforma-de-ensino-mediado-des-governo-de-turno-decreta-se-uma-escola-para-os-ricos-e-outra>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

GARDELLI, D. **Concepções de Interação Física**: Subsídios para uma abordagem Histórica do Assunto no Ensino Médio. Dissertação (Mestrado). 126.f. 2004. São Paulo: Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 2004.

GASPARIN, J. L. **Uma didática para a pedagogia histórico-crítica**. Campinas, SP: Autores Associados, 2002.

GASPARIN, J. L. A elaboração dos conceitos científicos em sala de aula. In: **ALTOÉ, A.** Temas de educação contemporânea. Cascavel: EDUNIOESTE, 2008. p. 117-142.

GUERRA, A.; REIS, J. C. BRAGA, M. Uma abordagem histórico-filosófica para o eletromagnetismo no ensino médio. In: **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n, 2: p. 224-248, ago. 2004.

GUERRA, A.; REIS, J. C. BRAGA, M. **Faraday e Maxwell**: eletromagnetismo: da indução aos dínamos. São Paulo: Atual, 2004.

HUNT, B. J. **Os seguidores de Maxwell**. Tradução Antônio Emílio Angueth de Araújo. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2015.

JARDIM, W. T.; GUERRA, A. Experimentos Históricos e o Ensino de Física: Agregando reflexões a partir da revisão bibliográfica da área e da História Cultural da Ciência. In: **Investigações em Ensino de Ciências**. V22 (3), pp. 244-263, 2017.

MAGALHÃES, G. Ciência e filosofia da natureza no século XIX: eletromagnetismo, evolução e ideias. In: **Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia**, 10. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de História da Ciência. pp.1-38, 2005. *Anais*.

MARSIGLIA, A. C. G.; PINA, L. D.; MACHADO, V. O.; LIMA, M. A Base Nacional Comum Curricular: um novo episódio de esvaziamento da escola no Brasil. In: **Germinal: Marxismo e Educação em Debate**, Salvador, v. 9, n.1, p. 107-121, 2017.

MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da Ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho. In: **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.24, n. 1, p. 112 – 131, 2007.

MARTINS, A. F. P. Natureza da ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em “temas” e “questões”. In: **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 703-737, 2015.

MARTINS, R. A. Oersted e a descoberta do eletromagnetismo. In: **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, (10): 89-114, 1986.

MARTINS, R. A. Sobre o papel da história da ciência no ensino. Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência (9): p. 3-5, 1990. Disponível em <http://www.ghhc.usp.br/server/pdf/ram-42.pdf>. Acesso em 24/06/2016

MATTHEWS, M.R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. Trad. Claudia Mesquita de Andrade. In: **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.12, n3, p.164-214,1995.

MEDEIROS, A.; MONTEIRO JR, F. N. Algumas tendências na utilização de reconstruções experimentais históricas no ensino de física. IN: **Seminário de História da Ciência**, 8., 2001, ÊNCIA, 8., 2001, Rio de Janeiro, Anais... Rio de Janeiro: [s.n.], 2001

NASCIMENTO, F.; FERNANDES, H. L.; MENDONÇA, V. M. O ensino de Ciências no Brasil: história, formação de professores e desafios atuais. In: **Revista HISTEDBR on-line**, Campinas, n.39, p.225-249, set.2010.

OLIVEIRA, R. A; SILVA, A. P. B. A História da Ciência no Ensino: diferentes enfoques e suas implicações na compreensão da ciência. In: **VIII Encontro Nacional de Pesquisas em Educação em Ciências** (ENPEC). Campinas, 2011.

OERSTED, H. C. **Selected scientific Works**. Traduzido e editado por Karen Jelved, Andrew Jackson e Ole Knudsen. Princeton University, 1998.

PENHA, A. F. Articulando a pedagogia histórico-crítica e a abordagem contextual no ensino de ciências. IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2013.

POLITO, A. M. M. **A construção da estrutura conceitual da física clássica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

QUEIRÓS, W. P.; NASCIMENTO JUNIOR, A. F.; SOUZA, D. C. Possibilidades da Filosofia, História e Sociologia da Ciência para superação de uma concepção prática-utilitária da educação científica: caminhos a serem percorridos. In: **R.B.E.C.T.**, vol. 6, n. 2, 2013.

RAMOS, M. N.; FRIGOTTO, G. Medida provisória 746/2016: A contra – Reforma do Ensino Médio do golpe de estado de 31 de agosto de 2016. Revista HISTEDBR On-line, campinas, nº 70, p. 30 – 48, 2016

RIBEIRO, L. F. M. Utilização de elementos de gamificação e instrução por colegas para um maior engajamento dos alunos no Ensino Médio. Dissertação de mestrado em curso. Comunicação privada, 2018.

REIS, J. B. A. **A Arquitetura Metodológica de Michael Faraday**. Tese (Doutorado). 2006.123.f. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2006.

ROCHA, J. F. M. O conceito de “campo” em sala de aula. In: **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, 1604, 2009.

ROCHA, J. F. M. **Origens e Evolução da Física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

ROWLAND, P. **Oliver Lodge and the Liverpool Physics Society**. Liverpool: Liverpool University Press, 1990.

RYBAK, J. P. Oliver Lodge: Almost the Father of Radio, page 4. **Antique Wireless**. Disponível em: http://www.antiquewireless.org/uploads/1/6/1/2/16129770/48-oliver_lodge.pdf. Acesso em: 26/06/2018

RYBAK, J. P. Radio's Forgotten Pioneer. In: **Popular Electronics**, July 1990, pp. 62-66 and 95.

SANTOS, C. S. **Ensino de Ciências: Abordagem Histórico-Crítica**. 2º ed. Campinas, SP: Armazém do Ipê (Autores Associados), 2012.

SAVIANI, D. **Escola e democracia: teorias da educação, curvatura da vara, onze teses sobre educação e política**. 32.ed. Campinas, SP: Autores Associados, 1999

SAVIANI, D. **Pedagogia Histórico-Crítica**. Campinas: Autores Associados, 2003.

SILVA, C. C.; MOURA, B. A. A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. In: **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, 2008.

SOUZA, B. N. O ensino de Ciências para a Pedagogia Histórico-Crítica. In: **XI Encontro Nacional de Pesquisas em Educação e Ciências- XI ENPEC**. UDSC, Florianópolis, 2017.

TEIXEIRA, E. S.; GREGA, I. M.; FREIRE JR., O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia no Ensino de Física. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. (Orgs.). **Temas de História e Filosofia da Ciência no ensino**. Natal: EDUFRN, 2012. P. 9-40.

TORT, A. C.; CUNHA, A. M.; ASSIS, A. K. T. Uma tradução de um texto de Maxwell sobre a ação a distância. In: **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 3, p. 273-282, 2004.

ZABALA, A. A prática educativa: como ensinar. Trad. Ernani F. da F. Rosa, Porto Alegre. Artmed, 1998.

Apêndice A

Produto educacional

Introdução

Prezado (a) Professor (a):

Apresentamos aqui uma sequência didática com abordagem histórico-filosófica que utiliza experimentos e demonstrações históricas na introdução de conceitos do eletromagnetismo no ensino médio.

A importância da História e Filosofia da Ciência (HFC) no Ensino das Ciências, e em particular no Ensino de Física, tem sido reforçada e abordada em vários trabalhos nos últimos anos. As pesquisas em ensino de ciências tem evidenciado a relevância do papel desempenhado pela HFC no ensino com um número grande de artigos publicados em revistas especializadas da área que, nos eventos e congressos, destina espaços específicos para essa temática. Por sua vez, os documentos oficiais que regulam o ensino no país orientam uma abordagem histórico-filosófica ao ensino de ciências. Os PCN, por exemplo, indicam entre as competências e habilidades no ensino de Física que o aluno deve ser capaz de reconhecer a Física enquanto construção humana, aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político e econômico. (BRASIL, 2002).

No entanto, as pesquisas mostram que ainda é incipiente o número de trabalhos que apresentam propostas concretas e práticas para a inserção da abordagem histórico-filosófica ao ensino.

Através da presente sequência didática destacamos como objetivos específicos possíveis apresentar aos estudantes um conceito de ondas eletromagnéticas numa dinâmica histórica e discutir a respeito da natureza da ciência no ensino médio.

A sequência didática e sua descrição constitui o produto educacional principal da pesquisa de mestrado no contexto do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 24- UFJF- Sudeste – MG. Salientamos que como desdobramento da aplicação desta sequência, apresentamos ao professor os questionários e textos nos apêndices B e C respectivamente.

Estrutura da sequência didática

A sequência didática está dividida em 8 aulas em 6 encontros, sendo que os encontros 1 e 4 contêm 2 aulas.

Tabela 1. Distribuição dos conteúdos e atividades por encontro.

Encontro/Tempo	Resumo dos conteúdos trabalhados em cada momento	Atividades realizadas
Encontro 1 / 100 min	<p>Relação existente entre eletricidade e magnetismo.</p> <p>Experiência de Oersted</p> <p>Eletroímã</p>	<p>Leitura do texto 1</p> <p>Demonstração do experimento de Oersted</p> <p>Construção experimental em grupo de um eletroímã com auxílio de vídeo 1.</p> <p>Pedir pesquisa para encontro seguinte sobre Código Morse.</p>
Encontro 2 / 50min	<p>Complemento o encontro anterior, com ênfase em como os conhecimentos em eletromagnetismo auxiliaram na tecnologia de comunicação.</p>	<p>Levantar dados da pesquisa feita pelos alunos e como poderíamos relacionar com o eletromagnetismo.</p> <p>Demonstração de como um eletroímã pode funcionar para comunicação. Exibição do vídeo 2</p> <p>Questionário de avaliação parcial 1.</p>
Encontro 3 / 50 min	<p>Demonstração do funcionamento do protótipo do experimento de Oliver Lodge</p> <p>Exposição sobre eletromagnetismo numa perspectiva histórica.</p>	<p>Apresentar o protótipo adaptado do experimento de Lodge</p> <p>Entregar o questionário 2 para levantar as possíveis explicações de seu funcionamento.</p> <p>Apresentação de texto 2 para discussão sobre o desenvolvimento do eletromagnetismo.</p>
Encontro 4 / 100 min	<p>Continuação do encontro anterior.</p> <p>Desenvolvimento do eletromagnetismo numa perspectiva histórica.</p>	<p>Leitura do texto 3 para discussão sobre o desenvolvimento do eletromagnetismo.</p> <p>Exibição do vídeo 3</p> <p>Experiência do campo magnético e limalha de ferro</p>

		<p>Leitura do texto 4 para discussão sobre o desenvolvimento do eletromagnetismo.</p> <p>Exibição do vídeo 4</p>
Encontro 5 / 50 min	<p>Retorno ao Experimento de Lodge, agora em seu contexto histórico da segunda metade do século XIX no desenvolvimento do eletromagnetismo.</p>	<p>Exibição do vídeo 5 e Texto 5 para discussão.</p> <p>Aplicação de um questionário 3 que remete ao questionário 2 sobre o funcionamento do aparato com base em toda discussão desenvolvida nos 3 encontros anteriores.</p> <p>Passar para os alunos a tarefa de construir em pequenos grupos protótipos com o mesmo princípio de funcionamento do experimento de Lodge.</p>
Encontro 6 / 50 min	<p>Apresentação dos trabalhos para a turma.</p>	<p>Cada grupo apresenta seu protótipo e explica os princípios de seu funcionamento.</p> <p>Aplicação de um questionário final 4.</p>

Fonte: Acervo Pessoal.

Descrição da sequência didática

Encontro 1

Os encontros 1 e 2 têm por objetivo trazer para a prática do estudante o conhecimento do fenômeno eletromagnético via manipulação de simples aparatos, para que, a partir deste conhecimento, o estudante possa perceber como as descobertas experimentais sobre o eletromagnetismo nas primeiras décadas do século XIX abriram a perspectiva de um avanço inimaginável nas comunicações através do telégrafo. Para tanto, o encontro 1 deve explorar a relação entre eletricidade e magnetismo em dois fenômenos conhecidos, que são o experimento de Oersted e o eletroímã. Divide-se a turma em pequenos grupos para leitura do texto 1 excerto de *Faraday e Maxwell - Eletromagnetismo: da indução aos dínamos* (2004), dos autores Andreia Guerra, José Claudio Reis e Marco Braga. O texto traz

uma abordagem que visa discutir a relação entre a concepção de mundo dos cientistas e o desenvolvimento de seus trabalhos.

Oersted via a natureza como um ser vivo, dotada de alma capaz de gerar todas as forças naturais conhecidas, sendo portanto, a responsável por todos os fenômenos naturais. Ou seja, todos esses fenômenos eram gerados por um único poder original (GUERRA; REIS; BRAGA, 2004, p. 30).

E ainda

Oersted, que conhecia muito bem esses resultados experimentais, considerava-os muito importantes. Afinal, respaldavam sua ideia de que havia na natureza um princípio único original. Essas experiências, segundo ele, não deixavam dúvidas de que os efeitos térmicos, luminosos e químicos estavam todos relacionados e eram gerados por um único poder: a eletricidade. Para ele, um trabalho experimental rigoroso mostraria que o magnetismo também era gerado pelo mesmo princípio do calor, da luz e dos efeitos químicos... (GUERRA; REIS; BRAGA, 2004, p. 31).

É importante observar que Oersted não descobriu acidentalmente a relação entre magnetismo e eletricidade. Sua concepção sobre a natureza aliado a história da sua vida nos permite entender que esta relação faz todo sentido.

No momento seguinte, os estudantes devem observar concretamente como uma corrente elétrica altera a orientação de uma bússola a partir do *kit* 1, cedido pelo professor, que simula o experimento de Oersted (Figura 1). Após a observação, deve ser entregue aos alunos o *kit* 2 para confecção de um pequeno eletroímã (Figura 2) com pilha, fio de cobre, um parafuso e instruções com o Vídeo 1¹⁹ (Como fazer um ímã elétrico, o eletroímã), que orienta na construção do aparato, afim de novamente verificar o fenômeno eletromagnético.

Durante as atividades o professor deverá salientar a relação entre corrente elétrica gerando propriedades magnéticas e, também, como através desta relação podemos, à distância, ligar e desligar esta propriedade no parafuso.

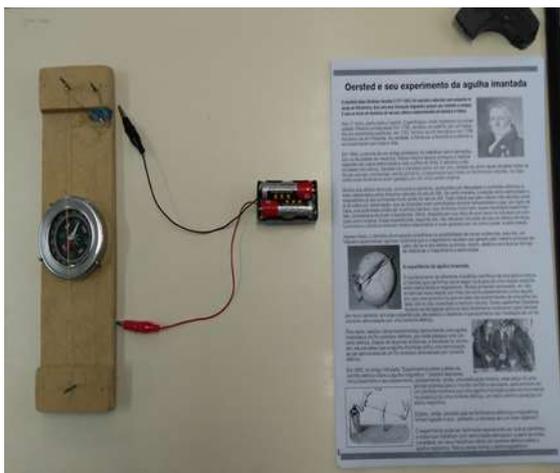
O objetivo geral desse encontro é elucidar que o fenômeno eletromagnético existe e que podemos pensar em como manipulá-lo dado algum interesse, sem a preocupação, neste momento, com a compreensão dos conceitos que hoje utilizamos para explicar os fenômenos observados nas experiências,

¹⁹ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=j2kHpzP7eIQ>. Acesso em: 28/05/2018

embora possa ser registrado, caso surja a necessidade. Na época destas descobertas não havia interesse exclusivo em saber o que realmente era a eletricidade ou o magnetismo, mas havia grande interesse nas implicações práticas do conhecimento destes fenômenos.

No encerramento do encontro deve-se pedir aos estudantes uma pesquisa sobre código Morse.

Figura 1. Experimento de Oersted



Fonte: Acervo pessoal.

Figura 2. Eletroímã



Fonte: Acervo pessoal.

Encontro 2

Esta Encontro se inicia com um levantamento da pesquisa feita pelos estudantes e fomentando a questão sobre como podemos usar um código e o nosso eletroímã para trocar informações. Após registro de apontamentos dos estudantes, verifica-se, com um eletroímã ajustado para tal, a possibilidade de comunicar mensagens entre uma parte da sala a outra, cuja turma é dividida em dois grupos, onde um grupo elabora a mensagem e o outro a decifra. Os ajustes neste novo eletroímã são fios maiores, um botão de liga e desliga e o objeto ferromagnético que emita som com sua batida quando atraído.

Em seguida exibe-se o Vídeo 2 ²⁰, parte do documentário *História da eletricidade – A era da invenção* (2011). Sugerimos para este momento uma edição do vídeo para que compreenda o intervalo entre 12 min e 23 min e 10s, trecho que abordará como o eletroímã esteve na base da construção do telégrafo; as dificuldades técnicas encontradas para a comunicação a longa distância; como a

²⁰ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8NN880JDP8M>. Acesso em 28/05/2018

teoria auxiliou a prática na resolução das dificuldades técnicas; o impacto social do advento do telégrafo.

Será entregue, ao fim do vídeo, o Questionário 1 no qual será levantado dados sobre o objetivo até este estágio da sequência didática. As questões sugeridas são:

- 4) Quais as formas de comunicação entre regiões que você imagina que eram utilizadas antes do telégrafo? Como se enviava uma mensagem de um local ao outro?
- 5) Quais os problemas técnicos encontrados na tentativa de construir um telégrafo para longas distâncias? Quais as dificuldades que apareceram no caminho?
- 6) Explique com suas palavras, quais os fenômenos físicos sobre eletricidade e magnetismo conhecidos na época que permitiram a construção do telégrafo. Descreva como acontece estes fenômenos.

Encontro 3

Este encontro se inicia com uma demonstração experimental do protótipo adaptado do experimento que Oliver Lodge utilizou para uma plateia em 1894, onde fazia uma campainha tocar a distância com o apertar de um botão acionado em outro aparelho. Este protótipo, na sua constituição, não reproduz os materiais utilizados na época por Lodge, mas conserva seus princípios constitutivos e sua funcionalidade como a utilização de um coesor como receptor de ondas eletromagnéticas fechando um circuito e fazendo acionar a campainha (Figura 3).

Figura 3. Experimento que simula o de Oliver Lodge.



Fonte: Acervo pessoal.

Sua confecção é de fácil produção por se tratar de uma campainha residencial com o fio que a ligará na tomada. Interrompendo a ligação do fio, coloca-se um coesor (Figura 4) com limalha de ferro em um tubo plástico ligada por dois parafusos e dois conectores, vindo dos fios da campainha, ligados aos parafusos.

Figura 4. O Coesor.



Fonte: Acervo Pessoal.

Usa-se um acendedor de fogão elétrico como emissor de ondas eletromagnéticas.

Como resultado a campainha é disparada apenas quando se aciona o acendedor de fogão, dada as propriedades físicas do coesor na presença de ondas eletromagnéticas já discutidas no capítulo terceiro.

Não cabe ao professor, neste momento, explicar o funcionamento do dispositivo e é desejável evitar o termo “ondas eletromagnéticas” para não induzir de forma precipitada alguma conclusão por parte dos estudantes.

A demonstração do funcionamento do protótipo em sala de aula remete ao evento histórico utilizado como elemento integrante da sequência didática. Feita a demonstração, entrega-se aos estudantes o Questionário 2 para que os mesmos se manifestem a respeito do princípio de funcionamento do aparelho por meio da questão “Como é possível que o acendedor comunique com a campainha, fazendo com que ela ligue, se não existe ligação (fios) entre eles?”. O objetivo desta questão é problematizar a experimento para análise de ferramentas explicativas que os estudantes lançarão mão para explicar o fenômeno, dado que a comunicação através de fios (como no telégrafo) ainda estará viva em suas ideias devido aos dois encontros anteriores.

Após recolher os questionários, inicia-se um momento de contextualização, que terá continuidade nas próximos dois encontros. Para este momento, utiliza-se o Texto 2, afim de abordar o desenvolvimento do eletromagnetismo em perspectiva histórica por meio de uma aula dialogada com os estudantes

O Texto 2 aborda os impactos do experimento de Oersted no meio científico. Especificamente este texto tratará de Ampère e Biot e Savart em suas biografias, suas experiências e suas explicações para os fenômenos observados, destacando o ambiente científico da época e como suas crenças e concepções influenciaram seus trabalhos.

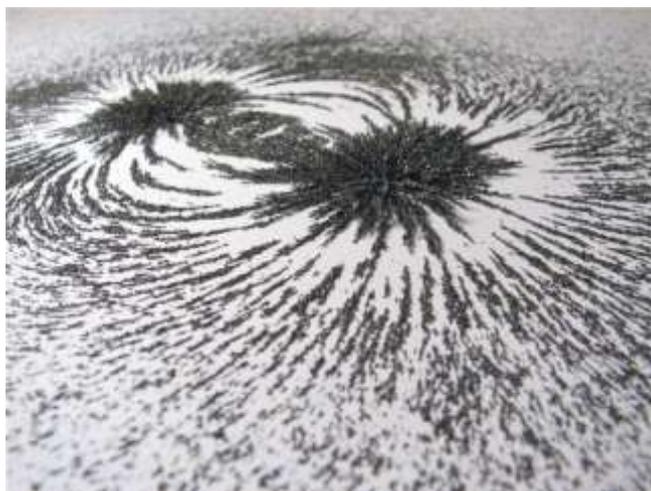
É importante destacar os fenômenos físicos em questão ao falar dos trabalhos destes homens. Porém, este deve ser apenas o primeiro contato com leis e formulações que os estudantes se depararão mais à frente no currículo, como no conteúdo sobre a Lei de Biot Savart e a Lei de Ampère. O objetivo destes encontros é que o aluno possa recorrer a elas para dar sentido aos conteúdos que, em via de regra, são abordados de maneira não contextual e puramente operacional.

5.2.4 Encontro 4

Na mesma perspectiva do encontro 3 este se dá com base no Texto 3 – que trata de Faraday, sua biografia e seu trabalho com eletromagnetismo, como os primórdios do motor elétrico e a indução eletromagnética. É reservada atenção especial à ideia de campo e linhas de força desenvolvida por Faraday, dada sua centralidade para o desenvolvimento posterior em Maxwell.

Após a discussão do texto, exibe-se o Vídeo 3 do documentário *História da eletricidade – A era da invenção*. Sugerimos para este momento a edição do vídeo para que compreenda o intervalo entre 3 min e 11 min e 10s que abordará a temática do texto como recurso visual na tentativa de enriquecer a abordagem. O vídeo deve ser usado como um instrumento auxiliar na contextualização histórica. Após o vídeo realiza-se uma experiência de ilustração do campo magnético usando imã e limalha de ferro como na Figura 5.

Figura 5. Limalha de ferro e campo magnético.



Fonte: Science Daily²¹ (2018).

Em seguida deve-se dar continuidade com o Texto 4, que aborda o trabalho de Maxwell com ênfase a sua previsão de que campos elétricos e magnéticos variáveis atrelados se propagam pelo espaço. Ao final do encontro um novo vídeo para ilustrar a contribuição de Maxwell no desenvolvimento do eletromagnetismo deve ser exibido. Trata-se do Vídeo 4²² do documentário *História da eletricidade – Revelações e Revoluções*. Sugerimos para este momento a edição do vídeo para que compreenda o intervalo dentre 2 min e 5 min e 45s que tratará das previsões de Maxwell a respeito do eletromagnetismo.

O objetivo geral dos encontros 3 e 4 é estabelecer uma visão panorâmica do desenvolvimento do eletromagnetismo no século XIX, chegando até a previsão teórica de Maxwell da existência de ondas eletromagnéticas

Encontro 5

Este encontro deve ser dedicada à confirmação experimental da existência das ondas eletromagnéticas previstas por Maxwell. Para tal, deve ser utilizado o Texto 5 que aborda a contribuição de Hertz e Lodge e assim voltamos ao experimento demonstrativo de Lodge, agora trabalhado em seu contexto histórico.

²¹ Disponível em: <<https://www.sciencedaily.com/releases/2012/04/120417080352.htm>>. Acesso em: 26/06/2016.

²² Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=BkkoaXCLYGI>>. Acesso em: 28/05/2018.

Este texto relata a busca pela comprovação da existência das ondas eletromagnéticas, chamando a atenção para o fato de Hertz e Lodge terem realizado experiências que as comprovaram de forma independente. O texto trata também do episódio motivador para esta sequência, quando em 1894, ano da morte de Hertz, Lodge faz grandes avanços no aparelho de Hertz de detecção de ondas, aparelho este que consistia em detectar ondas eletromagnéticas através do coesor ligado em série com uma bateria e uma campainha elétrica, acionando a campainha.

A exibição do Vídeo 5, após o texto, deve contribuir para a contextualização desejada com partes do documentário *História da eletricidade – Revelações e Revoluções*. Sugerimos para este momento a edição do vídeo para que compreenda o intervalo entre 5 min e 45 s e 14 min e 50s que aborda o experimento Hertz e o experimento de Lodge.

Novamente é demonstrado no encontro o funcionamento do dispositivo da Figura 15 e então é entregue aos estudantes o Questionário 3, que remete ao Questionário 2 sobre o funcionamento do aparato de Lodge com base em toda discussão desenvolvida nos encontros anteriores.

Com as atividades se espera que os estudantes elaborem melhor o funcionamento do dispositivo utilizando a ideia de ondas eletromagnéticas e que também tenha condições de compreender como o conceito emerge em determinadas condições históricas, além de perceber que o processo de desenvolvimento científico envolve fatores sociais, muitas vezes não mencionados. As questões sugeridas são:

- 4) Explique com suas palavras como é possível que o acendedor comunique-se com a campainha fazendo com que ela ligue, se não existe ligação (fios) entre eles?
- 5) Relembre as explicações de Ampère para as ações eletromagnéticas. Responda se sua resposta na questão 1 está de acordo com o pensamento de Ampère? Por quê?
- 6) O que você acha que contribuiu para que Hertz seja lembrado pelos livros até hoje e, ao contrário, Lodge seja esquecido?

Ao fim do encontro será distribuída aos grupos a tarefa de construção de pequenos protótipos com os mesmos princípios de funcionamento do experimento de Lodge para apresentação aos demais estudantes em 15 dias. Os alunos são

livres para pensar nas propostas e alguns modelos são passados apenas para ajudá-los a desenvolver as ideias.

Encontro 6

Este encontro deve ser dedicado para que cada grupo apresente seu experimento e explique os princípios de seu funcionamento. Após a apresentação, cada grupo deve responder ao Questionário 4, que aborda o funcionamento do dispositivo e tenta captar se os alunos conseguem perceber o potencial que se inaugura a partir destes princípios para a comunicação em geral até hoje, relacionando seus dispositivos com a tecnologia atual de comunicação *wireless*.

Avaliação

Optamos por uma avaliação de caráter qualitativo. A avaliação é realizada de maneira permanente com o envolvimento dos discentes nas tarefas propostas e com os questionários e atividades experimentais durante a sequência. O objetivo da avaliação aqui é manter o controle sobre os objetivos da sequência e, sobretudo, captar informações no decorrer da aplicação advinda dos estudantes a respeito do sentido que os mesmos vão atribuindo ao conhecimento trabalhado, para que seja útil em novas investidas previstas no currículo sobre o tema geral, ou seja, o eletromagnetismo.

Apêndice B

Questionários aplicados

Questionário 1

- 1) Quais as formas de comunicação entre regiões que você imagina que eram utilizadas antes do telégrafo? Como se enviava uma mensagem de um local ao outro?

- 2) Quais os problemas técnicos encontrados na tentativa de construir um telégrafo para longas distâncias? Quais as dificuldades que apareceram no caminho?

Apêndice C

Textos utilizados na sequência didática

Texto 1

Oersted e a descoberta do Eletromagnetismo

O cientista Hans Christian Oersted (1777-1851), nascido e educado num pequeno vilarejo da Dinamarca, teve uma boa formação linguística graças aos vizinhos e amigos. E com os livros de farmácia de seu pai, obteve conhecimentos de Química e Física. Aos 17 anos, partiu para a capital, Copenhague, onde ingressou na universidade. Pessoa curiosa essa! Em 1795, recebeu um prêmio por um trabalho em expressões poéticas, em 1797, formou-se em farmácia e em 1799 doutorou-se em Filosofia. Na verdade, a literatura, a filosofia e a ciência o acompanharam por toda a vida. Em 1800, a convite de um antigo professor, foi trabalhar como farmacêutico na faculdade de medicina. Nessa mesma época começou a realizar experiências sobre eletricidade e usar a pilha de Volta. E estudou a eletricidade com afinco. Oersted via a natureza como um ser vivo, dotada de alma capaz de gerar todas as forças naturais conhecidas, sendo portanto, a responsável por todos os fenômenos naturais. Ou seja, todos esses fenômenos eram gerados por um único poder original. Muitos dos efeitos térmicos, luminosos e químicos, produzidos por descargas e correntes elétricas já eram observados pelos filósofos naturais do século XIX. De certa maneira, a relação entre eletricidade e magnetismo já era conhecida muito antes do século XIX. Tudo indica que pelo menos três séculos antes já se sabia por observação, que as bússolas eram perturbadas durante tempestades e que, por ação de raios, sua polaridade podia ser invertida. Oersted, que conhecia muito bem esses resultados experimentais, considerava-os muito importantes. Afinal, respaldavam sua ideia de que havia na natureza um princípio único original. Essas experiências, segundo ele, não deixavam dúvidas de que os efeitos térmicos, luminosos e químicos estavam todos relacionados e eram gerados por um único poder: a eletricidade. Apesar disso, o cientista dinamarquês acreditava na possibilidade de novas evidências. Para ele, um trabalho experimental rigoroso mostraria que o magnetismo também era gerado pelo mesmo princípio do calor, da



Figura 1. Oersted

luz e dos efeitos químicos. Assim, dedicou-se a buscar formas de relacionar o magnetismo a eletricidade. A experiência da agulha imantada. O conhecimento de diferentes trabalhos científicos de sua época indicou a Oersted que caminhos devia seguir na busca de uma relação explícita entre eletricidade e magnetismo. Muitos já haviam procurado, em vão, evidenciar essa relação por meio de vários experimentos como aquele em que uma bússola era aproximada das extremidades de uma pilha isolada, isto é, não conectada a nenhum circuito. Esses aparentes fracassos na procura da ligação entre os dois fenômenos sinalizaram para Oersted um novo caminho: em suas experiências, ele passou a observar o que acontecia nas imediações de um fio condutor atravessado por uma corrente elétrica. Para tanto, realizou vários experimentos aproximando uma agulha imantada a um fio condutor retilíneo, por onde passava uma corrente elétrica. Depois de algumas tentativas, o resultado foi animador: ele percebeu que a agulha imantada sofria uma perturbação ao ser aproximada de um fio condutor atravessado por corrente elétrica. Em 1820, no artigo intitulado

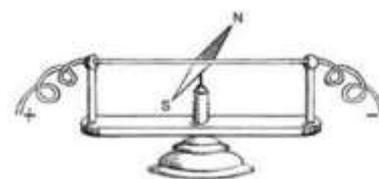


Figura 2.
Experimento de Oersted

“Experimentos sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética” Oersted descreveu minuciosamente o seu experimento, apresentando, ainda, uma explicação teórica. Esse artigo foi uma grande surpresa para o mundo científico da época. Pela primeira vez um cientista mostrava que uma agulha imantada podia se movimentar na presença de uma corrente elétrica. Um efeito elétrico produzia um efeito magnético. Estaria, então, provado que os fenômenos elétricos e magnéticos tinham ligação e que, portanto, a natureza era um todo orgânico? O experimento pode ser facilmente reproduzido por outros cientistas, e todos que trabalham com eletricidade precisaram a partir de então, considerar, em seus trabalhos o efeito da corrente elétrica sobre a agulha magnética. Nascia dessa forma o eletromagnetismo.

Bibliografia:

GUERRA, A.; REIS, J. C. BRAGA, M. Faraday e Maxwell: eletromagnetismo: da indução aos dínamos. São Paulo: Atual, 2004.

MARTINS, R. A. Oersted e a descoberta do eletromagnetismo. Cadernos de História e Filosofia da Ciência (10): 89-114, 1986.

Fontes das figuras:

Figura 1. http://wikiciencias.casadasciencias.org/wiki/index.php/Hans_Christian_%C3%98rsted. Acesso em: 26/06/2018

Figura 2. <http://www.maquinascientificas.es/07experimento%20oersted.htm>. Acesso em: 26/06/2018

Texto 2

Ampère e os desdobramentos da descoberta do eletromagnetismo

Logo após a publicação do trabalho de Oersted sobre a os efeitos magnéticos causados pela eletricidade, em 1820, houve uma febre de experiências e descobertas. As mais importantes ocorreram na França e em parte foram devido a Ampère.

Em 11 de setembro de 1820, na Academia de Ciências, na França, Dominique Arago fez uma apresentação detalhada dos experimentos de Oersted que havia conhecido em Genebra na Suíça.



Figura 1. André-Marie Ampère

Nas primeiras décadas do século XIX, Genebra era uma cidade de grande influência nas ciências, pois os cientistas suíços serviam de intermediários entre seus colegas das grandes potências, separadas por contínuas guerras. Na reunião seguinte da Academia, em 18 de setembro, André Marie Ampère (1775-1836), já apresentava uma “memoria relativa aos novos fenômenos galvano-elétricos” onde descrevia um aparelho que utilizava o efeito eletromagnético para a medida de corrente elétrica, atribuindo-lhe o nome de galvômetro. Em cada um das reuniões posteriores, Ampère anunciou novas ideias e descobertas e também propostas de novos instrumentos elétricos. Ao longo dos três anos seguintes, ele publicou nada menos que quinze textos sobre o assunto antes de apresentar por volta de 1825 sua “Teoria Matemática dos Fenômenos Eletrodinâmicos Deduzida Unicamente da Experiência” considerada por muitos, uma das mais belas obras da física matemática.

Nesse mesmo período, a partir da experiência com espiras, percebeu, também, que elas interagem como se fossem ímãs, o que levou a ideia de que o magnetismo do ímã natural era uma consequência de ser a substância magnética composta de uma infinidade de pequeninas espiras por onde passavam correntes, mais tarde chamadas de “correntes amperianas”.

Guiado pelos princípios da filosofia newtoniana de ação a distância e em linha reta, Ampère desenvolveu uma explicação diferente de Oersted para o fenômeno eletromagnético. Para Oersted haveria “matéria elétrica” que circulava o condutor e empurrava os polos do ímã no sentido do seu movimento, para Ampère o magnetismo é resultado de correntes circulares no material e que, portanto, o

fenômeno fundamental do eletromagnetismo é a ação entre correntes elétricas mantendo uma visão de interação a distância e em linha reta na direção que une os corpos.

Esta hipótese de Ampère era bastante arrojada para a época, pois até então se admitia que o magnetismo era devido a “fluidos magnéticos”. Nessa sua teoria do magnetismo dos ímãs naturais, Ampere afirmava ainda que nas substancias não magnéticas tais espiras estavam orientadas ao acaso, de modo que a soma de seus efeitos era nula.

A partir de seu entendimento sobre a natureza, Ampère apresentou um fenômeno até então novo, a interação entre dois fios conduzindo correntes elétricas, duas correntes se atraem quando se movem paralelamente, no mesmo sentido e se repelem quando se movem paralelamente em sentidos contrários.

Biot e Savart

Em 30 de outubro de 1820 os franceses Jean B. Biot (1774-1862) e Felix Savart (1791-1841) também anunciavam os resultados das medições de força sobre um polo magnético (de uma agulha magnetizada, por exemplo), colocado nas vizinhanças de um fio condutor comprido percorrido por uma corrente. De acordo com essas medições, se a partir do polo for traçada uma perpendicular ao fio, a força sobre o polo é perpendicular a esta linha e ao fio, e sua intensidade é proporcional ao inverso da distância. Para Biot e Savart a ação eletromagnética também se dava a distância, sem intermediações, porém não em linha reta que une os corpos, mas em uma direção perpendicular a direção de interação.

Durante alguns anos houve uma disputa interpretativa entre uma visão de interação mediada através de campos ou um tipo de “matéria elétrica” circundando em torno de um fio e uma interação a distância da forma newtoniana. Depois de certo tempo, acabou-se por perceber que os dois tipos de abordagem eram igualmente possíveis, e davam conta de todos os fenômenos.

Bibliografia:

GUERRA, A.; REIS, J. C. BRAGA, M. **Faraday e Maxwell**: eletromagnetismo: da indução aos dínamos. São Paulo: Atual, 2004.

MARTINS, R. A. Oersted e a descoberta do eletromagnetismo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência** (10): 89-114, 1986.

AMPÈRE, A.M. **Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électro-dynamiques uniquement déduite de l'expériences**. Editions Jacques Gabay, 1990.

ASSIS, A. K. T.; CHAIB, J. P. M. d. C. **Eletrodinâmica de Ampère**: Análise do significado da evolução da força de Ampère, juntamente com a tradução comentada de sua principal obra sobre eletrodinâmica. Editora da Unicamp, Campinas, 2011

ROCHA, J. F. M. **Origens e Evolução da Física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

Fontes das figuras:

Figura 1.

https://pt.wikipedia.org/wiki/Andr%C3%A9Marie_Amp%C3%A8re#/media/File:AndreMarie_Ampere.jpg>. Acesso em: 26/06/2018.

Texto 3

Michael Faraday

Outra importantíssima contribuição para o eletromagnetismo foi dada por Michael Faraday. Nascido em 1791, em uma vila que hoje faz parte de Londres. Sua infância foi muito pobre. Faraday foi educado longe dos ambientes escolares, mas nem por isso distante dos livros. Naquela época, a Inglaterra possuía poucas escolas para atender toda a população. Muitas crianças aprendiam a ler e escrever em casa com os pais, vizinhos, parentes e amigos. Ainda muito jovem Faraday

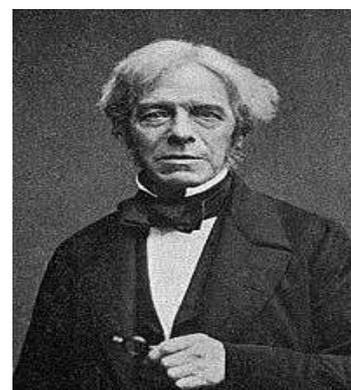


Figura 1. Michael Faraday

trabalhou como encadernador de livros. Dessa forma, conheceu obras que marcaram sua vida. Faraday se iniciou em ciências trabalhando como auxiliar de laboratório do químico inglês Humphry Davy. Como auxiliar de Davy, viajou pela Europa e, assim, conheceu grandes cientistas, como Ampère e Volta.

Influenciado pelas leituras, foi um cientista diferente. Não aceitava nenhum resultado experimental que não tivesse sido obtido por ele. Sempre que tomava conhecimento de um experimento novo, ia ao laboratório e o reproduzia. Só então utilizava os resultados. Essa posição perante a ciência o ajudou a criar e inovar muitos experimentos. Mas não foi só por meio dos livros que Faraday teve contato com a ciência. Ele fazia parte de um grupo que se reunia para realizar leituras sobre temas científicos. A Religião foi um fator marcante na vida de Faraday, e, portanto, na sua carreira científica. Ele e sua família eram membros de uma igreja cristã protestante com características muito particulares, para a qual as Sagradas Escrituras não devem ser interpretadas, não existiam metáforas, comparações.

O interesse de Faraday pelo eletromagnetismo surgiu quando recebeu um convite para escrever um artigo. A proposta era que discutisse, com critérios rigorosos, as novidades trazidas pelo eletromagnetismo, visto que naquela época surgiram muitos comentários e experiências fantasiosas sobre o assunto. Seu modo especial de encarar a tarefa científica o obrigou a refazer experiências e construir novos artefatos com o intuito de melhor investigar o assunto.

Sua forma de conceber a natureza o levou a convicção de que a natureza tinha uma unidade e que o eletromagnetismo poderia ser um caminho para se compreender o universo. Para ele, havia fortes indícios de que a eletricidade, o magnetismo e o movimento possuíam grandes relações. Analisando o comportamento da força magnética ao redor de um fio condutor ele construiu um dispositivo que lhe permitiu mostrar que um fio condutor atravessado por corrente elétrica poderia girar ao redor de um ímã fixo. Da mesma forma, um ímã móvel poderia movimentar-se ao redor de um fio condutor fixo por onde passava corrente elétrica. Esse experimento registrou pela primeira vez a conversão de eletricidade em movimento. O que podemos chamar de primeiro motor elétrico que abordaremos em detalhes em outro momento do nosso curso.

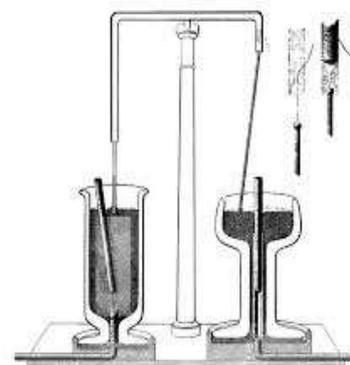


Figura 2. Representação de experimento convertendo eletricidade em movimento.

Faraday também estava convencido de que era possível o efeito oposto ao descoberto por Oersted. Ou seja, gerar corrente elétrica através do magnetismo. Ele conseguiu demonstrar que o movimento de um ímã no interior de uma bobina permitia gerar corrente elétrica. A este fenômeno chamamos de indução eletromagnética que também trataremos em detalhes a frente no curso.

As linhas de força

Faraday rejeitava a explicação de que todos os fenômenos podiam ser compreendidos como resultado de atração ou repulsão a distância entre partículas ou entre fluidos. Apesar de defender a ideia de uma forte afinidade entre os fenômenos naturais, acabou por se afastar das teorias de Oersted e Ampère e elaborou um modelo próprio para o eletromagnetismo – as linhas de força.

Segundo o cientista, essas linhas explicariam como as ações elétricas, as magnéticas e as eletromagnéticas eram transmitidas de um ponto ao outro.

Observe a figura abaixo. Ela representa, em linguagem moderna, a transmissão de ação magnética entre os polos de dois ímãs. As linhas nela representadas seriam as linhas de força trabalhadas por Faraday.

Com a ideia de que as transmissões elétricas, magnéticas e eletromagnéticas ocorriam de forma contínua, através das linhas de força, Faraday percebeu que o meio em que a ação ocorria influía muito no processo. Até então se acreditava que o meio era irrelevante na análise dos eventos



Figura 3. Limalha de ferro sofrendo ação de um ímã.

eletromagnéticos. Afinal, a constante presente na lei de Coulomb era

universal, independentemente do lugar de realização da experiência. Embora nem todos os cientistas acatassem a ideia de linhas de força as novidades que esse conceito trouxe não podiam ser desprezadas. Depois de Faraday, o eletromagnetismo seguiu um novo caminho. Debates sobre a perturbação introduzida no meio pelas ações elétricas ganhava outra dimensão com as linhas de força. Além disso, o mundo industrial despertava para a ciência, as pesquisas não estavam mais distantes das aplicações tecnológicas.

Bibliografia:

GUERRA, A.; REIS, J. C. BRAGA, M. Faraday e Maxwell: eletromagnetismo: da indução aos dínamos. São Paulo: Atual, 2004.

BALDINATO, J. O. A Química segundo Michael Faraday: um caso de divulgação científica no século XIX. Dissertação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

DIAS, V. S.; MARTINS, R. A. Michael Faraday: O caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética. *Ciência & Educação*, v. 10, n. 3, p. 517-530, 2004.

Fontes das figuras

Figura 1. https://pt.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday#/media/File:Faraday-Millikan-Gale-1913.jpg. Acesso em: 26/06/2018.

Figura 2. *O caminho da livraria à descoberta da indução eletromagnética* (DIAS; MARTINS, 2004, p.522).

Figura 3. Fonte: <http://aprenderelétrica.com/magnetismo-limalha-de-ferro/>. Acesso em: 26/06/2018

Texto 4

Maxwell

O cientista escocês James Clerck Maxwell (1831-1879) se impressionou muito com os resultados obtidos Faraday. Seu artigo “Sobre as linhas de força de Faraday”, publicado em 1855, procurava mostrar que por trás da ideia de linhas de força havia um pensamento matemático, apesar de Faraday, não ter usado fórmulas para descrever sua teoria.

Maxwell desenvolveu um trabalho matemático com o propósito de construir expressões que descrevessem como as ações eletromagnéticas ocorriam e como eram transmitidas. Maxwell negou em suas análises a ideia de ação a distância. Com base nessa concepção, afirma-se, por exemplo, que o poder magnético de um ímã só surgia quando um corpo imantado ou um objeto capaz de sofrer atração magnética se aproximasse dele. Apoiando-se nas linhas de força de Faraday, Maxwell construiu um modelo bem diferente.

Para melhor compreender o modelo que ele propôs, imagine a seguinte situação: você entra em uma sala e sente um cheiro forte de perfume. Mesmo sem ter visto o frasco de perfume, você notou a presença dele. Isso ocorreu porque seu nariz penetrou no campo de ação da substância. Se você estivesse muito gripado não sentiria o cheiro. Mas o “campo do perfume” continuaria existindo mesmo assim. Para sentirmos esse campo precisamos estar dentro de sua região de ação com sensibilidade para percebê-lo. Na física, a ideia de campo é parecida com essa história do perfume. Como já sabemos quando aproximamos um fio com corrente próximo a uma agulha imantada, esta irá sentir uma força. Maxwell explicaria este fato usando a ideia de campo. A corrente elétrica cria ao seu redor uma perturbação que gera efeitos magnéticos iguais aos produzidos por um ímã. Essa perturbação seria o campo magnético. Dessa forma se colocarmos na região um elemento capaz de perceber o campo, uma agulha imantada por exemplo, ele se movimentará pela ação do campo.



Figura 1. James Clerck Maxwell

Podemos resumir essas ideias da seguinte forma: um efeito elétrico é sempre gerado por um campo elétrico, da mesma forma que um efeito magnético é gerado por um campo magnético.

Essa nova teoria é muito diferente da ação a distância, uma vez que todo o espaço fica perturbado pelo campo, independentemente da presença de um material para detectá-lo.

Outra novidade apresentada por Maxwell diz respeito a geração de campos elétricos e magnéticos. Até então, sabia-se que uma corrente elétrica podia ser gerada por uma pilha ou por meio da indução eletromagnética. Faraday havia mostrado que o movimento de um ímã no interior de uma bobina dava origem a uma corrente elétrica nesse fio. Maxwell explicou esse fenômeno afirmando que o movimento do ímã fazia com que o campo magnético se alterasse com o tempo. Ou seja, se observássemos um ponto fixo no espaço o campo magnético se alterava com o tempo, visto que o ímã se movimentava. Seguindo esse raciocínio, defendeu, então, que o campo magnético variável era responsável pelo aparecimento de corrente elétrica no fio, ou melhor pelo surgimento de um campo elétrico.

Fazendo analogia com a interpretação de que campo magnético variável gera campo elétrico, Maxwell apresentou uma nova teoria: campos elétricos variáveis produzem campo magnéticos. A corrente elétrica no fio do experimento de Oersted gerava campo magnético ao redor porque a ela estava associado um campo elétrico variável.

Para Maxwell, a relação entre os campos elétricos e magnéticos era tão forte que ele defendeu existir um campo eletromagnético que seria resultado da geração simultânea de campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo.

O trabalho sobre o modo de transmissão da ação eletromagnética não parou no estabelecimento das teorias que acabamos de discutir. Como a ação eletromagnética, provocada por meio de variações mutuas de campos elétricos e magnéticos, a transmissão dessa ação deveria ocorrer em certo intervalo de tempo. Não seria, portanto, imediata ou instantânea. Fato que tornava possível medir a velocidade de propagação do campo eletromagnético. Partindo de suas equações e de algumas outras considerações teóricas, Maxwell determinou o valor dessa velocidade – um valor muito próximo ao estabelecido na época para a velocidade da luz. Essa igualdade indicava-lhe serem os fenômenos ópticos resultados de um campo eletromagnético se propagando no espaço.

Referências:

GUERRA, A.; REIS, J. C. BRAGA, M. **Faraday e Maxwell**: eletromagnetismo: da indução aos dínamos. São Paulo: Atual, 2004.

HUNT, B. J. **Os seguidores de Maxwell**; tradução Antônio Emílio Angueth de Araújo. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2015.

Fonte da figura:**Figura 1.**

https://pt.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell#/media/File:James_Clerk_Maxwell_big.jpg. Acesso em: 26/06/2018

Texto 5

Heinrich Hertz e Oliver Lodge

O físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894) se dedicou ao desenvolvimento de experiências para investigar o modo de transmissão das ações eletromagnéticas.

Em uma observação fortuita em 1886 Hertz percebeu que a descarga oscilatória de uma garrafa de Leyden através de uma espira causava centelhas numa semelhante espira interrompida a uma pequena distância. Percebeu então que estas espiras interrompidas poderiam servir de detectores muito

sensíveis de correntes oscilatórias e, como descobriu mais tarde, de ondas eletromagnéticas. Em março de 1888 realizou experimentos que foram publicados em julho com o título “Ondas eletromagnéticas no ar e suas reflexões”. Suas pesquisas mostraram que um sinal eletromagnético produzido numa determinada região poderia ser detectado em locais bem distantes. Por exemplo, de forma análoga ao que acontece com a luz quando encontra um espelho, um sinal



Figura 2. Experimento de Hertz

eletromagnético é refletido quando se depara com obstáculos apropriados. Os resultados de suas experiências levaram-no a comparar as novas situações com os fenômenos ondulatórios conhecidos e dar, então uma nova interpretação para o sinal eletromagnético. Assim, ele defendeu que a ação eletromagnética se propagava no espaço como uma onda. Existiriam, então, ondas eletromagnéticas, ou seja, perturbações eletromagnéticas que se propagavam no espaço.

Paralelamente o Físico Oliver Lodge também acabara de comprovar a existência das ondas eletromagnéticas.



Figura 1. Heinrich Hertz

Oliver Joseph Lodge (1851-1940) nasceu em 12 de junho de 1851 na vila inglesa de Penkull. Quando menino, frequentou um internato rigoroso, do qual não gostava, onde ciência não constava em seu currículo, no entanto demonstrava desejo de aprender. Filho mais velho de um comerciante de argila, aos 14 anos teve que se afastar da escola para trabalhar com seu pai. Seu entusiasmo pela física foi especialmente atizado quando, aos 16

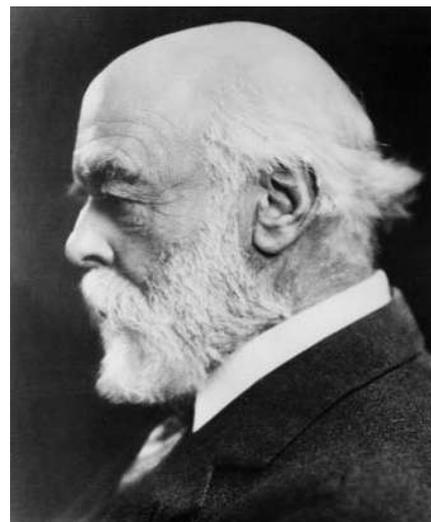


Figura 3. Oliver Lodge

anos, passou o inverno com sua tia em Londres e assistiu uma conferência de John Tyndall (1820–1893) na Royal Institution. Começou então a frequentar aulas noturnas e a fazer experiências em laboratório caseiro e como muitos jovens ambiciosos de então ele objetivava passar nos exames de acesso da Universidade de Londres. Alcançou seu objetivo em 1872, então com 21 anos, e depois de ganhar uma bolsa, passou o inverno de 1872-1873 estudando no Royal College of Science em Londres. Um ano depois Lodge se desligou do negócio do pai para sempre e depois de perder por um triz uma bolsa de Cambridge, matriculou-se na University College de Londres. Período em que por três anos morou em um minúsculo quarto, dado seus poucos recursos que vinham de bolsas. Obteve o título de Doutor em 1877, aos 26 anos, conseguindo com o trabalho de professor mudar-se para melhores aposentos.

Em 1887, a Sociedade Real de Artes pediu à Lodge que preparasse uma série de palestras, a serem dadas no ano seguinte, sobre a forma como os edifícios poderiam ser melhor protegidos contra danos causados por raios. Ele imediatamente iniciou uma série de experiências para aprender mais sobre proteção contra raios. Dessas investigações laboratoriais resultou demonstrar os efeitos da indutância em circuitos com correntes variáveis no tempo e na comprovação da existência de ondas eletromagnéticas independentemente, mas praticamente em simultâneo com Hertz.

As pesquisas de Hertz e Lodge deram novo impulso a teoria de campo porque, ao apresentar a ação eletromagnética como uma onda e a luz como uma onda eletromagnética, eles reforçaram a teoria de que a transmissão de ação eletromagnética se dava de maneira contínua. Por esse fato, a experiência de Hertz

é apresentada muitas vezes como a prova experimental decisiva a favor de Maxwell e de sua teoria de campo. Porém como no caso de Oersted, as experiências de Hertz e Lodge, por mais importantes que fossem, não terminaram com o debate em torno da natureza do eletromagnetismo. As experiências realizadas trouxeram novidades favoráveis para os que defendiam a teoria de campo, mas isto não significou que todos os adversários dessa teoria abandonaram suas certezas.

As ondas eletromagnéticas, além de trazerem novidades para o debate científico, possibilitaram o aprimoramento de aparatos tecnológicos como o telégrafo, que já era conhecido e usado à época de Hertz. Porém o alcance era limitado visto que os sinais eletromagnéticos eram transmitidos por fios.

1- O experimento demonstrativo de Lodge

Em 1894, Lodge descobriu que um tubo não condutor contendo limalha de metal poderia ser usado para detectar a presença de ondas eletromagnéticas. Suas descobertas foram baseadas em uma observação feita em 1890 por Edouard Branly. Branly descobriu que a resistência medida nas extremidades de um tubo desse tipo normalmente era muito alta. No entanto, se uma onda eletromagnética for gerada nas proximidades, as partículas de metal tornam-se fundidas e a resistência cai significativamente. A resistência permanece baixa até o tubo ser batido e as partículas fundidas retornaram à condição original e separada.

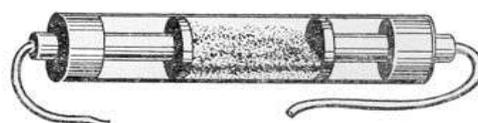


Figura 4. Representação de um coherer

Este detector aprimorado por Lodge, com limalha de metal, era consideravelmente mais sensível do que o dispositivo que Hertz usara como detector de ondas eletromagnéticas em seus experimentos que consistiam na visualização de uma faísca. Ele demonstrou seu aparelho em uma palestra realizada em Oxford em 1894 que consistia em acionar uma campainha a distância, sem fios, utilizando apenas ondas eletromagnéticas que eram emitidas por um circuito centelhador e captadas por outro através de um coesor.

Quando se deu uma centelha em um circuito próximo, o circuito foi fechado e a campainha começou a tocar, continuando assim até que o coesor fosse tocado por uma pequena pancada. A Plateia ficou surpresa em como a partir de um dispositivo a distância se poderia tocar uma campainha. Situação parecida com a

máquina de telegrafo para uma transmissão de informação só que sem os fios e cabos. Uma nova forma de comunicação estava ali estabelecida em princípios. As mentes mais atentas às oportunidades da nova tecnologia se esforçaram para aperfeiçoar o dispositivo e dar funcionalidade ao mesmo.

Referências:

GUERRA, A.; REIS, J. C. BRAGA, M. **Faraday e Maxwell**: eletromagnetismo: da indução aos dínamos. São Paulo: Atual, 2004.

HUNT, B. J. **Os seguidores de Maxwell**; tradução Antônio Emílio Angueth de Araújo. Belo Horizonte: Editora UFMG , 2015.

ROWLAND, P. **Oliver Lodge and the Liverpool Physics Society**. Liverpool: Liverpool University Press. p. 23. 1990

RYBAK, J. P. **Oliver Lodge**: Almost the Father of Radio, page 4, from Antique Wireless.

RYBAK, J. P. Radio's Forgotten Pioneer. **Popular Electronics**, July 1990, pp. 62-66 and 95.

Fontes das figuras:

Figura 1. Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz#/media/File:HEINRICH_HERTZ.JPG. Acesso em: 26/06/2018

Figura 2. sparkmuseum.com. Acesso em: 26/06/2018

Figura 3. Disponível em: <https://www.britannica.com/biography/Oliver-Joseph-Lodge>. Acesso em 26/06/2018

Figura 4. Fonte: <https://electronics.stackexchange.com/questions/224259/can-i-detect-nuclear-explosions-with-coherer>. Acesso em: 26/06/2018