



Universidade Federal
de Campina Grande

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE EDUCAÇÃO E SAÚDE
UNIDADE ACADÊMICA DE EDUCAÇÃO
LICENCIATURA EM FÍSICA

ORIGEM E EVOLUÇÃO DO ELETROMAGNETISMO

ALEXANDRE DOS SANTOS PASCOAL

Cuité – PB

2013

ALEXANDRE DOS SANTOS PASCOAL

ORIGEM E EVOLUÇÃO DO ELETROMAGNETISMO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Física da Universidade Federal de Campina Grande – Campus Cuité, como um dos requisitos para obtenção do título de graduação em Licenciatura em Física.

Orientador: Dr. Joseclécio Dutra Dantas

Cuité – PB

2013



P281o Pascoal, Alexandre dos Santos.
Origem e evolução do eletromagnetismo. / Alexandre dos Santos Pascoal. - Cuité: [s. n], 2013.
60fl. : il. fig. tab. color.

Orientador Prof. Dr. Joseclécio Dutra Dantas.
Monografia do Curso de Licenciatura em Física.
Não disponível em CD.

1. Eletromagnetismo. 2. Eletromagnetismo - origem. 3. Eletricidade. 4. Magnetismo. 5. Ótica. I. Dantas, Joseclécio Dutra. II. Universidade Federal de Campina Grande. III. Centro de Educação e Saúde. IV. Título

CDU 537.8

ALEXANDRE DOS SANTOS PASCOAL

ORIGEM E EVOLUÇÃO DO ELETROMAGNETISMO

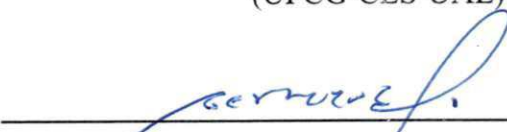
Aprovado em: 15 / 02 / 13

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Joseclécio Dutra Dantas (Orientador)
(UFCG-CES-UAE)


Prof. Msc. Jair Stefanini Pereira de Ataíde (Titular - Interno)
(UFCG-CES-UAE)


Prof. Dr. Fábio Ferreira de Medeiros (Titular - Interno)
(UFCG-CES-UAE)


Prof. Dr. Luis Alberto Terrazos Javier (Suplente)
(UFCG-CES-UAE)

A minha mãe, que sempre me inspirou na sabedoria,
mostrando caminhos para descobrir os valores da
simplicidade, sinceridade e coerência.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus Pais, por sempre estarem ao meu lado nos momentos difíceis e por não desistir diante de tantos obstáculos.

Ao meu orientador, pela atenção dada no decorrer da elaboração do presente trabalho, com sua paciência, humildade e amplo conhecimento que contribuiu significativamente para a realização desta obra.

Ao meu irmão, pela confiança e motivação.

Aos meus amigos e colegas, pela força e pela vibração em relação a esta jornada.

Aos colegas de trabalho (professores), pelo repasse de informações valiosas para a realização desse estudo.

A todos os tutores do CES que, com boa intenção, colaboraram para a realização e finalização desse trabalho.

"Nós somos o que fazemos repetidas vezes.
Portanto, a excelência não é um ato, mas um
hábito."

Aristóteles

RESUMO

Como se sabe, o conhecimento produzido pela humanidade é acumulativo e consolida-se através dos anos. Partindo dessa sentença, o saber científico também experimentou esse desenvolvimento. Evidentemente que as bases experimentais e teóricas do eletromagnetismo foram consolidadas durante muitos anos e por homens de destaque no cenário científico que contribuíram consideravelmente para a ciência de suas épocas. Seguindo a cronologia histórica podemos citar Tales de Mileto (VI. a. C), filósofo da natureza que foi precursor do estudo da eletricidade. Ele percebeu que friccionando o âmbar, o objeto ganhava capacidade de atração. Indo para o século XVII, temos Willian Gilbert que, com sua obra intitulada *De Magnete*, empreendeu um grande esforço para estudar a eletricidade e o magnetismo, sendo muito importante para um posterior estudo unificado dos citados campos de pesquisa. Em relação a ótica, nesse período, a ideia predominante era newtoniana que considerava a luz como tendo natureza corpuscular; mas outra proposta surgiu defendendo a concepção ondulatória da mesma. A unificação entre eletricidade e magnetismo acentua-se com Oersted no século XIX que descobriu a relação entre a eletricidade, magnetismo e corrente elétrica. Nesse quesito de unificação devemos citar Maxwell também pertencente ao século XIX. Este cientista desenvolveu equações que na história levaram o seu nome. Tais equações puderam associar matematicamente a eletricidade, magnetismo e a ótica.

Palavras-chave: Origem. Eletromagnetismo. Evolução.

ABSTRACT

As is known, the knowledge produced by mankind is cumulative and is consolidated through the years. Based on this ruling, the scientific knowledge also experienced this development. Evidently, the experimental and theoretical foundations of electromagnetism were consolidated for many years and by men of prominence in the scientific scenario that contributed greatly to the science of their times. Following the historical chronology can cite Thales of Miletus (VI. a. C), philosopher of nature that was a precursor to the study of electricity. He realized that rubbing amber, the object gained attractiveness. Going to the seventeenth century, that we have William Gilbert, with his work entitled *De Magnete*, undertook a major effort to study electricity and magnetism, it is very important for further study of the unified cited research fields. In the optical interface, in this period, the prevailing idea was Newtonian, which he considered as having light corpuscular nature, but another proposal arose advocating the same wave design. The unification of electricity and magnetism becomes stronger with Oersted discovered in the nineteenth century that the relationship between electricity, magnetism and electric current. In this aspect of unification must cite Maxwell also belongs to the XIX century. This scientist developed equations that the story took its name. Such equations could associate mathematically electricity, magnetism and optics.

Keywords: Origin. Electromagnetism. Evolution.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Tales de Mileto | 14 |
| Figura 2: Um pedaço de âmbar | 14 |
| Figura 3: O livro de Gilbert de 1600 | 15 |
| Figura 4: Versório de Gilbert | 16 |
| Figura 5: Garrafa de Leyden, desenvolvida na Holanda em 1745 | 19 |
| Figura 6: Franklin em intenso trabalho de suas cartas | 19 |
| Figura 7: Experiência e observações de Franklin..... | 20 |
| Figura 8: Experiência realizada por Benjamim Franklin | 21 |
| Figura 9: Balança de torção de Coulomb | 22 |
| Figura 10: Galvani, 1737-1798 | 24 |
| Figura 11: Pernas de rã sendo contraídas | 24 |
| Figura 12: Pilha voltaica | 25 |
| Figura 13: Apresentação de Volta em 1799 | 25 |
| Figura 14: Região onde foram observados os primeiros fenômenos magnéticos | 26 |
| Figura 15: Magnetita | 27 |
| Figura 16: Bússola chinesa..... | 28 |
| Figura 17: Uma magnetita esculpida- experiência de Petrus- 1269..... | 29 |
| Figura 18: Limalhas de ferro sobre um papel | 30 |
| Figura 19: Livro de Isaac Newton..... | 34 |
| Figura 20: Movimento ondulatório da luz | 35 |
| Figura 21: Figuras de difração | 37 |
| Figura 22: A experiência de Oersted..... | 43 |
| Figura 23: Indução eletromagnética | 45 |
| Figura 24: Faraday-1791-1864..... | 46 |
| Figura 25: James Maxwell: físico e matemático britânico..... | 47 |
| Figura 26: Representação esquemática da oscilação das ondas eletromagnéticas..... | 52 |

INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como finalidade fazer um breve levantamento histórico e biográfico da origem do eletromagnetismo, começando dos tempos mais remotos na antiga Grécia. Como se sabe, a ciência evoluiu e, seis séculos antes de Cristo, Tales de Mileto percebeu que uma pequena porção de certa resina quando friccionada adquiria a propriedade de atrair corpos leves. Mas foi somente a partir do século XVII que a eletricidade começou a se desenvolver como Ciência. As ideias de alguns pensadores modificaram as concepções da época. Gilbert por exemplo, foi o primeiro sistemático na Inglaterra; seu livro *De Magnete* foi marcante para as gerações vindouras, era uma verdadeira enciclopédia de eventos concernente à eletricidade e magnetismo.

No século XVIII a Ciência experimentou um desenvolvimento mais rápido, já que toda Europa estava passando um momento de valorização humana e de ideal no campo político, cultural, artístico, filosófico e científico. Foram muitos homens da ciência como ficaram conhecidos pela (*Royal Society*) dessa época, que conseguiram pesquisar, mas no ramo da eletricidade, magnetismo e ótica, a exemplo do americano Benjamim Franklin ao qual devemos as denominações de “eletricidade positiva e negativa”. O inglês Isaac Newton (1642–1727), o holandês Christian Huygens (1629-1695), o francês Charles Augustin de Coulomb (1736-1806), na Itália temos Luigi Galvani (1737-1798) e o italiano Alessandro Volta (1745-1827), todos estes fizeram importantes estudos no desenvolvimento da Física.

Podemos considerar o século XIX como o da consolidação da geração de mentes brilhantes. Entre os vários que marcaram esse tempo com grandes contributos podemos citar: o holandês Hans Oersted (1777-1845), que descobriu a associação entre eletricidade e magnetismo e corrente elétrica, e o francês André M. Ampère (1775-1836), que trouxe uma contribuição decisiva com seus trabalhos, reconhecendo que, sem a intervenção de qualquer ímã, dois fios exercem um sobre o outro uma ação atrativa ou repulsiva consoante o sentido das correntes que os percorrem, e jamais podemos nos esquecer do cientista inglês Faraday (1791-1864) que nos deixa o legado da indução magnética entre outros feitos. Rocha et al.(2002, p.262) argumenta que neste cenário o respeitado J.C. Maxwell se encaixa perfeitamente. Como se sabe foi um dos maiores cientistas do seu tempo, com contribuições não só para o Eletromagnetismo, como também para a Termodinâmica e a Mecânica Estatística.

Partindo do exposto, resolvemos fazer uma breve revisão da origem e da evolução do eletromagnetismo a partir da obra de vários autores que discorrem sobre a temática.

Dividimos este trabalho em 4 capítulos, de maneira que no primeiro apresentaremos um visão panorâmica da origem da eletricidade segundo o ponto de vista da filosofia natural, e será embasado um relato da história da ciência e de seus acontecimentos.

No capítulo 2 apresentaremos uma análise de como surgiu o magnetismo e seus avanços na história desde a Grécia antiga. Enfatizaremos que os filósofos faziam simpatia com magnetita, e que aproximadamente no período Medieval, faremos um pequeno comentário das principais descobertas daquela época sobre o magnetismo. Faremos um comentário das descobertas empíricas de Faraday para linhas de forças e o conceito de campo.

No capítulo 3 apresentaremos a ótica, onde enfatizaremos as ideias da luz segundo alguns filósofos gregos da ciência antiga. Veremos também os conflitos de pensamentos por parte de gigantes da ciência dentro do contexto histórico como de seguidores de Newton e de Christian Huygens no século XVII.

No capítulo 4 apresentaremos o clímax do trabalho, onde temos as grandes descobertas do século XIX, como a descoberta de Oersted que deu partida a unificação da eletricidade e do magnetismo, no contexto da história, até então entendidas como linhas de pesquisa separadas. Veremos as primeiras consequências desta descoberta e, ainda dentro do arranjo histórico, veremos como foram as descobertas por Maxwell as ondas eletromagnéticas e suas grandes equações unificadoras.

CAPÍTULO 1

ELETRICIDADE

Neste capítulo dissertaremos sobre a origem da eletricidade, desde o início com o filósofo Tales de Mileto. Mostraremos o processo evolutivo desta linha de pesquisa até esta ciência ganhar destaque, se desligando das ideias místicas e tomando corpo com a matemática.

1.1 Origem da eletricidade

As primeiras descobertas das quais se tem notícia, de acordo com a história, relacionadas tipicamente com os fenômenos elétricos foi feita pelo filósofo grego, Tales de Mileto (625 a. C. – 547 a. C.), por volta do século VI a.C., (ARAGÃO 2006, p. 65). Ele foi considerado por Platão como sendo um dos sete sábios da antiga Grécia (Mileto era uma localidade da costa oeste da atual Turquia e, na época, colônia grega). Alguns outros filósofos de sua época consideraram Tales como tendo sido o primeiro filósofo natural. Segundo Pires (2011, p.15), sem o misticismo religioso, Tales de Mileto (ver Figura 1) teria sido a primeira pessoa a observar os acontecimentos elétricos e a tentar dar-lhes algumas explicações. Ele teria verificado que um pedaço de âmbar¹ (ver Figura 2) adquire o estranho poder de atrair fragmentos de objetos leves ao ser esfregado em algum tecido (ASSIS 2010 p.18-19). Seus trabalhos quase nada foram preservados.

¹ Resina sólida fossilizada das árvores, provavelmente provém da seiva que há muito tempo escorreu de pinheiros e que, ao longo de séculos, foi endurecida até se transformar em uma pedrinha semitransparente o qual, possibilitou as primeiras experiências que o ser humano já realizou.

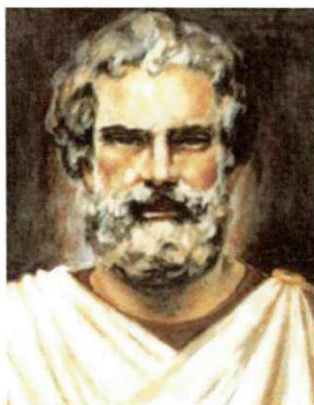


Figura 1: (Tales de Mileto)

FONTE: Disponível em: < <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/tales-de-mileto/tales-de-mileto-1.php>>
Acesso em 28/11/2012.



Figura 2: (Um pedaço de âmbar)

FONTE: Disponível em: <dinosblog.zip.net> – Acesso em 30/12/2012

1.1.1 As primeiras descobertas da eletricidade

Segundo Rocha et al.(2002, p.188-189), passou-se um longo período de silêncio, sem registros ou fatos na história sobre o âmbar. Novas ideias só vieram a ser observadas pelo italiano G. Cardno, em 1550, ao que parece o propósito inicial de retomar as experiências com o âmbar era de supostamente certo valor medicinal. Este foi o interesse, nesta época de desenvolvimento científico. Os registros que dispomos desta história começaram com o sistemata da Inglaterra, Sr. William Gilbert (1544-1603), ao que parece Gilbert teve forte influência da plebeia mesmo sendo médico particular da rainha Elisabeth I, mas foi com os trabalhadores de indústria que ele deve ter aprendido várias técnicas, na Inglaterra ele foi o primeiro a defender a experimentação, certamente por ser contemporâneo de Galileu (PIRES, 2011, p.112 e 265-66).

Ele escrevera exaustivamente um compêndio de vários volumes por nome de *De Magnete* que foi publicado em 1600 (conforme Figura 3). Em um dos volumes ele retoma as observações de Tales sobre os efeitos do âmbar e ao mesmo tempo cria o termo “elétrico” a partir da palavra grega *elektron*, que significa âmbar, Gilbert reúne os fatos sobre os fenômenos elétricos (ASSIS, 2010, p. 27-29).

De acordo com Rocha et al.(2002, p.190), Gilbert afirmava que determinados corpos, quando atritados, emitiam um eflúvio (do latim *effluvium*), de natureza material, o qual seria liberado pelo calor produzido entre corpos, por fricção, ele foi influenciado por uma ideia muito comum em sua época, segundo a qual deveria existir alguma conexão material entre dois corpos quando um exerce uma força sobre outro. Ele busca ideias ao que parece de Empédocles, na Grécia onde ele deve ter provavelmente buscado inspiração. É neste período que seu nome e sua fama percorreram por toda a Inglaterra, e por toda Itália (período do Renascimento²), (CHASSOT, 2004, p.133).



Figura 3: (O livro de Gilbert de 1600)

FONTE: Disponível em: <<http://www.minrec.org/libdetail.asp?id=455>> Acesso em 02/12/2012.

No seu livro *De Magnete* de 1600, Gilbert cita um aparelho por nome de vesório (ver Figura 4), que consegue destacar a existência de forças elétricas muito pequenas. Ao que parece ele tinha conhecimento da obra de Girolamo Fracastoro (1478-1553). Conforme nos diz Assis (2010, p. 35-47) sobre o *versorium*:

² RENASCIMENTO: movimento artístico, cultural e intelectual ocorrido na Europa em meados do sec. XIV a XVI.

Este instrumento elétrico é o mais antigo inventado pelo homem. Segundo Gilbert o versório é um instrumento que normalmente consiste de duas partes: um membro vertical, que age como um suporte fixo em relação à Terra, e um membro horizontal capaz de girar livremente sobre o eixo vertical definido pelo suporte. Ele é similar a uma bússula magnética em sua construção, exceto pelo fato do membro horizontal não ser magnetizado como ocorre na bússula. Conceitualmente, a habilidade de o membro horizontal poder girar livremente significa que este instrumento é muito sensível a torques externos muito pequenos. Portanto, pode ser usado para detectar estes torques da mesma forma como uma bússula detecta o torque magnético exercido pela Terra (ASSIS, 2010, p.38).

Como o aparato era muito sensível, Gilbert conseguiu um grande número de substâncias atritadas.

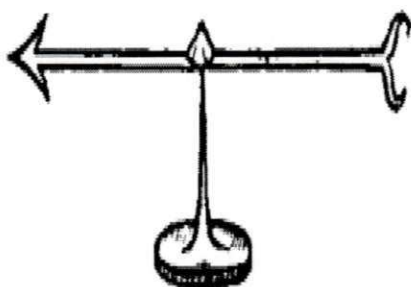


Figura 4: (Versório de Gilbert)

FONTE: Disponível em: <http://chc.cienciahoje.uol.com.br/magnetismo-e-eletricidade/> Acesso em 04/12/2012.

Apesar do grande número de cuidadosas experiências realizadas por Gilbert, ele não chegou a observar a existência de repulsão entre dois corpos eletrizados. Como nos conta a história, quando um corpo leve é atraído por um objeto atritado, após tocar este objeto o corpo é repellido por ele. Rocha et al.(2002, p.191), dizem que este fenômeno só foi observado pela primeira vez alguns anos após a morte de Gilbert por um grande erudito Jesuíta italiano Nicolo Cabeo. Em virtude dessa descoberta, teoria do eflúvio (do latim, *effluvium*) teve de sofrer modificações, pois ela não era capaz de explicar o fenômeno da repulsão elétrica.

1.1.2 Evolução da eletricidade

Poucos filósofos naturais do século XVII deram contribuição ou continuidade aos trabalhos de Gilbert. A eletricidade só veio realmente despertar maior atenção no início do século XVIII. Neste período foram criadas as associações tipo a Royal Society, patrocinada pela monarquia da época. O objetivo era a interação de conhecimento científico. Foi neste contexto histórico que o cientista inglês Stephen Gray (1666-1736)- empirista que contribuía



Figura 5: (Garrafa de Leyday, desenvolvida na Holanda em 1745)

FONTE: Disponível em: <<http://electrobioart.wikispaces.com/Electro>> Acesso em 05/12/2012.

No decorrer do século XVIII e em especial por volta de 1750, às experiências com eletricidade eram levadas para as massas populares, e atraíam uma multidão. Foi em um desses espetáculos nos Estados Unidos da América que o cientista Benjamin Franklin se interessou pelos fenômenos elétricos. Franklin trabalhou como jornalista, tipógrafo, livreiro, e ganhou prestígio junto aos políticos de seu tempo, Franklin (veja a Figura 6) começa a interessar-se pela eletricidade por volta de 1743, após ver apresentações públicas de Adam Spencer, que mostravam fenômenos curiosos e divertidos envolvendo eletricidade (ALVARENGA, 2010, p. 15).



Figura 6: (Franklin em intenso trabalho de suas cartas)

FONTE: Disponível em: <<http://hypercubic.blogspot.com.br/2010/10/quem-interessar-possa.html>> Acesso em 06/12/2012.

Franklin iniciou seus estudos sobre eletricidade somente após receber de seu amigo Peter Collinson (1694-1768), em 1745, uma tradução de trabalhos alemães relatando experimentos elétricos publicados na revista *Gentleman's Magazine*, uma revista voltada à divulgação das novidades européias. Além das revistas, Collinson enviou um tubo de vidro que era utilizado para produzir faíscas. Não foi só isso que conquistou Franklin, ele propôs uma “teoria do fluido único”, segundo a qual todo corpo teria uma quantidade normal desse fluido e, por isso, seria eletricamente neutro. Se um corpo fosse atritado com outro, o que adquirisse excesso de fluido estaria carregado positivamente e o que ficasse com falta estaria carregado negativamente. Franklin foi o primeiro a usar as palavras positivo e negativo em eletricidade (SILVA; PIMENTEL, 2008, p. 118).

Ele não conhecia ao certo os termos vítreo e resinoso criados por Du Fay. Assim, na teoria dos dois fluidos, o corpo eletrizado positivamente correspondia aos que adquiriam eletricidade vítrea e os eletrizados negativamente eram os que adquiriam eletricidade resinosa (positivo era sinônimo de vítreo e negativo era sinônimo de resinoso). Franklin não se preocupou em escrever um tratado sobre eletricidade, mas várias cartas a Peter Collinson e outros que foram reunidas no livro (como nos mostra a Figura 7) *Experiments and Observations on Electricity* publicado pela primeira vez em três volumes em 1751 e posteriormente reeditados várias vezes (SILVA; PIMENTEL, 2008, p. 118).

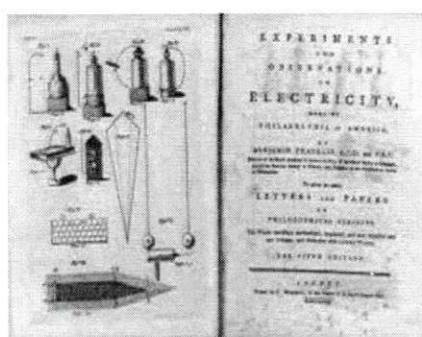


Figura 7: (Experiência e observações de Franklin)

FONTE: Disponível em: <<http://www.loc.gov/rr/scitech/trs/trscollections.html>> Acesso em 07/12/2012.

Durante muito tempo as duas teorias foram bem aceitas, pois explicavam a contento os fenômenos elétricos. Mas os termos positiva e negativa acabaram por prevalecer. Essa escolha ou preferência de sinais matemáticos para dar nome às cargas elétricas, inicialmente relacionadas a saldo ou a deficit de eletricidade em um corpo, indica também a preocupação dos físicos da época em descrever matematicamente os fenômenos elétricos.

Dentro dos acontecimentos históricos Rocha et al.(2002, p.197-198) e Braga (2004, p.227-228) comentam que, as contribuições de Franklin e outros cientistas para a eletricidade não se resumem somente ao que foi citado, ele também construiu baterias, fez experiências com o papagaio (note a Figura 8), inventa o para-raio e mostra que o relâmpago é um fenômeno de natureza elétrica.



Figura 8: (Experiencia realizada por Benjamin Franklin)

FONTE: Disponível em: <<http://jadedskeptic.blogspot.com.br/2012/06/benjamin-franklin-electric-ministers.html>> Acesso em 09/12/2012.

Até a época dos trabalhos de Franklin e Du Fay (meados do século XVIII) apenas os aspectos qualitativos dos fenômenos elétricos tinham sido abordados. Os cientistas da época sentiam que, para o progresso dos estudos com a eletricidade, era necessário estabelecer relações quantitativas. Em particular, houve uma preocupação em relacionar quantitativamente os fenômenos. Nas décadas finais do século XVIII, o americano Benjamin Franklin e os ingleses Joseph Priestley (1733-1804) e Henry Cavendish (1731-1810), químico e físico e o engenheiro Siméon-Denis Poisson (1781-1840), chegaram às mesmas concepções quantitativas sobre a eletricidade, mostrando que a força de atração ou repulsão entre dois corpos eletrizados variavam com o quadrado da distância entre eles, (cujo estudo já havia sido desenvolvido por Newton no século anterior), de forma análoga, à força de atração gravitacional:

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \quad (1)$$

onde G é a constante gravitacional.

Entre os trabalhos que foram desenvolvidos pelos cientistas da época com este objetivo, destacam-se as experiências realizadas pelo francês Charles Augustin Coulomb

(1736-1806) que em, 1785, apresentou à academia de ciência da França um relatório de seus trabalhos. Coulomb construiu um aparelho, denominado balança de torção (ver Figura 9), com a qual podia medir diretamente as forças de atração e repulsão entre corpos eletrizados.

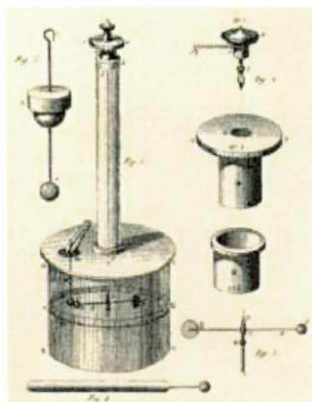


Figura 9: (Balança de torção de Coulomb)

FONTE: Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/charles-augustin-de-coulomb/charles-augustin-de-coulomb-2.php>> Acesso em 10/12/2012.

Conforme descreve FUKU (2010, p.33-34) a balança de torção:

É constituída por uma caixa e um tubo cilíndricos de vidro – com o tubo acoplado na base superior da caixa. Na extremidade superior do tubo está preso um cabeçote com uma agulha isolante horizontal, cujo deslocamento pode ser medido por um micrômetro de aço, um instrumento semelhante a um transferidor. Existem duas esferas metálicas presas nas extremidades, e suspensa por um fio de prata preso ao cabeçote. A barra isolante pode girar livremente diante de uma graduação de 0 a 360°, inscrita numa fita de papel colocada na caixa de vidro. O experimento é realizado introduzindo-se uma barrinha isolante com uma esfera previamente eletrizada e fixa que entra em contato com a outra esfera, que está inicialmente neutra, eletrizando-a com cargas de mesmo sinal. Por isso, as esferas se repelem devido à ação da força elétrica, provocando uma torção no fio de prata. Coulomb verificou que realmente, a força elétrica era inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. Além disso, esta força era proporcional ao produto das cargas (FUKU, 2010, p.33-34).

$$F = k \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (2)$$

onde m_1 e m_2 são consideradas como uma propriedade intrínseca da matéria (massa elétrica), e k é a constante de valor $9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.

Este fato marcou positivamente a Física, não somente na França, mas por todas as partes. O seu nome e seus trabalhos formam uma nova visão no processo de construção da ciência, uma vez que a lei de Coulomb foi a primeira lei fundamental estabelecida no campo

da eletricidade. Era uma época de estímulo acadêmico e de sedimentação da análise matemática como linguagem para a filosofia natural (denominação para Física), que representou também a ascensão da academia de Ciência de Paris como local privilegiado para a discussão sobre a validade do conhecimento científico então produzido. Contudo, os acadêmicos começaram a determinar o que era a boa e má ciência. A análise matemática passou a ser um instrumento de poder sobre os cientistas amadores que não dominavam (BRAGA, 2005, p.79).

A utilização da linguagem matemática estava ligada diretamente à tentativa de dizimar de uma vez por todas da ciência os vestígios da metafísica. Todos os membros da academia de ciência de Paris tornaram-se inimigos da religiosidade, e das superstições frívolas. É neste cenário que o estado passa a valorizar os homens de ciência pura. Agora as comissões da academia passam a uma investigação mais minuciosa para separar os talentos de falsismos, e de verdades e erros. Esse é de fato um período de esplendor e de valorizações.

Depois de intensas descobertas no campo da ciência, a experiência de Coulomb propocionou um novo começo, um ponto, uma necessidade, uma evolução na parte quantitativa da eletricidade, o engenheiro fica conhecido não só na academia da França mais em toda Europa. Era um período de grandes turbulências sociais, culturais, filosóficas e científicas dentre os tais temos o iluminismo que pregava a luz da razão, o louvor das capacidades humanas e o anticlericalismo (contrário às ideias frívolas da igreja).

No fim do século XVIII, segundo Pires (2011, p.268), Luigi Galvani (1737-1798), professor de anatomia e ginecologia da Universidade de Bolonha, Itália, observou um estranho fenômeno (note a Figura 10): as pernas de uma rã (pequeno sapinho), morta e dissecada, se contraíam bruscamente quando tocado com duas hastes metálicas (ver Figura 11). Naquela época, já se sabia que essa contração podia ser obtida sempre que os músculos de uma rã eram submetidos a descargas elétricas. Fica claro e evidente que, naquela situação, de alguma forma se produzia eletricidade (fluido galvânico) como ficou conhecido na época. Para Galvani isso era devido à existência de uma eletricidade de origem animal, e que inicialmente esta visibilidade foi puramente casual. Todavia Galvani não foi o primeiro a estudar fenômenos elétricos em animais; antes dele outros já haviam descoberto fenômenos desta natureza, a exemplo do médico inglês Richart Bancroft, um amigo do velho Franklin e de Priestley. Foi neste interim de tempo que Galvani publicou sua teoria em 1791(MARTINS, 1999, p.824-825; ROCHA et al., 2002, p. 204-206).



Figura10: (Galvani, 1737-1798)

FONTE: Disponível em: <<http://marianaplorenzo.com/2010/10/10/o-lado-positivo-da-pilha-%E2%80%93-parte-i-historico-e-situacao-atual/>> Acesso em 12/12/2012.

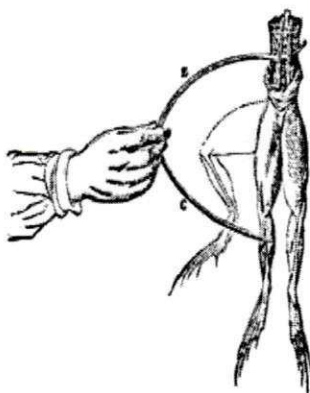


Figura 11: (Pernas de rã sendo contraídas)

FONTE: Disponível em: <<http://asterisko.blogspot.com.br/2007/05/onfrio.html>> Acesso 13/12/2012.

Muitos pesquisadores se interessaram pelos trabalhos de Luigi Galvani, na época, entre eles, Alessandro Volta³ (1745-1827), professor de filosofia na Universidade de Pavia, Itália. Segundo Martins (1999, p. 825-829) Volta relutou em acreditar nas ideias de Galvani devido o prestígio e imenso respeito junto à academia em Bolonha, logo percebeu que Galvani havia se enganado, que a eletricidade não era de origem particular da rã, mas dos metais condutores e das soluções utilizadas na experiência. Rocha et al.(2002, p.207) salientam ainda que, Alessandro Volta em 1793, abandonou as pernas de rã e orientou suas investigações na procura de pares metálicos e soluções líquidas ao superpor camadas de discos de prata e zinco, intercalado por papel ou tecido embebido na solução, Volta construiu

³ Ver extensivo comentário sobre a pilha de Alessandro Volta (1745-1827): diálogo e conflitos no final do século XVIII e início do século XIX.

a chamada “pilha de volta”, isto é, a primeira fonte de suprimento de corrente elétrica feita pelo homem(ver Figuras 12 e 13).

Como explicam Rocha et al.(2002, p.207), não demora muito ele envia seus trabalhos à *Royal Society*, de Londres e descreve com maestria e genealidade, sua descoberta é um marco inicial de um novo ramo da ciência na época.



Figura 12: (Pilha voltaica)

FONTE: Disponível em: < http://pt.wikipedia.org/wiki/Pilha_de_Volta> Acessado em 14/12/2012.



Figura 13: (Apresentação de Volta em 1799)

FONTE: Disponível em:

<<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereço=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F0%2F3CD92FA03B2F45E10325740C0047BCD7>> Acesso 16/12/2012.

Como se sabe as pesquisas foram intensificadas e a repercussão do experimento foi imediata por toda parte da Europa, na França Volta apresenta seus experimentos em 1801 em Paris, diante de membros da Academia de Ciências, a Napoleão Bonaparte⁴ e outras autoridades de seu tempo.

⁴ Napoleão Bonaparte, ao que parece preocupa-se com a educação, é tanto que nos territórios que ele conquistava construía uma escola e uma biblioteca.



CAPÍTULO 2

MAGNETISMO

Neste capítulo faremos um breve levantamento histórico da origem do magnetismo, desde seu período inicial começando pelos gregos, e em seguida entraremos na Idade Média onde comentaremos sobre as descobertas de Petrus Perigrinus e Gilbert, e sucintamente faremos um comentário abalizado sobre linhas de força e campo magnético que foi descoberto por Faraday.

2.1 Origem do magnetismo

As primeiras observações de fenômenos magnéticos acredita-se que foram na Ásia Menor (veja a Figura 14), próximo à antiga cidade grega de Magnésia, lá existem grandes jazidas de óxido de ferro de composição Fe_3O_4 . Silva (2011, p.30) e Barros (2000, p.312) comentam que relatos de filósofos como Aristóteles falavam sobre propriedades “maravilhosas” de uma pedra que tinha “alma” de origem divina. Como sabemos desde tempos antigos esse mineral era conhecido por possuir a propriedade de atrair outros pedaços de mineral do mesmo tipo e também de atrair pedaços de ferro comum. Acredita-se que o nome de “magnetita” foi atribuído a este material por causa do local no qual foi originalmente descoberto, embora ninguém saiba quão antiga foi a descoberta deste material magnético.



Figura 14: (Região onde foram observados os primeiros fenômenos magnéticos)

FONTE: Disponível em: <<http://maps.pickatrail.com/europe/greece/magnesia.html>> Acesso 18/12/2012.

Segundo nos contam Rocha et al. (2002, p.201) e Rangel (2008, p.14) foi esta região da Grécia antiga (Magnésia), onde o primeiro fenômeno magnético foi observado: um pastor⁵ de ovelhas teria notado que a ponta inferior de ferro do seu cajado ficava presa quando se encostava a determinadas pedras e as sandálias de sola pregada agarravam-se ao chão, que mal o deixavam andar, pois era um jazigo de magnetita. Presume-se que tais pedras eram pedaços de magnetita (conforme nos mostra a Figura 15), que é um ímã natural, conhecido como óxido de ferro.



Figura15: (Magnetita)

FONTE: Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/oxidos/magnetita.html>> Acesso em 01/12/2012.

Desde que foram descobertos, os ímãs exerceram grande influência e fascínio sobre as pessoas. Muitas correntes de ideias também surgem no berço das civilizações. Era de se esperar, pois para os gregos tudo seria motivo de diálogo e reuniões onde discutiam sobre algo que ia além da capacidade natural do ser pensante, todavia, se o diálogo fosse sobre as pedras (os ímãs) que tem vida, na falta de explicações convincentes, proliferaram as histórias mais estranhas e fantásticas, Barros (2000, p.313), explica que:

“As idéias de que o ímã poderia ter uma influência sobre a pessoa atinge grande aceitação durante a Idade Média indo fornecer um critério de verdade para o caso de julgamento: como um exemplo podemos citar o curioso critério de prova para o caso de mulheres adúlteras e testar a virgindade das moças. Se flutuarem quando dormindo sob a ação de um ímã colocado em baixo do travesseiro, a culpa estava provada podendo até ser decapitada ou queimadas na fogueira, em alguns trechos dos tratados médicos de Hipócrates (460 - 377 a. C.) e Galeno (131 -201 a. C.) a magnetita é indicada como forma de tratamento de humores e feridas, sob a forma de emplastos, além de estar associada a estados de depressão, e melancolia, [...]”. (BARROS, 2000, p. 313).

⁵ Considera-se esta história como sendo uma lenda ou fruto da imaginação de Plínio, o Antigo (23-79 d.C), a quem é atribuída esta versão.

2.2 Evolução do magnetismo

Do século VI a. C. Até o fim do século XVI, período marcado pelas intransigências do alto clérigo, não houve muito progresso no campo do magnetismo e explicações a esse respeito. O único sucesso foi bastante técnico: construção da bússola (ver Figura 16) e aperfeiçoamento para as navegações, como nos ensina Rocha et al.(2002, p.202), a primeira notícia que se tem de um instrumento com características semelhantes às da bússola foi atribuída aos chineses (como ilustra a Figura 16). Este instrumento era utilizado para indicar direção, pois quando sua agulha se move livremente, ela se alinha com a direção norte-sul.



Figura 16: (Bússola chinesa)

FONTE: Disponível em:

<http://www.cowboysdoasfalto.com.br/entretenimento/curiosidades/curiosidades_da_semana/bussola/> Acesso 22/12/2012.

As primeiras investigações sobre o fenômeno do magnetismo só tiveram início por volta de 1269 com as experiências de Petrus Peregrinus de Maricout. Ele esculpiu a magnetita numa forma esférica (ver Figura 17), da qual se aproximava pequenos ímãs. Petrus desenhou sobre a superfície esférica as direções indicadas por ele, obtendo linhas que circulavam a esfera e interceptavam em dois pontos, da mesma forma que as linhas da longitude sobre a Terra interceptam-se nos polos. Rosa (2012, p.365) nos ensina que foi por analogia direta que Petrus denominou esses pontos de polos do ímã. Nesta época pouco se sabia sobre a natureza dos ímãs; conta-nos Rezende (2000, p.293), que Petrus é responsável de reunir o que sabia em cartas, já que o processo de livros sobre ciência era banido pelo clérigo. Mas mesmo assim seus trabalhos foram publicados em latim, tornando-se o primeiro tratado de Física experimental do seu tempo.

“Uma linha de força magnética pode ser definida como aquela que é descrita por uma agulha magnética muito pequena quando ela é deslocada em ambas as direções relativas ao seu comprimento, de tal forma que a agulha é sempre tangente à linha de movimento; ou é aquela ao longo da qual, se um fio transversal é deslocado em ambas as direções, não há uma tendência para a formação de uma corrente no fio, enquanto que, se ele é deslocado em qualquer outra direção, essa tendência existe. [...] Parece-me que essas linhas podem ser empregadas com grande vantagem para representar a natureza, condição, direção e quantidade”. (PIRES, 2011, p. 272).

Como sabemos a região do espaço onde o efeito das forças magnéticas se faz sentir em torno da extremidade do ímã em forma de barra é chamada de “campo magnético”. O campo é tão forte perto da extremidade da barra que atrai e segura limalha espalhadas sobre uma folha de papel. As extremidades da barra, onde o campo é mais forte, são chamadas de “pólos”. Se um dipolo magnético for colocado horizontalmente em uma folha de papel sobre ele, e se for espalhada limalha de ferro sobre o papel, a limalha se alinhará ao longo de linhas distintas (note melhor compreensão na Figura 18). O campo magnético exerce força sobre a limalha, que ocasiona esse seu alinhamento, o que sugeriu o conceito de “linhas de força” no espaço em torno do dipolo magnético.

No século XIX, Michael Faraday empregou esse conceito de linha de força para descrever as propriedades do campo magnético. Os pólos do dipolo magnético são chamados de pólo norte e pólo sul. O pólo norte é aquele que aponta para o norte geográfico quando o dipolo magnético gira livremente. Convencionou-se que as linhas de força têm o sentido que partem do pólo norte e chegam ao pólo sul do dipolo magnético. A direção da linha em qualquer ponto indica a direção do campo magnético naquele ponto.

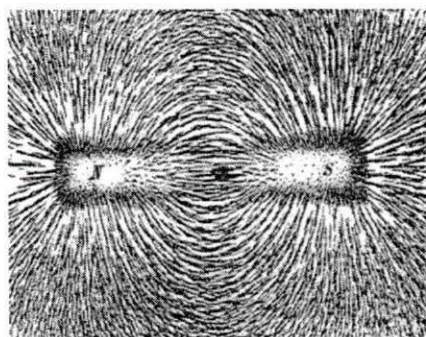


Figura 18: (Limalhas de ferro sobre um papel)

FONTE: Disponível em: < <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?Aula=1500> > Acesso 28/12/2012.

Assim, as linhas de força constituem uma representação visual, é o “D.N.A” simples do campo magnético produzido pelo dipolo magnético. Onde as linhas de força estão

mais próximas, o campo magnético é mais intenso; onde as linhas estão mais afastadas, o campo magnético é mais fraco. Essa representação mostra que o campo magnético é mais forte nos pólos do que em qualquer outro local. Essas ideias ficaram no campo apenas da observação até serem estruturadas matematicamente por Maxwell no final do século XIX e produziram avanços na Física (ROCHA et al., 2002, p.260).

CAPÍTULO 3

ÓTICA

Este capítulo traz uma breve visão sobre a ótica desde os pensadores antigos aos atuais, evidenciando a natureza da luz e os fenômenos de reflexão, a refração, a difração, e interferência, partindo dos filósofos naturais, e como se deu os conflitos no campo científico da época.

3.1 As ideias da luz segundo os gregos e as ideias atuais

O fenômeno da luz sempre foi alvo de muita especulação por parte dos filósofos antigos. Existia a crença de que a luz tinha uma característica corpuscular. Foram certamente os atomistas (Leucipo e Demócrito) da antiga Grécia os primeiros a buscar explicações para a natureza da luz. Segundo eles, assim como matéria, a luz também seria formada por pequenas partículas indivisíveis e extremamente pequenas, teriam a capacidade de se desprender da superfície dos corpos e chegariam até os olhos, permitindo a visão. (ROCHA et al., 2002, p. 58).

Outros filósofos gregos, como os da escola pitagórica, propunham uma explicação diferente para a natureza da luz, baseada em investigações matemáticas. Para eles, nós emitimos, através dos olhos, raios luminosos que seguiriam em linha reta até o objeto e, após atingi-los voltava aos olhos, causando o fenômeno da visão, Cláudio (2010, p.325).

Explica Cláudio (2010, p.325) que no meio árabe, surgiram filósofos de destaque, entre eles Al Hazen (965-1039), o qual propôs que os olhos teriam a capacidade de enxergar os corpos de maneira diferente, de acordo com a luz que os iluminasse. Segundo Al Hazen, a luz não se originava nem nos objetos nem nos olhos que o observava, portanto tinha uma existência própria. Assim, a luz seria formada por raios que, emitidos pela fonte luminosa (sol, fogueira.), chegariam ao objeto e daí partiriam em todas as direções, inclusive sendo captada pelo olho. Outra possibilidade seria a de esses raios atingirem o olho vindo diretamente da fonte luminosa.

O caráter do conflito filosófico passa para o plano científico, com os trabalhos de René Descartes (1637), Pierre de Fermat (1661), Isaac Newton (1670), Christian Huygens (1678) e outros. Até esta época (século XVII) como nos propõe, Rocha (2002, p.213) que:

O progresso no campo científico e tecnológico no ramo da Óptica envolvia, essencialmente, fenômenos de reflexão e refração, escritos muito bem por parte da ideia de raio luminoso e da concepção da luz como feixe de partículas (ROCHA et al., 2002, p.213).

Já na segunda metade do século XVII outros fenômenos foram descobertos ampliando os debates no campo da ciência (difração, 1665; interferência, 1665; polarização, 1678), segundo os historiadores tais como Rocha et al.(2002, p.213), dizem que no século XVII, na Europa estavam acontecendo um dos maiores conflitos de ideias de cunho científico que deixara todos pasmos.

3.1.1 A concepção de luz de Newton

É neste cenário de conflitos científicos que surge controvérsias com respeito à natureza da luz, segundo diz Pietrocola (2010, p.341) no fim do século XVII, Newton e Huygens travavam um duelo acerca da natureza da luz. O Newton afirmava que a luz era inteiramente um feixe de partículas que tinha sua origem na fonte de luz. Huygens, por sua vez, acreditava que a luz era uma perturbação que ocorria em uma suposta matéria sutil (éter), que ele e vários filósofos gregos acreditavam existir. Desde os escritos mais antigos de Platão, por volta do século III a. C., há registros da suposta existência de uma substância que preencheria todo espaço.

Newton ao estudar os fenômenos luminosos, particularmente ele elaborou uma teoria sobre a natureza da luz, conhecida como “modelo corpuscular da luz”. Nela ele afirmava ser a luz constituída por pequenas partículas (corpúsculos) que, ao serem emitidas por uma fonte luminosa, se propagam no espaço com grande velocidade e em linha reta. Também comenta que essas partículas dependendo das condições, elas poderiam ser refletidas, refratadas ou ainda poderia aquecer objetos (FORATO, 2007, p.3).

Nesta mesma época (século XVII), um dos benefícios de explicar a luz como partículas, era que todas as leis da mecânica newtoniana poderiam ser aplicadas a diversos fenômenos ópticos, como a reflexão e refração. Newton supõe que havia uma força de atração entre um objeto transparente e a luz, por isso o raio de luz era atraído e se deslocava em linha reta até seu interior.

Conseguimos perceber na obra de Newton (Opticks, ver Figura 19) elementos onde:

Ele (Newton) opta incontestavelmente pela hipótese da luz ser corpuscular, entretanto o fato de ser partículas não que dizer que estas não possam ter propriedades ondulatórias. Como se vê, o pensamento de Newton sobre a natureza da luz continua a ser objeto de controvérsia e a merecer a atenção especial dos historiadores da Ciência. Uma das razões para a forte objeção que Newton fazia à (primitiva) teoria ondulatória decorria do fato, facilmente constatado, que a luz se propaga em linha reta, a exemplo de um feixe de luz numa sala empoeirada (ROCHA et al., 2002, p. 227).

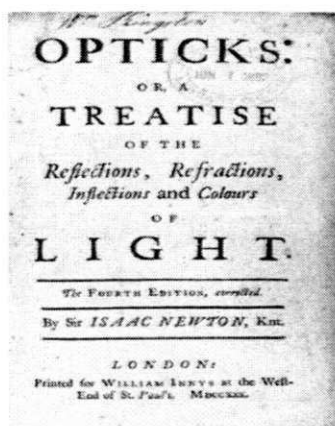


Figura 19: (Livro de Isaac Newton)

FONTE: Disponível em: <<http://www.fisica-interessante.com/biografia-isaac-newton.html>> Acesso em 03/01/2013.

3.1.2 A concepção de luz de Huygens

No século XVII, o cientista Christian Huygens (1629-1695) observou que alguns feixes de luz ao se cruzarem não se desviavam. Se a luz fosse constituída de partículas, seria natural esperar que elas colidissem e causassem o desvio dos feixes de luz. Assim, Melo (2010, p.54; 147) mostra fortes argumentos que Huygens propôs a hipótese de que a natureza da luz não seria material, mas estaria relacionado com as perturbações do meio entre a fonte e o observador. O raciocínio de Huygens era que a luz propaga-se em um meio, então ele concebeu a existência de um meio luminoso, que de fato, penetrava os poros de todos os corpos e enchia todo o espaço, meio este com características tais que explicasse a velocidade da luz. Este seria para ele um fluido, batizado de éter luminoso (CLAÚDIO, 2010, p. 225).

A ideia de um meio (sutil e misterioso) que permeava e preenchia todo o espaço remonta a Grécia antiga. Para Aristóteles, o éter seria um fluido puro leve e transparente que estava em todo lugar e na esfera celeste, como nos ensina Rocha et al.(2002, p.231).

UFCC - BIBLIOTECA

Para Huygens o éter seria o intermediário das ações dos sistemas físicos especialmente os ópticos, e a luz, essencialmente, um movimento ou ação que se transmitia através desse meio. Huygens afirma que o tal seria o meio propagador da luz (ROCHA et al., 2002, p. 231).

Portanto a luz seria justamente esse movimento que ocorre entre os objetos luminosos e os olhos. Para o pensamento da época (século XVII), existia a hipótese ondulatória, que por sua vez também podia fornecer uma explicação para a reflexão, visto que antes de Huygens já se sabia que as ondas mecânicas (ver Figura 20), como o som e as ondas na água, se refletem com ângulos de inclinações iguais ao de reflexão. Assim nesse caso tanto Newton como Huygens pareciam ter razão (MARTINS, 1986, p.11-99).

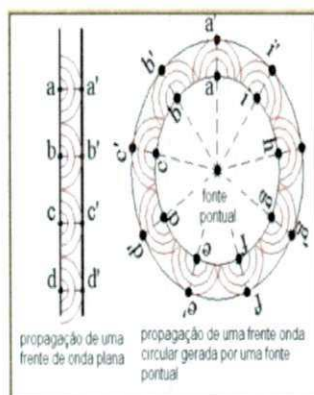


Figura 20: (Movimento ondulatório da luz)

FONTE: Disponível em: <<http://www.ghtc.usp.br/server/Sites-2008/Erivan-Duarte-2/pagina5.htm>> Acesso em 05/01/2013.

Ambos os pensadores estavam corretos, mais para aquela sociedade o mundo estava virando de cabeça para baixo, tanto o senhor Newton tinha seguidores como o senhor Huygens. Podemos dizer que as versões de Newton e Huygens para a natureza da luz estava empatadas. Entretanto, existem em cena outros fatores, de ordem mais social, é neste contexto do renascimento que traz uma gama de transformações culturais, políticas, e econômicas, isto é, a renovação da vida urbana, após um longo período de vida rural, girando em torno dos castelos e mosteiros; temos o fim do movimento das cruzadas, a restauração do comércio, a emergência de um novo grupo social (os burgueses) e, sobretudo, o renascimento cultural com um forte pensamento científico-filosófico, que preparou o caminho para o renascimento na Itália e se difundiu por toda a Europa.

224), em seu livro ele descreve como: cada ponto de uma frente de onda se comporta como uma nova fonte de ondas elementares, que se propaga para além da região já atingida pela original e com a mesma frequência que ela e da interferência construtiva e destrutiva das ondas. Este pensamento não foi bastante para convencer o júri do prêmio de imediato, composto principalmente de cientistas adeptos do modelo corpuscular. Um deles, Siméon-Denis Poisson (1781-1840) que era discípulo de Laplace. Conforme Locqueneux (1989, p. 102), Poisson era um newtoniano convicto declarou que, se as equações propostas por Fresnel estivessem corretas, a sombra de um disco deveria mostrar um ponto luminoso bem no centro. Isso porque as ondas luminosas, quando barradas pelo disco, seriam difratadas para o interior da sombra e as faixas de interferiam entre si, devendo haver interferência construtiva no ponto central da sombra.

Com esse argumento, Poisson pensou ter demonstrado a falsidade do trabalho de Fresnel, pois até aquela época ninguém tinha constatado um ponto luminoso no meio de uma sombra. Convicto da validade do modelo ondulatório, Fresnel tomou a observação de Poisson como um desafio e se propôs a realizar o experimento. Em 1818⁶, ao obter uma figura de difração produzida por um disco ou chapa (como ilustra a Figura 21), em que se observa a mancha luminosa no centro da sombra e as faixas de interferência construtiva (ditas faixas luminosas) e destrutivas (faixas escuras), não houve meios de impedir que Fresnel fosse o ganhador do prêmio.

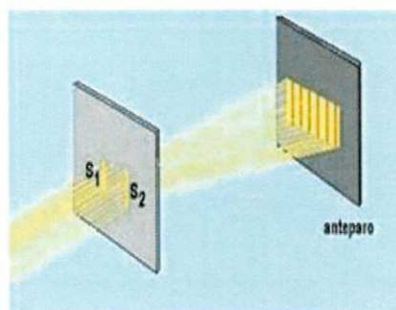


Figura 21: (Figuras de difração)

FONTE: Disponível em: <<http://becre-esct.blogspot.com.br/2011/10/fenda-otica.html>> Acesso em 07/01/2013.

⁶ Arago em 1814 já havia tomado conhecimento do trabalho de Fresnel a respeito da difração, embora o período de 1814 até a época do prêmio em 1818 tenha sido de grande produção. Ver a respeito em T. Levitt, "Editing out caloric: Fresnel, Arago and the meaning of Light", p. 54.

Os trabalhos de Fresnel continuaram reinterpretando os fenômenos ópticos na perspectiva do modelo⁷ ondulatório (a luz seria uma onda). Mais por volta de aproximadamente 1840, com a determinação da velocidade da luz em meios translúcidos, não havia mais dúvidas de que a natureza da luz seria mesmo ondulatória.

Segundo Rocha et al.(2002, p.225) esse fenômeno foi descoberto pelo matemático Francisco M. Grimaldi (1618-1663). E anunciado em seu livro “*physico Mathesis de Lumine Coloribus et Iride*”, publicado um ano antes de sua morte. Um dos experimentos feitos por Grimaldi consistia em restringir a passagem da luz então no trajeto dessa luz um obstáculo opaco com um pequeno orifício estreito de uma cortina num quarto escuro. Observava em seguida que a área iluminada na parede oposta à janela era maior do que se podia esperar. O que a teoria de Newton (corpuscular) previa para esse fenômeno era que os raios luminosos, composto de corpúsculos, ao caminharem em linha reta, resultariam numa área iluminada do mesmo tamanho do orifício. Entende-se que explicar este fenômeno consistia em um desafio para a abordagem da época na visão de Newton (corpuscular), porque a difração é um fenômeno característico dos movimentos ondulatórios, mas seu efeito se faz perceptível somente quando a dimensão da abertura do obstáculo não é grande quando comparada ao comprimento de onda.

⁷ Uma descrição detalhada é apresentada neste livro: J. Z. Buchwald, *The Rise of the Wave Theory of Light. Optica Theory and Experiment in the Early Nineteenth Century.*

UFPA BIBLIOTECA

CAPÍTULO 4

ELETROMAGNETISMO

Este capítulo traz uma breve abordagem histórica do pensamento da época, partindo dos primeiros passos das linhas de pesquisas anteriores. Veremos aqui a consolidação imediata da eletricidade e magnetismo. Concomitantemente ressaltaremos sobre as primeiras descobertas e impacto em toda Europa. Veremos as equações de Maxwell do ponto de vista matemático, bem como as ondas eletromagnéticas.

4.1 A unificação entre Eletricidade e Magnetismo – os primeiros passos

Um fator intrigante dentro do contexto histórico e filosófico destas duas ramificações são alguns aspectos bem aproximados conforme nos mostra a tabela abaixo, mas mesmo assim os cientistas daquela época não estavam conseguindo visualizar nitidamente esta unificação. As semelhanças e as diferenças na descrição dos fenômenos era o ponto básico do pensamento dos filósofos da natureza.

| Observações importantes no processo de construção de ambas as ciências ao longo da História | Eletricidade | Magnetismo |
|---|--------------|------------|
| Propriedade de atrair objetos | Sim | Sim |
| Apresenta situações de atração e repulsão | Sim | Sim |
| A ocorrência pode ser resultado de atrito | Sim | Não |
| Pode causar choques | Sim | Não |
| Atrai reduzido número de materiais | Não | Sim |
| Pode ser usado como bússola | Não | Sim |
| Pode ter efeito de longa duração | Não | Sim |
| Polos podem ser separados | Sim | Não |
| Temperatura pode fazer o efeito desaparecer | Não | Sim |

TABELA: Semelhanças e diferenças entre Eletricidade e Magnetismo.

Entendemos que de certo modo, estas relações já eram conhecidas, mas não compreendidas muito antes da famosa experiência de Oersted, levar a crer. Segundo Rocha et al.(2002, p.246) pelo menos três séculos antes de Oersted já se sabia as semelhanças entre a Eletricidade e o Magnetismo que não passou despercebida por alguns cientistas e vários deles buscaram uma conexão entre essas duas áreas da Física. Benjamin Franklin (1706-1790) chegou a estudar relatos que indicavam que faíscas e raios durante tempestades modificavam agulhas de bússolas e que objetos metálicos como facas e garfos se tornavam magnéticos (estes acontecimentos foram de modos triviais interpretados como um possível casamento entre a Eletricidade e o Magnetismo). Rocha et al.(2002, p 247), salienta que naquela época era comum escrever cartas para os amigos e as ideias. Assim norte americano escreveu numa carta datada de 1773, na qual é discutida a analogia entre as duas ciências.

“Em relação ao magnetismo que parece ser produzido pela eletricidade, minha opinião real é que esses dois fenômenos (poderes) da natureza não possuem afinidade mútua e a aparente produção do magnetismo [pelas descargas elétricas] é puramente acidental”. (ROCHA, et al., 2002, p. 247).

De modo a entender uma possível ligação muitos outros pesquisadores acreditavam ter produzido ímãs descarregando garrafas de Leyden em agulhas de aço na Holanda.

Apesar de nem um desses fatores terem tido ampla aceitação na época, mesmo assim eles forneceram indícios de que havia uma expectativa probabilística de união. Assim como nos conta Pietrocola (2010, p.166), o início do século XIX foi palco de um movimento filosófico que pregava a concepção de mundo unificada como também explica Braga (2005, p.59-61). Autores como Friedrich Von Schelling (1775-1854) e Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1831), Bem-Dov (1996, p.99), acreditavam fortemente que todos os fenômenos da natureza eram apenas manifestações de forças, (forças antagônicas presentes na natureza). Essa tendência levava a tais filósofos a pregarem que relações mais próximas deveriam ser buscadas em grandes áreas da Ciência. Para eles era evidente encontrar efeitos elétricos nos magnéticos e vice-versa.

Para Pietrocola (2010, p.166) nem todos encontraram apenas semelhanças entre Eletricidade e Magnetismo. Ele apresenta sua descrição dos fenômenos elétricos da época: “a eletricidade se manifesta aos nossos olhos por jatos de luz, por faíscas barulhentas; o magnetismo age de forma tranquilamente em silêncio”.

No início do século XIX, palco de esplendor e de grandes produções científicas, é neste período, que um fato notável determinou uma mudança radical neste ponto de vista.

análise cuidadosa mostra muito mais que sorte para a descoberta do eletromagnetismo (MARTINS, 1986, p. 89).

Segundo seus escritos entendemos que Oersted sempre se preocupou com a divulgação científica, apesar de ele descrever (para a Enciclopédia de Edinburgh) em seu trabalho ele afirma que foi levado inicialmente por princípios filosóficos, o de que todos os fenômenos são produzidos pelo mesmo poder original (ROCHA et al., 2002, p. 247-248).

Para Rocha et al.(2002, p.248) apesar de sua declaração, a versão que prevalece sobre suas descobertas é aquela que foi difundida a partir da carta de certo pesquisador de nome Hansteen, no inverno de 1819-1820, assistiu o curso sobre eletricidade e magnetismo ministrado por Oersted na Universidade de Copenhagen.

O motivo para a descoberta de Oersted ser descrita como acidental ocorreu em uma conferência, este pesquisador que estava na plateia tece em sua carta ao senhor Faraday, contando a perplexidade de Oersted ao ver a agulha de uma bússola sobre o fio condutor ligado a uma forte pilha Volta oscilar com força. Mas apesar dessa versão ser a mais conhecida, o próprio Oersted conta uma versão diferente no referido artigo publicado em 1827: no inverno de 1819-1829, ele (Oersted) apresenta um curso de conferência sobre eletricidade, galvanismo e magnetismo, diante de uma audiência previamente formalizada com os princípios da filosofia natural. [...]. O plano da primeira experiência consistia em fazer a corrente de um pequeno aparelho galvânico de frasco, comumente usado em suas conferências, passar através de um fio de platina muito fino, colocado sobre uma bússola coberta com vidro (MARTINS, 1986, p. 99).

A experiência foi preparada, mas como ele foi impedido de ensaiá-la antes da aula, planejou adiá-la para outra oportunidade; no entanto, durante a conferência, pareceu-lhe mais forte a probabilidade de seu sucesso, e assim realizou a primeira experiência na presença da audiência (como nos mostra a Figura 22). A agulha magnética, embora fechada em uma caixa, foi perturbada; mas, como o efeito era muito fraco, e deveria parecer muito regular, antes da descoberta de sua lei, a experiência não impressionou fortemente o público.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

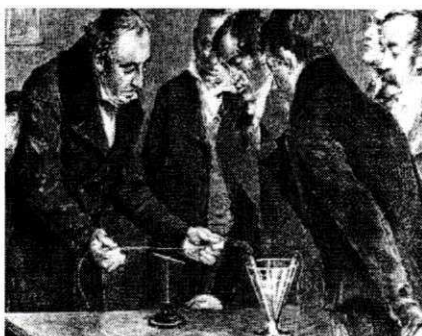


Figura 22: (A experiência de Oersted)

FONTE: Disponível em: <<http://www.geocities.ws/saladefisica9/biografias/oersted.html>> Acesso em 08/01/2013.

Ele retoma a experiência ainda naquele mesmo ano (1820) e agora cuidadosamente ensaia previamente utilizando agora um aparelho galvânico mais potente. Locqueneux (1989, p.102-103), explica que, Oersted verifica que a circulação de uma corrente elétrica provoca um desvio (deflexão) de uma agulha (emantada) magnetizada inversamente proporcional à distância do fio à agulha e função da “potência do aparelho galvânico”, como também explica Benigno (2010, p.169). Depreende-se assim que o conflito elétrico não é circunscrito ao fio condutor, antes tendo à sua roda uma esfera de atividade bastante ampla, [...], ele forma um turbilhão em torno do fio. Oersted nota, além disso, reciprocamente, um polo magnético deve agir sobre uma corrente, o que Davy verifica em 1821. Rapidamente difundidos, os resultados das experiências de Oersted retêm a atenção do mundo científico (o cenário é perturbador), que nele vê a possibilidade de uma ligação entre a eletricidade e o magnetismo e talvez uma via para a compreensão da natureza eletromagnética destes fenômenos.

4.1.2 As primeiras consequências da descoberta de Oersted e o pensamento de Faraday para a época

No mesmo ano da descoberta de Oersted ouve um impacto grande no meio científico, pois a partir desta descoberta como conta Rocha et al.(2002, p.250), ele escreve uma pequena memória em latim, os focos deste trabalho foram difundidos na América do Norte, na Inglaterra, na França (onde ficava a *academie de Sciences*), na Rússia e no resto da Europa.

Segundo Pires (2011, p.270), naquela época o trabalho de Oersted estimulou várias pesquisas e finalmente, em outubro de 1820, utilizando a balança de Coulomb, Biot e Savart medem a força exercida por uma corrente elétrica indefinida sobre o polo de uma agulha

emanada e constatam que tal força é perpendicular à normal baixada deste polo ao fio condutor e inversamente proporcional à distância. De acordo com esses resultados, Laplace (1749-1828) tirou a chamada lei de Bio e Savart, sendo ela quantitativa. (efeito magnético causado por uma corrente já havia sido observado em 1802 pelo Italiano Gian Domenico Romagnosi, mais ele publicou seus resultados em um jornal obscuro e a descoberta passou despercebida) que o elemento de força dH , agindo sobre um polo do imã igual a unidade, produzido por uma corrente i : $dH = i \cdot \text{sen}\varnothing / r^2$, onde \varnothing é o ângulo dos vetores \vec{r} e $d\vec{s}$. (ROCHA et al., 2002, p.252) diz que: Torna-se então possível calcular a força exercida sobre um polo num ponto qualquer por um círculo qualquer que dá a expressão geral do campo magnético criado pela passagem de uma corrente por um elemento (pequeno seguimento) do fio, a qual algumas vezes é chamada a primeira lei elementar de Laplace.

A repercussão dos trabalhos de Oersted foi muito intensa, o físico e matemático da época, o francês Ampère (1775-1836) foi um dos primeiros a receber a influência da experiência de Oersted feita com a bússola. Como mostra Aragão (2006, p.69), Ampère descobriu que na ausência de qualquer ímã, dois fios exercem, um sobre o outro, uma ação atrativa ou repulsiva, consoante o sentido das correntes que os percorrem. Ele admite que o ímã seja constituído por correntes moleculares (circulando em torno de cada uma de suas partículas), que é chamada também de corrente amperiana conforme conta Rocha et al.(2002, p.251), ao longo dos três anos seguintes, ele publica nada menos do que quinze textos sobre o assunto.

Depois de dois anos (1822) dos trabalhos de Oersted, Faraday na França (1791-1864), já manifesta em seus escritos a relação entre eletricidade e magnetismo, Faraday indaga: se a corrente elétrica pode produzir magnetismo, o que acontece com o fenômeno inverso? Será que o campo magnético pode gerar uma corrente elétrica em um fio? Foi um raciocínio semelhante a esse que levou Faraday e outros cientistas, no início do século XIX a buscar meios de produzir correntes elétricas a partir do magnetismo (ROCHA et al., 2002, p. 253).

Três grandes homens da ciência, segundo Pires (2011, p.275-276), de forma independente e quase ao mesmo tempo, conseguiram abordar o mesmo assunto e obter resposta para essa pergunta: o americano Joseph Henry (1797-1895), o russo Heinrich Friedrich Emil Lenz (1804-1865) e o inglês Michael Faraday.

O contexto desta pergunta parece ter começado com um convite do editor da revista "*annals of philosophy*" para que Faraday escrevesse um resumo das experiências e teorias sobre o eletromagnetismo realizadas no ano anterior. Faraday, então assistente do grande

químico Humphry Davy, assumiu a tarefa com a seriedade e marcaria sua carreira de cientista internacional. Depois de ler tudo que havia sido publicado, resolveu investigar mais o assunto por conta própria. A intenção de compreender o fenômeno para escrever com mais propriedade transformou-se num vasto programa de pesquisa cujos resultados ofereceram à Ciência moderna o que viria a ser uma das leis fundamentais do eletromagnetismo (ROCHA, et al., 2002, p.253-254).

No caderno de experimentos que Faraday mantinha quase como um diário⁹ onde anotava todas as descrições de seus estudos, existem vários relatos nos anos posteriores a 1824 sobre tentativa de obter correntes a partir do magnetismo. Nenhum, no entanto, obteve resultado positivo, até 1831. Ele há via tentado aparecer, corrente elétrica em um fio usando um ímã ou um eletroímã (outro circuito percorrido por corrente elétrica). Para Sampaio (2005, p.383-384) numa investigação cuidadosa e bem planejada, Faraday mostrou uma experiência com dois fios enrolados em espiral em volta de um anel de ferro, notou acidentalmente (de acordo com a Figura 23), que aparecia uma corrente numa das bobinas sempre que ligava ou desligava a chave que permitia passar uma corrente na outra bobina.

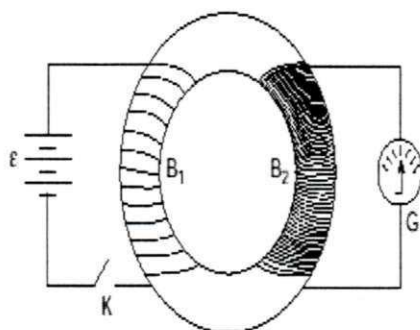


Figura 23: (indução eletromagnética)

FONTE: Disponível em: < http://www.escolainterativa.com.br/canais/21_vestib_simulado/VS8A/fisica8A.asp >
Acesso em 10/01/2013.

Dito de outro modo, toda vez que a corrente elétrica variava num fio, havia indução de corrente no outro fio, colocado em sua vizinhança, ele nota que o anel de ferro não era necessário. Contudo uma consequência prática dessa descoberta foi a possibilidade de se construir máquinas elétricas geradoras de corrente. Foi neste contexto de produção que o Faraday criou a ideia de campo a partir de linhas de força para substituir o conceito de ação à distância, que perdurava por longos anos como conta Pires (2011, p. 271-274) e como explica

⁹ Faraday's Diary. Being the various philosophical notes of experimental investigation made by Michael Faraday (Martin, 1932-1936).

Bem-Dov (1996, p.100), que essa ação a distância nunca satisfaz inteiramente os cientistas, Faraday tira a genial e simples ideia de campo de limalhas de ferro sobre um papel e uma barra magnetizada como diz Alvarenga (2010, p.205) e Rocha et al.(2002, p.259-260) Faraday passa a ver as forças magnéticas e elétricas como uma espécie de linhas elásticas que se estende no espaço, conforme argumentado no Capítulo 2. Segundo os historiadores da ciência como Aurino Ribeiro e Olival Junior diz que Faraday não tinha formação acadêmica apropriada, mais era um pesquisador por natureza. Com tudo seus trabalhos contribuíram fortemente para o pensamento da época como para os dias atuais, era um gigante autodidata.

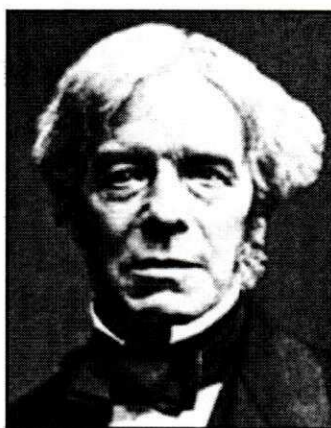


Figura 24: (Faraday-1791-1864)

FONTE: Disponível em: < <http://www.ee.nthu.edu.tw/~sdyang/Courses/EM.htm> > Acesso em 12/01/2013.

Ele começou sua carreira como preparador no laboratório de eletroquímica de seu grande mestre Davy e torna-se, numa dezena de anos, um químico de reputação internacional. Lembra-nos Aragão (2006, p.70-71) e Locqueneux (1987, p.107-108). Como sabemos, o contributo de Faraday se estende para filosóficas e parte para o campo científico, ele apoia as suas pesquisas em imagens, que por vezes nem sempre acredita ser justas e coerentes, mas que se revelam fecundas e bem fundamentadas (experimentação), nas vezes em que a metodologia de Ampère de muitos modos impedira de avançar (diz ele: a estrutura matemática é demasiada potente para minha mente sem formação¹⁰). Faraday inspira-se nas teorias de Boscovich (no livro intitulado *Theoria Philosophiae Naturalis*, publicado em 1758), ele tenta elaborar uma teoria que esclareça os fenômenos elétricos a partir das simples forças intermoleculares; ele supõe que as vibrações elétricas que constituem a corrente elétrica são criadas no condutor pela presença de forças ou tensões eletrostáticas

¹⁰ A exceção honrosa e notável é a vibrante biografia científica escrita por Agassi (1971), que colocou a obra de Faraday no contexto apropriado da filosofia natural.

intermoleculares cujos valores variam rapidamente, tensões indescortináveis. W. Thomson (Lorde kelvin) convence-o a abandonar tal teoria e substituir esta por tensões eletromagnéticas mais intensas.

Segundo Aragão (2006, p.71), em 1845 Faraday explica que a rotação do plano de polarização da luz passando através de um meio isotrópico (que tem as mesmas propriedades em todas as direções) num campo magnético intenso: o efeito Faraday, ou poder rotatório magnético, faz entrever a possibilidade da unificação do eletromagnetismo e da ótica.

4.2 As equações de Maxwell e a natureza da luz

James Clerk Maxwell nasceu em 13 de junho de 1831 na zona de Edimburgo. Com apenas 8 anos perdeu sua mãe, que faleceu de câncer. Ele então recebeu a maior de sua educação básica em casa e aos 16 anos (note a Figura 25) ingressou na Universidade de Edimburgo e lá se graduou em Filosofia Natural (como era chamada a Física nessa época), Filosofia Moral e Filosofia Mental, e logo depois cursou Matemática na Universidade de Cambridge (onde Isaac Newton tinha estudado), na Inglaterra.



Figura 25: (James Maxwell: físico e matemático britânico)

FONTE: Disponível em: <<http://www.biography.com/people/james-c-maxwell-9403463>> Acesso em 13/01/2013.

Já para Oliveira (2010, p.249) e Pires (2011, p.277-288) relatam que Maxwell interessou-se por diversos assuntos em Ótica e Visão, Astronomia, Termodinâmica, Mecânica e Geometria, investigando essas áreas. Mas sua grande contribuição para a História da Ciência foi a unificação de todo o conhecimento adquirido sobre eletricidade e magnetismo até o fim

do século XIX em uma única teoria, descrita por quatro equações básicas, que na época ficaram conhecidas como equações de Maxwell. Uma das consequências mais importantes dessa descoberta foi à comprovação da natureza da luz. Aragão (2006, p.73-73; 196), conta que no ano de 1873 Maxwell publica um livro intitulado *Treatise on Electricity and Magnetismo*, ou “Tratado sobre Eletricidade e Magnetismo”, seu trabalho começou com uma extensão das teorias de eletricidade e das linhas de indução magnéticas de Faraday, (era uma síntese coerente da eletricidade, magnetismo e ótica. Este material estava aglutinado em dois grandes volumes) estabelecendo conexões entre várias teorias existentes na época. Como nos diz Rocha et al.(2002, p.263), Maxwell conseguiu formular uma das mais elegantes teorias já concebidas de todos os tempos, sintetizando as equações do Eletromagnetismo. Em seu tratado sobre Eletricidade e Magnetismo, descreveu uma formulação matemática na qual conseguiu unificar as leis de Coulomb, Oersted, Ampère, Biot e Savart, Faraday e Lenz, atualmente conhecidas como Equações de Maxwell. Campos elétricos e magnéticos satisfazem uma equação análoga às de ondas elásticas, a onda eletromagnética tendo a mesma velocidade da luz. Conclui-se, portanto, que a natureza da luz é eletromagnética.

Segundo Rocha et al.(2002, p.264), citando agora Maxwell, a respeito de sua descoberta:

“A velocidade das ondulações transversais no nosso meio hipotético, calculada a partir das experiências de Eletromagnetismo efetuadas pelo Srs. Kolhraush e Weber (311.000 km/s) tem um valor tão próximo do valor da velocidade calculado a partir de experiências de Óptica realizadas pelo Sr Fizeau que é difícil de evitar a inferência de que a luz consistirá em ondulações transversais do mesmo meio que é a causa dos fenômenos elétricos e magnéticos.” (ROCHA, et al., 2002, p.264).

Para Bem-Dov (1996, p.103-104) a confirmação da hipótese de Maxwell da luz ser de origem eletromagnética foi feita em 1887 pelo físico alemão H. Hertz. Esta confirmação se deu por meio de um circuito oscilante que produziu ondas que podiam ser refletidas, refratadas, difratadas e polarizadas da mesma forma que a luz. Maxwell conseguiu unir três ramos do conhecimento científico da época em uma única teoria: Eletricidade, Magnetismo e Óptica. Como consequência disso, no final do século XIX, acreditava-se que pouco ou nada restava para ser adicionado ao conhecimento do Eletromagnetismo e da Mecânica Newtoniana. Porém, ainda restavam alguns problemas. Dentre eles podemos destacar o fato de que se a luz é uma onda, necessita de um meio para se propagar, pois, segundo o conhecimento da época, todas as ondas (mecânicas) necessitavam de um meio para sua propagação.

Conceitualmente, nos ensina Tales (2008, p.231-240), as equações de Maxwell descrevem como cargas elétricas e correntes elétricas que agem como fontes dos campos elétrico e magnético. Além do mais, as equações de Maxwell descrevem como um campo elétrico que varia no tempo gera um campo magnético que também varia no tempo, e vice-versa, as outras duas delas, a lei de Gauss para a eletricidade e a lei de Gauss para o magnetismo, descrevem como os campos são gerados a partir de cargas.

4.2.1 A lei de Gauss para a Eletricidade

Essa primeira lei das quatro equações de Maxwell, proposta originalmente pelo matemático alemão Carl Friedrich Gauss (1777-1855), é equivalente à lei de Coulomb em situações estáticas. Ela relaciona os campos elétricos e fontes – as cargas – e pode ser aplicada mesmo para campos elétricos variáveis com o tempo. Na forma integral:

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0} \quad (3)$$

onde Q_{int} é a carga total e na forma diferencial fica:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (4)$$

onde ρ é a densidade de carga.

A equação (3) é a primeira equação de Maxwell, ela é simplesmente a lei de Gauss para o campo elétrico, onde afirma que a integral de superfície de \vec{E} sobre uma superfície fechada é igual a $\frac{1}{\epsilon_0}$ vezes a carga total (Q_{int}) existente no interior da superfície fechada considerada.

4.2.2 Lei de Gauss para o Magnetismo

Essa lei é similar à primeira equação de Maxwell, mais aplicável aos campos magnéticos e evidenciando, ainda a não existência de monopólos magnéticos (não existe polo sul magnético ou polo norte magnético isolado). De acordo como essa lei, as linhas de

indução de um campo magnético são sempre contínuas – não tem começo nem fim (são trajetórias fechadas), ao contrário das linhas de força de um campo elétrico, que se originam em cargas elétricas positivas e terminam em cargas elétricas negativas. Na forma integral:

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0 \quad (5)$$

e na forma diferencial:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (6)$$

A equação (5) refere-se à segunda equação de Maxwell, ela é a relação análoga para o campo magnético, que afirma que a integral de superfície de \vec{B} ao longo de qualquer superfície fechada é igual à zero.

4.2.3 Lei de Ampère generalizada

Descreve a relação entre um campo magnético e a corrente elétrica que o originou. Ela estabelece que um campo magnético seja sempre produzido por uma corrente elétrica ou por campo elétrico variável. Essa segunda maneira de se obter um campo magnético – a partir de um campo variável – foi previsto pelo próprio Maxwell, com base na simetria da natureza: se um campo magnético variável induz uma corrente elétrica (e, conseqüentemente, um campo elétrico), então um campo elétrico variável deve induzir um campo magnético. Na forma integral

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad (7)$$

Essa é a equação de Ampère modificada por Maxwell. Na forma diferencial fica:

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (8)$$

A equação (7) é a lei de Ampère incluindo a corrente de deslocamento. Ela afirma que existem duas fontes de campos magnéticos, a corrente de condução $I_c = (\mu_0 \vec{j})$ e a corrente de deslocamento $I_d = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

4.2.4 Lei de Faraday

A equação (9) é a quarta equação de Maxwell descreve as características do campo elétrico induzido originado por um fluxo magnético variável, quer dizer que: Campos elétricos "circulam" em torno dos campos magnéticos que variam com o tempo. Na forma integral:

$$\oint_c \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \int_s \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (9)$$

Na forma diferencial:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (10)$$

Estas equações formam a base de todos os fenômenos eletromagnéticos e em conjunto com a equação da força de Lorentz e segunda lei de Newton descrevem de forma completa a dinâmica clássica da interação de partículas carregadas e seus campos eletromagnéticos.

4.3 Ondas eletromagnéticas

Conforme nos diz Bem-Dov (1996, p.101-102), para a ciência do século XVIII e XIX, discutir a natureza da luz não era nada fácil, sempre foi algo complicado (na Europa continental, a teoria de Maxwell não teve boa aceitação, inicialmente, por causa da ideia de campo/éter ou éter luminoso. As teorias preferidas eram de ação direta à distância, que perdurava por muito tempo), pois ao longo da história da ciência descobriu-se que alguns fenômenos podem ser compreendidos quando consideramos a luz como onda eletromagnética enquanto outros só podem ser explicados quando a luz é considerada como uma partícula. É

UFC
FECA

neste contexto de descobertas que surgiu Maxwell para implantar sólidas bases para a teoria do eletromagnetismo.

De acordo com as equações de Maxwell, um campo magnético \vec{B} será produzido em um ponto do espaço se, nas proximidades, existe um campo \vec{E} variável. Foi a partir disso que Maxwell elaborou uma hipótese: se um campo magnético variável induz um campo elétrico, o campo elétrico pode, por si só, ser variável, e assim por diante. Quando aplicou suas equações a esses campos, Maxwell descobriu que os resultados da interação desses campos variáveis era a produção de ondas de campos elétricos e magnéticos. Pires (2002, p.264) explica que estas ondas poderiam se propagar até mesmo pelo vácuo e se apresentavam propriedades típicas de ondas mecânicas, como reflexão, refração, difração, interferência e transporte de energia. Todos estes fenômenos já eram bastante conhecidos na época, a essas ondas Maxwell chama de ondas eletromagnéticas.

Na onda eletromagnética, o campo elétrico variável \vec{E} e o campo magnético variável \vec{B} estão intimamente ligados: ambos variam em fase, ou seja, quando um deles atinge a intensidade máxima, o mesmo ocorre com o outro e, quando um deles se anula, o outro também se anula (conforme a Figura 26).

Além disso, os campos \vec{E} e \vec{B} são perpendiculares um com o outro e também a direção de propagação da onda que se desloca com velocidade \vec{V} . Isto permite classificar a onda eletromagnética como onda transversal.

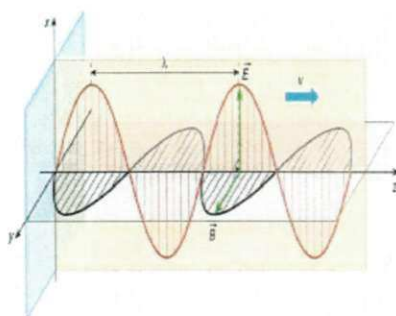


Figura 26: (Representação esquemática da oscilação das ondas eletromagnéticas)

FONTE: Disponível em: <<http://www.coladaweb.com/fisica/ondas/ondas-eletromagneticas>> Acesso em 18/01/2013

Observa-se que a distância entre dois pontos vizinhos de máximo do campo elétrico, ou do campo magnético, corresponde ao comprimento de onda λ da onda eletromagnética. Para as ondas eletromagnéticas vale também a equação fundamental das ondas.

$$V = \lambda \cdot f \quad (11)$$

A partir de suas equações, Maxwell pode estabelecer uma relação entre a intensidade E do campo elétrico e a intensidade B do campo magnético.

$$\frac{E}{B} = V \quad (12)$$

Onde V é a velocidades de propagação da onda.

Maxwell demonstrou ainda que, no vácuo, qualquer que seja a onda eletromagnética considerada, sua velocidade de propagação é constante, igual para todas é dada pela expressão:

$$V = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} \quad (13)$$

Em que ϵ_0 é a permissividade elétrica do vácuo e μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo. Estas constantes físicas valem:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{C^2}{N \cdot m^2} \quad \text{e} \quad \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$$

Com esses valores obtém-se:

$$V = 3 \cdot 10^8 m/s$$

Tal resultado é idêntico ao valor da velocidade de propagação da luz no vácuo, valor esse que já era conhecido com grande precisão na época de Maxwell (mais na época de Faraday, não havia medidas adequadas da velocidade da luz). A velocidade da luz é representada por c . então a velocidade de qualquer onda eletromagnética que se propaga no vácuo era: $c \cong 3 \cdot 10^8 m/s$. Para Salvestre (2008, p.70-94), com base nas descobertas da época, Maxwell propôs que a luz era onda eletromagnética, ou seja, consistia de oscilações transversais de um campo elétrico e um campo magnético, e que são a causa dos fenômenos elétricos e magnéticos.

A grande ideia de Maxwell não foi só unificar as teorias da eletricidade e magnetismo, mas também da Óptica. Eletricidade, Magnetismo e luz passavam a ser entendidos como aspectos de uma única teoria bem fundamentada no final do século XIX.

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Levando em consideração a etimologia da palavra método, que se origina do grego *methodos*, que tem em sua composição o termo *meta*: por meio de, e *hodos*: caminho, entendemos que a metodologia é a ordenação dos meios para se atingir determinado objetivo. Na presente pesquisa os “caminhos” usados objetivaram a clareza e precisão acadêmica. Essa clarividência foi exigida pelos seguintes motivos: por trata-se de um trabalho acadêmico, além de que essencialmente essa pesquisa propõe a análise do percurso histórico do eletromagnetismo do ponto de vista contextual. Dada a natureza da proposta dessa monografia existiu uma grande preocupação com a forma metodológica aqui usada.

Podemos de imediato e sintético dizer que o processo metodológico foi iniciado com um levantamento bibliográfico de caráter exploratório, onde se buscou reunir fontes necessárias para um bom embasamento teórico. Apesar da Física ser uma ciência experimental, devidos aos objetivos do presente trabalho preferiu-se usar o tipo de pesquisa já mencionado. Em escala decrescente de uso foram utilizados livros, artigos, teses, dissertações, revistas científicas, livros/texto, livros paradidáticos e livros didáticos. Todas as fontes tem um bom ou alto conteúdo científico, com conceitos físicos bem elaborados. A conceituação é um elemento indispensável do trabalho inicialmente proposto, levando em consideração que o pensamento é gerado com base em conceitos e para o conhecimento científico é fundamental no sentido ser fundante e basilar. Quando falamos em conceituar, de imediato vem a nossa mente a compreensão do conceito, que é o conjunto das características do objeto pensado. Essa caracterização evidentemente necessita de vocabulário. Na presente pesquisa foram utilizados três níveis vocabulares: o técnico, o específico e o comum. O uso deste vocabulário serviu para tornar as ideias extremamente técnicas, acessíveis, traduzindo-as para um modo mais simples, mas nunca para o senso comum. O conceitual específico foi apresentado em um viés mais compreensível, pois tais conceitos têm significados particulares em determinado autor ou conjunto de ideias.

Dando andamento a exposição do percurso metodológico usado, a análise é algo que está presente de maneira evidente no texto-linguagem. Esse processo consiste em decompor em partes constitutivas do objeto, diminuindo sua complexidade. Esse método é encontrado nesse trabalho, pois o tema: Origem e evolução do eletromagnetismo é dividido em quatro capítulos. Essa análise tem um caráter fundamentalmente histórico. Outro processo lógico que se opõe ao analítico, mas que o complementa que usamos aqui é a síntese. Esse procedimento significa a reunião das partes que anteriormente foram desmembradas, possibilitando uma

visão una (unificadora) e geral dentro da contextualização dos relatos presentes. Essa metodologia pode ser vista no quarto capítulo, onde temos mostrado a unificação da eletricidade, do magnetismo e da ótica, elementos esses que estavam separados na exposição dos capítulos precedentes. Diante disso fica clara a importância da análise e da síntese para a lógica do presente estudo. Para finalizar é válido ressaltar que se procurou não apenas citar fatos históricos da ciência, mas também acontecimentos políticos, sociais, religiosos. Enfim uma contextualização considerável que provocou uma melhor compreensão do objeto de estudo. Essa contextualização histórica serviu também para mostrar que os cientistas e suas descobertas não estão imunes a mudanças em sua época ou a seu contexto social.

em cursos de graduação. É de se esperar que seja de grande apoio e importância em detalhes e que sirva imensamente de suporte para alunos de nível intermediário que queiram se aprofundar na história e filosofia da ciência, bem como para alunos engajados junto à academia, em especial, aqueles que estão cursando Física III, Prática de ensino III, Física Experimental III, e História e Filosofia da Ciência de onde nasceu este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, Beatriz. **Curso de Física**, v.2-3; 6 ed. São Paulo: Scipione, 2010.
- ARAGÃO, José Maria Sacadura. **História da Física**. Rio de Janeiro-ed: Interciência, 2006.
- ASSIS, André Koch Torres. **Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade**-Apeiron Montreal, 2010.
- BARROS, Henrique G.P.Lins. **Interação do Campo Magnético da Terra com os Seres Vivos: História da sua Descoberta**-Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 22, no. 3, Setembro, 2000.
- BENIGNO, Barreto Filho. **Coleção de Física**-1º.ed. São Paulo: FTD, 2010.
- BONI, Saponara R. **A pilha de Alessandro Volta (1745-1827): diálogo e conflitos no final do século XIII e início do século XIX. (dissertação de mestrado)** - PUC, Pontífice Universidade Católica de São Paulo, 2007.
- BOSS, Sergio Luiz Bragatto. **Os conceitos de eletricidade vítrea e eletricidade resinosa (RBEF)**, V.29, n.4, p. 635-644, de (2007).
- BRAGA, Marcos. **Uma abordagem Histórica- Filosófica para o Eletromagnetismo no ensino médio**. CEFET-RJ-Rio de Janeiro – RJ /Cad. Bras. Ens. Fís., 228 v. 21, n. 2: p. 224-248, ago. 2004.
- BRAGA, Marcos. **Breve História da ciência moderna**, v.3-Rio de Janeiro: ZANHAR Ed., Edição - 2005.
- CHASSOT, Attico, 1939-. **A ciência atravez dos tempos**. 2-ed. Reform. – São Paulo: moderna, 2004.
- CLAUDIO, Silva Xavier da otica. 1º, Ed,-São Paulo: FTD, (**coleção da Física aula por aula**; v.2), 2010.
- FORATO, Thaís C. M. **A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz. (tese de doutorado)**–Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- FORATO, Thaís C. M. **O éter, a luz e a natureza da ciência. Texto 4: Fim do século XVII: corpúsculos ou pulsos no éter?** Laboratório de Pesquisa e Ensino de Física da Faculdade de Educação da USP, 2007.
- FUKE, Luiz Felipe. **Física para o ensino médio**-1. Ed.- São Paulo: Saraiva 2002.
- GAULTER, Biscola José. Física volume 2, Etora: Saraiva - São Paulo, 2010.

- RODRIGUEZ, Gustavo Jesus Bracho. **O Porquê de Estudarmos os Materiais Magnéticos-** Revista Brasileira de Ensino de Física vol. 20, no. 4, Dezembro, 1998.
- ROSA, Carlos Augusto de Proença. **História da ciência: da antiguidade ao renascimento científico** / Carlos Augusto de Proença. — 2. ed. — Brasília : FUNAG, 2012.
- SALVESTRE, Alfredo Roque. **A História da luz-** 2. Ed.rev- SP: ed. Livraria da Física, 2008.
- SAMPAIO, José Luiz. **Universo da Física.** 2 ed: São Paulo, 2005.
- SEVERINO, Antônio Joaquim, 1941- **Metodologia do trabalho científico**/Antônio Joaquim Severino. — 22. Ed.rev. e ampl. - São Paulo: Cortez, 2002.
- SILVA, Cibele Celestino; PIMENTEL, Ana Carolina. **Associação de Filosofia e história da Ciência no Cone do Sul**-seleção de trabalhos do 5º encontro. (AFHIC), 2008.
- SILVA, Fábio W. O. **A Evolução da Teoria Ondulatória da Luz e os Livros Didáticos.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v.29, n.1, p.149-159, 2007.
- SILVA, Ícaro Ilo da. **Tópicos de Física Moderna no ensino médio sob uma perspectiva do nanomagnetismo(dissertação de mestrado)**-Santa Maria, RS-2011.
- TALES, Lara Kuhl. **Notas de aula-FIS32**, 21 de Julho de 2008.
- YOAV, Ben- Dov. Tradução, Maria Luiza. X. De Almeida: **convite a Física** – Rio de Janeiro, 1996.