

UMA PROPOSTA HISTÓRICA E EXPERIMENTAL PARA O ESTUDO DOS MULTIPLICADORES DO EFEITO MAGNÉTICO

A historical and experimental proposal to study the multipliers of magnetic effect

Andréa Raquel da Silva Lima [andreaslimaa@gmail.com]

Mestranda – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - UEPB

Ana Paula Bispo da Silva [anabispouepb@gmail.com]

Universidade Estadual da Paraíba - UEPB

R. Baraúnas, 351 - Universitário, Campina Grande, Paraíba, 58429-500

Luciano Feitosa do Nascimento [luciano.nascimento@ifpb.edu.br]

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB

R. Tranqüilino Coelho Lemos, 671 - Dinamérica, Campina Grande, Paraíba, 58432-300

Recebido em: 29/09/2020

Aceito em: 14/04/2021

Resumo

Apesar do consenso entre educadores, historiadores e filósofos sobre a potencial contribuição da História da Ciência para o ensino de Ciências, poucas pesquisas empíricas trazem resultados que corroboram esse fato. Este trabalho pretende trazer contribuições nessa perspectiva, apresentando um plano de aula, utilizando a história da ciência e experimentos, que trouxe resultados interessantes durante o seu desenvolvimento em sala. Para a elaboração do plano de aula consideramos alguns pressupostos como: um estudo de caso histórico relacionado a uma prática experimental; a presença de uma perspectiva controversa na interpretação dos fenômenos; uma atividade experimental com abordagem investigativa; e uma sala de aula pautada pela problematização e o debate de ideias. O estudo de caso histórico escolhido foi a invenção do multiplicador do efeito eletromagnético relatado por Oersted em 1820. Após a discussão teórica sobre os problemas que envolviam a eletricidade e o magnetismo durante o século XIX, e o contato com os instrumentos criados para resolvê-los, os alunos perceberam que era necessário melhorar os resultados. Ao fazer isso, os alunos se comportaram, sem saber disso, como os personagens históricos e criaram seu próprio multiplicador. Este trabalho mostrou que a criação do ambiente investigativo em sala de aula, aliada à abordagem histórica, contribui efetivamente para o aprendizado da Ciência e sobre a Ciência.

Palavras-chave: História da Ciência; Experimentação; Multiplicadores Eletromagnéticos.

Abstract

Despite the consensual among educators, historians and philosophers about the potential contribution of the History of Science to Science teaching, few empirical studies bring results that corroborate this fact. This work intends to bring contributions in this perspective, presenting a lesson plan, using the history of science and experiments, which brought interesting results during its development in the classroom. To elaborate the lesson plan, we considered some presuppositions as: a historical case study related to an experimental practice; the presence of a controversial perspective on the interpretation of the phenomena; an investigative approach to the experimental activity; and an inquiry-based classroom. The historical case study chosen was the invention of the multiplier of the electromagnetic effect reported by Oersted in 1820. After the theoretical discussion

about the problems evolving electricity and magnetism during 19th century, and the contact with the instruments created to solve them, students realized that was necessary to improve the results. In doing this, students behaved, without to know that, like the historical characters and create their own multiplier. This work showed that the creation of the investigative environment inside the classroom, together with the historical approach, contributes effectively to learn Science and about Science.

Keywords: History of Science; Experimentation; Electromagnetic multipliers.

Introdução

A História da Ciência (HC) tem fornecido inúmeras contribuições para o Ensino de Ciências, tanto no ensino fundamental, como no ensino médio. Em muitos casos, além de contextualizar o conhecimento científico, abordagens históricas podem fornecer aos estudantes oportunidades de questionar e melhor compreender as interações da ciência com processos sociais, econômicos e culturais (Ortega & Moura, 2020).

De acordo com Vital & Guerra (2017) apesar das potencialidades percebidas em relação à introdução da HC no ensino, pesquisas têm apontado obstáculos a essa implementação. Um dos principais pontos é em relação as dificuldades que os professores enfrentam ao planejarem e executarem aulas utilizando a HC, como o currículo escolar voltado para os exames vestibulares, o pouco tempo disponível, a resistência e o desinteresse dos alunos, a falta de preparo do professor e a falta de material didático adequado.

Hottecke & Silva (2011), ao examinarem as dificuldades de implementação da HC, voltaram a atenção para os aspectos da cultura do ensino de Física. Os autores afirmam que, na perspectiva dos professores, o objetivo do ensino da Física é expressar claramente as verdades sobre a natureza, não cabendo aí debates e discussões com os alunos. Os estudantes, por sua vez, acreditam que os conhecimentos científicos não devem ser discutidos ou negociados, mas memorizados.

Diante das problemáticas apontadas, faz-se necessário a criação de uma proposta que vise esclarecer para aluno e professor, a importância da História da Ciência, de modo que ambos possam discutir aspectos da construção do conhecimento científico, associando às situações cotidianas e conhecimentos prévios existentes.

Para Silva (2011) a HC pode ser inserida de diversas formas no ensino, por exemplo, o uso de experimentos históricos, debates, júri simulado e encenações teatrais, entretanto sua principal aparição ainda é através de textos históricos. Segundo Pinto, Silva & Pinto (2018) a associação da história da ciência com a instrumentação, proporciona um ambiente educacional problematizador e contextualizado, enfatizando conhecimentos históricos e a provisoriade do conhecimento científico.

A História da Ciência no ensino bem como a experimentação, têm sido consideradas abordagens que podem promover tanto o estímulo quanto a aprendizagem no Ensino de Ciências. Partindo de pressupostos diferentes, as duas abordagens têm o mesmo objetivo: tornar a aula de ciências um ambiente que promova a aprendizagem de ciências de forma não mecânica, fomentando a argumentação e a participação dos alunos (Pinto, Silva & Ferreira 2017, p. 01).

Partindo dessas ideias, este relato apresenta uma intervenção que utilizou história da ciência aliada à experimentação. Com a intenção de construir um ambiente problematizador, procuramos por um episódio histórico da física que pudesse incluir a influência do contexto sociocultural, como também possibilitar a ênfase em determinados conteúdos conceituais e procedimentais. Optamos pelo episódio histórico que trata dos multiplicadores do efeito magnético, que surgiram logo após um experimento feito pelo físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) em 1820¹. Os multiplicadores foram instrumentos criados em 1821 para intensificar os efeitos observados por Oersted e assim, corroborar a ideia de que o efeito elétrico produzia efeitos magnéticos.

História da ciência aliada à experimentação

A abordagem histórica é indicada por vários estudiosos como uma possibilidade para trazer discussões sobre as ciências para as salas de aula. De acordo com Kokkotas & Rizaki (2011), nos últimos 20 anos, ocorreu um aumento considerável no interesse em incluir a História da Ciência no Ensino de Ciências, proposta que avançou por toda a escolaridade, da educação básica até o ensino superior.

Alguns fatores que favorecem esse interesse são: a utilização da HC para identificar e superar obstáculos epistemológicos referentes à aprendizagem, o desejo por uma educação científica de qualidade através da inclusão de elementos históricos no ensino e a crise no Ensino de Ciências, verificada através das altas taxas de analfabetismo científico e abandono em massa do Ensino de Ciências, ou seja, evasão de professores e alunos das salas de aula de ciências (Ribeiro & Silva, 2017).

Os estudiosos que recomendam a abordagem histórica no ensino afirmam que ela pode contribuir para humanizar a ciência, motivar os alunos, promover a reflexão sobre o papel da ciência na sociedade contemporânea e a discussão sobre o seu processo de construção, facilitando a compreensão dos limites e possibilidades do conhecimento científico (Vital & Guerra, 2017).

Além disso, a HC traz uma importante contribuição para o ensino/aprendizagem dos conceitos científicos, contrapondo-se a uma visão excessivamente matematizada e descontextualizada das ciências, funciona como papel motivador e possibilita discutir questões pertinentes ao desenvolvimento científico, entre outras vantagens (Forato, Martins & Pietrocola, 2012).

Entretanto, inserir uma abordagem histórica no Ensino de Ciências não é uma tarefa simples. Dentre os obstáculos enfrentados por professores que decidem utilizar a HC no ensino de conhecimentos científicos, inclui-se a escassez de textos confiáveis e acessíveis que possam ser utilizados como material didático. Por outro lado, a utilização de textos também parece não atingir o objetivo de desenvolver competências argumentativas e investigativas relacionados aos processos da ciência e ainda concorre para não estimular os alunos (Souza & Silva, 2014).

Nessa perspectiva, os experimentos históricos se apresentam como importantes aliados para se trabalhar História da Ciência, uma vez que os trabalhos empíricos muitas vezes são referenciados como argumentos fundamentais para a resolução de controvérsias, validação ou refutação de teorias (Jardim & Guerra, 2018).

¹ Quanto ao episódio histórico referente ao Oersted sugerimos a leitura de Martins (1986).

Para Souza, Silva & Araujo (2014) esse tipo de abordagem experimental é considerado como uma oportunidade para associar os benefícios da história da ciência às atividades em sala de aula. Ela permite alcançar tanto os estudantes que têm preferência por disciplinas relacionadas à área de humanas, estimulados pelos relatos históricos, como aqueles que preferem atividades experimentais.

As dificuldades enfrentadas pelos estudiosos, se percebidas pelo aluno, ajudam no entendimento da construção da ciência enquanto objeto humano e humanizado. Essa característica humana é perdida na forma mecânica como tem sido demonstrada a ciência ao longo dos anos. As percepções dos alunos podem ajudar na capacidade de reflexão, argumentação e resolução de problemas, como afirmam alguns autores ao trabalharem com a reprodução de experimentos (Silva, 2017).

Filósofos, historiadores e professores de ciências acreditam que a partir da leitura do experimento original, seu contexto e personagem principal - um cientista ou filósofo natural - é possível discutir aspectos epistemológicos da ciência bem como as influências sociais sobre o trabalho científico. Ao reconstruir os experimentos originais ou similares, estudantes podem compreender os conceitos físicos envolvidos e as dificuldades encontradas no trabalho experimental. Conhecer o experimento original, os fatos relacionados a ele e quando foi realizado pela primeira vez pode elucidar muitos aspectos do trabalho científico e as fragilidades das teorias. Este tipo de atividade experimental também auxiliaria no desenvolvimento de capacidades argumentativas e de resolução de problemas (inquiry-based), enfatizando a provisoriade do conhecimento científico (Souza, Silva & Araujo, 2014, p. 02).

O experimento então se caracteriza como objeto problematizador, onde as possibilidades serão encontradas ao ser explorado durante as aulas. Sabe-se que nem sempre a escola dá a oportunidade de o professor explorar o experimento, o que faz com que ele opte por roteiros experimentais. Isso nem sempre é positivo para o aluno, pois a utilização de roteiros pode limitar ou desestimular a formulação de hipóteses e testes, ou seja, o pensamento crítico² de quem manuseia o instrumento.

Ao propor a atividade investigativa, os próprios alunos irão planejar o experimento tentando solucionar o problema posto historicamente, utilizando para isso materiais e informações iniciais vindas da discussão sobre o episódio histórico. Ao longo do planejamento e da execução dos experimentos, os alunos são indagados pelas hipóteses que estão fazendo para solucionar o problema, buscando conduzi-los a uma conclusão parcial. Ao final toda as soluções são apresentadas e debatidas pela turma, buscando-se encontrar um consenso, tanto na produção do experimento quanto nas conclusões (Pinto, Silva, Ferreira, 2017). A etapa de planejamento e execução pode ser retomada a qualquer momento, caso os grupos vejam necessidade de rever suas hipóteses, ou caso haja novas informações. Durante a discussão das falhas e soluções são enfatizadas as características comuns entre a atividade realizada e aquela apresentada no episódio histórico.

Acredita-se que esse tipo de prática experimental baseada em episódios históricos é uma forma de aproximar o aluno da complexidade de aquisição do conhecimento científico. A relação entre o conhecimento cotidiano e o construído através de uma contextualização histórica pode não fazer sentido de imediato para aluno, mas após compreender que seus conceitos empíricos, suas

² Estamos nos referindo ao *Critical thinking*, conforme Halpern (1999). No entanto, não foi objeto deste trabalho estabelecer critérios ou categorias acerca do desenvolvimento do pensamento crítico dos alunos.

escolhas diante do experimento, suas indagações e avanços são similares aos sofridos pelos estudiosos, o aluno entende esse elo sentindo-se assim atuante, capaz e construtor do seu próprio conhecimento. (Silva, 2017).

Os multiplicadores do efeito eletromagnético

No final de 1819, durante suas aulas, Hans Christian Oersted (1777-1851) professor na Universidade de Copenhagen, realizou um experimento para verificar a relação entre eletricidade e magnetismo. O experimento consistia de um fio ligado a uma bateria galvânica formando um circuito. Quando o circuito era fechado, a agulha de uma bússola localizada sob o fio era defletida. Em seu relato Oersted (1986) afirma que o conflito elétrico gerado num condutor, por um aparelho galvânico (pilha), se dispersa circularmente ao redor do fio e afeta as partículas magnéticas da matéria. Segundo Martins (1986) após a divulgação do trabalho de Oersted, a reação mais comum dos estudiosos foi de incredulidade perante o relato. Não porque fosse incrível uma relação entre eletricidade e magnetismo – pelo contrário, isso era aceitável. O que não se podia aceitar era a simetria circular do efeito em torno do fio.

Tal descoberta foi descrita na Academia Real de Ciências da França em 4 de setembro de 1820 pelo então presidente Arago (1786-1853) que ao tomar conhecimento do trabalho de Oersted julgou ser impossível o fenômeno descrito, e que só veio a se convencer sobre os resultados quando lhe foi apresentado a repetição da experiência de Oersted perante a Academia (Chaib & Assis, 2007).

Os Multiplicadores

Quando o trabalho de Oersted se tornou conhecido, muitos estudiosos tentaram replicá-lo, buscando confirmar suas observações (Steinle, 1997). Para que a réplica fornecesse os mesmos resultados, era necessário que o circuito possuísse pequena resistência, o que nem todos sabiam à época. Confirmadas as observações, tentaram construir instrumentos que intensificassem o efeito magnético sobre a bússola, já que no experimento original a deflexão da bússola era muito pequena. Estes instrumentos ficaram conhecidos como multiplicadores e, de um modo geral, envolviam várias voltas de um fio de cobre formando espiras, com as extremidades livres para conectar à bateria. As voltas podiam ser sobrepostas ou paralelas, verticais ou horizontais, e no seu centro ficava a bússola (Steinle, 2003)

Na construção dos multiplicadores, diferentes variáveis influenciavam na deflexão da bússola, e muitas ainda não eram conhecidas e, portanto, não era possível saber diretamente o que afetava a intensidade e a direção do magnetismo ao redor do fio. Poderia ser o formato ou espessura do condutor, o número de voltas, o sentido da volta (horário ou anti-horário), e outros. Segundo Chipman (1966), pelo menos três estudiosos apresentaram instrumentos diferentes como uma possível solução para multiplicar o efeito magnético sobre a bússola. Johann Salomo Christoph Schweigger (1779-1857), Johann Christian Poggendorff (1796-1877) e James Cumming (1771-1831), independentemente um do outro, apresentaram modelos de multiplicadores em 1821, sendo os dois primeiros em alemão e o último em inglês.

Schweigger

Johann C. S. Schweigger (1779-1857), professor de física e química em Halle, e editor de um importante periódico, buscou reproduzir o experimento de Oersted, tentando intensificar o efeito

já visto. Seu procedimento experimental foi semelhante: a variação sistemática dos parâmetros da bateria e do fio de conexão. Ele percebeu que a ação eletromagnética era aprimorada quando o fio não só era colocado acima da agulha, mas também levado de volta abaixo dela. O procedimento poderia ser repetido, levando-o a enrolar o fio no espaço ao redor da agulha com muitas voltas, um arranjo que melhorava significativamente o efeito eletromagnético.

Esse "padrão de arco" mostrado na figura 1, foi a primeira ilustração que Schweigger deu de seu aparato, embora ele tivesse apresentado uma descrição verbal de um arranjo de bobina única um pouco antes. O objetivo do padrão do arco era mostrar que as agulhas magnéticas colocadas dentro dos dois laços seriam desviadas igualmente, mas de maneiras opostas (Chipman, 1966).

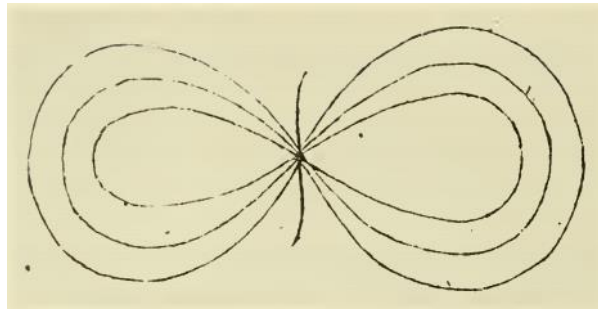


Figura 1 – Representação do multiplicador de Schweigger
Fonte: Chipman, 1966, p.130

O caminho do fio serpenteava de um lado para o outro e cada volta apresentava dobras maiores. Como todos os caminhos se cruzavam no meio, o revestimento de cera do fio teria evitado curtos. Os revestimentos de cera (e seda) que Schweigger usou para manter a eletricidade circulando pelos caminhos, estão entre os primeiros usos instrumentais de isolamento ao redor de fios com correntes voltaicas (Cavicchi, 2003).

Em uma versão subsequente de rotação única do instrumento, Schweigger transformou um fio de prata em uma espiral plana (Figura 2). Ele escreveu que a espiral era mantida plana, encaixando-a em madeira entalhada e amarrando-a com “fios de seda de maneiras bem conhecidas pelas mulheres ao fazer o trabalho de limpeza” (Chipman, 1966).

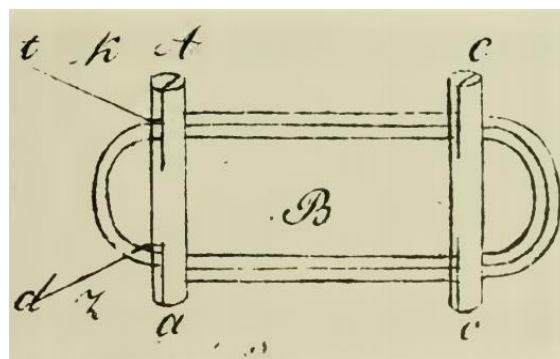


Figura 2 – Diagrama do multiplicador de Schweigger
Fonte: Chipman, 1966, p. 131

Para Chipman (1966), o multiplicador apresentado por Schweigger é o menos real dos três, pois suas hipóteses são inapropriadas e não há considerações sobre a influência dos polos do meridiano magnético no instrumento. Abaixo estão reproduções dos experimentos de Schweigger utilizados durante a aplicação dessa proposta.

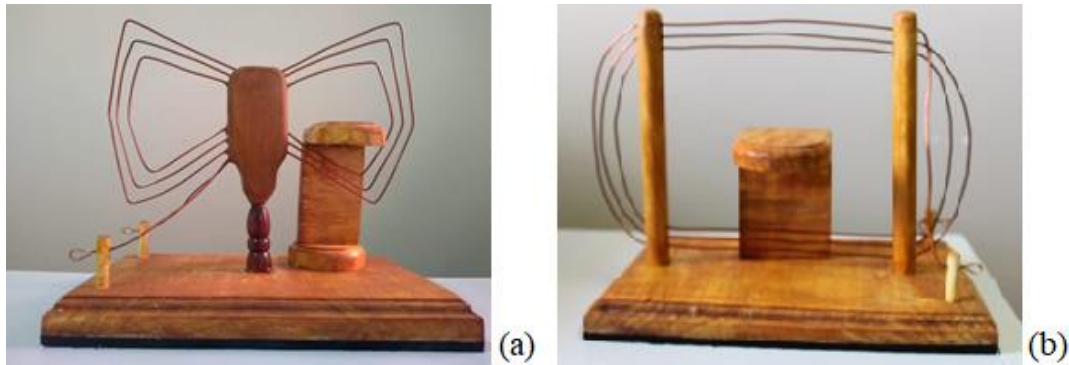


Figura 3 – (a) Modelo 1 de Multiplicador de Schweigger, (b) Modelo 2 de Multiplicador de Schweigger
Fonte: Arquivo Pessoal

Poggendorff

Aproximadamente ao mesmo tempo que Schweigger, o físico Johann C. Poggendorff (1796-1877) abordou, por estímulo de seu supervisor, o acadêmico Paul Erman, o tema eletromagnetismo, buscando também reproduzir o experimento de Oersted, a fim de intensificar o efeito eletromagnético. Por procedimentos semelhantes aos de Schweigger, e independente deste, chegou à conclusão de que o efeito eletromagnético poderia ser aprimorado aplicando muitos enrolamentos de fio em vez de apenas um.

A proposta de Poggendorff era uma bobina helicoidal oca de vários grupos (isto é, um solenoide de núcleo de ar) feita com fio de cobre fino revestido de seda; não era achatado no plano como o de Schweigger. Uma bússola magnética articulada foi colocada dentro dessa bobina retorcida, mas as orientações relativas da bússola e o eixo da bobina não foram especificadas - uma omissão que pode ter confundido contemporâneos. Em contraste com os dispositivos de Schweigger que não incluíam provisão para medição, a deflexão deste instrumento foi lida em graus angulares a partir do mostrador da bússola. Poggendorff experimentou diferentes tipos de bobinas - mais voltas, fio mais grosso, materiais diferentes - e mediu a resposta da agulha (Cavicchi, 2003).

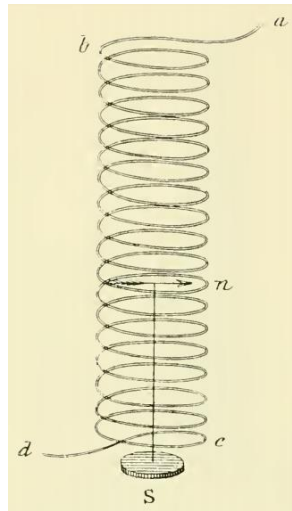


Figura 4 - Diagrama do condensador magnético de Poggendorff

Fonte: Chipman, 1966, p. 136

No entanto, as ambiguidades trabalharam contra fazer inferências definitivas. Ensaios sucessivos com várias bobinas mostraram maiores efeitos magnéticos quando as bobinas estavam todas conectadas através da célula voltaica paralela do que quando eles foram associados em série.

Poggendorff chamou seu arranjo de “condensador”, expressando assim, uma analogia entre as múltiplas rotações da bobina e as múltiplas placas de um condensador e variou seus parâmetros, como número de enrolamentos, sua conexão mútua (paralela, serial e mista, para uso posterior) e o diâmetro do fio (Steinle, 2003).



Figura 5 - Modelo do Multiplicador de Poggendorff

Fonte: Arquivo pessoal

Cumming

O trabalho de James Cumming (1771-1861), em Cambridge, é descrito em dois artigos que ele leu para a Sociedade Filosófica de Cambridge em 1821, que foram devidamente publicados nos trabalhos da mesma sociedade. O primeiro, (*On the Connexion of Galvanism and Magnetism*), foi lido em abril de 1822 e o segundo, (*On the Application of Magnetism as a Measure of Electricity*), foi lido algumas semanas depois, em 21 de maio (Chipman, 1966).

O instrumento de Cumming consistia em uma bússola magnética colocada dentro de um fio preso em "quatro ou cinco revoluções", que foi configurado de duas maneiras. Uma, a “espiral

vertical”, era plana, como a de Schweigger, enquanto a “espiral horizontal” como mostrado na parte superior na figura 6, era uma bobina helicoidal retangular (Cavicchi, 2003).

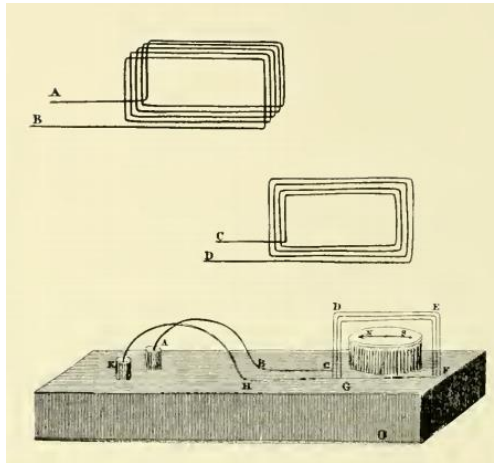


Figura 6 – Diagrama do Multiplicador de Cumming

Fonte: Chipman, 1966, p. 134

No aparato, uma bússola magnética é montada dentro de uma espiral retangular plana de fio (os segmentos inferiores do fio estão ocultos abaixo da superfície de suporte, assim como um ímã adicional). Quando um único par de placas voltaicas é conectado às duas extremidades da espiral, a agulha magnética desvia. Dependendo da posição que é colocada, a agulha pode defletir para leste ou oeste.

De acordo com Cavicchi (2003), Cumming não informou se a espiral vertical ou horizontal afetou mais a agulha magnética, exceto que a espiral vertical proporcionou "uma melhor visualização da agulha". A figura 7 mostra dois modelos do multiplicador de Cumming baseados em Chipman (1966) utilizados durante a proposta desse trabalho.

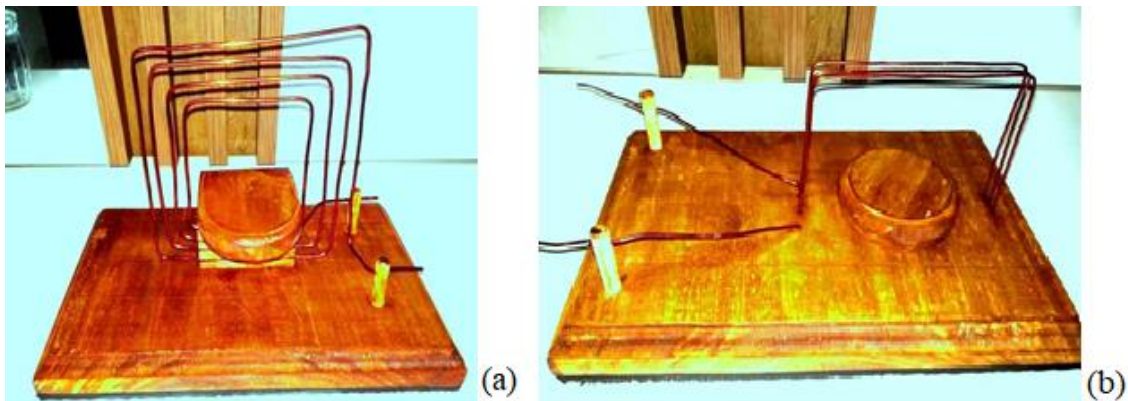


Figura 7 – (a) Modelo Vertical, (b) Modelo Horizontal

Fonte: Arquivo pessoal

Proposta Didática

O cronograma abaixo foi elaborado levando em consideração aulas com duração de 50 minutos, tempo de uma aula na escola onde ocorreu a aplicação. É composto por um total de quatro encontros, sendo cada encontro com duas aulas. Essa proposta foi aplicada em uma turma de estudantes do terceiro ano do ensino médio integrado a um curso técnico de uma escola pública

federal. No total, 10 estudantes participaram da atividade, sendo divididos em 3 grupos (dois grupos de três estudantes e um de quatro)

Na ocasião, a professora vigente que ministrou as aulas, era estagiária nessa mesma turma, entretanto, a atividade foi realizada em um horário à parte, como uma atividade extracurricular. A proposta não foi aplicada durante as aulas de física, pois no curso técnico dessa turma o conteúdo só seria visto no próximo bimestre, sem contar as poucas horas destinadas para as aulas de física, que possivelmente não seriam suficientes para executar toda proposta sem atrasar conteúdos posteriores. Todavia, o fato de os alunos não terem visto ainda o conteúdo em sala, foi um ponto positivo na execução da proposta, pois facilitou o ensino investigativo. Supomos que este tenha sido o motivo pelo qual os discentes não tiveram dificuldade em usar conceitos históricos nas discussões, ou nas apresentações, já que a maioria parecia não ter conhecimento dos termos atuais ainda. As aulas foram ministradas uma vez por semana e sofreram algumas modificações em relação ao que foi previsto no Quadro 1, conforme será explicitado no relato individual dos encontros.

Quadro 1 – Cronograma de Aplicação da Proposta

Encontro	Aula	Discussão	Recursos
I	<p><u>Aula 1</u></p> <p>Contextualização sobre os estudos em eletricidade.</p> <p><u>Aula 2</u></p> <p>Realização de experimentos vistos em teoria na aula 1. Apresentação de proposta de leitura para a turma.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Contextualização sobre eletricidade apresentando episódios históricos e relacionando com exemplos do cotidiano. Prática experimental realizada pelos grupos, identificando de qual instrumento histórico se tratava cada experimento. Entrega do texto “Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética.” para ser lido em casa e discutido no próximo encontro. 	<ul style="list-style-type: none"> Aula expositiva através de <i>slides</i>. Experimentos históricos: versório, eletróforo, máquina eletrostática, garrafa de Leiden e a pilha de Volta. Texto histórico impresso.
II	<p><u>Aula 3</u></p> <p>Apresentação da biografia de Oersted. Debate do episódio histórico da descoberta do Eletromagnetismo.</p> <p><u>Aula 4</u></p> <p>Prática experimental</p>	<ul style="list-style-type: none"> Breve apresentação sobre a vida e estudos de Hans Christian Oersted. Discussão sobre as observações de cada aluno em relação ao texto lido. Relacionando as interpretações, a fim de realizar o experimento de Oersted posteriormente. 	<ul style="list-style-type: none"> Aula expositiva através de <i>slides</i>. Roda de conversa entre alunos e professor. Kit com experimento de Oersted: fio condutor, bateria e bússola.

	para reproduzir o que leram no texto sobre o Experimento de Oersted.	<ul style="list-style-type: none"> • Prática experimental do instrumento histórico de Oersted, verificando o que foi lido no texto. • Indagação sobre como intensificar o efeito visto. 	
III	<u>Aula 5/ Aula 6</u> Criação dos multiplicadores.	<ul style="list-style-type: none"> • Criação do seu próprio multiplicador por parte de cada grupo, com intuito de intensificar o efeito visto do experimento de Oersted. 	<ul style="list-style-type: none"> • Kit para criação de multiplicadores: fios condutores, baterias, pilhas e bússolas.
IV	<u>Aula 7</u> Apresentação dos experimentos dos grupos. <u>Aula 8</u> Mostra dos multiplicadores de Poggendorff, Schweigger e Cumming aos alunos.	<ul style="list-style-type: none"> • Exposição dos multiplicadores de cada grupo com a respectiva justificativa sobre os fatores que usaram para aumentar a deflexão na bússola. • Apresentação dos multiplicadores de Poggendorff, Schweigger e Cumming, com intuito de comparar se os multiplicadores dos grupos se assemelhavam aos modelos do século 19. 	<ul style="list-style-type: none"> • Multiplicadores criados pelos alunos. • Experimentos históricos: multiplicadores de Poggendorff, Schweigger e Cumming.

Aplicação da Proposta

Abaixo trazemos de forma detalhada o que foi executado em cada encontro e as mudanças realizadas em relação ao planejado. Algumas falas de estudantes que serão relatadas durante a descrição foram retiradas de gravações de voz realizadas em sala de aula durante a proposta para coletar dados. Essas falas estão em destaque entre aspas e em itálico.

Encontro I

Na primeira aula foi apresentada para a turma (através de *slides*) uma linha do tempo a respeito da história da eletricidade, desde os primeiros estudos até meados do século XIX. Foram mostrados alguns dos principais episódios históricos que marcaram a história da eletricidade, buscando comentar os experimentos associados a cada episódio, como versório, eletróforo, máquina eletrostática, garrafa de Leiden e a pilha de Volta. Os grupos foram bastante participativos e fizeram comentários a respeito do que estava sendo explanado, por exemplo quando falado sobre versório³ um aluno participa:

³ 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 bússola magnética em sua construção, exceto pelo fato do membro horizontal não ser magnetizado.

“O que acontece nesse versório é parecido com o que acontece quando esfregamos a caneta no cabelo e aproximamos de pedaços de papel, eles grudam na caneta.”

Em seguida o colega questiona:

“Então quer dizer que na caneta a gente produz uma quantidade de matéria elétrica e por isso o papel fica grudado?”

A fala do aluno sobre “matéria elétrica” corrobora nossa afirmação inicial de que buscou-se trabalhar com o conteúdo de forma diacrônica. Caso houvesse um paralelo com os conceitos como são entendidos atualmente o aluno afirmaria acerca da “troca de carga elétrica.” No entanto, os estudos de eletricidade até aproximadamente 1897, quando foi estabelecida a carga elementar, assumiam a eletricidade como uma matéria elétrica fluida, contínua (Home, 2003, p. 236). De modo geral, assumir o conceito de carga elétrica nas explicações de eletrostática, acaba levando a um obstáculo conceitual posteriormente, como a ideia de que as cargas saem/entram dos/nos corpo eletrizados simplesmente através do atrito ou contato (Pinto, Silva & Pinto, 2018).

Ainda durante a aula expositiva com *slides* foi apresentado um experimento do inglês Stephen Gray, no qual ele suspende um menino por fios isolantes (corda de seda), com a face do menino para baixo, segurava o tudo de vidro atritado perto da sola dos seus pés, sem tocá-los, e então observava que folhas de ouro eram atraídas pela face do garoto, chegando a subir até 30 cm (Assis, 2010). Uma representação dessa experiência encontra-se na figura abaixo.

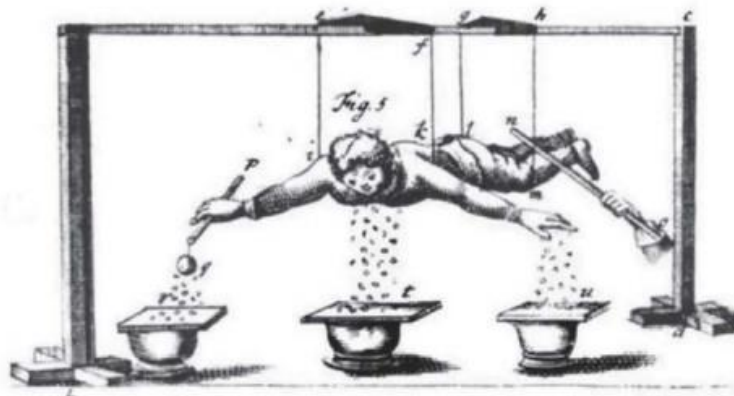


Figura 8 – Experiencia do garoto suspenso
Fonte: Assis, 2010, p. 259

Porém, foi explicado que após um tempo essas folhas atraídas pelo corpo do menino começam a cair, devido um equilíbrio entre a matéria elétrica existente no corpo dele e nas folhas de ouro. Após essa explanação o mesmo aluno que havia questionado antes, afirmou:

“Ah! Na verdade, o papel não fica grudado no versório, porque vai acontecer igual o experimento do menino pendurado: depois de um tempo o papel vai cair, pois a quantidade de eletricidade no papel e na caneta ficam estabilizadas igualmente”

Conceitualmente, a habilidade do 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 bússola detecta o torque magnético exercido pela Terra (Assis, 2010).

Cabe destacar aqui como algumas concepções históricas, como a de matéria elétrica fluida, parecem explicar mais intuitivamente o fenômeno do que concepções mais modernas, que assumem a estrutura da matéria. Nesse sentido, ressalta-se o valor da abordagem histórica principalmente para o professor, que pode compreender como algumas concepções prévias dos alunos se assemelham a ideias adotadas historicamente.

Foi ressaltado com os estudantes que experimentos divertidos como o do menino suspenso, eram comuns naquele contexto e tomavam lugar nas chamadas palestras itinerantes, nas aulas particulares e mesmo em locais formais de ensino como as universidades. Realizar um experimento cumpria as funções de apresentar e discutir questões científicas e, também, de entreter pessoas, chamando a atenção do grande público para os assuntos científicos ou despertando interesse para os estudos desenvolvidos à época (Jardim & Guerra, 2017).

O que também chamou atenção dos alunos nesse momento foi a respeito das profissões dos estudiosos citados na aula, já que, para eles, algumas daquelas profissões não tinham nenhuma relação com a física, como por exemplo ao apresentar um breve histórico sobre a criação da pilha, ao mencionar os experimentos do médico Luigi Galvani (1737 - 1798) e suas contribuições para a ciência, outro aluno indagou: *“por que um médico estava estudando sobre eletricidade?”*. O questionamento do aluno permite que outros assuntos sejam abordados durante a aula, como a interdisciplinaridade necessária à ciência, bem como complexidade do conhecimento científico, que envolve diferentes expertises. Durante essa aula também buscou-se utilizar termos que eram usados na época dos episódios históricos e não os atuais como por exemplo, carga elétrica, força elétrica, campo elétrico etc.

Na segunda aula desse mesmo encontro, os alunos receberam alguns dos experimentos históricos vistos na primeira aula para realizarem a prática experimental: versório, eletróforo, máquina eletrostática, garrafa de Leiden e a pilha de Volta. Os grupos tiveram oportunidade de montar os experimentos e verificar na prática o funcionamento, também obtiveram êxito na explicação sobre o funcionamento dos experimentos, baseando-se no que viram na aula. A dinâmica realizada foi que os alunos identificassem cada experimento de acordo com o que foi visto na aula anterior e explicassem o funcionamento associando a época do experimento e quem o propôs.

Vale ressaltar que eles explicaram os fenômenos de acordo com o que viram na aula 1 sem utilizar termos atuais: por exemplo, *“quando a gente atrita o canudo ele fica com acúmulo de matéria elétrica”* ao invés de usar por exemplo, *“carga elétrica”*. Ao final dessa aula os alunos receberam o texto intitulado *“Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética”*⁴ de Hans Christian Oersted e foram instruídos a lerem em casa e trazerem observações para um debate em sala de aula no próximo encontro.

Encontro II

No segundo encontro foi apresentada uma breve biografia de Hans Christian Oersted e sobre o cenário em que ele estava inserido antes do episódio da descoberta do eletromagnetismo. Em seguida foi iniciado o debate acerca das observações trazidas pelos alunos.

Um fato surpreendente é que os alunos realmente leram o texto em casa e trouxeram dúvidas para o debate, mesmo se tratando de um texto histórico e não tão comum no cotidiano

⁴ O texto utilizado é uma tradução de Roberto de Andrade Martins, e pode ser visualizado em Oersted (1986).

deles, já que utilizamos a tradução do texto do próprio Oersted. No debate foram bastante participativos trazendo primeiramente os pontos que conseguiram entender como:

“Oersted fala que, quando a bússola é colocada próxima do fio, a agulha da bússola tem um desvio.”

Outra aluna apresenta de forma mais completa o leu:

“Oersted pega um fio metálico e deixa o fio reto na posição horizontal acima da bússola, ele também afirma que é importante o fio ficar paralelo a bússola. Fazendo isso, a agulha magnética vai se mover e dependendo de como posicionamos o fio, ela pode ser mover para leste ou oeste.”

Questionados sobre o porquê de isso ocorrer, um aluno respondeu:

“É porque a agulha tem característica magnética como a gente viu na aula do versório, então se no fio está passando um fluido elétrico quem vem da bateria, e provoca um deslocamento da agulha, é porque tem alguma coisa nesse fluido com propriedade magnética também, se não, a agulha não se movia.”

Interessante observar nesta última fala, que o aluno atribui uma propriedade magnética ao fio, a qual provocaria o efeito sobre a bússola (*tem alguma coisa nesse fluido com propriedade magnética também*). Essa não foi a conclusão a que Oersted chegou, mas possui similaridade com a de Ampère, uma vez que pressupõe a interação entre uma propriedade do fio e uma da agulha imantada. Para Oersted (Martins, 1986), o fluido elétrico moveria a agulha, girando-a, aparentando que há algo fora do fio. Já para Ampère, haveria uma interação entre a corrente elétrica e correntes que haveriam na agulha, como se a propriedade magnética fosse devida a uma ordenação de correntes elétricas no interior do ímã (Chaib & Assis, 2007). Ou seja, no caso de Ampère, seriam forças entre correntes que levariam ao movimento da bússola.

Na aula seguinte do mesmo encontro, os alunos solicitaram materiais para reproduzir o experimento de Oersted de acordo com o que haviam lido no texto, alegando que conseguiriam explicar melhor mostrando na prática. Foi necessário então fazer uma modificação no que havia sido planejado no quadro 1 para esse momento: ao invés de receber o kit⁵ com o experimento de Oersted já montado como previsto, eles receberam os materiais soltos e já tentaram reproduzir o experimento de Oersted de acordo com o texto. A iniciativa surgiu dos próprios alunos e tornou a investigação bem mais produtiva.

Então, eles receberam bússola, bateria, fio de um material desconhecido e cabos para realizar conexão do fio com a bateria. Nesse momento foi perceptível que uma minoria não compreendeu algumas partes do texto acerca do posicionamento do fio condutor em relação à agulha magnética. Entretanto, todos conseguiram fazer com que houvesse uma deflexão na bússola.

Surgiu então dos próprios alunos o questionamento: *“Por que tão pequena essa deflexão?”* *“Também estou achando, pois no texto Oersted consegue 45° de deflexão.”* O próprio Oersted não chega a reconhecer explicitamente que o desvio obtido havia sido pequeno, quase imperceptível, e que poderia ter sido influenciado pelo magnetismo terrestre. Já Ampère, ao reproduzir o

⁵ O kit previsto para apresentar aos alunos consistia em um fio de cobre já enrolado em um suporte com a bússola posicionada no centro e uma bateria à disposição para que fosse ligado.

experimento de Oersted, acrescenta uma segunda agulha imantada, que permitiria encontrar o desvio relativo, eliminando-se a influência do magnetismo terrestre (Chaib & Assis, 2007).

Num ambiente de laboratório atual, esse desvio poderia ser provocado por vários fatores e não poderia ser associado diretamente ao fluido elétrico percorrendo o fio. Atividades experimentais exatamente iguais às históricas são muito complicadas de se obter. Esse é um dos principais obstáculos na linha de pesquisa em experimentos históricos, já que muitas informações são ocultadas pelos estudiosos, materiais são diferentes (pureza), etc., e até a prática de laboratório não é a mesma. Nesse sentido, quando os próprios alunos percebem que há alguma coisa diferente entre os resultados e o relato do estudioso, a abordagem histórica abre possibilidade para se discutir os erros na ciência e questões metodológicas. No presente caso, o questionamento do aluno levou a um outro debate sobre os motivos da deflexão ser maior ou menor, sendo este o ponto de partida para a próxima aula e objetivo dessa proposta: a criação dos multiplicadores.

Para não adiantar o processo, foi pedido aos alunos que anotassem todas as possibilidades que poderiam contribuir para o aumento da deflexão, pois no próximo encontro eles iriam construir seus próprios experimentos, com intuito de melhorar o que foi proposto por Oersted. Ainda nesse encontro foi apresentado o experimento de Oersted que havia sido planejado para mostrar após discussão do texto.

Encontro III

O encontro III foi totalmente dedicado à criação dos multiplicadores. Primeiramente, os grupos de alunos se reuniram para discutir qual estratégia utilizar na intenção de aumentar a deflexão da agulha magnética. Utilizaram os pontos que haviam sido levantados na última aula como: espessura do fio condutor, quantidade de voltas do fio através do suporte, o tipo de material, o formato do experimento e outros. Os alunos receberam fios de cobre, alumínio e outro material desconhecido; os fios de cobre possuíam duas espessuras diferentes, então havia quatro possibilidades para quem apontou a espessura como fator relevante para a deflexão. Também receberam três tipos de bateria, duas de modelo mais simples recarregável de 9V e outra bateria de moto de 12V. Surpreendentemente, nenhum grupo associou a deflexão com o tipo de bateria usado. Por fim, receberam alguns suportes para o enrolamento do fio, caso optassem por um formato circular, quadrado ou até mesmo triangular.

Com os materiais em mãos, iniciaram a produção de seus multiplicadores que seriam apresentados no último encontro. Os grupos produziram os experimentos variando todos os parâmetros que acharam relevante como fios de materiais diferentes, espessuras diferentes, três tipos de baterias, quantidade de voltas no fio, posição da bússola e etc.

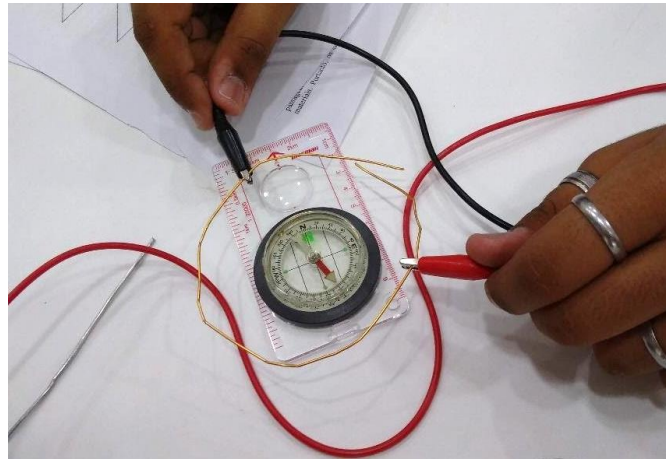


Figura 9 – Criação dos multiplicadores

Fonte: Arquivo pessoal

Durante a aula fizeram discussões enquanto testavam os experimentos criados, uma aluna discute com outras de seu grupo:

“A gente fez no formato circular com esse fio de cobre e 10 voltas no fio a deflexão foi cerca de 90°, com o de alumínio foi menor, então vamos usar esse mesmo no dia da apresentação”

Outra aluna do mesmo grupo brinca:

“Tá melhor que o de Oersted, será que somos os novos gênios da ciência? (risos)”

O grupo 3 percebeu um fato que os deixou intrigados, ao posicionar o fio paralelo a agulha a deflexão era menor do que quando estava perpendicular, diferente do que haviam lido no texto de Oersted e também verificado na aula anterior.

“Estranho que na aula passada quando fio estava em paralelo havia deflexão pequena e perpendicular não tinha movimento nenhum. Agora, paralelo tem pouco movimento e perpendicular tem uma deflexão bem maior.”

Ainda sobre a posição do fio o segundo grupo afirma algo diferente do grupo 3, porém semelhante ao que Oersted relata:

“Quando o cobre está paralelo a agulha da bússola, ela não se desvia nem para um lado nem para o outro, mas se inclina uma ponta para cima e outra para baixo”

Observa-se assim que a atividade experimental de reprodução foi fundamental para os grupos entenderem o fenômeno, estudarem as diferentes possibilidades de interpretação e o processo de aquisição de conhecimento; e não simplesmente para repetir um produto da ciência. Os alunos tiveram a oportunidade de entender a relação entre eletricidade e magnetismo, e não apenas repetir a famosa “regra da mão direita” sem refletir sobre como esse conhecimento foi adquirido (Pinto, Silva & Ferreira, 2017; Silva, Pinto & Ferreira, 2018).

Um grupo ainda testou trocar o tipo de bateria utilizado, só para ter certeza se o movimento da agulha seria maior ou não. O grupo 1, que realizou o teste, não percebeu diferença, descartando assim a relação da bateria com a deflexão. Após isso os outros grupos ouviram a conclusão deste e foram influenciados, pois acabaram não considerando a bateria também. Apenas escolheram aleatoriamente um tipo e seguiram até o final com a mesma.

Encontro IV

Depois de vários testes e ajustes em seus multiplicadores, os alunos apresentaram para toda a turma no encontro IV e justificaram a tentativa de obter a um efeito mais intenso do experimento de Oersted. O grupo 1 justificou a deflexão maior na bússola com quantidade de voltas no fio, que foram 10. Esse grupo também relatou que havia pesquisado mais sobre o experimento de Oersted e por isso já sabiam qual estratégia utilizar, o que facilitou no momento da criação, porém influenciou o processo investigativo do experimento, pois a equipe se prendeu um pouco no haviam pesquisado:

“Lá dizia que é melhor usar 10 voltas, não vamos pôr mais! Vai que dá um choque.”

Apostaram no formato circular com a bússola no meio do fio (figura 10), que provavelmente encontraram nessa busca por um aparato melhor. O fato relatado pelo grupo 1 é muito comum também durante a atividade científica. Vários relatos da história da ciência trazem exemplos de trabalhos em que os estudiosos, influenciados por outros, observam demais ou de menos e ficam cegos para novas possibilidades. O próprio Oersted parece ter sido um desses direcionado por influências relacionadas a Naturphilosophie que o fizeram tanto planejar o experimento de certa forma, como também aceitar uma conclusão que não era óbvia entre seus pares (Silva & Silva, 2017). Testaram os três fios e concluíram que o de cobre com espessura menor seria ideal. A questão da espessura foi somente pela facilidade do manuseio, já que a equipe não a considerou relevante para deflexão. Mesmo testando com a bateria de moto, o grupo optou por usar a bateria simples recarregável de 9V.



Figura 10 - Multiplicador – Grupo 1
Fonte: Arquivo pessoal

O segundo grupo a apresentar afirmou:

“Depois alguns testes, nós vimos que o desvio da agulha é maior quando o fio está acima e abaixo da bússola e também o fio tem que estar o mais próximo possível dela.”

Ao serem questionados sobre o formato quadricular que escolheram para a espira, se teria influência na maior intensidade do efeito magnético, eles afirmaram que não, e somente utilizaram o formato por questão de facilidade no manuseio para o deixar o fio mais próximo da bússola sem precisar usar outro suporte.

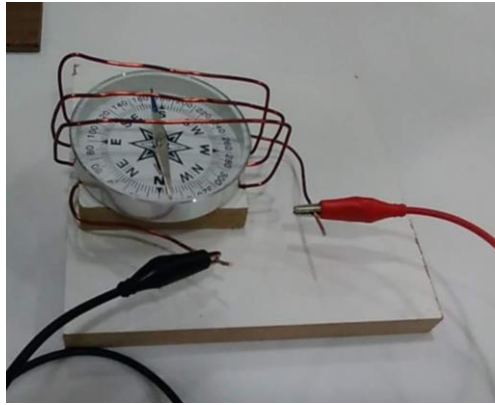


Figura 11 - Multiplicador – Grupo 2

Fonte: Arquivo pessoal

O mesmo grupo também utilizou o fio de cobre, e acreditam que houve melhor desempenho comparado aos outros dois materiais. Por influência do grupo 1, acabaram utilizando também o mesmo tipo de bateria mais simples e não chegaram a testar outras. Esse grupo adaptou o suporte recebido para conseguir montar o formato quadrangular da espira.

Por fim, o grupo 3 observou que o efeito magnético é mais intenso quando utilizado um fio de espessura maior:

“Acreditamos que o desvio da agulha está mais relacionado com o diâmetro do fio do que com o formato do experimento.”

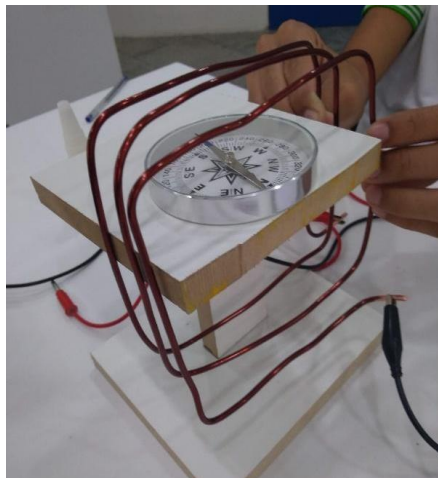


Figura 12 - Multiplicador – Grupo 3

Fonte: Arquivo pessoal

Esse mesmo grupo utilizou o fio de cobre de espessura maior em formato quadrangular, escolhido pela facilidade no manuseio, pois ao tentar fazer em formato circular o fio não ficava perfeitamente como gostariam, e como para eles o formato não influenciava, não houve grande discussão para mudança. Essa equipe utilizou bateria de moto para gerar o fluido elétrico através do fio.

Uma constatação unânime em todas as apresentações é descrita na fala do aluno abaixo:

“Quando ligamos a bateria, ela gera um fluxo de eletricidade no fio e esse fluxo faz acontecer alguma perturbação externa perto dele que empurra a agulha. Então, pensem comigo, se

a agulha tem característica magnética e o fluido tem característica elétrica, não sei como acontece, mas com certeza essa agitação externa tem característica magnética, pra poder conseguir empurrar a agulha, é assim que Oersted relaciona eletricidade e magnetismo.”

Observa-se que nesta afirmação há indícios de dois modos de pensar diferentes. Um deles pressupõe a ideia de que eletricidade e magnetismo possuem a mesma natureza, por isso um influencia no outro. O outro assume que há uma perturbação externa, que levará à ideia de “campo magnético”. Em ambos os casos, os alunos são de alguma forma levados a chegar na mesma conclusão de Oersted, de que há um *efeito eletromagnético*. Isso se dá porque toda a atividade já foi conduzida, desde seu início, a partir da visão de Oersted. Porém, o efeito observado poderia ter levado a outras conclusões caso fosse dada ênfase à ideia inicial que era similar à de Ampère (destacada no Encontro II), e verificar-se-ia que o *efeito é de forças entre correntes*. Portanto, se por um lado a atividade experimental associada ao episódio histórico permite que os alunos entendam o processo de aquisição de um conhecimento ao invés de simplesmente aceitar seu produto; por outro ela também acabará por cegá-lo a outras possibilidades, a depender da condução da aula e da história apresentada. Isso de forma alguma invalida uma intervenção associando história da ciência e experimentos; mas sim reforça o quanto episódios históricos possuem potencial para estimular a investigação e desafiar os alunos a buscarem novas respostas.

Após as apresentações dos alunos foram mostrados os multiplicadores de Poggendorff, Schweigger e Cumming e sugerido o manuseio para verificar onde ocorria maior deflexão e também comparar com os multiplicadores criados por eles. Na realização dos experimentos, a maior deflexão ocorreu no multiplicador de Cumming, feito com fio de alumínio.

Após essa verificação os alunos comentaram que o multiplicador de Cumming era o melhor e provavelmente o mais “famoso” da época. Nesse momento foi aberto um novo debate discutindo-se a adoção, pela maioria dos estudiosos da época, do multiplicador de Schweigger e os fatores que levaram a essa escolha, explicando o contexto em que cada multiplicador estava inserido na época que foi proposto. Os multiplicadores causariam o mesmo efeito sobre a agulha independente da adoção de explicação de Oersted ou a de Ampère. Porém, em 1821 Oersted já adquirira notabilidade e passou a divulgar o multiplicador de Schweigger como o mais adequado para “provar seu eletromagnetismo”, ainda que ele mesmo o tivesse interpretado de forma diferente (Oersted, 1823)

Considerações Finais

A atividade gerou questionamentos, argumentos, posicionamento da turma sobre o processo relatado por Oersted. De certa forma, a atividade corrobora a literatura ao demonstrar como a história da ciência, por meio dos experimentos e instrumentos, permitiu criar um ambiente problematizar e estimular o caráter investigativo da sala de aula.

Do ponto de vista conceitual, a utilização de conceitos historicamente aceitos como matéria elétrica, fluido elétrico, etc., adequados ao contexto que estava sendo explorado, não impossibilitou que os alunos chegassem a conclusões aceitas atualmente, como os efeitos eletromagnéticos. Isso nos leva a refletir sobre a adoção de termos e conceitos que estão muito distantes da compreensão dos alunos, como cargas, campos, etc., e que não permitem uma compreensão melhor dos assuntos pois estão descontextualizados de sua produção. Nessa perspectiva, a atividade mostrou que a história da ciência é muito mais rica conceitualmente do que

o livro didático, que restringe e limita as interpretações da física, como já apontava Robilotta há 30 anos (Robilotta, 1988).

Mesmo a atividade não envolvendo nenhuma nota na avaliação da disciplina, os grupos demonstraram bastante interesse do início ao fim. Também se destacaram na criação dos experimentos, pois conseguiram caminhar muito bem sem precisar de tanta intervenção da professora no momento da criação.

Utilizar a problematização em todas as etapas foi importante para trazer os alunos ao debate e para que se tornassem mais críticos no momento da leitura de um texto histórico ou da criação dos experimentos. A HC contribuiu bastante para essa postura mais crítica dos alunos: a partir do segundo encontro, todos já questionavam muito sobre o que haviam lido e se sentiam mais à vontade para discutir suas dúvidas em sala de aula.

Já a experimentação despertou o interesse de alguns alunos que não estavam tão engajados nas aulas. Principalmente por não terem recebido nenhum roteiro para criar os multiplicadores, os grupos tiveram de criar seu experimento com os materiais recebidos e justificando a escolha de tal modelo criado, isso fez com que todos participassem ativamente da atividade. Destaca-se como o fato de realizar os experimentos sem um roteiro permitiu que os alunos explorassem novas possibilidades. No caso de tomar conhecimento previamente (como no caso das 10 voltas) limitou que o grupo aceitasse riscos em relação ao experimento e guiou os resultados. Outro destaque é quanto a atividade em grupos. Ainda que cada grupo fizesse suas opções, influenciaram-se mutuamente, adotando configurações semelhantes “com medo de errar”.

Portanto, durante essa intervenção, acreditamos que os alunos não somente puderam compreender o processo de aquisição do conhecimento científico, com tentativas, erros, a importância da construção coletiva, etc., e não apenas seu produto, como também vivenciaram a própria comunidade científica ao deparar-se com fenômenos para os quais não possuem explicação pré-existente.

Referências

Assis, A. K. T. (2010). *Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade*. Montreal: Apeiron.

Cavicchi, E. (2003). Experiences with the magnetism of conducting loops: historical instruments, experimental replications, and productive confusions. *American Journal of physics*, 71(2), 156-167.

Chaib, J., & Assis, A. K. T. (2007). Sobre os efeitos das correntes elétricas—Tradução comentada da primeira obra de Ampère sobre eletrodinâmica. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, 5(1), 85-102.

Chipman, R. A. (1964). Contributions from the Museum of History and Technology: Science and Technology paper 38: The Earliest Electromagnetic Instruments. *Bulletin of the United States National Museum*.

Forato, T. C. M., Martins, R. D. A., & Pietrocola, M. (2012). Enfrentando Obstáculos na transposição didática da História da Ciência para a sala de aula, in: *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino*, editado por Peduzzi, L. O.Q., Martins, A. F. P., Ferreira, J. M. H. EDUFRRN, Natal, p.123-154.

Halpern, D. F. (1999). Teaching for critical thinking: Helping college students develop the skills and dispositions of a critical thinker. *New directions for teaching and learning*, (80), 69-74.

Home, R. W. (2003). Electricity. In: Heilbron, J. L. (ed.) *The Oxford Companion to the History of Modern Science*. New York: Oxford University Press, p. 234-236.

Hottecke, D., & Silva, C. C. (2011). Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge: An analysis of obstacles. *Science & Education*, 20(3-4), 293-316.

Jardim, W. T., & Guerra, A. (2018). Práticas científicas e difusão do conhecimento sobre eletricidade no século XVIII e início do XIX: possibilidades para uma abordagem histórica da pilha de volta na educação básica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(3).

Kokkotas, P., & Rizaki, A. (2011). Does history of science contribute to the construction of knowledge in the constructivist environments of learning?. In: *Adapting historical knowledge production to the classroom* (pp. 61-84). Brill Sense.

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

Oersted, H. C. (1823). Sur le Multiplicateur electro-magnétique de M. Schweigger, et sur quelques applications qu'on en a faites. *Annales de Chimie et de Physique*. p. 358-365.

Ortega, D., & Moura, B. A. (2020). Uma abordagem histórica da reflexão e da refração da luz. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42.

Pinto, I. K. L. S., Silva, A. P. B., & Pinto, J. A. F. (2018). Entre o planejamento e a execução: desafios de uma abordagem histórica para ensinar eletrostática. *Experiências em Ensino de Ciências*, 13(4), 192 – 211.

Pinto, J. A. F., Silva, A. P. B., & Ferreira, É. J. B. (2017). Laboratório desafiador e história da ciência: um relato de experiência com o experimento de Oersted. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(1), 176-196.

Ribeiro, G., & Silva, J. L. (2017). A relevância da História da Ciência para o ensino das Ciências: elementos introdutórios, 9(1).

Robilotta, M. R. (1988). O Cinza, o Branco e o Preto—da relevância da História da Ciência no ensino da Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, p. 7-22.

Silva, A. P. B., Pinto, J. A. F., Ferreira, E. J. B. (2018). Design and implementation of a lesson plan for high school students: a case study with Oersted's experiment. In: Silva, C. C.; Prestes, M. E. B. (orgs.). *Teaching Science with Context*. Springer, Cham, p. 327-339.

Silva, A. P. B., Silva, J. A. (2017) A influência da Naturphilosophie nas ciências do século XIX: eletromagnetismo e energia. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, v. 24, n. 3, p. 687-705.

Silva, B. V. C. (2011). História e filosofia da ciência como subsídio para elaborar estratégias didáticas em sala de aula: um relato de experiência em sala de aula. *Revista Ciências & Ideias ISSN: 2176-1477*, 3(2).

Silva, J. E. D. (2017). *O uso do termoscópio e da contextualização histórica na criação e aplicação de uma unidade didática para o ensino de termometria* (Master's thesis, Brasil).

Souza, R. D. S., Silva, A. P. B, & Araujo, T. S. (2014). James Prescott Joule and the mechanical equivalent of heat: simulating the difficulties in experimental activities. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(3), 1-9.

Souza, R. S. & Silva, A. P. B. (2014). *Posicionamento dos alunos diante a inserção da história da ciência em sala de aula: entre o ler e o fazer*. Anais. 14º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia. Belo Horizonte – MG.

Steinle, F. (1997). Entering new fields: Exploratory uses of experimentation. *Philosophy of science*, 64, S65-S74.

Steinle, F. (2003). Romantic Experiment? The Case Of Electricity. *Ciencia y Romanticismo, Maspalomas, Spain*.

Vital, A., & Guerra, A. (2017). A implementação da história da ciência no ensino de física: uma reflexão sobre as implicações do cotidiano escolar. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 19.