

**CIÊNCIAS HUMANAS****O término de uma controvérsia não resolvida: a enigmática querela entre Galvani, Volta e um sapo a(ini)migo**

The terminus of an unresolved controversy: the enigmatic quarrel between Galvani, Volta and a friendly (or not) frog

Anabel Cardoso Raicik¹

RESUMO

Este artigo discorre sobre alguns valores envolvidos na aceitação de um novo conhecimento na ciência, à luz de considerações kuhnianas, como o que surge com a divulgação da pilha por Alessandro Volta, em 1800. Além disso, discute como se deu o término da controvérsia que Volta trava com Luigi Galvani, acerca da eletricidade animal, a partir de uma classificação de McMullin (2003). Por fim, apresenta implicações para o ensino de ciências, sobretudo, para desmistificar a ideia de que o componente empírico é sempre o árbitro infalível que permite escolhas teóricas inequívocas.

Palavras-chave: Controvérsia; Volta; Galvani; valores.

ABSTRACT

This article discusses some values involved in the acceptance of new knowledge in science, in the light of Kuhn's considerations as to what comes with the release of the battery by Alessandro Volta in 1800. Moreover, it discusses how the controversy that Volta has with Luigi Galvani about animal electricity ended, based on a classification by McMullin (2003). Finally, it has implications for science education, especially to demystify the idea that the empirical component is always the infallible arbiter that allows unequivocal theoretical choices.

Keywords: Controversy; Volta; Galvani; values.

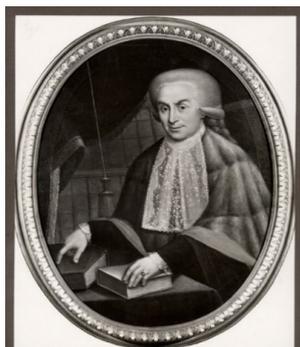
1. INTRODUÇÃO

A controvérsia travada entre o anatomista Luigi Galvani (1737-1798) e o físico Alessandro Volta (1745-1827) [fig. 1] acerca da eletricidade animal, após a publicação do *De viribus electricitatis in motu musculari* (Comentários sobre o efeito da eletricidade nos movimentos musculares) pelo primeiro, no final do século XVIII, é uma das mais emblemáticas da história da ciência. (BERNARDI, 2000; RAICIK, 2019; RAICIK, 2020; PERA, 1992; PICCOLINO; BRESADOLA, 2013; KIPNIS, 1987).

¹ Doutora em Educação Científica e Tecnológica, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis/SC - Brasil. E-mail: anabelraicik@gmail.com



Figura 1 - À esquerda, o anatomista Luigi Galvani. À direita, o físico Alessandro Volta.



Fonte: Extraídas, respectivamente, de www.archivistorico.unibo.it e Dibner (1971).

Constituindo-se exemplo de controvérsia analítica (RAICK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2018), aquelas que ocorrem em períodos pré-paradigmáticos e que têm o componente empírico como cerne do debate, a querela Galvani-Volta evidencia o quanto os caminhos para a aceitação de um novo conhecimento na ciência podem ser sutis e complexos. O desenrolar de uma controvérsia analítica pode tornar-se tão intrincado a ponto de não permitir que a explicação empírica seja suficiente, por si mesma, para que estudiosos escolham entre as teorias que despontam nesse momento de efervescência teórica. Esse tipo de controvérsia comporta um constante jogo entre hipóteses e experimentação e pode demonstrar, como outras disputas, a falta de consenso em termos teóricos, metodológicos, instrumentais etc., entre seus oponentes.

No ensino de ciências, em que a valorização de resultados se sobressai ao do contexto de produção de conhecimento, ainda persiste – embora haja esforços expressivos e exponenciais nos últimos anos para se mudar isso – a ideia de que as controvérsias científicas são terminadas por apelo ao componente empírico. Materiais didáticos, discursos de professores, livros de divulgação científica, vídeos, filmes, refletem, muitas vezes, o estereótipo de que certos experimentos, considerados arbitrariamente como cruciais, permitem uma tomada de decisão, entre teorias, de forma incontestável e imediata. (HODSON, 1988).

A escolha teórica entre paradigmas, ou em período pré-paradigmático, não se processa alicerçada em regras ou critérios isentos de julgamento; não pode haver uma solução puramente normativa [...]. Até mesmo as experiências, tão distintas por tanto tempo na ciência, envolvem técnicas de observação, instrumentação, interpretação e não podem atuar como um árbitro imparcial na escolha teórica. (RAICK; ANGOTTI, 2019, p.235).

Thomas Kuhn (2011) ressalta que, normalmente, os estudiosos compartilham de um conjunto de valores como precisão, consistência, simplicidade, fecundidade e abrangência, entre outros, que evidenciam boas razões para a tomada de decisão. (CORDEIRO, 2016; RAICK; ANGOTTI, 2019). Esses valores, que podem envolver fatores objetivos e subjetivos ou critérios compartilhados e individuais, são passíveis de juízos e, portanto, são norteadores ou mediadores de escolhas teóricas, não conduzem sempre e necessariamente ao término de um desacordo.



No âmbito do positivismo lógico, esses valores eram entendidos como regras lógicas para a escolha teórica; não suscetíveis a juízos e mudanças em contexto histórico. Não obstante, considerar esses critérios como valores permite, como enfatiza Kuhn (2011, p.351), “que os critérios usuais funcionem de modo irrestrito nos estágios iniciais de escolha de teorias, período em que são mais necessários, mas que segundo a concepção tradicional [positivista] funcionam mal ou nem funcionam”.

Volta, ao se debruçar sobre a obra do anatomista italiano reconhece, inicialmente, todo o mérito de um novo conhecimento que se apresentava à ciência. Ele enfatiza que a descoberta é “brilhante”, não apenas pelo que traz “de novo e admirável, mas porque abre um vasto campo de pesquisa, não menos interessante e curioso, e de úteis aplicações.” (VOLTA, 1967, p.371). Em princípio, além de reconhecer a fecundidade da teoria, sobretudo por apresentar uma original explicação para um problema que persistia desde a antiguidade – a busca pelo entendimento do processo de contração muscular – Volta valorizou sua precisão. Galvani havia conseguido apresentar, aparentemente, uma clara concordância de sua teoria da eletricidade intrínseca animal com inúmeras experiências e observações. O anatomista havia “provado pela evidência [sua teoria], com muitas experiências bem combinadas e cuidadosamente descritas.” (VOLTA, 1967, p.372). Os experimentos qualitativos, condizentes com a explicação dada, apresentavam um peso relativo para a valorização do novo conhecimento anunciado, nesse primeiro momento. Como enaltece o historiador da ciência Walter Bernardi (2000), ele havia feito um “avanço que foi considerado revolucionário pelos cientistas de sua época.” (p.101). Todavia, em uma ciência permeada por valores e características de cada indivíduo, essa reação de Volta foi efêmera. Ademais, apesar de uma aceitação eminente, a teoria da eletricidade animal galvânica encontrou de imediato críticas de adeptos da teoria da irritabilidade de Albrecht von Haller (1708-1777). (BERNARDI, 2000; HOFF, 1936).

Como aponta Kuhn (2011), antes de um conhecimento ser aceito e se estabelecer na ciência, a nova teoria é ‘testada’, analisada, estudada, ponderada durante algum tempo. Volta, no início, dirige-se com apreço à teoria de Galvani, mas com o desenvolvimento de novos experimentos e hipóteses, começa a construir sua própria teoria.

Quando Volta publica suas primeiras *Memorie sull’eletricit à animale* (Memórias sobre eletricidade animal), semanas depois de ter lido o *De viribus*, ele já apresenta discordâncias de ordem teórica e metodológica em relação ao corpo de conhecimento apresentado por Galvani. A adequação empírica pareceu se conciliar a um caso muito particular; aquele em que experimentos eram desenvolvidos com rãs devidamente preparadas, a saber, dissecadas. Volta, ao perceber experimentalmente que com sapos vivos ocorriam contrações com a utilização de metais dissimilares, começa a se deparar com possíveis inconsistências na teoria de Galvani. No mínimo, nesse início de desacordo, a “espetacular” teoria da eletricidade animal tinha sua abrangência limitada. Os metais, para além de meros componentes passivos, como já reconhecia Galvani, ganhavam um status de agentes da contração. Volta começa a admitir que seus experimentos com animais vivos, poderiam evidenciar que a teoria do anatomista ou não era correta, ou era limitada. Por certo, as diversas maneiras com que a tomada de decisão é feita na ciência, isto é, como se dá o abandono de uma



teoria por outra, envolvem a discussão “sobre técnicas de persuasão, ou sobre argumento e contra-argumento.” (KUHN, 2011, p.339).

Os anos de discórdia entre o anatomista e o físico, sempre cordiais e respeitosos, envolveram distintas publicações (entre elas GALVANI, 1953; 1841; 1797 E VOLTA, 1967; 1793; 1792; 1918) e tiveram o sobrinho e assistente de Galvani, Giovani Aldini (1762-1834) como protagonista de muitas discussões e porta voz de seu tio. As diversas trocas de críticas, historicamente construtivas, evidenciam justamente o quanto “a relação entre uma teoria/concepção teórica e seus fundamentos experimentais nada tem de trivial.” (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p.43). Por certo, os experimentos desenvolvidos por Volta o levaram a invenção do “órgão elétrico artificial”, que propiciou novos estudos na eletricidade, eletroquímica, eletromagnetismo. Não obstante, as pesquisas galvânicas estabeleceram as bases para a eletrofisiologia. Além disso, a controvérsia que travam, acerca da eletricidade animal, evidencia que “o aparente sucesso de uma demonstração científica depende não apenas de sua ‘veracidade’ intrínseca, mas também de outros fatores, até mesmo de caráter extra científico.” (PICCOLINO, 1998, p.383). Esse percurso, que principalmente em retrospectiva mostra o sucesso de ambos, exemplifica que o desenrolar de uma controvérsia pode ser tão complexo que envolve não apenas uma explicação empírica para um fenômeno, em princípio novo, mas um conjunto de compromissos de pesquisa, entre eles, distintos valores e seus juízos.

A publicação da invenção da pilha por Volta, em 1800, foi um marco para a ciência. Com o impacto do instrumento apresentado, e com Galvani já falecido, parecia que a controvérsia entre eles estava resolvida. Não obstante, a ciência tem suas (muitas) sutilezas. Apesar do caráter revolucionário do invento, o sapo, nos experimentos desenvolvidos na controvérsia, permanecia ambíguo; sua amizade (ou inimizade) não havia sido desfeita com a pilha, tampouco com o falecimento de Galvani.

Nesse sentido, este artigo visa discorrer sobre alguns valores envolvidos na aceitação de um novo conhecimento na ciência, como o que surge com a divulgação da pilha por Volta, à luz de considerações kuhnianas, bem como discutir como se deu o término do debate entre o físico e o anatomista a partir de uma classificação de McMullin (2003). Além disso, apresenta implicações para o ensino de ciências, sobretudo, para desmistificar a ideia de que o componente empírico, a precisão, é sempre o árbitro infalível que permite escolhas teóricas inequívocas².

2. A DIVULGAÇÃO DA PILHA: O ÓRGÃO ELÉTRICO ARTIFICIAL

O impacto da carta *On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of diferente species* (Sobre a eletricidade excitada pelo simples contato entre substâncias condutoras de tipos diferentes), datada de 20 de março de 1800, encaminhada a Joseph Banks e posteriormente publicada no *Philosophical Transactions*, foi revolucionário. “É como se um novo mundo, um mundo inconcebível, tivesse sido descoberto.” (PERA, 1992, p.153). A apresentação da pilha, com efeito,

² Os estudos de Galvani que o levam à teoria da eletricidade animal, publicada no *De viribus electricitatis in motu musculari*, e a controvérsia que trava com Volta, logo em seguida, podem ser encontrados, respectivamente, em Raicik (2019) e Raicik (2020).

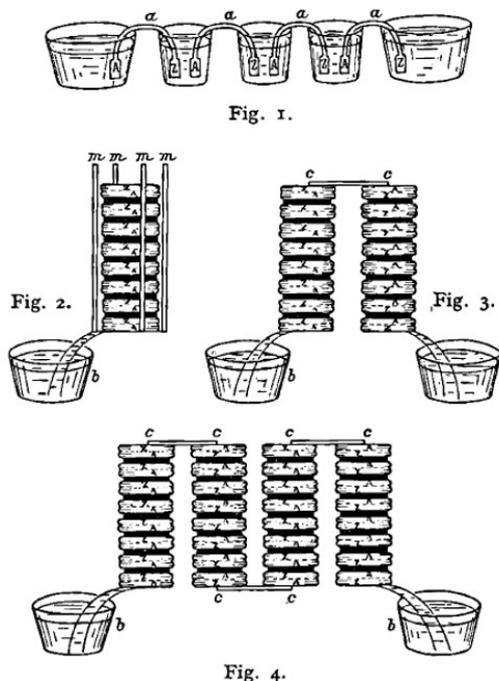


inaugura uma nova era na física, abre as portas para caminhos inimagináveis. Nas palavras de Volta:

[...] o aparelho de que estou falando e que sem dúvida causará admiração, não é senão a junção de certa quantidade de bons condutores de natureza diferente, dispostos em uma determinada maneira [...] Este aparelho, similar na essência, como demonstrarei, e mesmo pela maneira como o construí, também na forma, ao órgão elétrico natural do torpedo, da enguia elétrica, etc. mais do que às garrafas de Leiden e às baterias elétricas conhecidas, gostaria de chamar a este aparelho de órgão elétrico artificial. (VOLTA, 1800, p.404-405; MAGNAGHI; ASSIS, 2008, p.120-121).

Na carta, Volta descreve o seu instrumento. Ele apresenta duas montagens da bateria: de colunas e de “coroa de copos” [fig. 2]. No primeiro caso, o físico sobrepõe discos de dois metais distintos (cobre e estanho ou prata e zinco, normalmente), interpostos com discos úmidos (de matéria esponjosa, capaz de absorver água “ou de algum outro líquido que seja melhor condutor que a água pura, como a água salgada, lixívia, etc., ou pedaços de cartão ou pele bem molhados”). (VOLTA, 1800, p.404; MAGNAGHI; ASSIS, 2008, p.121). Na coroa de copos, ele associa, por meio de ‘coroas’ (arcos, pontes) bimetálicas, uma série de copos de qualquer material, exceto metal, preenchidos pela metade com água pura, salgada ou lixívia. As ligas metálicas poderiam ser, entre outros metais, de cobre e estanho ou prata e zinco.

Figura 2 – Pilha de coroa de copos e pilha de colunas.



Fonte: Extraída de Volta (1967).

O seu órgão elétrico artificial era, essencialmente, análogo ao órgão do torpedo e das enguias. Em ambos os casos, era a alternância de diferentes condutores que produziam eletricidade, uma vez que atuavam como motores de eletricidade quando em contato. (PICCOLINO, 1998).



A qual eletricidade, então, a qual instrumento deve ser comparado este órgão do torpedo e da enguia elétrica? A este que construí de acordo com o novo princípio da eletricidade que descobri há alguns anos e que minhas experiências sucessivas, sobretudo as de que me ocupo atualmente, confirmaram tão bem, ou seja, que os condutores também funcionam, em alguns casos, como motores da eletricidade, no caso do contato mútuo entre diferentes condutores; chamei este aparelho de órgão elétrico artificial, o qual, sendo no fundo o mesmo que o órgão natural do torpedo, ainda é semelhante a ele na forma. (VOLTA, 1800, p.430-431; MAGNAGHI; ASSIS, 2008, p.139).

A ênfase dada por Volta à semelhança da pilha com os peixes elétricos, além de visar “silenciar os galvanistas” (HEILBRON, 2007, p.2562), evidencia o quanto seu interesse nesses peixes, e na possibilidade de explicá-los para além de uma eletricidade animal genuína, mas por fatores físicos, representa um aspecto fundamental no caminho que o leva à sua descoberta. (KIPNIS, 2001; PICCOLINO; BRESADOLA, 2013).

De alguma forma, os órgãos do torpedo [...] tornaram-se para Volta o que a garrafa de Leiden havia sido para Galvani. É certamente um tipo de paradoxo histórico que um ‘físico’ como Volta tenha dirigido seu esforço a uma imagem mental derivada do mundo animal, enquanto um ‘fisiologista’ como Galvani tenha tirado sua inspiração de uma das mais famosas ferramentas físicas do século XVIII. (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p.256).

O certo é que Volta salienta que as novas experiências por ele desenvolvidas, e outras ainda a serem realizadas, abrem um campo profícuo de reflexões e estudos que podem interessar “o anatomista, o fisiologista e o clínico geral” (VOLTA, 1800, p.429), além de físicos, sem dúvida. Não obstante, a carta “contém silêncios, mal-entendidos e exageros que não podem ser atribuídos à pressa ou às circunstâncias de sua escrita.” (PERA, 1992, p.159). Sobretudo no que se refere aos efeitos químicos da pilha, inevitavelmente observados, mas não comentados – como a oxidação ou a formação de bolhas na coroa de copos –, é que essas críticas incidem. Ao passo em que a carta não apenas objetivava descrever a pilha, mas estabelecer a teoria da eletricidade por contato, “qualquer coisa incompatível com ela não era observada ou, se observada, ignorada em silêncio ou, se mencionada, reinterpretada de forma *ad hoc*.” (PERA, 1992, p.160). Provavelmente, Volta temia que isso pudesse minar sua explicação de contato puramente não-químico, uma vez que em outras publicações ele enfatiza que o condutor úmido tinha por única função permitir a passagem da corrente; a ação da pilha se devia unicamente ao contato entre os metais. (KRAGH, 2000). Com efeito, depois de sua publicação e até a década de 1840, uma controvérsia havia se instaurado entre estudiosos que defendiam a noção de Volta de eletricidade por contato e aqueles que argumentavam que a pilha deveria ser explicada em termos químicos. (KRAGH, 2000).

Atrelado a isso surgem os exageros, como o de usar o instrumento para afirmar sua teoria. Embora Volta considerasse que a querela com Galvani já havia sido resolvida com experiência em que constata eletricidade metálica a partir de seu eletrômetro de condensação (RAIČIK, 2020), em 1797, foi a pilha que fez com que muitos estudiosos se voltassem à sua teoria e não a do anatomista. (KIPNIS, 1987). Em princípio, Volta parece ter sido “declarado como vencedor da controvérsia” (SOEIRO, 2013, p.217),



quando apresentou seu instrumento fantástico. “Para a maioria dos estudiosos, este documento constitui o julgamento definitivo da eletricidade animal” (MAURO, 1969, p.143). Mas será mesmo que a controvérsia havia sido resolvida com o órgão elétrico artificial?

Figura 3 – Volta com sua pilha e seu eletróforo.



Fonte: Extraída de <http://ppp.unipv.it/volta/>.

3. A SOBERANIA DE UM APARELHO E O ESQUECIMENTO DE UM SAPO ENIGMÁTICO: UMA QUERELA TERMINADA, MAS NÃO RESOLVIDA

A última publicação de Galvani, *Memorie sulla elettricità animale* (Memórias sobre eletricidade animal), em que apresenta o seu “quarto experimento”³. (PERA 1992; RAICIK, 2020), que considera decisivo para evidenciar uma eletricidade animal, ocorre em 1797. Esse experimento consistia em obter contrações nas pernas de um sapo, devidamente dissecado, conectando exclusivamente matéria nervosa, isto é, completamente homogênea.

Depois disso, sua vida sofre uma ‘metamorfose’. Ele teve de “enfrentar uma das piores humilhações que uma pessoa como ele poderia sofrer.” (BRESADOLA, 1998, p.379). Foi privado de seus cargos na Universidade e no Instituto de Ciências de Bolonha por se recusar a prestar fidelidade à República Cisalpina, recém-criada pelos franceses após a ocupação da Itália. (BROWN, 2007; PICCOLINO; BRESADOLA, 2013). A nova autoridade de Napoleão Bonaparte “decidiu privá-lo de todas as suas posições acadêmicas e públicas, retirando todo apoio financeiro. O que tinha sido o seu mundo por toda a sua vida caiu sobre ele.” (BRESADOLA, 1998, p.329). Em 4 de dezembro de 1798, Galvani falece. Como Alibert poeticamente salienta, e não sem afáveis e descomedidas palavras (1806, p.537):

Toda a Europa erudita foi dolorosamente afetada pela perda desse grande homem. O secretário do Instituto de Bolonha anunciou sua morte em uma reunião pública e a consternação foi universal. Jamais uma cena tão tocante foi vista pelos espectadores. Lágrimas escaparam de todos os olhos [...] (ALIBERT, 1806, p.537).

³ Na literatura mais especializada, alguns experimentos de Galvani em seus estudos da eletricidade animal são considerados mais famosos e impactantes e, portanto, receberam a especificação de primeiro, segundo e terceiro experimento galvânico. (HOFF, 1936; DIBNER, 1971; PERA, 1992; PICCOLINO; BRESADOLA, 2013). Pera (1992), ainda denomina de o “quarto experimento”, um experimento variante do terceiro e desenvolvido em 1797.



McMullin (2003), ao apresentar uma classificação para o término de controvérsias, argumenta que elas podem ser resolvidas, encerradas e/ou abandonadas. Para o físico e filósofo da ciência, os valores epistêmicos, em que o conhecimento é baseado, e os não epistêmicos, externos ao empreendimento científico, são relevantes e atuam distintamente no processo de terminação desses debates. (RAICIK; ANGOTTI, 2019).

No íterim entre a exoneração e morte de Galvani, a controvérsia começa a ser encerrada. Como argumenta McMullin, a autoridade de estado e a retirada de publicações, a título de exemplo, podem ser fatores decisivos em um debate. O afastamento de Galvani, nitidamente um fator não epistêmico, foi essencial para o encerramento que, com efeito, não significa resolução da controvérsia. “Quando uma controvérsia termina com o encerramento, o desacordo original ainda persiste em certa medida.” (McMULLIN, 2003, p.79). A comunidade, naquele momento, pode não considerar resolvido adequadamente o problema central da querela. Cabe aos valores epistêmicos o papel significativo de resolver controvérsias. Isso não exime valores não epistêmicos, que podem ser decisivos e intervir junto aos epistêmicos.

Efetivamente, a controvérsia é abandonada com o falecimento do anatomista. Isto significa que ela simplesmente desaparece. A perda de interesse, o esgotamento e até mesmo o óbito de um dos envolvidos contribuem para isso. Nestes casos, igualmente, a querela não é resolvida. O ritmo da pesquisa em eletricidade animal, por exemplo, diminuiu por quase três décadas depois de Galvani. (BRESADOLA, 1998). Ainda que Aldini tenha continuado as pesquisas do tio, a teoria não tinha mais a força de antes. Fatores externos, valores não epistêmicos, influenciam a ciência, em maior ou menor medida. Enquanto isso, Volta estava no auge de seus anos de glória.

A controvérsia havia terminado, portanto, antes mesmo da publicação da pilha. Mas como nem tudo é “preto no branco” na ciência, a comunidade viu na pilha um critério importante para resolver, em definitivo, a querela. Em retrospectiva, no entanto, entende-se que a resolução desse debate caloroso vai surgir com a explicação de Alan Hodgkin (e seus colaboradores, certamente), dois séculos depois.

Não obstante, o impacto da pilha, em uma ciência que primava por experimentos e instrumentos, foi imediato. Mesmo que o órgão elétrico artificial não tivesse uma plena base teórica, pois se restringia à concepção de eletricidade por contato, a sua replicação e o seu uso evidenciaram sua pronta aceitação. Isto certamente contrasta com a exigência de sustentação teórica dos instrumentos desde o período da ciência moderna. O telescópio de Galileu, por exemplo, sofreu uma resistência considerável pela falta de aporte teórico, o que não ocorreu com o telescópio de reflexão, construído e explicado teoricamente por Newton.

Apesar de muitos estudiosos terem sido atraídos pela teoria de Galvani, incluindo muitos fisiologistas, um conjunto de fatores os levou a aderirem à concepção de Volta e abandonarem a eletricidade animal. A teoria de Volta era, relativamente, mais simples. Para os físicos, sua simplicidade era vista pela economia de hipóteses biológicas. (PERA, 1992). Para os fisiologistas, a concepção de Galvani, mesmo antes da publicação da pilha, “era um assunto muito complicado para estudo na época”. (KIPNIS, 1987, p.142). Além disso, muitos viram a pilha como algo que refutava a teoria de Galvani, o que a história evidencia não ser verdade. A abrangência da teoria também foi um valor que influenciou consideravelmente a comunidade. Em



retrospectiva ambas as teorias extrapolavam as observações, leis e subteorias para as quais haviam sido formuladas, a pilha à física, química etc., enquanto a teoria galvânica à eletrofisiologia. Todavia, na época, o impacto da pilha se mostrou mais abrangente. A citação do médico Giovacchino Carradori, “os experimentos de Galvani e Aldini não formam um sistema geral, mas são instâncias particulares de um sistema geral que Volta descobriu e demonstrou.” (1817, p.65), evidencia a ideia que se perpetuou naquele momento. Logo, a fecundidade foi outro aspecto relevante. Muitos estudiosos se preocupam com o impacto de seus estudos e preferem teorias mais fecundas, ou seja, aquelas que, aparentemente, encontram novos achados de pesquisa, propiciam novos fenômenos, permitem que a relação de fenômenos antes ignorados seja clarificada ou compreendida. (KUHN, 2011).

A recepção precoce da bateria voltaica mostra que o consenso sobre como a bateria funcionava, e sobre suas implicações para a filosofia natural, estava claramente ausente nos círculos especializados e amadores da Europa nos primeiros anos após a introdução do novo instrumento. Apesar disso, especialistas, amadores e até mesmo chefes de estado como o general [Napoleão] Bonaparte - frequentemente informados da conquista de Volta apenas pela imprensa diária - mostraram-se capazes e dispostos a celebrar os méritos da contribuição de Volta ao conhecimento especializado perante as elites cultas da Europa. (PANCALDI, 2003, p.4-5).

A relação política e científica, de interesse mútuo, que Volta estabelece com Napoleão também influencia, de certa forma, a aceitação da pilha. (HEILBRON, 2007). Em 1801 ele foi agraciado, pelo Imperador, com uma medalha de ouro por seu invento. Esse envolvimento, que trouxe mais fama ao físico, contribuiu para uma vitória da física sobre a fisiologia, embora em termos históricos isso seja demasiadamente reducionista. O certo é que, o sucesso da pilha e a ligeira percepção da comunidade dos fenômenos químicos que abarcava, ajudou, inclusive, “a obscurecer o papel desempenhado pelo peixe elétrico na descoberta do novo aparato” (PANCALDI, 1990, p.157) e, por consequência, afastar ainda mais as considerações biológicas que a teoria da eletricidade animal trazia no âmbito da querela que havia travado com Galvani.

Além disso, o século XVIII carrega o legado, advindo do início da ciência moderna, da importância das testemunhas para a legitimação e maior confiabilidade de um conhecimento experimental. (RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2017). Algumas das maneiras de se conseguir a multiplicação de testemunhas era facilitar a reprodução do experimento em questão e a sua realização em espaços sociais - seja para estudiosos conhecedores do conhecimento, seja para o público em geral (SHAPIN, 2013). Volta fez isso “facilitando a replicação de sua invenção e descrevendo experimentos adequados para demonstrações públicas. Ele queria o reconhecimento geral de sua descoberta de um novo tipo de eletricidade, não apenas o consentimento profissional de seus colegas cientistas.” (MERTENS, 1998, p.307).

Apesar de a ideia de que “a pilha de pares metálicos e cartões molhados simbolizava o que Volta gostava de descrever como a vitória da eletricidade metálica sobre a animal.” (PANCALDI, 1990, p.154), tenha se perpetuado pela história, ela era um símbolo. O físico havia dito em 1797, portanto três anos antes do anúncio da bateria,



que sua experiência considerada ‘decisiva’ (em que constata eletricidade metálica a partir de seu eletrômetro de condensação), era um golpe final à teoria da eletricidade animal.

Figura 4 – Volta apresenta a pilha para Napoleão Bonaparte, por Gaspero Martellini.



Fonte: Em Museo della Specola, Florença. Extraída de Fara (2009).

Embora, principalmente para a comunidade científica da época, a pilha tenha sido um instrumento ‘revolucionário’, a controvérsia, como sobredito, não havia sido resolvida naquele momento. O sapo continuava enigmático, ainda que os estudiosos tenham se voltado, não sem razão, ao novo instrumento apresentado. Apesar do notável artigo em que Volta apresenta a sua pilha, a noção de Galvani de que as contrações musculares em sapos pertenciam a uma classe de fenômenos biológicos não podia ser extinguida. (PERA, 1992; PICCOLINO; BRESADOLA, 2013; RAICIK, 2020). Com efeito, o declínio da eletricidade animal após 1800 não deprecia sua importância. (KIPNIS, 1987).

4. O SAPO ENIGMÁTICO, SEUS DOIS A(INI)MIGOS E ALGUMAS (POSSÍVEIS) LIÇÕES EPISTEMOLÓGICAS: IMPLICAÇÕES PARA UM ENSINO SOBRE CIÊNCIA

No final de um longo debate, tanto Galvani quanto Volta haviam desenvolvido um experimento considerado ‘decisivo’ para cada perspectiva teórica. (RAICIK, 2020). O anatomista havia realizado um experimento (o “quarto experimento”) em que constatava contrações no sapo a partir de substâncias exclusivamente orgânicas, unindo nervo-nervo. O físico, por sua vez, mostrava a existência de eletricidade devido ao contato de diferentes metais, com seu eletrômetro de condensação, sem utilizar um sapo ou qualquer detector fisiológico. No campo das explicações, Galvani considera o nervo e/ou o músculo como órgãos animais, e por serem eletricamente desequilibrados, a eletricidade é animal e intrínseca. Para Volta, o nervo e o músculo seriam condutores úmidos generalizados e, portanto, a eletricidade seria aquela comum a todos os corpos e o desequilíbrio provocado artificialmente pelo contanto entre esses corpos. (PERA, 1992).



Nesse sentido, uma das mais impactantes 'lições' da controvérsia entre Galvani e Volta é a de que a experimentação pode possuir distintas funções na construção de conhecimento. "A experimentação não tem apenas o papel de corroborar ou de refutar teorias em sua forma final. Ela é parte integrante e essencial do processo de construção do conhecimento, que envolve o diálogo entre as expectativas e convicções teóricas do investigador e as observações que ele realiza." (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p.39). A ideia de que um experimento, especificamente definidor, pode encerrar debates na ciência, ignora os distintos papéis do experimento na ciência.

A noção de que controvérsias deveriam ser resolvidas com base em um experimento, sobretudo considerado 'crucial' que, imediata e inquestionavelmente, poria fim ao debate se perpetuou no período do positivismo lógico, por exemplo, e atingiu a imagem de ciência presente no ensino. Todavia, "a ideia de um experimento - experimento crucial - que, per se, de forma definitiva e inequívoca, permite decidir 'instantaneamente' entre teorias ou concepções rivais, é um mito. É bastante complexa a dinâmica entre hipótese, teoria e experimentação na ciência." (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p.41). A controvérsia acerca da eletricidade animal evidencia a relatividade de se atribuir a um experimento o caráter de decisório. (RAICIK, 2020).

Ambos estudiosos estavam diante de uma mesma situação. Todavia, como ressalta Hanson (1975, p.130): "são as pessoas que vêem e não seus olhos". Os pressupostos de cada estudioso, sua influência biográfica e psicológica, os levou a observar o mesmo sapo sob óticas distintas; uma voltada à eletrobiologia e outra à eletrofísica. Como o próprio Galvani (1841, p.322) salienta: "Quem pode deixar de ver que ambos estamos dizendo o mesmo, embora com palavras diferentes?"

Figura 5 - O sapo ambíguo: condensador orgânico ou eletromotor físico?



Fonte: Adaptada de Pera (1992).

Para além de um debate sobre estratégias ou experiências, houve um profundo conflito de suposições, de teorias. (PERA, 1992). Com efeito, "a observação (científica) é seletiva: exige um objeto, um ponto de vista, um interesse especial, um problema. As observações são intrincadas misturas de componentes empíricos e precipitados teóricos. Não há observações neutras." (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p.22). A ambiguidade da rã, que se adequava as duas interpretações, atesta isso.



A precisão, no sentido de adequação das teorias às experimentações e observações, era equivalente. Como ressalta Kuhn (2011), essa concordância não se refere, somente, a parte quantitativa, mas qualitativamente. Cada arcabouço teórico, nesse caso, era compatível com seus respectivos pressupostos. Nem sempre a escolha teórica pode ser feita em termos de sua exatidão. Com efeito, como a história evidencia, a “aceitação ou rejeição das teorias foi [também] ditada por fatores extra-empíricos”. (PERA, 1992, p.xxv). É um conjunto de valores existentes na ciência, epistêmicos ou não, que fornece a base partilhada para a escolha de teorias; a decisão não pode ser regulada por regras universais. (KUHN, 2011).

O próprio Volta, paradoxalmente, tinha por máxima que “o idioma da experiência é mais autoritário do que qualquer raciocínio: os fatos podem destruir o raciocínio e não vice-versa”. No entanto, a querela que trava com o anatomista explicita fortemente o quanto as observações são carregadas de teoria e, por consequência, evidencia a limitação da ideia de que os experimentos podem, por si, resolver querelas.

A autoridade da experiência, ou mais especificamente, da precisão é, sem dúvida, um elemento constitutivo da própria ciência. Não obstante, é necessário reconhecer que o experimento não pode atuar como um árbitro imparcial; a ciência está passível de juízos de valor. No ensino, e na visão de ciência em geral (veiculada pela mídia, divulgação científica e pelo próprio senso comum), essa discussão ainda é escassa.

[...] os cientistas evitam tratar de divergências verbais [...]. Tentam falar, muito seriamente, uma e a mesma linguagem, ainda que sejam diferentes suas línguas maternas. Nas ciências naturais isto se consegue reconhecendo a experiência como árbitro imparcial de suas controvérsias [...] (POPPER, 1987, p.225).

Embora a citação acima tenha que ser lida com parcimônia e compreendida no âmbito da epistemologia popperiana, ela carrega uma ideia que se disseminou por um longo período na ciência e no ensino: a função descomunal do componente empírico para, por exemplo, a escolha teórica.

É possível, e desejável no âmbito de um ensino sobre a ciência, enfatizar que “a disputa de teorias pela hegemonia do conhecimento envolve tanto aspectos de natureza interna quanto externa à ciência; podem ser bastante complexos e sutis os mecanismos envolvidos na aceitação de um novo conhecimento.” (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p.34). O falecimento de Galvani e, antes disso, seu afastamento da Universidade e do Instituto, foram elementos que encaminharam o debate para o seu término. Os efeitos surpreendentes da invenção da pilha por Volta, que selaram ainda mais sua fama, também contribuíram para isso. (COHEN, 1992).

A ciência é humana e “concepções filosóficas, religiosas, culturais, éticas do investigador, assim como o contexto histórico, cultural, social em que se desenvolve a ciência, influenciam o seu trabalho desde os tempos mais remotos.” (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p.30). O envolvimento de Volta com Napoleão, assim como a (não) relação de Galvani com ele, por motivos religiosos e políticos, tiveram um peso considerável que, em balança, pendeu para um dos lados. O ensino de ciências, em geral, negligencia o contexto de descoberta, dando ênfase apenas a resultados descontextualizados, desconsiderando com isso distintos fatores que influenciam o desenvolvimento científico, a comunidade, a aceitação de um determinado conhecimento *etc.*



Consequentemente, inexistem, praticamente, discussões acerca das relações da ciência com a política, a economia, a cultura e a sociedade. A história permite no entanto, como no caso em questão, analisar muitos dos valores subjacentes que permeiam essa atividade tão dinâmica e complexa que é desvendar e compreender a natureza.

Kuhn (2011) salienta que há um conjunto de valores na ciência que evidenciam boas razões para a escolha teórica. A falta de contextualização de valores e seus juízos, em sala de aula, pode levar o aluno a ter uma falsa impressão de que apenas valores epistêmicos, e mais especificamente a precisão, tão estimada na ciência, são decisórios na tomada de decisão. Apesar de estar “mais próximo a um critério decisivo [...] as teorias nem sempre podem ser discriminadas em termos de precisão.” (KUHN, 2011, p.342). Tanto a construção teórica de Galvani quanto a de Volta eram equivalentes no que se refere a precisão. É nesse sentido que, em termos, “os experimentos existiam em um mundo de papel e não na mesa de dissecação.” (MORUS, 1993, p.92). Isto significa, no fundo, entender que “leis e teorias científicas são elaborações/criações do intelecto humano. Não são meras sínteses indutivas do observado, do experimentado. Os dados, per se, não geram teorias.” (PEDUZZI; RAICIK, 2020, p.25).

Com efeito, nenhum dos dois protagonistas poderia reconhecer, plenamente, a validade da concepção do outro sem ter de renunciar a sua própria explicação. Eram lentes conceituais distintas para um mesmo fenômeno. Ao trazerem um espectro dos estudos fisiológicos dos últimos dois séculos, com ênfase no problema da contração muscular, Piccolino e Bresadola (2013) evidenciam o quanto o dilema entre Galvani e Volta era “aparente e não real”. (p.269). Isso devido ao fato de que havia uma explicação que poderia abarcar ambas as perspectivas, mas só com o desenvolvimento da eletrofisiologia isso foi possível.

O período histórico iniciado por Galvani com sua pesquisa em 1780 seria idealmente concluído com os estudos realizados na Inglaterra (na Universidade de Cambridge) por Alan Hodgkin e seus colaboradores no período de 1934-1952. Os estudos de Hodgkin mostrariam que os sinais nervosos são um fenômeno genuinamente elétrico, devido à existência nos tecidos animais de uma forma de eletricidade em uma condição de desequilíbrio, como Galvani supôs no final do século XVIII. Ao mesmo tempo, a pesquisa de Hodgkin explicava a necessidade de outra forma de desequilíbrio elétrico, a fim de colocar a ‘eletricidade animal’ em movimento e produzir o sinal nervoso. Nas circunstâncias dos experimentos com arcos metálicos, esse desequilíbrio foi produzido pela eletricidade “metálica” de Volta. (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, p.270).

Os estudos modernos da eletrofisiologia evidenciam que a teoria da eletricidade animal de Galvani não estava errada; estava parcialmente correta. Ela é precisa no que se refere à existência de uma eletricidade animal, mas não totalmente no que diz respeito ao mecanismo de excitação proposto pelo anatomista, pois, naquele momento, não se tinha o arcabouço conceitual que foi desenvolvido nos dois séculos subsequentes, que deram condições à uma explicação mais complexa. Deveras, existe uma eletricidade animal, tal como proposta pelo anatomista, que, em condições normais, encontra-se em estado de desequilíbrio e pode ser acionada tanto por



mecanismos internos (biológicos), quanto externos (com o uso de metais, por exemplo). Essa eletricidade, como se constatou, está envolvida em processos fisiológicos fundamentais, como a excitação muscular e nervosa e:

[...] Corresponde aos elusivos ‘espíritos animais’ da ciência médica do período clássico [...] De alguma forma, a eletricidade animal é acumulada nos tecidos animais, como nos capacitores elétricos, e na garrafa de Leiden [...]. Em muitos aspectos, portanto, as ideias de Galvani foram corroboradas por estudos feitos depois dele, e parece apropriado considerá-lo como o real fundador da eletrofisiologia. (PICCOLINO, 1998, p.402).

No âmbito da controvérsia, portanto, não houve perdedores. Típico de controvérsias analíticas, esse embate fez emergir o que, mais tarde, seriam dois paradigmas na ciência: a eletrofisiologia e o eletromagnetismo. Embora controvérsias desse tipo possam surgir com a falta de consenso em termos teóricos, metodológicos, instrumentais etc., a estruturação de um novo conhecimento, neste caso historicamente dois, em especial, pode revelar um conjunto de compromissos de pesquisa, que abarca uma explicação empírica, mas não somente ela; pode englobar generalizações simbólicas, modelos, valores, exemplares. (KUHN, 2011). Ainda assim, os estudos de Galvani, por muito tempo na história da ciência e no ensino, principalmente no âmbito da física, foram deturpados, tendo sua importância, simploriamente, limitada à condução de Volta ao desenvolvimento da pilha elétrica. (PICCOLINO, 1998).

Não é incomum livros específicos de história da ciência, além de divulgação científica, deturpem os distintos aspectos históricos, epistemológicos, sociais, conceituais da controvérsia entre Galvani e Volta. Nesse sentido, muitas obras apresentam relatos de uma pseudo-história ou de uma quase-história; uma história que, ao omitir todo um contexto histórico simplifica e desfigura um momento importante da ciência, ou a falsifica para um fim didático ou ideológico. (PEDUZZI; RAICIK, 2020).

Exemplos disso são encontradas em obras diversas. Taton (1955, p.76), historiador matemático francês, grotescamente afirma que Galvani não conseguiu explicar “corretamente” os experimentos desenvolvidos acerca das contrações musculares em rãs; apenas “Volta, físico de talento”, estava “preparado pela sua formação anterior para a interpretação racional deste fenômeno, o qual ao ir eliminando paulatinamente os fatores exteriores, conduziu finalmente à invenção da pilha”. O cientista e historiador Bernal (1964, p.466) também não é feliz ao afirmar que “foi necessária a mentalidade mais lógica” de Volta para se compreender a corrente elétrica nos experimentos. Aqui, em paralelo é possível se pensar, à luz de uma importante consideração kuhniana: se há uma interpretação racional (ou mais lógica), o que seria irracional?. Kuhn (2006, p.160) enfatizou que “nenhum processo essencial ao desenvolvimento científico pode ser rotulado de ‘irracional’ sem que se cometa enorme violência ao sentido do termo”. Galvani, além de estar na gênese do advento de um paradigma, a eletrofisiologia, buscou ‘questionar a natureza’, desenvolveu inúmeros experimentos devidamente dialogados com hipóteses, em um intenso processo de verificação, otimização, simplificação, variação. (TRUMPLER, 1997).



Pera (1992) e Piccolino e Bresadola (2013), a título de exemplo, evidenciam todo o processo de desenvolvimento dos estudos de Galvani, com inúmeros experimentos, explorações, diálogos entre construtos teóricos e experimentações etc., até a publicação do *De viribus* e posteriormente. Estudos recentes, em que todo o contexto de pesquisa galvânica é enfatizado (X), mostram que não se pode mais declarar, equivocadamente, que “o pobre Galvani [...] entendeu de forma completamente errada o efeito bimetálico” (BODANIS, 2008, p.225). Ou ainda, que Volta, simplesmente “ampliando experimentos de Galvani, descobriu”. (DAMPLER, 1986, p.129) a pilha.

Por ocasião da *Celebrazione del secondo centenario della nascita di Luigi Galvani* (Celebração do segundo centenário do nascimento de Luigi Galvani), que ocorreu na XXIX Reunião da Sociedade Italiana de Física e do Congresso de Física em Bolonha, no ano de 1937, Niels Bohr declara que:

A obra imortal de Galvani, que inaugurou uma nova época em todo o campo da ciência, é uma ilustração brilhante da extrema fecundidade de uma combinação íntima da exploração das leis da natureza inanimada com o estudo das propriedades dos organismos vivos. (BOHR, 1938, p.429).

Ao concluir este discurso, espero que a temeridade de um físico se aventurar até agora fora de seu domínio restrito da ciência possa ser perdoada, em vista da oportunidade mais bem-vinda de discussão proveitosa oferecida aos físicos e biólogos por este encontro para honrar a memória do grande pioneiro, cujas descobertas fundamentais ambos os ramos da ciência devem muito. (BOHR, 1938, p.438).

A ciência teve que esperar muito tempo, como enfatiza Piccolino (1998), “antes de ver completamente elucidada”, com a descoberta de Hodgkin, “as profundas razões do conflito entre Galvani e Volta sobre o mecanismo da excitabilidade nervosa e muscular.” (p.403). Mas depois que ela viu, não pôde mais considerar que Volta venceu sobre Galvani. A ciência triunfou com essa espetacular querela.

5. REFERÊNCIAS

ALIBERT, J. L. **Éloges**: historiques composés pour la société médicale de Paris. Paris: Crapelet, 1806.

BERNAL, J. D. **Historia social de la ciência**. Barcelona: Edicions 62, 1964.

BERNARDI, W. The controversy on animal electricity in eighteenth-century Italy: Galvani, Volta and others. In: BEVILACQUA, F.; FREGONESE, L. (Eds.). **Nuova Voltiana**: Studies on Volta and his times. 2000. p.101-114.

BODANIS, D. **Universo Elétrico**: a impressionante história da eletricidade. Rio de Janeiro: Record, 2008.

BOHR, N. Biology and atomic physics. **Nuovo Cimento**, v.15, n.7, p.429-438, 1938.

BRESADOLA, M. Medicine and science in the life of Luigi Galvani (1737-1798). **History of Neuroscience**, v.46, n.5, p.367-380, 1998.



BROWN, T. **Luigi Galvani. Dicionário de Biografias Científicas.** Rio de Janeiro: Contraponto, 2007.

CARRADORI, G. **Istoria del Galvanismo in Italia, o sia Della contesa fra Volta e Galvani e decisione ricavata dai fatti esposti dai due partiti del dottore Giovacchino Carradori.** Italian: 1817.

COHEN, I. B. Foreword. In: PERA, M. **The ambiguous frog.** Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1992. p.xi-xiii.

CORDEIRO, M. **Ciência e Valores na história da fissão nuclear:** potencialidades para a educação científica. 2016. 228 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

DAMPLER, W. C. **História da Ciência.** São Paulo: IBRASA, 1986.

DIBNER, B. **Luigi Galvani:** an expanded version of a biography prepared for the forthcoming edition of the Encyclopaedia Britannica. Norwalk: Burndy Library, 1971.

FARA, P. Alessandro Volta and the politics of pictures. **Endeavour**, v.33, n.4, 2009.

GALVANI, L. **Commentary on the effects of electricity on muscular motion:** a translation of Luigi Galvani's De viribus electricitatis in motu musculari commentarius. Tradução de Robert M. Green. Cambridge, MA: Elizabeth Licht, 1953.

GALVANI, L. **Opere edite ed inedite del professore Luigi Galvani.** Raccolte e pubblicate per cura dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna. Bologna: Dall'Olmo, 1841.

GALVANI, L. **Memorie sulla elettricità animale di Luigi Galvani P. Professore di notomia nella Università di Bologna al celebre Abate Lazzaro Spallanzani Pubblico professore nella Università di Pavia. Aggiunte alcune elettriche esperienze di Gio Aldini P. prof. di física.** Bolonha: Sassi, 1797.

HANSON, N. R. Observação e interpretação. In: MORGENBESSER, S. (Org.). **Filosofia da Ciência.** São Paulo: Editora Cultrix, 1975.

HEILBRON, J. L. Volta, Alessandro. In: GILLISPIE, C. C. (Ed.). **Dicionário de biografias científicas.** Rio de Janeiro: Contraponto, 2007. p.2552-2565.

HODSON, D. Experiments in science and science teaching. **Educational Philosophy and Theory**, v.20, n.2, 1988.

HOFF, H. E. Galvani and the pre-Galvanian electrophysiologists. **Annals of Science**, v.1, n.2, p.157-172, 1936.

KIPNIS, N. Scientific controversies in teaching science: the case of Volta. **Science & Education**, v.10, p.33-49, 2001.

KIPNIS, N. Luigi Galvani and the debate on animal electricity, 1791-1800. **Annals of Science**, v.44, p.107-142, 1987.



KRAGH, H. Confusion and controversy: nineteenth-century theories of the voltaic pile. In: BEVILACQUA, F.; FREGONESE, L. (Eds.). **Nuova voltiana**: studies in volta and his times. Milan: Hoepli, 2000. v.1. p.133-157.

KUHN, T. S. **A tensão essencial**: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica. São Paulo: Unesp, 2011.

KUHN, T. S. **O caminho desde a estrutura**. São Paulo: Livraria UNESP, 2006.

MAGNAGHI, C. P.; ASSIS, A. K. T. Sobre a eletricidade excitada pelo simples contato entre substâncias condutoras de tipos diferentes: uma tradução comentada do artigo de Volta de 1800 descrevendo sua invenção da pilha elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.25, n.1, p.118-140, 2008.

MAURO, A. The role of the Voltaic Pile in the Galvani-Volta controversy concerning animal vs. metallic electricity. **Journal of the History of Medicine and Allied Sciences**, v.24, n.2, p.140-150, 1969.

McMULLIN, E. Scientific controversy and its termination. In: ENGELHARDT, H. T.; CAPLAN, A. L. (Ed.). **Scientific controversies**: case studies in the resolution and closure of disputes in Science and technology. New York: Cambridge University Press, 2003. p.49-92.

MERTENS, J. Shocks and Sparks: The Voltaic pile as a demonstration device. **Isis**, v.89, p.300-311, 1998.

MORUS, I. R. Book Reviews. **The British Journal the History of Science**, v.26, n.1, p.92-93, 1993.

PANCALDI, G. Introduction. In: PANCALDI, G. **Volta**: Science and culture in the age of enlightenment. New Jersey: Princeton University Press, 2003.

PANCALDI, G. Electricity and life. Volta's path to the battery. **Historical Studies in the Physical and Biological Sciences**, v. 21, n.1, p. 123-160, 1990.

PEDUZZI, L. O.; RAICIK, A. C. Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.25, n.2, p.19-55, 2020.

PERA, M. **The ambiguous frog**. New Jersey: Princeton University Press, 1992.

PICCOLINO, M.; BRESADOLA, M. **Shocking Frogs**. New York: Oxford Press, 2013.

PICCOLINO, M. Animal electricity and the birth of electrophysiology: The legacy of Luigi Galvani. **Brain Research Bulletin**, v.46, n.5, p.381-407, 1998.

POPPER, K. **A sociedade aberta e seus inimigos**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1987.

RAICIK, A. C. Galvani, Volta e os experimentos cruciais: a emblemática controvérsia da eletricidade animal. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.25, n.1, p.358-383, 2020.

RAICIK, A. C. A rã enigmática e os experimentos exploratórios: dos estudos iniciais de Galvani à sua teoria da eletricidade animal. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v.12, n.1, p.114-137, 2019.



RAIČIK, A. C.; ANGOTTI, J. A. P. A escolha teórica em controvérsias científicas: valores e seus juízos à luz de concepções kuhnianas. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.12, n.1, p.331-349, 2019.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. A estrutura conceitual e epistemológica de uma controvérsia científica: implicações para o ensino de ciências. **Experiências em Ensino de Ciências**, v.13, n.1, p.42-62, 2018.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. Da instantia crucis ao experimento crucial: diferentes perspectivas na filosofia e na ciência. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.22, n.3, p.192-206, 2017.

SHAPIN, S. **Nunca Pura**: estudos históricos de ciência como se fora produzida por pessoas com corpos, situadas no tempo, no espaço, na cultura e na sociedade e que se empenham por credibilidade e autoridade. Belo Horizonte: Fino Traço, 2013.

SOEIRO, D. On artificial and animal electricity: Alessandro Volta vs. Luigi Galvani. **Journal of Philosophy of life**, v.3, n.3, p.212-237, 2013.

TATON, R. **Casualidade e acidentalidade das descobertas científicas**. São Paulo: Hemus, 1955.

TRUMPLER, M. Verification and variation: patterns of experimentation in investigations of Galvanism in Germany, 1790-1800. **Philosophy of Science**, v.64, p.575-584, 1997.

VOLTA, A. **Le Opere di Alessandro Volta**. 1918. v.1. Disponível em: <https://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/content/electricity/volta>. Acesso em: 8 ago. 2019.

VOLTA, A. **Opere Scelte**. GLIOZZI, M. (Ed.). Turin: Utet, 1967.

VOLTA, A. On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of diferente species. Letter to Sir Joseph Banks, March, 20, 1800. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v.90, p.403-431, 1800.

VOLTA, A. (anônimo). Transunto di osservazioni sull'elettricità animale ed alcune nuove proprietà del fluido elettrico. In: Marelli, G. (Ed.). **Opuscoli Scelti sulle scienze e sulle arti**, t.XV, p.213-215, 1792.

VOLTA, A. IV. Account of some discoveries made by Mr. Galvani, of Bologna; with experiments and observations on them. In two letters from Mr. Alexander Volta, F. R. S. Professor of Natural Philosophy in the University of Pavia, to Mr. Tiberius Cavallo, F. R. S. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v.83, p.10-44, 1793.

Submetido em: **08/08/2019**

Aceito em: **10/08/2020**