

A ELETRICIDADE ESTÁTICA: OS OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS, AS CONCEPÇÕES ESPONTÂNEAS, O CONHECIMENTO CIENTÍFICO E A APRENDIZAGEM DE CONCEITOS

THE STATIC ELETRICITY: EPISTEMOLOGICAL OBSTACLES, SPONTANEOUS CONCEPTIONS, THE SCIENTIFIC KNOWLEDGE AND THE LEARNING OF CONCEPT

**Moacir Pereira de Souza Filho¹
Sérgio Luiz Bragatto Boss², João José Caluzi³**

¹Universidade Estadual Paulista/Programa de Pós-Graduação para Ciências/Faculdade de Ciências, moacir@fc.unesp.br

²Universidade Estadual Paulista/Programa de Pós-Graduação para Ciências/Faculdade de Ciências,
serginho@fc.unesp.br

³Universidade Estadual Paulista/Programa de Pós-Graduação para Ciências/Faculdade de Ciências, caluzi@fc.unesp.br

Resumo

O objetivo central deste trabalho é identificar, descrever e analisar os obstáculos ao conhecimento científico. A trajetória histórica percorrida vai da gênese da eletricidade à descoberta da bateria elétrica. Este período, denominado pré-científico, caracterizou-se por concepções e obstáculos que embora fundamentais ao desenvolvimento da eletricidade, entravaram o início do eletromagnetismo. Faremos uma breve psicanálise, e mostraremos que alguns destes conceitos ainda estão fortemente arraigados no subconsciente dos alunos.

Palavras-chave: Obstáculos epistemológicos, História da Ciência, Ensino de Ciência e Eletricidade Estática.

Abstract

The central purpose on this work is to identify, to describe and to analyze the obstacles to the scientific knowledge. We have studied from static electricity to dynamical electricity. In this period, called pre-scientific, the conceptions and obstacles damaged the start of the electromagnetism, although they were very important to electricity. We will show that some ideas still remain in the pupil's conceptions.

Keywords: Epistemological obstacles, Science History, Science Education and Static Electricity.

INTRODUÇÃO

O fenômeno da atração elétrica é conhecido desde a antiguidade¹. Um dos primeiros trabalhos científicos a diferenciar estas propriedades do fenômeno magnético foi o famoso livro “De Magnete” de William Gilbert (1540-1603). Gilbert (1958, pp. 74-80) advogava que “as causas do movimento da magnetita são bem diferentes daquelas que dão ao âmbar suas propriedades”. Segundo ele, estas substâncias “quando *aquecidas* por fricção, atraem para si palhas e cascas de sementes”. Porém, foi somente no início do século XVIII, com o advento das máquinas elétricas, que Francis Hauksbee (c. 1660-1713) com seu experimento², estabeleceu que as *faíscas* provenientes do fenômeno do mercúrio luminescente³ eram devido a geração de eletricidade, (WOLF, 1999, p. 214). A partir deste momento, iniciou-se os estudos mais sistemáticos sobre a eletricidade estática.

Entretanto, cientistas esperaram quase um século para a descoberta da eletricidade dinâmica, que só ocorreu em 1800, quando Alessandro Volta (1745-1827), após tomar conhecimento do trabalho de Galvani (1737-1798)⁴, se dedicou a investigar o fenômeno e mais tarde inventou a bateria elétrica cujas características primordiais são a de impor uma “ação perpétua ou impulsão ao fluido elétrico” e, sua energia depois de cada descarga pode ser restabelecida (VOLTA, 1935, p. 427).

Martins (1999) questiona: se uma vez que a eletricidade estática e a eletricidade dinâmica são consideradas idênticas, porque ao se esfregar uma caneta no cabelo conseguimos atrair pequenos pedaços de papéis e com uma pilha, isto não é possível? Por outro lado, porque esta mesma pilha consegue acender uma pequena lâmpada e não podemos utilizar a eletricidade estática para esta mesma finalidade⁵? Não vamos entrar nesta questão, pois foge ao escopo deste trabalho. Porém, vamos discutir porque embora a garrafa de Leyden⁶ e a bateria elétrica sejam semelhantes em sua estrutura, houve tanta dificuldade em conceber a última a partir da primeira.

O que pretendemos com este artigo, é salientar que o século XVIII foi um período caracterizado pelo empirismo e pelo realismo ingênuo. Uma fase marcada por alguns obstáculos e por concepções de que a eletricidade estava estritamente ligada aos efeitos da luz e do calor. Se por um lado estas idéias guiaram os filósofos naturais em suas pesquisas, dando um grande passo ao desenvolvimento científico e aos fenômenos eletromagnéticos de maneira geral, por outro, elas entravaram o início da eletricidade dinâmica e conseqüentemente a gênese do eletromagnetismo.

Paralelamente a isto, e vinculando estas questões ao ensino, tentaremos mostrar que alguns obstáculos epistemológicos permanecem fortemente arraigados em alguns estudantes e, finalmente,

¹ Os gregos e chineses foram provavelmente os primeiros povos a observar que o âmbar ao ser friccionado adquire propriedades em atrair corpos leves.

² A máquina de Hauksbee consistia de um globo oco de vidro de cerca de vinte e dois centímetros de diâmetro onde se fazia um vácuo parcial e rodava rapidamente sobre um eixo. A fricção da lã nas paredes do tubo produzia uma fina luz violeta. Ele chegou a duas conclusões: As faíscas eram diretamente proporcionais a velocidade de rotação e inversamente a admissão de ar.

³ Em 1675, as pesquisas sobre a eletricidade foram especialmente estimuladas pelo fenômeno do mercúrio luminescente, descoberto por Picard (WOLF, 1999, p. 212). Ao transportar à noite um barômetro, ele notou que o movimento do mercúrio produzia um clarão azulado que iluminava o tubo (TATON, 1960, p. 100). Posteriormente, Hauksbee explicou este fenômeno pela eletricidade produzida por fricção do mercúrio contra as paredes do tubo de vidro.

⁴ Um eletrodo metálico ao estabelecer contato entre medula de uma rã e o músculo de sua perna provocava a distensão destas pernas do anfíbio sem estar ligado a nenhuma fonte externa de eletricidade.

⁵ Para mais detalhes ver (MARTINS, 1999).

⁶ Dispositivo semelhante ao capacitor elétrico, cuja função primordial é armazenar energia elétrica. Foi inventada na cidade de Leyden na Holanda, daí o seu nome.

faremos uma breve psicanálise do conhecimento objetivo. Vamos exemplificar como é o pensamento em seu fluxo dinâmico, quando um estudante ao explicar o conceito de diferença de potencial, se depara com o problema crucial que derruba teoria do fluido único de Franklin.

ASPECTOS HISTÓRICOS

Fenômenos elétricos são conhecidos desde a antiguidade, porém, eles eram limitados a atração de pedaços de palhas por âmbar atritado. Em 1600, William Gilbert anunciou que muitos outros materiais além do âmbar adquiriam a mesma propriedade atrativa quando atritados e que, objetos atritados não atraíam apenas palha, mas qualquer objeto leve (HOME, 1992, p. 204). No início do século XVIII as pesquisas sobre eletricidade foram estimuladas pelo fenômeno do mercúrio luminescente, já explicado acima. Francis Hauksbee estudou fenômeno de 1705 a 1709 e mostrou que a luz azulada era devido à eletricidade gerada pelo atrito do mercúrio com o vidro. Prosseguindo sua pesquisa sobre eletricidade construiu uma máquina eletrostática, na qual era possível girar objetos rapidamente e atritá-los com outros materiais. Um dos objetos colocados a girar foi um globo de vidro, o qual foi atritado com lã. Estas máquinas e seus efeitos foram apresentados a Royal Society e publicados no periódico *Philosophical Transactions of The Royal Society*. Talvez, o primeiro mecanismo destinado a geração de eletricidade estática por atrito foi construído por Otto von Guericke (1602-1686), (WOLF, 1999, p. 214).

Estimulado pelos trabalhos de Hauksbee, Stephen Gray (1666-1736) iniciou suas pesquisas sobre eletricidade. Em um artigo publicado em 1720 ele revelou novos materiais que poderiam ser eletrizados⁷ por atrito. Em 1729, em um de seus experimentos, Gray arrolhou as duas extremidades de um tubo de vidro, para verificar se haveria diferença na atração do tubo eletrizado quando aberto ou fechado. Para verificar a eletrização ele utilizou uma penugem. Determinou que não havia diferença na atração, então aproximou a pena da rolha de cortiça, constatando que ela também atraía a penugem. Concluiu deste experimento que a propriedade atrativa do tubo fora transmitida para rolha, e com outros experimentos mostrou que a eletricidade poderia ser transmitida a grandes distâncias. Gray introduziu uma das extremidades de uma vareta de abeto⁸ na cortiça que tampava o tubo e amarrou uma bola de marfim, que tinha um furo no meio, na outra extremidade da vara. Verificou que quando o tubo foi eletrizado a bola atraiu a pena. Repetiu o experimento com três varetas de tamanhos diferentes. Em seguida, realizou experimentos para verificar quão distante a *virtude atrativa*⁹ poderia ser conduzida. Ele utilizou longas varas de madeira, fios metálicos e barbante de cânhamo para conectar a bola de marfim ao tubo. Para todos esses materiais a virtude atrativa foi transmitida, sendo que o detector de carga passou a ser lâminas de bronze. Prosseguindo com os experimentos em uma galeria da casa de seu amigo Granville Wheler, em Otterden Place, Inglaterra, eles notaram que o experimento falhava quando o suporte para o barbante condutor era fios metálicos, mas obtinham sucesso quando o suporte era fios de seda. Isso os levou a conclusão de que o êxito no experimento dependia do tipo de material do suporte, e que alguns materiais possibilitavam que o *eflúvio elétrico* se desviasse da linha condutora, o que implicou na descoberta dos materiais condutores e isolantes¹⁰. Outra descoberta importante de Gray foi a *indução elétrica*,

⁷ No início do século XVIII não existia o termo *eletrizar*, para se referir a este fenômeno os pesquisadores mencionavam que o material adquiria uma *virtude* ou *propriedade atrativa*.

⁸ Tipo de madeira.

⁹ Gray propôs que os materiais eletrizados possuíam uma *virtude atrativa* ou *virtude elétrica*.

¹⁰ Gray não utilizava os termos *condutor* e *isolante*, mas *não-elétrico* e *elétrico*, respectivamente. Aquela nomenclatura foi inserida por Jean Desaguliers anos mais tarde.

quando por meio de um experimento mostrou que virtude elétrica poderia ser transmitida do tubo eletrizado para um barbante condutor apenas por aproximação (GRAY, 1731, p. 18-44).

Du Fay realizou vários experimentos sobre eletrostática, vários deles confirmando os resultados obtidos por Gray. Seus principais feitos foram dois princípios gerais que segundo ele governavam os efeitos eletrostáticos. O primeiro princípio afirma que “[...] Corpos elétricos atraem todos aqueles que não estão desta forma, e os repelem assim que eles tornam-se elétricos, pela proximidade ou pelo contato com o corpo elétrico” (DU FAY, 1735, p. 262). Após realizar outros experimentos concluiu que o princípio anterior não conseguia explicar alguns fatos experimentais, tal como uma lâmina de ouro eletrizada por contato com um tubo de vidro atritado ser atraída por um bloco de resina eletrizado. O segundo princípio reporta que “[...] existem duas Eletricidades distintas, muito diferentes uma da outra, uma que eu chamo de *Eletricidade vítrea* e a outra de *Eletricidade resinosa*. A primeira é aquela do vidro, pedra-cristal, pedra preciosa, pêlo de animais, lã e muitos outros corpos. A segunda é aquela do âmbar, [resina] copal, goma-laca, seda, linha, papel, e um vasto número de outros materiais” (DU FAY, 1735, p. 263-4). Sendo que, um corpo de eletricidade vítrea repele todos aqueles que possuem a mesma eletricidade, e ao contrário, atrai todos aqueles de eletricidade resinosa, e vice-versa. Para Du Fay este princípio era mais universal e poderia explicar vários fenômenos elétricos. Anos mais tarde Canton e Wilcke mostraram que a nomenclatura *vítrea* e *resinosa* era enganosa, pois os materiais poderiam apresentar tanto eletricidade vítrea quanto resinosa, dependendo do material utilizado para atritá-los (HEILBRON, 1976).

Benjamin Franklin (1706-1790) propôs a existência de um único *fluido elétrico*, o qual impregnava todo tipo de material e variava em quantidade. Tal fluido não era criado pelo atrito, mas recolhido ou retirado por ele. Todo corpo possui uma quantidade normal de fluido elétrico, para tal estado o corpo está neutro, possuindo-o em excesso encontra-se carregado positivamente, e se houver déficit de fluido encontra-se carregado negativamente (WATSON, 1750, p. 93). Franklin enunciou inteiramente a *teoria do fluido único* em 1750. A matéria elétrica era composta por partículas extremamente sutis, já que poderia penetrar a matéria comum. Comparava-se a matéria comum a uma esponja, a qual absorve a matéria elétrica, e aquela matéria contém tanto dessa quanto pode suportar. Se à matéria comum é acrescentada mais matéria elétrica, esta se dirige a superfície e forma o que ele denominava de *atmosfera elétrica*. Uma importante contribuição de Franklin foi a *teoria do poder das pontas*, a qual foi explicada com base na teoria da atmosfera elétrica (TATON, 1960, p. 108).

A teoria do fluido único de Franklin não foi consenso, foram propostas novas explicações utilizando dois fluidos elétricos, tal como a de Robert Symmer¹¹, em 1759. Um dos inventos de Franklin foi o pára-raios, em 1749, em que comparou os relâmpagos à faísca elétrica e verificou que aquele tem a propriedade de ser atraído pelas pontas (TATON, 1960, p. 109-110).

Dentre os vários experimentos realizados por Hauksbee, Gray, Du Fay e Franklin, procurou-se apresentar apenas alguns deles, os trabalhos e a contribuição destes pesquisadores não se resumem ao que foi apresentado aqui. Para o conhecimento de outros fatos e mais detalhes recomenda-se ao leitor, como ponto de partida, a leitura das fontes utilizadas neste pequeno excerto histórico.

FUNDAMENTOS EPISTEMOLÓGICOS

¹¹ Symmer tinha o hábito de usar meias preta e branca na mesma perna. Durante a noite, ao removê-las e separá-las observou faíscas e associou a fenômenos elétricos, (HEILBRON, 1976).

O embasamento teórico deste trabalho está fundamentado no pensamento filosófico da obra epistemológica de Gaston Bachelard (1884-1962), principalmente na concepção de obstáculos epistemológicos, noção que “pode ser estudada no desenvolvimento histórico do pensamento científico e na prática da educação” (BACHELARD 1996, p. 21). Lopes (1996, p. 252) salienta que é inegável a importância da obra de Bachelard aos professores e pesquisadores em Ensino de Ciências.

Bachelard (1996) divide o desenvolvimento científico da seguinte maneira: o estado *pré-científico* que iremos estudar onde que ele cita inúmeros exemplos da eletricidade estática. O *período científico* caracterizado por um conhecimento mais sistematizado que o anterior e finalmente a física contemporânea denominada *o novo espírito científico*.

Segundo Bachelard (2000, p. 11), a ciência é um produto do espírito humano e possui dois aspectos: um objetivo, concebido como parte das leis do nosso mundo e outro subjetivo, um produto conforme as leis do nosso pensamento. Todo homem em seu esforço de cultura científica apóia-se sobre duas metafísicas: o realismo e o racionalismo. Ambas são polêmicas, contraditórias, mas ao mesmo tempo complementares. Não há realismo nem racionalismo absolutos. Eles trocam conselhos sem fim (BACHELARD, 2000).

No entanto, o estado *pré-científico* é caracterizado predominantemente pelo empirismo e pelo realismo ingênuo. “Essa observação primeira é repleta de imagens; é pitoresca, concreta, natural e fácil” (BACHELARD 1996, p. 21).

No início, a eletricidade era apresentada como um espetáculo de curiosidades. As pessoas davam-se as mãos para receberem a descarga de uma garrafa de Leyden. Experiências como as do garoto¹² e do beijo elétrico¹³ eram presenciadas pelas personalidades mais importantes da época num verdadeiro show de salão.

Observar a ação mecânica extrínseca, em relação às leis elétricas ocultas, de corpos serem atraídos e mantidos unidos por outros corpos, em contradição com os princípios da gravitação, é uma experiência fechada em si. É um verdadeiro obstáculo. Esta imagem imediata abafa todas as perguntas, e o espírito atribui ao fluido elétrico à qualidade de uma substância viscosa, untuosa e tenaz. É como se o corpo que atrai estivesse lambuzado com cola (BACHELARD, 1996, p. 128-130).

A eletricidade era tida como propriedades de certas substâncias. A eletricidade vítrea e resinosa foi atribuída a determinados objetos empíricos como o vidro e a resina, respectivamente. Canton reconheceu que um bastão de vidro adquiria a eletricidade resinosa quando era friccionado com a flanela, e a eletricidade vítrea ao ser esfregado a um pano de seda (BACHELARD, 1977, p. 167). Verificou-se então, que o tipo de eletricidade não dependia apenas do corpo, mas também do material com que se atritava.

Todos os corpos são eletrizáveis, porém era difícil notar que “a eletricidade não se manifestava em metais friccionados porque a eletricidade produzida escoava no solo pela mão do experimentador. Bastava usar uma luva isolante para que ela aparecesse no metal” (BACHELARD, 1977, p. 168). Foi o fato de a eletricidade escoar pelo barbante e não pela seda através da estrutura da galeria que fez com que Gray diferenciasse corpos eletrizáveis e não-eletrizáveis, ou seja, condutores e isolantes.

¹² Du Fay pendura um garoto e depois se pendura em linhas de seda para demonstrar que a atração elétrica, somente ocorre se o corpo eletrizado e o objeto a ser atraído estiverem em *potenciais* (em sentido moderno) distintos.

¹³ Dois experimentadores montados no banquinho isolado fechavam a corrente com os lábios. No momento da descarga da garrafa de Leyden, a eletricidade valorizava o beijo dando-lhe atração e calor. Reciprocamente, o beijo valorizava a ciência elétrica (BACHELARD, 1996, p. 248)

A teoria do fluido único de Franklin pode ser comparada, por analogia, a uma esponja. Este simples objeto pode estar seco ou encharcado, com falta ou excesso de fluido, respectivamente. Ou neutra, caso a quantidade de água ocupe exatamente os espaços destinados ao ar.

“O espírito científico deve lutar sempre contra as imagens, contra as analogias, contra as metáforas” (BACHELARD, 1996, p. 48). “Uma psicanálise do conhecimento objetivo deve, pois tentar diluir, senão apagar, essas imagens ingênuas. Quando a abstração se fizer presente, será a hora de ilustrar os esquemas racionais” (Ibid., p. 97).

Para Bachelard, (1996, p. 93) “o acúmulo de imagens prejudica evidentemente a razão”. O autor argumenta que “o lado concreto apresentado sem prudência, impede a visão abstrata e nítida dos problemas reais”.

A própria teoria da eletricidade aceita atualmente como eletricidade positiva e negativa¹⁴ originou-se das observações de Symmer às suas próprias meias. Em Bachelard (1996, p. 273) encontramos que “(...) depois de haver feito muitas observações para determinar de que circunstâncias dependiam esses tipos de aparências elétricas, achou enfim, que era a combinação do branco com o preto que produzia esta eletricidade”.

“Na ciência natural da Eletricidade do século XVIII, atribui-se precisamente uma equivalência substancial a três princípios: fogo, eletricidade e luz” (BACHELARD, 1973, p. 57). “Em outros termos a eletricidade é tomada nos caracteres evidentes da centelha elétrica: a eletricidade é fogo e luz” (BACHELARD, 1977, p. 126). “Se o bastão de resina lança centelhas ao mínimo atrito, é porque é cheio de fogo”. “E essas centelhas não são apenas luz fria; são quentes”. (Ibid, p. 57). “A exploração direta das primeiras observações, exploração orientada por intuições substancialista, exigiria apenas que se trouxesse *alimento* a essa eletricidade fogo-luz” (BACHELARD, 1973, p. 57). Isto é exatamente o que faz a técnica de iluminação do lampião: A combustão precisa do comburento.

Para Bachelard (1977, p. 125), a lâmpada elétrica de fio incandescente rompe com esta técnica. A técnica antiga é de combustão. A técnica nova é de não-combustão. A técnica da não-combustão consiste em impedir que certo material se queime. “A ampola não é feita para impedir a lâmpada de ser agitada por correntes de ar. Ela é feita para conservar o vácuo em volta do filamento. A lâmpada elétrica não tem, absolutamente, qualquer coisa em comum com a lâmpada antiga”. E acrescenta, “A única coisa que permite designar a duas lâmpadas pelo mesmo termo é que ambas iluminam o quarto quando desce a noite”.

Bachelard (1991, p. 13) enfatiza que “a experiência nova diz ‘não’ a experiência antiga”. “Compreender um fenômeno novo não é simplesmente acrescentá-lo a um saber adquirido, é reorganizar os próprios princípios do saber” (BACHELARD, 1977, p. 178). Por outras palavras, “em qualquer processo educativo, o progresso não consiste tanto na ligação de uma percepção com sua resposta, mas sim na modificação da própria percepção” (BACHELARD, 2004, p. 251). Em suma, “o que sabemos é fruto da desilusão com aquilo que julgávamos saber; o que somos é fruto da desilusão com o que julgávamos ser” (LOPES, 1996, p. 254).

MATERIAIS E MÉTODOS

- **A pesquisa**

¹⁴ Um corpo positivamente carregado possui predominância de um tipo de eletricidade, e um negativamente carregado uma predominância de outro tipo, enquanto um corpo neutro os efeitos dos dois fluidos se apresentam balanceados (Ibid., p. 228).

Este artigo é resultado da integração de duas pesquisas: Uma pesquisa de Iniciação Científica realizada pelo segundo autor, em que se fez um estudo das fontes históricas primárias e secundárias sobre a eletricidade estática no século XVIII, e a outra, diz respeito à parte de um trabalho de doutorado, conduzido pelo primeiro autor, correspondendo a três encontros em que foram abordados os conteúdos da eletricidade. O terceiro autor é orientador dos dois trabalhos.

- **A amostra**

A coleta de dados da tese de doutorado foi realizada durante o ano letivo de 2006. Foi idealizado um curso de extensão universitária cuja ementa visava abordar o eletromagnetismo clássico numa perspectiva histórico-filosófica. Dito de outro modo, o curso proposto tinha um caráter mais qualitativo, não se atendo ao formalismo matemático tradicional.

O curso denominado “Fundamentos Históricos do Eletromagnetismo” foi divulgado aos alunos do curso de licenciatura em Física da Faculdade de Ciências da Unesp/Bauru, onde foram abertas 15 vagas.

A idéia em trabalhar com um número reduzido de alunos é que o foco da pesquisa é o sistema cognitivo do aluno. Sendo assim, acreditamos que o curso se tornou mais interativo e trouxe melhores resultados. Identificamos os estudantes pelas três primeiras letras do nome.

- **Metodologia**

O curso constou de uma carga-horária de 60 horas/aulas. Foram 20 encontros quinzenais com 3 horas cada, durante o ano letivo de 2006. Este trabalho apresenta apenas o resultado do estudo da eletricidade feito durante o primeiro semestre.

Estudávamos textos normalmente traduzidos. No primeiro encontro estudamos Gray e Du Fay; no segundo Franklin e finalmente, no último Volta. Algumas demonstrações e experimentos foram executados. O professor, mediador das discussões, instigava os alunos a expressarem suas idéias. Os encontros foram gravados em vídeos, sendo autorizado pelos próprios alunos e os dados foram transcritos para análise.

As categorias de análises escolhidas estão relacionadas a alguns obstáculos epistemológicos sugeridos por Bachelard: *A experiência primeira, o obstáculo substancialista e o obstáculo verbal*. Na seqüência, descrevemos brevemente estas categorias:

- *A Experiência Primeira* - A observação primeira, pitoresca, sedutora e fácil, colocada antes e acima da crítica, representa um obstáculo para o conhecimento científico. Para Bachelard (1996, p.37), “é tão agradável para preguiça intelectual limitar-se ao empirismo (...)”. No entanto, ele não é contra o empirismo, mas a favor de uma atitude polêmica entre razão e experiência que mobiliza o pensamento.
- *Obstáculo substancialista* - Este obstáculo caracteriza-se pôr atribuir a um fenômeno a qualidade de uma determinada substância. Entende-se este obstáculo como um erro inicial ao aprendizado, na medida em que se considera que “o movimento epistemológico é alternado, do interior para o exterior das substâncias, prevalecendo-se da experiência externa evidente, mas escapando a crítica pelo mergulho na intimidade” (BACHELARD, 1996, p. 121).
- *Obstáculo verbal* - O obstáculo verbal caracteriza-se pôr uma “falsa explicação obtida à custa de uma palavra explicativa” (BACHELARD, 1996, p. 27).

RESULTADOS E ANÁLISES

Antes de iniciarmos o estudo do texto, o professor deixou sobre a bancada três bastões de materiais diferentes e três tipos de tecidos. Também foram postos sobre a mesa objetos como bolinhas de isopor e pedaços de papéis. Foram montados pêndulos eletrostáticos com diferentes objetos pendurados por diferentes fios. Estes experimentos simples foram desencadeadores das idéias dos estudantes. Serão apresentados os trechos mais relevantes da nossa investigação. As três letras maiúsculas identificam o aluno e os trechos em itálico a “fala” dos licenciandos.

- **A Experiência Primeira**

De acordo com Santos (1998, p. 40) “(...) quanto mais vivas e pitorescas são as experiências, maior interesse desperta e mais desviam atenção de aspectos não observáveis”. Desta forma, o aluno **SAL** ao observar o bastão brinca: *É a varinha do Harry Potter*, deixando entender que existe magia nestes fenômenos. Notem que, fenômenos macroscópicos ocultam conceitos microscópicos.

O aluno **ADR** ao perceber que o mesmo bastão conseguia atrair as bolinhas de isopor e não conseguia levantar pedacinhos de papel, questiona: *Será que é porque o papel é mais pesado que as bolinhas?* Uma das grandes diferenças da eletricidade e do magnetismo é que a primeira não tem o mesmo poder de atração que a última.

O estudante **NEL** ao mudar o tecido com o qual ele atritava e, ao obter bons resultados, infere: *É este tecido aqui!* De fato a teoria da eletricidade vítrea e resinosa foi por água abaixo ao perceberem que o material com o qual se atrita interfere no processo.

Outra percepção que surgiu da experiência foi que, o potencial elétrico é inversamente proporcional ao tempo. Por outras palavras, quanto maior a energia cinética, maior é a quantidade de carga que o corpo adquire. Por exemplo, **MAR** ao verificar que **SAL** fricciona o pano com o bastão aconselha: *Tem que ser forte. Acelera com vontade.* Num outro momento, **NEL** diz para o professor: *Tem que ter força de vontade*, sugerindo para que se atrite mais vigorosamente.

“As experiências muito marcantes, cheias de imagens, são falso centro de interesse. É indispensável que o professor passe continuamente da mesa de experiência para lousa, a fim de extrair o mais depressa possível o abstrato do concreto” (BACHELARD, 1996, p. 50). Neste sentido, trabalhamos o texto para esclarecer alguns conceitos.

Para Santos (1998, p. 146) os “dados” resultam de uma reflexão, ou seja, de um grande afastamento da percepção sensível. “O espírito científico deve formar-se contra a natureza” (BACHELARD, 1996, p. 29).

- **Obstáculo substancialista.**

Na eletricidade estática, a atração elétrica entre corpos foi atribuída no passado a substâncias tenazes, como a cola. Os dados demonstraram que o estudante **SAL** por diversas vezes substituiu a expressão “atrair” pelo verbo “grudar”. Bachelard (1996, p. 128) alerta que isto é um meio de traduzir, de expressar o fenômeno. Porém, pode se interiorizar no pensamento.

Vamos mostrar que as concepções de luz e calor estão ligadas à eletricidade. **NET** após atritar vigorosamente um tecido feito de pelo de animal ao bastão, entrega o bastão para o professor que diz: *Nossa, está quente.* **NET** olha para sua mão e a agita como se estivesse queimando. Então a aproxima do pêndulo para ver se ela o atrai. Em seguida, aproxima o pano atritado, pois ambos estavam quentes.

Ao interpretar os dados, foi constatado que o aluno **SAL** utilizou os termos “fogo” e “faísca” por diversas vezes como sinônimo de descarga elétrica.

Esta concepção foi sem dúvida um obstáculo à descoberta do eletromagnetismo. Martins (1986, p. 116) relata que Oersted (1777-1851) considerou que a possibilidade de produção de calor e luz por meio de uma corrente elétrica em um fio metálico fino era uma evidência de que calor e luz tinham uma profunda relação com a eletricidade. Oersted sugere que seu experimento deva ser feito com uma bateria “que seja capaz de tornar incandescente um fio metálico”. Mais tarde ele viria a descobrir que, fios mais grossos dão melhores resultados.

SAL descreveu um fato interessante. Disse que ao estacionar seu carro e tocar na lataria recebeu uma descarga eletrostática e como estava com os sapatos *úmidos* isto contribuiu para que ele levasse o choque. Isto sugere que a água conduz eletricidade. Veremos mais adiante como este fato será importante para o desfecho deste trabalho.

- **Obstáculo verbal**

Notem os seguintes trechos dos alunos descrevendo o movimento das bolinhas de isopor: **AND**: Olhem! Elas *pulam*; **SAL**: Tem bolinha que está *flutuando* no béquer; **SER**: Elas (as bolinhas) entraram em *ressonância*. Estas palavras constituem obstáculos uma vez que deixam escapar a interação elétrica entre os corpos.

A palavra “grudou” analisada acima não deixa de ser também um obstáculo verbal uma vez que sugere uma falsa explicação por meio da palavra.

“O obstáculo verbal está relacionado com o uso desajustado de imagens, analogias e metáforas, quando, na prática pedagógica, tendem a reforçar e/ou a fazer regredir concepções alternativas radicadas no imaginário” (SANTOS, 1998, p. 141).

- **Uma psicanálise do conhecimento objetivo**

Transcrevemos este pequeno trecho para mostrar como é o pensamento em seu esforço de conceitualização e assimilação ao explicar o fenômeno da atração pela teoria do fluido único de Franklin. As siglas **PROF** e **ALU** significam professor e aluno, respectivamente.

PROF: *Como a gente explica que um corpo eletrizado atrai outro corpo não eletrizado, segundo a teoria do Franklin?*

ALU: *O corpo eletrizado tem mais fluido do que o outro.*

PROF: *Pelo que ele está me dizendo, o que os corpos buscam fazer?*

ALU: *Entrar em equilíbrio.*

PROF: *Se você tem um corpo com excesso ou falta o que ele tende a fazer?*

ALU: *Se estabilizar com o outro corpo.*

PROF: *E se ele está com mais ou menos, o que ele tenta fazer?*

PROF: *Vamos supor que ele está com mais o que ele tenta fazer?*

ALU: *Perder. Se livrar do excesso, passando para outro corpo.*

PROF: *Se ele tem falta?*

ALU: *Tenta atrair. Tenta acumular mais.*

PROF: *Acumular mais?*

PROF: *Repare o seguinte: Toda essa descrição que ele (Franklin) dá, é uma eletrização por contato. Você atrita, coloca as coisas em contato e essas coisas se atraem. Observem que há o toque entre os corpos.*

PROF: *Agora, por que este corpo aqui (a caneta) induz alguma coisa nestes corpos (papeizinhos)? Por que alguma coisa neutra seria atraída por um corpo eletrizado?*

PAUSA...

ALU: *Sei lá. Buscando “fluido elétrico”?*

PROF: *Porque ele vai precisar de fluido elétrico se ele está neutro? Se ele está em equilíbrio (...)*

ALU: *A pergunta é: O que este corpo aqui, tem a ver que este outro está carregado?*

PROF: *É. Por que esse corpo não eletrizado é atraído por esse corpo eletrizado Se ele está em equilíbrio, por que é que ele vai perder o equilíbrio?*

ALU: *Mas, este outro não está em equilíbrio. Não é esse corpo que precisa carregar. É este outro que precisa descarregar.*

PROF: *Sim, mas se esse precisa descarregar esse outro aqui está neutro. Se ele está neutro, não tem carga. Está em equilíbrio.*

PAUSA...

ALU: *É ele está em equilíbrio com a região ao redor e todo o universo.*

PROF: *É um problema da teoria dele. (Franklin)*

PROF: *Você tem um corpo carregado positivamente ou negativamente e, você tem um corpo neutro.*

PROF: *Repare que na teoria do Du Fay você tinha dois fluidos. O que quê era um corpo neutro: Ele tinha igual quantidade de fluido vítreo e igual quantidade de fluido resinoso. Então, esses dois fluidos estavam em concordância. Estavam em equilíbrio. Na hora que você aproximasse um corpo com excesso de fluido resinoso (...). O que Du Fay chegou à conclusão? Que resinoso repele resinoso e atrai vítreo. Então, agora ele tem um corpo neutro. Se ele aproxima um corpo com eletricidade vítrea, o que quê vai acontecer com a eletricidade vítrea deste corpo aqui? Vai se afastar. Vai para este canto, aqui. A eletricidade resinosa vem para este outro canto. Então como ele afirma que a eletricidade resinosa atrai a vítrea, então, eles vão se atrair.*

PROF: *Mas agora no caso aqui você tem muito fluido. Um corpo com excesso de fluido e um corpo em equilíbrio. Como você explica a atração entre este corpo neutro e esse corpo carregado?*

ALU: *É um fato sem explicação!*

PROF: *Não. É um fato observacional. Você tem um corpo neutro que é atraído por um corpo eletrizado e depois, repellido. É a observação que a gente tem. Eles tinham apenas a atração com um fenômeno. A repulsão, eles não tinham.*

PROF: *Repare o seguinte: Se a gente aceita a teoria do Franklin e essa observação experimental: Corpos carregados atraem corpos neutros (por indução). Como se dá essa indução?*

PAUSA...

PROF: *O que a gente conclui, então?*

ALU: *Que a teoria não contempla (...).*

PROF: *É, que a teoria de Franklin tem dificuldade em explicar a questão (o problema) da indução.*

Outro fato relevante é que um dos alunos faz uma analogia entre a quantidade de eletricidade de dois corpos e o nível de dois copos d'água: Se os copos estão no mesmo nível, os corpos estão eletricamente neutros. Se o nível for diferente, teremos excesso ou falta de fluido respectivamente. Por uma limitação de espaço, deixaremos esta discussão para outra oportunidade.

Podemos verificar que o conhecimento objetivo e o pensamento subjetivo já não podem ser explicados como fenômeno que se apresenta aos nossos olhos. Temos um problema de escala. Para conhecer a ‘coisa em si’ precisamos de um prolongamento do olho humano. A astronomia é a

ciência do macro objeto e o telescópio nos ajuda a desvendar o universo oculto. A eletricidade é a ciência do infinitamente pequeno, a física do micro objeto. É necessária uma técnica para mergulharmos no interior da substância. Em períodos posteriores ao século XVIII, a eletricidade foi racionalizada através da matematização e da instrumentalização, que é produto da razão humana.

Em contextos escolares Furió e Guisasola (1998a, p. 512) assinalam que as dificuldades apresentadas por estudantes na formação de conceitos elétricos provêm das pré-concepções tanto a nível epistemológico quanto, ontológico. Os autores constatam que os estudantes têm dificuldades na diferenciação entre intensidade de campo e força elétrica. Além disso, situações de conflitos cognitivos que requerem a noção de campo elétrico são mais complicadas devido ao nível de abstração requerido (FURIÓ; GUIASOLA, 1998b, p. 143).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vimos que as concepções de luz e calor estavam presentes na mentalidade pré-científica. Também foi enfatizado que houve longo período para que pudesse ser concebida a eletricidade dinâmica. Se compararmos a garrafa de Leyden, que é composta por duas lâminas metálicas, interposta por um dielétrico e a bateria elétrica composta por duas placas de metais diferentes, no meio das quais é interposto um eletrólito, veremos que é possível fazer uma analogia entre elas. A diferença básica é que o dielétrico é isolante e o eletrólito é condutor.

Se compararmos os efeitos em ambas, a corrente flui de uma placa à outra. Na garrafa de Leyden o fluxo é instantâneo quando se conectam as duas placas e não pode ser restabelecido, enquanto na bateria o fluxo é contínuo, pois temos um fluxo de elétrons no fio condutor que interliga as placas e um posterior restabelecimento deste fluxo, através de íons, no interior da bateria.

O dielétrico é seco, o eletrólito é úmido. Enquanto se buscava na luz e calor a fonte de eletricidade, foi necessário romper com esta idéia e considerar que a água e outras soluções em contatos com os metais podiam gerar eletricidade. Em suma, o pensamento novo disse não a velha técnica.

O professor, ao ensinar, deve refletir que “o estado de consciência em que reconheço um objeto não é a repetição do estado de consciência em que o conheci; é um estado de consciência novo” (BACHELARD, 2004, p. 31).

REFERÊNCIAS

BACHELARD, Gaston. **Epistemologia**. Barcelona: Editorial Anagrama, 1973, 254p.

_____. **O Racionalismo Aplicado**. s/ Ed., Rio de Janeiro: Zahar Editoria, 1977, 244p.

_____. **A Filosofia do Não: Filosofia do novo espírito científico**. 5^a ed. Lisboa: Editorial Presença, 1991, 135p.

_____. **A Formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. 3^a reimpressão. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996, 316p.

_____. **O Novo Espírito Científico**. 3^a ed. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 2000, 151p.

_____. **Ensaio sobre o conhecimento aproximado**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2004, 318p.

DU FAY, C. F. C. A Letter [...] concerning electricity. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v. 38, pp. 258-266, 1735.

FURIÓ, C.; GUIASOLA, J. Difficulties in Learning the Concept of Electric Field. **Science Education**, 82(4): 511-526, 1998a.

_____. Dificuldades de aprendizagem de los conceptos de carga y de Campo Eléctrico em Estudantes de Bachillerato y Universidad. **Enseñanza de las Ciencias**, 16(1): 131-146, 1998b.

GILBERT, Willian. **De Magnete**. Translated by P. Fleury Mottelay, Dover Publications Inc., New York: 1958. 368 p.

GRAY, S. A letter to Cromwell Mortimer, M.D. Secr. R.S. containing several experiments concerning electricity. **Philosophical Transactions of the Royal Society**. v. 37, p. 18-44, 1733.

HEILBRON, J. L. Robert Symmer and the two electricities. **Isis**. v. 67, n.1, p. 7-20, 1976.

HOME, R. W. **The effluvial theory of electricity**. New York: Arno Press, 1981.

_____. **Electricity and Experimental Physics 18th Century Europe**. Brookfield: Variorum, 1992.

LOPES, A. R. C. Bachelard: O filósofo da desilusão. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.13, n.3: pp.248-273, dez/1996.

MARTINS, Roberto de Andrade. Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade. **Acta Scientiarum**, 21 (4), pp. 823-835, 1999.

_____. Experiência sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v.10, pp. 115-122, 1986.

SANTOS, Maria Eduarda Vaz Moniz dos. **Mudança Conceptual na Sala de Aula: Um desafio Pedagógico Epistemologicamente Fundamentado**. 2^a ed., Lisboa: Livros Horizonte, 1998, 238p.

TATON, R. **História geral das ciências**. São Paulo: Difusão Européia do Livro, v. 3, p. 9-117, 1960.

VOLTA, Alessandro. **A pilha volúica**. In: **A Source Book in Physics**, By William Francis Magie, 1^a ed., 3^a impr., pp. 427-431, Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New York and London: 1935.

WATSON, W. Some further Inquiries into the Nature and Properties of Electricity; by William Watson F. R. S. **Philosophical Transactions of the Royal Society**. v. 45, p. 93, 1750.

WOLF, Abraham. A History of Science, Technology, and Philosophy in the 18th.Century. v.2, pp. 213-273, England: Thoemmes Press, 1999.