

## A rã enigmática e os experimentos exploratórios: dos estudos iniciais de Galvani à sua teoria da eletricidade animal<sup>1</sup>

*The enigmatic frog and exploratory experiments: from Galvani's  
early studies to his theory of animal electricity*

ANABEL CARDOSO RAICIK

Universidade Federal de Santa Catarina | UFSC

**RESUMO** As pesquisas elétricas de Luigi Galvani, que culminaram com a formulação da teoria da eletricidade animal e, posteriormente, suscitaram uma das mais emblemáticas controvérsias na história da ciência com Alessandro Volta, evidenciam uma profícua relação entre hipóteses e experimentações. Este artigo busca contextualizar os estudos iniciais de Galvani fazendo vínculos de suas experimentações com a ideia baconiana de *experientia literata* e, sobretudo, com a concepção de experimentação exploratória na perspectiva de Friedrich Steinle. Ao final, apresenta algumas implicações desse resgate histórico-filosófico para um ensino *sobre* a ciência.

**Palavras chave** Luigi Galvani - eletricidade animal - *experientia literata* - experimentação exploratória - ensino.

**ABSTRACT** Luigi Galvani's electrical researches, which culminated in the formulation of the animal electricity theory and then gave rise to one of the most emblematic controversies in the history of science, between Galvani and Alessandro Volta, show a fruitful relationship between hypotheses and experiments. This article seeks to contextualize Galvani's initial studies by linking his experiments with the Baconian idea of *experientia literata* and, above all, with the conception of exploratory experimentation from Friedrich Steinle's perspective. In the end, it presents some implications of this historical-philosophical rescue for an education about science.

**Keywords** Luigi Galvani - animal electricity - *experientia literata* - exploratory experimentation - education.

## Introdução

A eletricidade é um dos campos que mais fascinou os estudiosos ao longo da história da ciência, embora o seu desenvolvimento sistemático tenha ocorrido no século XVII. As pesquisas modernas, que apresentaram relevantes contribuições tanto para a compreensão da eletricidade quanto do magnetismo, têm com a obra *De Magnete*, publicada em 1600 por William Gilbert (1544-1603), o seu prelúdio – embora, é claro, à sombra das “almas” do âmbar e do ímã, fenômenos dessas naturezas já intrigavam os gregos antigos<sup>2</sup>.

No entanto, é no século das luzes que, no âmbito da filosofia experimental, a eletricidade adquire ainda mais ímpeto. É nesse período, sobretudo, que demonstrações espetaculares, surpreendentes e curiosas instigavam estudiosos e leigos; os poderes extraordinários da eletricidade estavam presentes nas bancadas de laboratórios, nas mentes dos que buscavam incessantemente entender seus funcionamentos, nas sensações sentidas pelas faíscas no corpo daqueles que, pelos mais diversos motivos, dispunham-se a experimentar e a sentir, mas também nas exposições públicas que visavam o entretenimento, tão somente.

No final do século XVIII, importantes achados teóricos e dispositivos práticos já haviam sido realizados na eletricidade, como a máquina eletrostática, por Francis Hauksbee<sup>3</sup> (1666-1713), a repulsão elétrica e as eletricidades vítrea e resinosa, por Charles de Cisternay Du Fay (1698-1739), os isolantes (elétricos) e os condutores (não-elétricos), a comunicação da virtude elétrica por contato e a distância, por Stephen Gray (1666-1736), a proposição de um único fluido elétrico, positivo e negativo, por Benjamin Franklin (1706-1790), a garrafa de Leiden, por Ewald von Kleist (1700-1748) e Petrus van Musschenbroek (1692-1761), o eletróforo de Johan Carl Wilcke (1732-1796), melhorado e popularizado por Alessandro Volta<sup>4</sup> (1745-1827).

Nesse período, circundado por essas novas concepções e aparelhagens, Luigi Galvani (1737-1798) impulsiona os estudos elétricos com o seu *De viribus electricitatis in motu musculari* (Comentários sobre o efeito da eletricidade nos movimentos musculares), datado de 1791, mas publicado em 1792<sup>5</sup>. Galvani sustenta que há uma forma intrínseca de eletricidade envolvida na condução nervosa e na contração muscular.

Em um jogo de constantes variações e repetições experimentais, a investigação eletrofisiológica de Galvani é marcada por momentos fortuitos, diálogos entre hipóteses e experimentações, uma busca obstinada para desvendar ‘segredos da natureza’. Profundamente enraizado em concepções de Francis Bacon (1561-1626), Issac Newton (1642-1727), Robert Boyle (1627-1691), Marcello Malpighi (1628-1694), o seu experimentalismo apresenta sobreposições com a chamada *experientia literata* (experiência instruída) baconiana<sup>6</sup>.

Isto é, para além da influência baconiana referente as premissas filosóficas presentes no *Novum Organum* – que visava apresentar ‘o verdadeiro caminho’ para a investigação da natureza – os experimentos de Galvani podem ser considerados exemplos de *experientia literata*. Os experimentos galvânicos evidenciam muitas das características experimentais que Bacon preconizava em *Of the Dignity and Advancement of Learning*<sup>7</sup>.

Para Bacon a experiência instruída teria duas funções principais na investigação da natureza. Uma delas seria a de gerar experimentos que propiciam a ‘descoberta’ de causas e princípios; seu outro papel seria o de preparar a mente para o trabalho de interpretação<sup>8</sup>. Por meio de algumas técnicas, regras ou estratégias práticas para se realizar uma pesquisa, ele salienta que experiências desse tipo guiam o investigador a observações da natureza, mediante algumas técnicas, a saber: variação, produção, translação, inversão, compulsão, aplicação, conjunção e acasos, de experimentos<sup>9</sup>.

Essas técnicas contribuem para um esquema classificatório, onde o contexto experimental é variado de modo a permitir a elaboração de analogias ou correlações da natureza. Com efeito, variação, esquemas classificatórios, não prescindem de escolhas teóricas, ou por assim dizer, de hipóteses previamente estabelecidas. Embora Bacon não tenha explicitado a relação entre hipótese e experimentação, isto é visível nas técnicas da experiência instruída.

Não obstante, um dos aspectos mais notórios nos estudos iniciais de Galvani, sobretudo aqueles relativos aos primeiros experimentos apresentados no *De viribus* e de outros relatados em algumas de suas Notas, é a semelhança

de seu processo investigativo com os experimentos exploratórios, delineados pelo historiador da ciência alemão Friedrich Steinle<sup>10</sup> (1957-). Essa classe de experimentos, frequentemente, ao longo da história da ciência em períodos em que não se tem um quadro teórico bem definido em uma determinada área do conhecimento. Diferindo de experiências subordinadas por uma “teoria-orientada”, em que se segue, por exemplo, um roteiro específico onde já estão pré-estabelecidos os passos procedimentais e o resultado já é esperado, em princípio, a experimentação exploratória, por sua vez, pode desempenhar um papel chave dentro da formação e estabilização de conceitos e esquemas classificatórios.

Como frisa Steinle<sup>11</sup>, os experimentos exploratórios apresentam princípios norteadores; entre os mais importantes, destaca-se a variação sistemática de parâmetros experimentais e, por consequência, a análise de quais modificações são indispensáveis para o efeito em questão e aquelas que podem ser deixadas de lado, o estabelecimento de regras empíricas estáveis, a formação de esquemas representacionais adequados que permitam estabelecer algumas regras básicas gerais, a formulação de arranjos experimentais que envolvam apenas as condições indispensáveis, etc.

Todavia, “longe de ser um jogo sem sentido com um aparelho, a experimentação exploratória pode ser caracterizada por diretrizes definidas e metas epistêmicas”<sup>12</sup>. A busca de regularidade empírica *versus* o teste de expectativa é um deles. Aliás, tanto a experimentação exploratória, quanto a instruída, são dirigidas por preocupações epistêmicas; ambos os tipos de experimentação visam explorar um problema, investigar, compreender a natureza. Conquanto, estão distantes de apenas vir a corroborar ou refutar teorias. Nesse sentido, os estudos de Galvani representam um caso da História da Ciência que reforça a tese de Steinle, exemplifica o conceito do autor e apresenta sobreposições com a concepção de *experientia literata* baconiana.

*Cabe frisar que, para Bacon, a experiência instruída, apesar de estar diretamente ligada aos métodos de experimentação, é mais uma sagacidade, uma ‘caça pelo faro’, do que propriamente uma ciência. A experimentação exploratória, na concepção de Steinle, ao contrário, é realmente um importante processo experimental que faz parte da ciência, de maneira prolífica, diga-se de passagem*<sup>13</sup>.

116

Galvani e seus assistentes, alheios aos simples testes de hipóteses, buscavam ‘questionar a natureza’, desvendar suas obscuridades. Metodologias gerais, típicas dos experimentos exploratórios e instruídos, como a verificação, a otimização, a simplificação e a variação fizeram parte de um processo que teve por intuito entender as contrações musculares de uma rã e sua relação com a eletricidade<sup>14</sup>. As distintas hipóteses suscitadas, por vezes explícitas, eventualmente embutidas na percepção de momentos casualmente oportunos, fazem parte de “um processo complexo que pode ter origem na imaginação fértil, inspiradora, porventura em ideias especulativas, à [sic] qual subjaz um fundo reflexivo”<sup>15</sup>.

Nessa perspectiva, este artigo busca contextualizar os estudos iniciais de Galvani até a sua formulação da teoria da eletricidade animal, apresentada no *De viribus*, fazendo relações explícitas tanto com a *experientia literata* baconiana quanto, e principalmente, com as *experimentações exploratórias*. Esses contrapontos propiciam uma melhor compreensão epistemológica do processo construtivo da teoria galvânica e sua relação com as distintas e variadas experimentações desenvolvidas. Esse caminho exemplifica uma ciência dinâmica, em que experimentos, perante um diálogo constante com hipóteses, permitem variar, duvidar, analisar e, atentamente, se deparar com o inesperado.

Por fim, apresenta implicações dessas considerações para um ensino *sobre* a ciência. A análise de um episódio histórico, juntamente com a reflexão do papel da experimentação em seu desenvolvimento, pode contribuir proficua-mente para minimizar o estereótipo de que o experimento tem o papel exclusivo de testar teorias e não comporta, em sua essência, o diálogo constante com as hipóteses.

## Luigi Galvani e sua formação acadêmica

*Deixe-nos rasgar o véu, cuja modéstia cobriu os talentos desse laborioso fisiologista, coloquemos todo o zelo para elevar o brilho de seu mérito, que ele parecia escondê-lo. Quão linda é, quão útil é, essa instituição que confere ao gênio as honras extintas da apoteose!*<sup>16</sup>.

Luigi Galvani nasceu em 1737 em Bolonha, na atual Itália. Influenciado por preceitos religiosos desde cedo, aos quinze anos quase fez votos religiosos para uma vida no sacerdócio. Desencorajado de fazê-los, em 1755 ingressa na Faculdade de Artes<sup>17</sup> da Universidade de Bolonha pelo qual obteve, em 1759, seu diploma de filosofia e medicina. Em sua formação, Galvani realizou leituras de clássicos como Hipócrates (460-377 a. C), Cláudio Galeno (129-200), Avicena (980-1037) e teve como principais professores Jacopo Bartolomeo Beccari (1682-1766), Domenico Gusmano Galeazzi (1647-1731) e Giovanni Antonio Galli (1708-1782) que se inspiravam na visão malpighiana de ‘medicina racional’<sup>18</sup>.

A fim de ingressar na carreira acadêmica ele defendeu publicamente, em 1762<sup>19</sup>, a tese sobre desenvolvimento ósseo *De ossibus thèses physico-medico-chirurgice*. Isso permitiu que ele se tornasse anatomista honorário na Universidade e membro do Instituto de Ciências de Bolonha, passando a ser professor remunerado no final daquela década, em 1768, depois de ter cumprido com a realização de palestras anuais de Anatomia Pública. A função dessas palestras não era a de ser, puramente, uma aula de anatomia teórica, tampouco a dissecação para instrução de alunos<sup>20</sup>, mas “um show extraordinário em que visitantes estrangeiros e cidadãos bolonheses podiam admirar – talvez com um pouco de repulsão - o interior de um corpo humano exposto em todos os seus detalhes mais íntimos”<sup>21</sup>.

O Instituto tornou-se um dos principais centros científicos do século XVIII e foi criado por Luigi Ferdinando Marsili, um aprendiz de Marcello Malpighi. A principal diferença entre o Instituto e a Universidade estava na concepção de ensino. Embora os professores fossem geralmente os mesmos, a última era focada em ler e comentar textos antigos e dogmáticos, enquanto o primeiro, imerso em livros, instrumentos e laboratórios, primava a prática com máquinas e aparelhos. “A tradição experimental newtoniana teve uma influência profunda na abordagem científica adotada pelo Instituto de Ciências, cujo lema era ‘um Instituto que ensinaria através dos olhos e não dos ouvidos’”<sup>22</sup>. Com efeito, as suas atividades eram consideradas complementares àquelas da Universidade<sup>23</sup>.

Em 1764<sup>24</sup>, Galvani se casou com Lucia Galeazzi (1743-1788), filha de seu professor Galeazzi. Como poeticamente escreve Alibert<sup>25</sup> (1768-1837), em seu *Éloge*: “com quase trinta anos, ele estava embriagado com a felicidade de amar e ser amado”. Lucia, além de esposa, foi companheira de seu marido durante suas pesquisas, tendo atuado tanto como assistente de laboratório quanto tradutora e revisora<sup>26</sup>. Na época, a Universidade de Bolonha já havia reconhecido mulheres com habilidades notáveis, a exemplo de Laura Bassi (1711-1778), professora de filosofia natural, e Anna Morandi (1714-1774), que desenvolveu réplicas anatômicas em cera. Inicialmente, Bassi foi indicada para proferir palestras, mesmo que não lhe fosse permitido ministrar aulas regularmente, isso *já foi um passo importante para uma mulher pesquisadora naquela época. Embora posteriormente ela tenha sido formalmente nomeada como professora, suas atividades eram restritas. “Ela foi impossibilitada de apresentar suas ideias e trabalhar na Academia por causa da forte oposição à sua participação por vários membros, por causa de seu sexo”*<sup>27</sup>. Dessa forma, ela chegou a realizar aulas em casa e “criou um laboratório no qual continuou seu trabalho em física experimental por muitos anos”<sup>28</sup>. Nesse sentido, é provável que Lucia tenha aspirado uma carreira universitária e tenha recebido instrução de seu pai sobre os principais assuntos científicos no momento, como a teoria da irritabilidade de Albrecht von Haller (1708-1777), a garrafa de Leiden e as memórias de Jean-Antoine Nollet<sup>29</sup> (1700-1770). Além disso, ela recebeu instrução em assuntos como história e religião, estudando também latim e italiano<sup>30</sup>.



Figura 1. "Luigi Galvani realiza experimentos na presença de familiares" (detalhe), óleo sobre tela de Antonio Muzzi (1862), Museu de Ciência e Arte do Palazzo Poggi em Bolonha. A mulher à direita, em primeiro plano, seria sua esposa Lucia Galeazzi.

Fonte: [www.archivistorico.unibo.it](http://www.archivistorico.unibo.it)

118

Ao se casar com Lucia, Galvani passou a desfrutar do amplo e equipado laboratório doméstico que seu pai possuía. Em 1769, tornou-se assistente de seu sogro no curso de anatomia prática realizado em sua residência. Foi eleito presidente da Academia de Ciências de Bolonha em 1771 e, quatro anos depois, com a morte de Galeazzi, foi nomeado para ocupar seu lugar como professor de anatomia.

Sendo que a aplicação terapêutica da eletricidade passou a ser comum na época, Galvani, por ser médico, também se interessou pela então chamada 'eletricidade médica'. Ele acreditava, e isso ficou evidente em suas palestras de Anatomia Pública, que a terapia médica estava, de certa forma, ligada à anatomia e à fisiologia<sup>31</sup>. Para ele, o propósito da anatomia era, de fato, descobrir as relações entre a organização do corpo humano e suas funções vitais. Galvani iniciou sua investigação influenciado pelo Instituto, a Universidade e suas experiências em hospitais. Ele, literalmente, germinou em um meio profundamente enraizado nas concepções de Bacon, Boyle, Newton, Malpighi, como citado. Isso significa que ele primou pela observação e experimentação e compreendeu que a ciência deveria ter uma utilidade, no seu caso, com a aplicação médica no tratamento de doenças. Por certo, Marsili, Beccari (membro da Royal Society), junto de Galeazzi, igualmente uma das figuras mais proeminentes da época, visavam o desenvolvimento de uma ciência com utilidade social, pública e coletiva, à luz do ideal baconiano.

Em 1790, aos quarenta e sete anos, Lucia faleceu:

*Após este infortúnio irreparável, Galvani caiu em uma melancolia profunda, cujo tempo e distrações não podiam suavizar sua amargura. No interior de sua moradia, em lugares públicos ou na solidão do campo, em todos os lugares, ele se achava dolorosamente ocupado com uma memória tão dolorosa; em todos os lugares encontrou apenas a sombra melancólica de sua Lucie<sup>32</sup>.*

O tom dramático atribuído por Alibert pode expressar a intensidade da perda de Galvani. Não obstante, foi no ano seguinte que ele publicou sua mais impactante obra, o *De viribus*. Antes de comentar seus experimentos eletrofisiológicos, é preciso apontar as principais teorias que contribuíram para os seus estudos do movimento muscular.

## As imersões de Galvani às novas concepções científicas da época: o fluido nervo-elétrico e os peixes elétricos

Desde a Antiguidade estudiosos buscavam explicar e entender o mecanismo responsável pelas contrações musculares. A concepção mais antiga, predominante já no *século I com o legado de Galeno, admitia que uma entidade invisível e sem peso, então chamada 'espírito animal', era responsável pela sensação e movimento muscular. Os espíritos fluíam do cérebro para os músculos, através dos nervos, onde provocavam contrações*<sup>33</sup>.

Essa teoria perdurou e, embora alguns estudiosos discordassem de sua explicação, até o *século XVIII* ninguém havia conseguido, efetivamente, propor noções alternativas. Herman Boerhaave (1668-1738) buscou estabelecer as propriedades desse suposto fluido ou espírito animal, e defendeu que ele deveria ser muito sutil, rápido e possuir uma natureza material, mesmo que não produzisse aumento no tamanho do músculo. Conquanto, a teoria que conseguiu balançar os alicerces da concepção dos espíritos animais foi a de Albrecht von Haller, professor de anatomia, cirurgia e medicina da Universidade de Gottingen, um dos estudiosos mais prolíferos e famosos da época e aluno de Boerhaave.

Até então havia o pressuposto de que um *músculo só se contraía em resposta* ao impulso que era transmitido pelo nervo. Haller, por meio de uma série de experimentos, constatou que, ainda que se cortasse a ligação músculo-nervo, um estímulo no músculo provocava contração. Nesse sentido, ele publicou em 1753<sup>34</sup> a sua teoria da 'sensibilidade' e da 'irritabilidade'; se a parte estimulada do animal apresentasse contração, então ela era irritável, se o animal demonstrasse agitação ou sinais de dor, então a parte incitada era considerada sensível.

Haller argumentou que a sensibilidade era uma propriedade dos nervos enquanto a irritabilidade era uma propriedade intrínseca aos músculos e independente do nervo. A partir desse critério, ele estava estabelecendo, pela primeira vez, um mapeamento sensitivo e motor do corpo animal<sup>35</sup>. Contrariando a versão tradicional de Galeno, ele defendeu então que a contração muscular era uma função que não dependia da ação nervosa. A irritabilidade era, por certo, inerente ao músculo e sem causa conhecida<sup>36</sup>. A teoria halleriana suscitou grande interesse e causou um intenso debate durante a década de 1750; ela estava, como qualquer nova teoria na ciência, propensa a consensos e discordâncias. Leopoldo Macr'Antonio Caldani (1725-1813) e Felipe Fontana (1730-1805), por exemplo, defenderam essa ideia.

Nesse período já era comum a utilização da garrafa de Leiden para provocar contrações. Muitos estudiosos, dessa forma, começaram a supor que o fluido nervoso poderia ter, na realidade, natureza elétrica. Tommaso Laghi (1709-1764), anatomista da Universidade de Bolonha e médico muito influente foi um dos críticos mais ferrenhos da teoria do movimento muscular apresentada por Haller rejeitando, principalmente, a independência do nervo para as contrações nos músculos<sup>37</sup>. Ele alegou que a ruptura do nervo com o músculo poderia mostrar, *tão somente*, que havia permanecido uma porção do espírito animal no respectivo músculo e que isso provocava sua contração. Apresentando uma nova explicação para as contrações musculares, Laghi admitiu que era possível que os espíritos animais tivessem uma natureza elétrica e que as contrações musculares ocorressem devido a atração 'eletrostática' provocada pelo fluxo de fluido elétrico do nervo para o músculo<sup>38</sup>.

Caldani, a partir de experimentos de Fontana e à luz da teoria halleriana, defendeu que nas contrações musculares, provocadas por descargas elétricas, a eletricidade era o mais poderoso estímulo da irritabilidade sendo essa, de fato, a real causa das contrações. Além disso, ele e Fontana apresentaram objeções à concepção de Laghi, entre elas a de que sua reivindicação à teoria nervo-elétrica (neuroelétrica) contrariava as leis da eletricidade da época. Essa última crítica se baseava na noção de que a eletricidade apenas poderia produzir efeitos se houvesse um desequilíbrio elétrico

entre nervos e músculos. Contudo, isso não poderia ocorrer se o nervo fosse um condutor igualmente como o músculo, como as experiências evidenciavam, tampouco se o nervo fosse um isolante pelo qual não permitiria a passagem do fluído para o músculo.

A incongruência da teoria nervo-elétrica, nos termos laghilianos, é reiterada por Haller que sinaliza que o fluído nervoso não pode ser de natureza elétrica, pois se o fosse, seria inevitável a disseminação do fluído elétrico as outras fibras musculares que não apenas uma; isto é, ao invés do movimento de um dedo, uma pessoa moveria a mão como um todo, uma vez que o fluído elétrico passaria de um nervo para outro.

Com efeito, a teoria de Haller predominou nas décadas seguintes até que em 1770 estudos sobre peixes elétricos retomaram a querela entre hallerianos e adeptos da teoria nervo-elétrica. As investigações de John Walsh (1726-1795), John Hunter (1728-1793), Henry Cavendish (1731-1827) por exemplo, trouxeram evidências claras de que os choques produzidos por alguns peixes específicos, como os torpedos e as enguias, tinham natureza elétrica<sup>39</sup>.

A comparação do choque de peixes elétricos com o choque causado pela eletricidade artificial, tornou-se viável depois da invenção da garrafa de Leiden. Nessa perspectiva, Walsh realiza uma longa e minuciosa investigação sobre o torpedo, verificando que os seus efeitos eram transmitidos por metais, mas não por isolantes. Logo, concluiu que seu choque tinha natureza elétrica. Embora tenha chegado a essa importante constatação, ele *não havia conseguido produzir uma faísca com a eletricidade do peixe até 1776 quando, desenvolvendo experimentos* com enguias, gerou uma centelha. A partir dessas evidências as objeções ao fluído elétrico pelos hallerianos, por exemplo, começaram a ficar enfraquecidas<sup>40</sup>. Cabe ressaltar que Walsh observou a faísca da enguia apenas uma vez e que esse feito ficou conhecido apenas por testemunhas oculares, e não através de uma publicação. Isso não impediu, todavia, que vários estudiosos atribuíssem natureza elétrica para a enguia e, inclusive, para o torpedo<sup>41</sup>.

Os experimentos de Walsh foram relevantes, sobretudo, para se pensar o papel da eletricidade naquele contexto histórico. O próprio Fontana, defensor da teoria de Haller, sugeriu em 1781 uma explicação neuroelétrica para o movimento muscular, uma ideia completamente distinta daquela adotada por ele em anos anteriores. Mas como Fontana frisou, embora os estudos com peixes elétricos tivessem trazido evidências de uma visão nervo-elétrica para as contrações musculares, isso ainda era uma analogia. Por certo, em um período em que a experimentação está sendo altamente valorizada, analogias deveriam ser substituídas por experimentos concretos.

Galvani foi um dos estudiosos que propôs uma explicação neuroelétrica para o movimento muscular. Diferente de Laghi, e outros adeptos dessa vertente, ele iniciou uma pesquisa sistemática em sapos<sup>42</sup> e outros animais, amparada em um constante diálogo entre hipótese e experimentações. Literalmente um projeto de vida, essa pesquisa durou até seus últimos dias.

Na década de 1770 Galvani havia realizado leituras acerca da teoria de Haller e se interessado pelo problema do movimento muscular. Todavia, registros de suas primeiras notas datam de 1780. Conforme ele frisa em *Saggio sulla forza nervea e sua relazione colle'eletricità* (Ensaio sobre a força nervosa e sua relação com a eletricidade), de 1782:

*Como vários anatomistas tem pensado que o fluído elétrico ou entra na composição desse fluído muito sutil que se considera, e não sem razão, fluir através dos nervos, ou é este mesmo o próprio fluído nervoso, então eu decidi realizar alguns experimentos nos nervos com o fluído elétrico, na esperança de que eles pudessem revelar a verdade ou pelo menos contribuir para lançar alguma luz sobre a obscuridade dos fenômenos dos nervos<sup>43</sup>.*

As observações de Caldani e Fontana, assim como a concepção de que a eletricidade tinha um papel nas contrações musculares, foram imprescindíveis para a escolha de Galvani por essa investigação. Além disso, sua imersão à medicina prática e a constatação dos efeitos elétricos do torpedo e da enguia, tiveram igualmente contribuição. Com efeito, Galvani estava interessado em estudar o mecanismo que envolvia o movimento muscular, independente da 'ação da vontade humana', uma concepção obscura em uma ciência experimental. Nesse sentido, experimentos envolvendo animais, nota-

damente sapos, que continuavam a se contrair em condições específicas depois de mortos, passou a ser um caminho para se chegar a respostas concretas acerca das incógnitas que ainda permeavam a condução nervosa e a contração muscular<sup>44</sup>.

## Os estudos de Galvani: o enamorado pela rã enigmática

Galvani inicia a descrição de seus experimentos, no *De viribus*, relatando que dissecou e preparou uma rã. A escolha por envolver sapos nas investigações do movimento muscular não foi isenta e aleatória. No século XVII, por exemplo, Malpighi já havia utilizado esse animal em suas pesquisas com pulmões. Mas são as características desse anfíbio que o torna extremamente adequado: i) seus nervos são facilmente localizáveis e separados; ii) suas contrações musculares são evidentes; iii) suas contrações duram um tempo conveniente depois de sua morte (até 44 horas como constatado posteriormente por Galvani).

Ainda que a preparação de Galvani não fosse inteiramente original – Caldani e Fontana, a título de exemplo, com o intuito de ‘testar’ a teoria halleriana, fizeram um preparo semelhante – foi ele “quem fez desta preparação um dos objetos experimentais mais famosos e repetidamente usados na história da ciência da vida”<sup>45</sup>. Ela consistia em cortar os sapos de modo a deixar apenas os seus membros inferiores, esfolados e esvaziados, unidos ao nervo crural. O nervo poderia ficar livre e solto ou ligado à medula espinhal<sup>46</sup>.

Em novembro de 1780, Galvani já relatava experimentos em que investigava os efeitos de uma descarga elétrica em sapos dissecados preparados de “maneira usual”<sup>47</sup>. Com efeito, muitos experimentos desenvolvidos por ele nessa década, e não relatados no *De viribus*, mas em cadernos de laboratório (Notas), recentemente analisados<sup>48</sup>, são extremamente importantes para entender o seu processo investigativo.

Na primeira fase de suas pesquisas, que visavam compreender o movimento muscular por meio do uso de eletricidade artificial, Galvani buscou verificar se o estímulo atuava nos nervos ou no músculo. Além disso ele se preocupou, sobretudo, com duas questões que haviam sido levantadas por hallerianos a Laghi: i) os efeitos da ligadura do nervo (nervo-músculo); ii) as propriedades condutoras ou isolantes dos nervos.

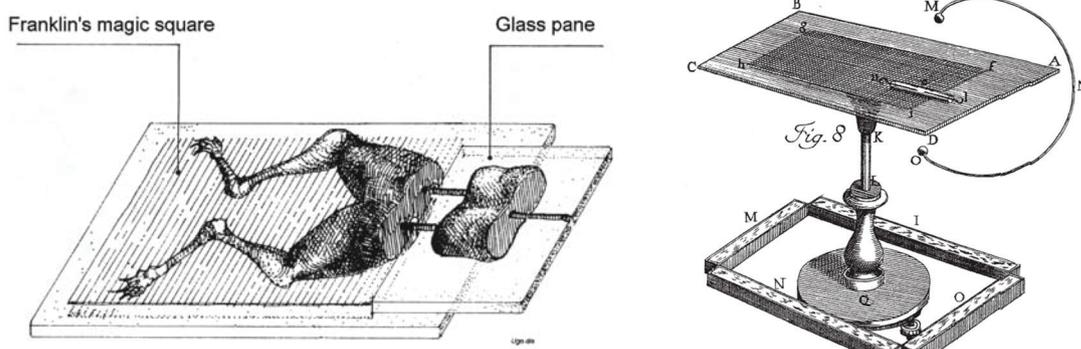
121

*Determinar se um corpo era eletricamente isolante ou condutor era, de fato, uma das tarefas primárias ao se considerar esse corpo do ponto de vista dos fenômenos elétricos (...). Embora em sua bancada de laboratório estivessem essencialmente apenas rãs e alguns equipamentos elétricos, eles podiam ser conectados de diversas maneiras. Um grande número de decisões tinha que ser tomada ao se preparar uma experiência: qual parte do sapo considerar e como prepará-la, onde colocá-la, qual instrumento elétrico usar, como produzir o estímulo elétrico, em qual parte do animal aplicá-lo e de que maneira, e onde, colocar todos esses itens na bancada. Cada decisão produzia uma combinação diferente dos itens e, portanto, um experimento diferente<sup>49</sup>.*

Nesse processo, Galvani realiza vários experimentos que podem ser considerados *exploratórios*<sup>50</sup>. Isto é, experimentos que, embora apresentem autonomia quanto a um corpo teórico bem fundamentado e estabelecido, podem ser sistemáticos e dirigidos, inclusive epistemicamente: objetivam, por vezes, entender, compreender, ‘descobrir’ enigmas da natureza. O anatomista de Bolonha, a partir da preparação usual de rãs, aplica descargas elétricas em sua medula espinhal, nervo crural e *músculos*; ele usa fios e diferentes objetos metálicos para direcionar o estímulo elétrico. Em um jogo constante de variações e repetições, dirigidas à luz de seus pressupostos, com resultados inconclusivos, ocasionalmente, mas que permitem a análise de diferentes dados, ele utiliza a garrafa de Leiden e o ‘quadrado mágico’ de Franklin<sup>51</sup> criando distintos arranjos experimentais.

A partir do conjunto de experimentos desenvolvidos entre novembro e dezembro de 1780, em que Galvani, por vezes, isola o nervo e a medula espinhal de um sapo da sua parte inferior, e utiliza o quadrado de Franklin, ele obtém

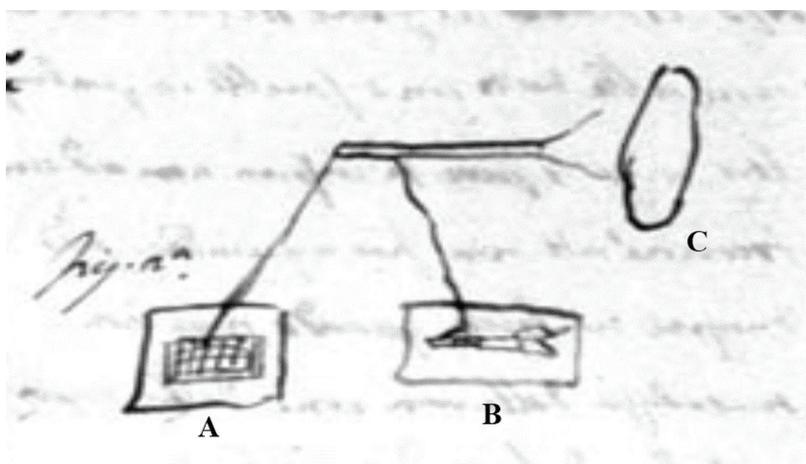
algumas conclusões acerca das questões que o motivaram, supracitadas acima. Dentre elas a de que as contrações só ocorriam se o nervo estivesse envolvido, o que contrariava a teoria da irritabilidade. Além disso, os experimentos pareciam evidenciar que os nervos eram maus condutores. Esse fato desfavorecia ainda mais Haller no que se refere a disseminação do fluido elétrico para mais de um nervo (uma das críticas hallerianas à concepção nervo-elétrica de Laghi).



**Figura 2.** Representação de um dos experimentos de Galvani, realizado em 9 de dezembro de 1780, à esquerda (2a). Utilizando um quadrado de Franklin (2b, à direita), Galvani isola o nervo e a medula espinhal (apoiando-os em uma base de vidro) da parte inferior do sapo. O quadrado de Franklin, considerado o primeiro capacitor elétrico plano, consiste em uma placa de vidro plana revestida com folha de metal em ambas as faces. Imagens extraídas de Piccolino e Bresadola e Finger e Piccolino<sup>52</sup>, respectivamente.

O certo é que no final de dezembro Galvani escreve um tratado sobre “força neuromuscular”<sup>53</sup> com três leis: 1) A contração muscular produzida pela irritação do nervo é proporcional às menores partes do nervo movidas pelo estímulo e à força pela qual são movidas; 2) Independente da causa irritante, ela é local, não indo além do ponto de aplicação; 3) A comunicação e propagação da ação irritante, ou do movimento induzido, depende apenas do nervo<sup>54</sup>. “Essas leis eram de natureza fenomenológica, no sentido de que visavam reduzir os fenômenos às regras gerais, sem se referir a um modelo teórico específico”<sup>55</sup>. A partir dessas leis e de outro conjunto de experimentos, Galvani apresenta dois corolários: i) os nervos são, de fato, maus condutores elétricos; ii) muito pouco fluido elétrico já é capaz de provocar contrações.

Prosseguindo com sua investigação, agora se voltando à relação entre o sapo, a máquina eletrostática utilizada e o quadrado de Franklin, ele desenvolve experimentos também não relatados no *De viribus*. Um deles, projetado em 17 de janeiro do ano seguinte, consistia em colocar um sapo preparado em uma base de vidro isolante e, separadamente, um quadrado de Franklin, ambos conectados a uma máquina eletrostática (Figura 3).



**Figura 3.** Esquema do experimento de 17 de janeiro de 1781, apresentado por Galvani em suas Notas de laboratório: A - o quadrado de Franklin; B - o sapo preparado de ‘maneira usual’; C - a máquina eletrostática. Imagem extraída de Bresadola<sup>56</sup>.

Após ter carregado a parte superior do quadrado de Franklin e o sapo com a máquina eletrostática, Galvani conecta a parte inferior do quadrado (não eletrizada) com a medula espinhal do animal através de um arco condutor, observando contrações nas pernas desse último. Galvani apresenta duas hipóteses que poderiam explicar o fenômeno. Uma delas admitia que as contrações ocorriam devido à eletricidade da máquina acumulada no sapo; a outra referia-se à eletricidade intrínseca da rã colocada em movimento pelo estímulo elétrico produzido pela máquina eletrostática.

Esse experimento não foi projetado para testar uma hipótese, mais especificamente a concepção neuroelétrica. Ele abriu caminho para novas conjecturas acerca do papel da eletricidade nas contrações musculares. Como salienta Steinle<sup>57</sup>, as experimentações *exploratórias*, no domínio de suas diversas funções, podem ter por característica gerar e nortear novos conhecimentos. Esse tipo de experimento, normalmente, envolve a variação de um grande número de parâmetros experimentais, a análise desses parâmetros e seus efeitos no fenômeno em questão. No âmbito dos experimentos que Galvani realizou até então, essas possíveis explicações – uma delas fazendo menção pela primeira vez à uma eletricidade que seria intrínseca da rã, no *De viribus* chamada de eletricidade animal – foram fruto de um constante diálogo entre hipóteses e variações experimentais. A mais importante, talvez, foi a de separar completamente o sapo do quadrado de Franklin, até então não isolados; como se percebe na comparação entre as Figuras 2 e 3.

Não obstante, Galvani não descarta outras viáveis explicações. As contrações poderiam ocorrer devido a um resíduo de eletricidade no revestimento inferior do quadrado de Franklin, que flui para o sapo, pela pressão ‘mecânica’ do arco condutor na medula espinhal ou ainda em consequência de um fluido elétrico acumulado na base de vidro no qual o sapo estava apoiado. Ele analisa sistematicamente cada uma dessas conjecturas, novamente repetindo e variando experimentos desenvolvidos anteriormente e, nem sempre, encontrando resultados muito claros.

### *O “primeiro experimento”: o acaso inapto ou a casualidade destinada a uma mente preparada?*

Em 26 de janeiro de 1781 algo inesperado aconteceu. Uma rã estava preparada, de maneira usual, sobre uma base de vidro e próxima, mas sem contato físico, com uma máquina eletrostática. Como Galvani relata em suas Notas, quando Lucia, sua esposa, ou um de seus assistentes aproximou o dedo da *máquina elétrica*, provocando uma chispa, ao mesmo tempo em que alguém manuseava o nervo crural ou a medula espinhal da rã com um bisturi, ou apenas o aproximava do nervo ou medula, houve contrações, ainda que nenhum condutor estivesse conectado à base no qual o sapo se encontrava<sup>58</sup>.

Galvani inicia a parte I de seu *De viribus* relatando esse maravilhoso e surpreendente momento fortuito. Este famoso experimento das contrações a distância é conhecido como o “primeiro experimento”<sup>59</sup>:

*Quando, por acaso, um daqueles que me ajudavam tocava suavemente a ponta de um bisturi nos nervos crurais medianos de uma rã [preparada], imediatamente todos os músculos dos membros aparentavam estar tão contraídos que pareciam ter caído em convulsões tônicas violentas. Mas outro dos assistentes, que estava no controle enquanto eu fazia experimentos elétricos, parecia observar que isso ocorria sempre que uma centelha era descarregada do condutor da máquina. Ele, imaginando a novidade do fenômeno, imediatamente me informou do mesmo (...). Depois disso, fui impulsionado com incrível zelo e desejo de produzir a mesma experiência e de trazer à luz tudo o que pudesse estar escondido no fenômeno<sup>60</sup>.*

Esta observação era inesperada à luz das concepções estabelecidas por Galvani em suas experiências anteriores. As condições experimentais eram, agora, totalmente novas. Nenhuma das hipóteses levantadas anteriormente parecia conseguir explicar o que havia ocorrido. A sua causa era desconhecida. Reproduzindo-a, Galvani constata que, de fato, ocorriam fortes contrações. A casualidade, que não foi a única em seus estudos, desencadeia inúmeros outros experimentos que, dialogados com distintas hipóteses elaboradas, clareiam a relação da eletricidade com o fenômeno da contração.

Bacon, ao tratar das técnicas da *experientia literata*, que servem para guiar o investigador a observações da natureza, frisa que o acaso ocorre não porque a razão ou algum outro experimento conduz a isso, mas simplesmente porque ele nunca foi tentado antes. A noção casual baconiana está relacionada àquilo que é necessário, em um processo investigativo, para se chegar a algo novo. Isto é, o acaso “só pode acontecer no final de um processo disciplinado de investigação (...) aparece como coroamento de um longo, disciplinado e meticuloso processo de descoberta”<sup>61</sup>. Isto parece representar, nada menos, que a necessidade da interpretação de um acaso; a busca pela causa do fenômeno observado.

Não obstante, Galvani foi acusado, inclusive por Alessandro Volta (com quem trava uma controvérsia acerca da eletricidade animal), de ignorar a ação da atmosfera elétrica do condutor. Em 1779, dois anos antes do experimento casual de Galvani, Charles Stanhope (1753-1816) descreveu o fenômeno conhecido como ‘choque de retorno’ pela primeira vez e que poderia, ao menos a princípio, oferecer um esclarecimento ao fenômeno observado. A explicação baseava-se no conceito atual de indução eletrostática. O certo é que o ‘choque de retorno’ foi apenas um aspecto parcial, secundário, diante do complexo e surpreendente fenômeno que atraiu a atenção de Galvani<sup>62</sup>. Este episódio, longe de parecer um acaso inapto por conta de conceitos elétricos conhecidos ou não pelo anatomista, evidencia a relevância do reconhecimento de momentos casuais, quando visto por olhos curiosos e qualificados, para um prosseguimento investigativo promissor. Pera<sup>63</sup> afirma que o argumento de que Galvani era ignorante em eletricidade – e por isso exaltou de forma desmedida o fenômeno casualmente observado – é infundado. Ele se voltou à teoria das atmosferas elétricas materiais e apresentou seis razões que excluía a ação das atmosferas elétricas. Como o autor ressalta, no entanto, anos depois o anatomista teria, possivelmente, aperfeiçoado seu conhecimento em eletricidade recorrendo explicitamente à teoria do ‘choque de retorno’ em termos das atmosferas elétricas, embora não as tenha concebido como simples ‘esferas de ação’ como fez Volta<sup>64</sup>.

Em 31 de janeiro de 1781, por exemplo, o anatomista desenvolve experimentos em que verifica, entre outras coisas, que o fenômeno das contrações ocorreu da mesma forma quando várias faíscas foram produzidas. Isto revelava a insuficiência de uma explicação pautada na influência elétrica do condutor, pois as contrações deveriam aumentar proporcionalmente à atmosfera elétrica. Além disso, se as contrações ocorressem, de fato, pela ação da centelha da máquina elétrica, então o fenômeno só ocorreria se o sapo estivesse a pouca distância da máquina. Contudo, ele observa contrações mesmo a uma distância de dois metros entre eles<sup>65</sup>.

Com efeito, Galvani, Lucia e assistentes, como seus dois sobrinhos Camillo Galvani (1753–1828), e Giovanni Aldini (1762-1834), buscam desenvolver inúmeros experimentos, recolher distintos dados que os fazem prosseguir em seus estudos. Cada novo experimento realizado traz a expectativa de novos resultados<sup>66</sup>. A princípio, pensou Galvani, as contrações musculares poderiam ter ocorrido pelo contato com o bisturi. Desta forma, ele testa o mesmo experimento sem provocar qualquer chispa elétrica. No entanto, não houve movimento nas pernas da rã. Parecia que o efeito demandava o contato do bisturi com o nervo e, simultaneamente, a descarga de uma máquina elétrica. Utilizando sempre o mesmo bisturi, observa que por vezes a contração ocorria, ora não. Por conseguinte, “impulsionados pela novidade da circunstância, resolvemos testá-la de várias maneiras”<sup>67</sup>.

Galvani e colaboradores variam a distância entre o sapo e a máquina eletrostática, o instrumento com o qual tocou o anfíbio, as partes que foram tocadas, a base pelo qual o sapo foi apoiado, etc. A repetição é uma das técnicas da *experientia literata* e também da experiência *exploratória*, que permite encontrar regras empíricas estáveis. Nesse episódio, há uma clara variação de parâmetros experimentais; característica essencial de ambas as experimentações.

No *De viribus*, Galvani e seus assistentes salientam que as contrações musculares no sapo dependem do manuseamento do bisturi. Quando ele era segurado pela mão não provocava nenhum movimento muscular, pois sua alça era de osso, isto é, isolante. Contudo, quando sua lâmina era tocada (ou os pregos que fixavam a lâmina) com o dedo, então as contrações sempre ocorriam por ocasião de uma faísca produzida na máquina elétrica. Outras constatações foram feitas quando substituíram o bisturi por um cilindro de vidro ou de ferro.

*Com o cilindro de vidro, não apenas tocamos, mas esfregamos os nervos, quando a centelha foi provocada, mas mesmo com todo o nosso esforço, o fenômeno nunca apareceu, embora inumeráveis e violentas faíscas fossem obtidas a partir do condutor da máquina, e a uma curta distância do animal; mas ela [a contração] apareceu quando o cilindro de ferro foi, ainda que ligeiramente, aplicado aos mesmos nervos sob escassas faíscas provocadas<sup>68</sup>.*

O contato de um objeto condutor com os nervos parecia essencialmente necessário. O próximo passo visou analisar se o fenômeno se devia ao homem que segurava o cilindro ou apenas a este último. Eles aplicam o cilindro de ferro diretamente aos nervos, mas não constata movimento perceptível quando da produção de uma chispa. Houve contração na rã, no entanto, quando eles conectam um longo fio aos nervos a fim de verificarem a necessidade da presença do homem no processo. Como explicita Galvani<sup>69</sup>, por perspicuidade, e não brevidade, chamaria o condutor de nervo-condutor. Os parâmetros que afetam a ocorrência do fenômeno e a verificação de sua necessidade para que o efeito ocorra são minuciosamente analisados. Esta é uma das características da *experimentação exploratória*<sup>70</sup>. Em analogia, uma das técnicas mencionadas por Bacon faz menção aos experimentos concebidos até seu extremo poder, isto quer dizer que “ao estabelecer os limites, os fatores relevantes identificados para a ocorrência de efeitos são testados”<sup>71</sup>. A título de exemplo, o processo de inversão também pode ser aqui associado. Ele se refere à investigação de resultados experimentais em situações opostas, como os obtidos quando uma rã estava presa a um condutor isolado e a um não isolado. Outras experiências, com algumas modificações distintas daquelas até aqui descritas, foram desenvolvidas. Nesses casos, assim como nos anteriores, percebe-se que os experimentos envolvem a análise, a sistematização, a busca por regularidades empíricas; procedimentos típicos tanto da experiência instruída quanto da experimentação exploratória<sup>72</sup>.

Ainda que a observação casual das contrações à distância tenha sido surpreendente e desencadeado inúmeros outros experimentos, ela por si não era um indicativo da existência da eletricidade animal. Embora para Galvani, que a analisou com olhos de fisiologista e repleto de pressupostos, ela tenha trazido elementos valiosos que abriam ainda mais o caminho nessa direção<sup>73</sup>. Em síntese, ele se centrou na descrição dos aspectos fenomenológicos que estavam envolvidos nas contrações, uma vez que não havia conseguido, até então, desenvolver um modelo explicativo capaz de revelar a sua genuinidade causal. O certo é que as contrações a distância não implicavam – e isso ficou cada vez mais claro com os inúmeros experimentos desenvolvidos e suas distintas variações e parâmetros – em uma simples ação passível de ser explicada, em definitivo e inquestionavelmente, pelas atmosferas elétricas; mais especificamente, pela teoria do choque de retorno.

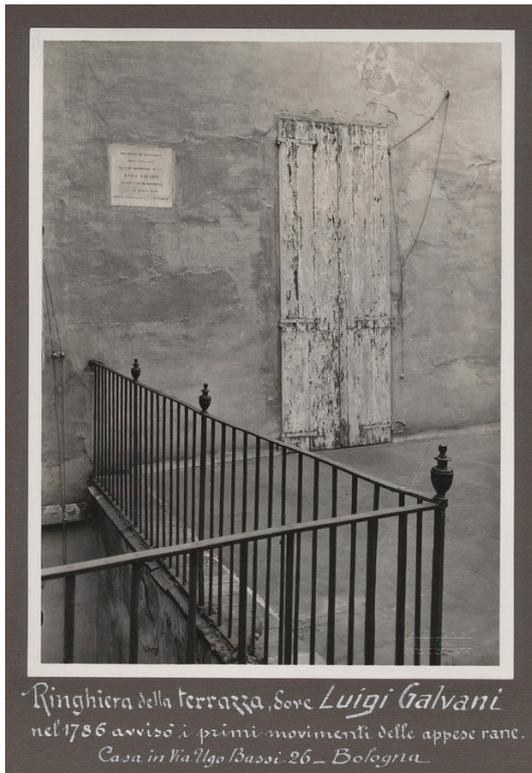
### *O “segundo experimento”: a sagacidade em um momento fortuito*

Galvani retorna mais ativamente sua investigação com rãs, desenvolvendo experimentos com eletricidade atmosférica, apenas em 1786. A descontinuidade entre seus experimentos anteriores e os que agora serão contextualizados, ainda que não possa ser considerada uma ruptura completa, deve-se em grande parte ao seu envolvimento com outros projetos de pesquisa e também devido sua função como professor do Instituto de Ciências – atividade que requeria muito de seu tempo<sup>74</sup>.

Parcialmente relacionados aos seus interesses em eletrofisiologia, os estudos de Galvani, nesse ínterim, visam analisar os aspectos químicos e físicos do organismo, relacionando mecanismos fisiológicos com a pneumática. Seu objetivo era estudar os gases contidos nos tecidos e órgãos animais, com o intuito de compreender seu papel na composição corporal. Ele constata que o ar inflamável (hidrogênio) estava presente em partes sólidas e fluídas de animais, e era abundante, particularmente, nos nervos. A presença desse gás inflamável, portanto, evidencia uma substância oleosa e isolante na composição dos nervos. Ele inclusive apresenta um modelo para o nervo constituído por uma matéria interna condutora cercada por uma espécie de capa isolante. Isso contrasta com a ideia tradicional de que os nervos eram formados por cavidades ocas por onde os ‘espíritos animais’ fluíam. Além disso, esses seus estudos



costume, penduradas por ganchos de bronze, nas grades (trilhos) de ferro que rodeavam o terraço na casa de Galvani (Figura 5). Eventualmente, ele havia percebido que elas se contraíam na presença de relâmpagos. Persuadidos a investigar com mais cuidado a causa desses movimentos musculares, Galvani e seu sobrinho Camillo visaram verificar se eles também ocorriam em um dia calmo e sereno, ou seja, buscaram analisar se eles aconteciam devido as mudanças na eletricidade atmosférica<sup>80</sup>. Esperaram por um longo tempo, mas como Galvani frisa, “cansados com vãs expectativas, comecei a pressionar os ganchos de bronze, pelos quais suas medulas espinhais foram fixadas, contra as grades de ferro”<sup>81</sup> e, por consequência e surpresa, “as rãs começaram a exibir movimentos espontâneos, irregulares e frequentes”<sup>82</sup>.



127

**Figura 5.** À esquerda (5a) trilhos ou grades do terraço da casa de Galvani em Bolonha, na rua Ugo Bassi, 26.

Fonte: [www.archivistorico.unibo.it](http://www.archivistorico.unibo.it). À direita (5b) uma ilustração de Galvani do Le Journal de la Jeunesse, Paris, 1880.

Fonte: [www.britannica.com](http://www.britannica.com)

A princípio, o anatomista cogitou que a eletricidade atmosférica poderia ter se introduzido no sapo, se acumulado nele e, com o contato do gancho com a grade de ferro, ter provocado uma descarga elétrica suficiente para ativar o fluido nervoso. Contudo, com seu rigor experimental, Galvani realiza o experimento em um ambiente fechado e isolado; variando os metais, os lugares, os dias e as horas, como ele salienta em seu *De viribus*<sup>83</sup>, e as contrações musculares sempre ocorreram. As contrações, com efeito, não apresentaram relação com os eventos atmosféricos.

Em 20 de setembro daquele mesmo ano, mais uma vez variando sistematicamente os componentes experimentais, característica típica das *experimentações exploratórias*, Galvani percebe que, quando o sapo, preparado como anteriormente com um gancho de bronze em sua medula espinhal, foi colocado sobre placas de metais e essas entraram em contato com o gancho, ocorreram contrações musculares<sup>84</sup>. Todavia, o mesmo não foi observado quando as placas eram de materiais isolantes. No *De viribus* o anatomista explicita que esse resultado levou à “suspeita da própria eletricidade inerente ao animal”<sup>85</sup>.

Um dos experimentos que colabora com essa suspeita envolvia a suspensão de um sapo pela sua medula espinhal, sem o gancho, de modo a permitir que suas pernas ficassem sobre uma placa de metal. Quando essa placa foi tocada

com outro metal, o sapo apresentou contrações. Entretanto, se uma pessoa segurasse o sapo e outra tocasse a base de metal, então, nenhuma contração ocorria. Isto parecia evidenciar que o fenômeno se assemelhava ao circuito de uma garrafa de Leiden. A contração poderia ser induzida nos músculos estabelecendo um circuito entre músculo e medula espinhal por meio de um condutor. Cabe ressaltar que, para Galvani, o que prevalecia era o fato de o material ser condutor, e não a sua dissimilaridade que, como se verá a seguir, apenas potencializava o fluxo da eletricidade.

Não obstante, um experimento variante ao descrito acima corrobora a analogia entre a garrafa de Leiden e o fenômeno muscular. Ele consiste em manter um sapo suspenso por uma de suas pernas de forma a permitir que um gancho, novamente colocado em sua medula espinhal, toque a superfície de uma placa de metal (Figura 6).



Figura 6. O “segundo experimento” de Galvani, realizado em 20 de setembro de 1786. Imagem extraída de Galvani<sup>86</sup>.

Quando uma das pernas da rã tocava a base metálica, juntamente com o gancho, contrações musculares eram observadas. A perna se contraía, levantava, relaxava, caía e, em seguida, levantava novamente, “de modo que, como um pêndulo elétrico, ela parecia imitá-lo, para admiração e prazer do observador”<sup>87</sup>. Esse experimento, sobretudo por sua importância histórica, é conhecido como o “segundo experimento”.

O “segundo experimento” traz evidências claras, para Galvani, de que há uma forma intrínseca de eletricidade no sapo. As contrações foram obtidas sem uma faísca sendo produzida artificialmente, nem qualquer outro tipo de eletricidade. Além disso, sua importância é evidenciada pela consequência da analogia com a garrafa de Leiden e a visível ideia de um circuito elétrico. As contrações ocorreram pela disparidade entre o fluido elétrico contido no nervo e no músculo que, ao serem conectados por um arco condutor, permitiam que o fluido se movesse do nervo para o músculo provocando movimentos musculares. Ao se estabelecer o equilíbrio a perna caía novamente, de modo que o circuito era reestabelecido.

Na continuidade de sua pesquisa, Galvani desenvolve um modelo físico para as contrações musculares a partir da analogia estabelecida, mas transcendendo-a<sup>88</sup>.

## *Dilemas e soluções: da analogia ao modelo da garrafa de Leiden animal*

A hipótese da eletricidade animal com base no desequilíbrio entre nervo e músculo trouxe consigo a necessidade de se identificar onde a eletricidade era positiva (em 'maior quantidade') e onde era negativa (em 'menor quantidade') no arranjo experimental. Galvani precisava eliminar, ainda, a suposição de que a eletricidade pudesse estar na placa de metal ou no arco condutor. Para isso, além de desenvolver experimentos, ele fez uso de argumentos favoráveis à eletricidade intrínseca do animal como uma estratégia de persuadir outros estudiosos de sua convicção. Nesse curso, "seu escrúpulo e atitude crítica são admiráveis"<sup>89</sup>.

A partir dos conhecimentos físicos da época, não era possível que em dois pontos de uma placa de metal houvesse desequilíbrio elétrico sem a influência de fontes externas de eletricidade, com exceção da turmalina; que por sua característica peculiar e não comum, não poderia servir de regra. Não bastasse o argumento físico, Galvani salienta que experimentos – no qual o sapo foi colocado em uma base de vidro, isolante, ao invés de uma placa de metal e sua medula espinhal foi conectada ao músculo – mostraram que as contrações ocorriam. Também não parecia plausível admitir que a eletricidade estava no arco condutor, na perspectiva de Galvani; por ser sutil (fino e curto) não poderia conter 'cargas' opostas suficientemente fortes para produzir contrações. Novamente, ele faz uso de experimentos para auxiliar no corte da suposição, sobretudo eliminando uma possível eletricidade proveniente da atmosfera ou daquele que segurava o arco. Ao isolar o arco condutor, por meio de um cilindro de vidro, e imergindo o sapo em azeite, para eliminar qualquer possível influência elétrica do ambiente externo, conseguiu igualmente contrações musculares.

Persuadido a desvelar a pertinência da hipótese da eletricidade animal, o anatomista alega razões pertinentes a ela. O caso do torpedo, que também apresentava desequilíbrio elétrico, foi citado. Ele também enfatiza a heterogeneidade das substâncias que compõem os músculos e os nervos. Elas eram parcialmente condutoras e isolantes e diferiam do arco, por exemplo, que era composto de um único metal. Galvani desenvolve, ainda, mais uma analogia; agora com o eletróforo<sup>90</sup> popularizado e aperfeiçoado por Volta. Esse aparelho era composto de discos com diferentes substâncias, condutoras e isolantes, portanto heterogêneas. Dessa forma, ele admite que no tecido muscular poderia haver um desequilíbrio elétrico e ele poderia ser considerado um eletróforo animal. Essa conjectura, no entanto, não contribuiu para entender o mecanismo pelo qual as contrações, de fato, ocorriam e, em sua Memória de 1786, ele não manifesta detalhes da analogia<sup>91</sup>.

A questão da eletricidade de metais dissimilares era outro dilema do qual Galvani tinha de lidar – por certo, ela servirá de base para a primeira teoria da eletricidade de Volta, posteriormente. O anatomista observou, durante seus experimentos, a necessidade de se utilizar distintos metais para o arco condutor e a placa metálica que apoiava o sapo. Não obstante, ele negou um papel ativo e relevante aos diferentes metais. Se havia a necessidade de dois metais, então o desequilíbrio não poderia se encontrar no metal, e isso corroborava o que os físicos afirmavam. *Tão somente, enfatizou ele, a 'bimetalidade' era apenas um melhor estímulo ao fluxo do fluido elétrico*<sup>92</sup>.

*Paradoxalmente, enquanto a eficiência de diferentes metais na obtenção de contrações foi considerada por Volta como um argumento fundamental contra a ideia de eletricidade animal, ela foi considerada por Galvani como um argumento a favor da existência desse tipo de eletricidade e da sua peculiaridade em comparação à outras formas de eletricidade*<sup>93</sup>.

Além disso, alguns experimentos evidenciaram que as contrações musculares poderiam ser produzidas conectando apenas duas partes do mesmo nervo ou músculo com um condutor. A princípio, essa questão deixava dúvida a hipótese do desequilíbrio nervo-músculo. Contudo, Galvani alega que a ligação até então utilizada era mais eficiente e essa observação poderia ser considerada irrelevante, ou uma anomalia secundária<sup>94</sup>.

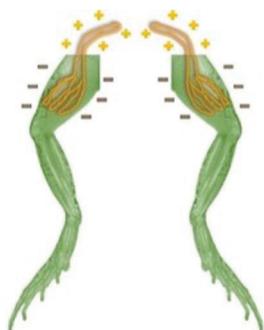
Designado a ir além, o anatomista transcende os sapos 'preparados de modo usual' para animais vivos com nervos intactos. Ele buscava analisar os efeitos dos experimentos realizados em condições fisiológicas normais, utilizando cordeiros, pássaros, quadrúpedes, tartarugas e pintinhos, por exemplo<sup>95</sup>. Em conclusão, depois de também constatar

contrações musculares em outros animais, o anatomista evidencia que “não há dúvida sobre a existência de uma eletricidade animal comum e universal”<sup>96</sup>.

É importante ressaltar que Galvani reconhece, e deixa claro para o seu leitor, que apesar dos detalhes fornecidos acerca dos experimentos desenvolvidos, a sua replicação deveria ser vista com cautela. A diligência dizia respeito às distintas variáveis em jogo que poderiam contribuir para a observação ou não de contrações. Quando realizados em um ambiente não isolado, por exemplo, as condições climáticas poderiam exercer um papel fundamental para movimentos musculares mais intensos. O animal utilizado também seria relevante, além do seu preparo adequado, suas condições físicas e sua idade biológica poderiam influenciar. Ele afirma que esses conselhos servem: “(...) para que ninguém, ao repetir os experimentos, ao estimar a força das contrações e da eletricidade, se engane ou pense que nos enganamos; pois ainda que essas mesmas experiências sejam tentadas várias vezes, se descobrirá várias vezes também que os fenômenos que constatamos foram produzidos por tentativas e experiências”<sup>97</sup>.

Na prática, os experimentos estão sujeitos a falhas, a erros, a imprevistos, a especulações casuais (e a pesquisa de Galvani é um exemplo típico disso); eles não são analisados isentamente e estáveis em sua totalidade. Isso se deve, em grande parte, aos pressupostos, habilidades, condução e análise do experimentador. Ainda que *experimentações exploratórias* sejam desenvolvidas em momentos em que não há um corpo teórico constituído, elas dialogam constantemente com hipóteses que podem ser formuladas antes e durante o processo investigativo.

Efetivamente, e em síntese, até o momento Galvani admite que a eletricidade animal provinha do desequilíbrio entre nervo e músculo (Figura 7), como alega em sua Memória de 1786.



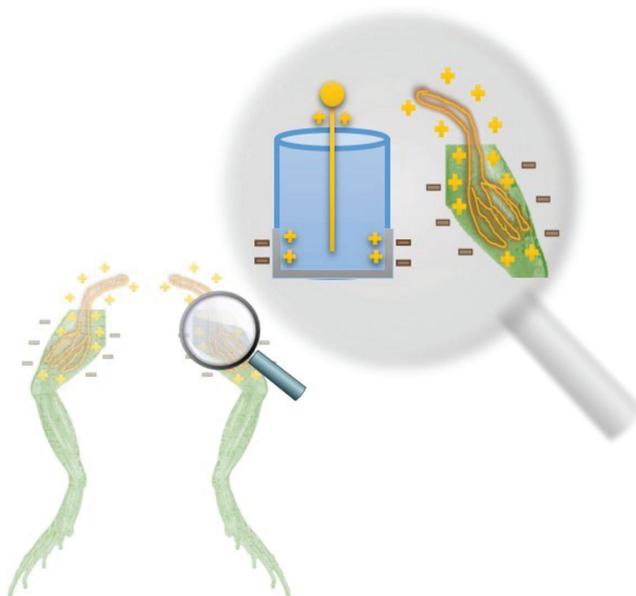
Conquanto, na quarta parte do *De viribus*, Galvani modifica essa representação e adota um modelo explicativo baseado em uma analogia funcional, além de estrutural, entre a garrafa de Leiden e o aparelho neuromuscular.

O modelo final atribuía ao músculo a função de acumular a eletricidade, permanecendo o desequilíbrio elétrico entre as superfícies interna e externa das fibras musculares (Figura 8). As fibras nervosas atuam como condutores desse fluido elétrico contido no músculo. De forma análoga ao processo físico da garrafa de Leiden, ao se conectar nervo e músculo por meio de um arco metálico, o fluido elétrico corre do interior do músculo, via o canal interno das fibras nervosas, para o exterior do mesmo, estabelecendo um circuito.

**Figura 7.** Representação macroscópica do desequilíbrio elétrico entre nervo e músculo. O nervo acumula eletricidade positiva, enquanto o músculo é assento da eletricidade negativa.

Fonte: preparada pela autora.

130



**Figura 8.** O modelo definitivo de Galvani: o nervo, assim como a haste da garrafa de Leiden, serve como um condutor da eletricidade que está contida no músculo. As fibras musculares equivalem a diminutas garrafas de Leiden.

Fonte: preparada pela autora.

Como supracitado, em sua Memória de 1786, Galvani estabelece uma analogia entre o músculo e o eletróforo de Volta, admitindo que poderia haver um desequilíbrio elétrico no músculo. Embora a analogia tenha se apresentado, de certa forma, obscura naquele momento, sem contribuições relevantes, na Memória de 1787 ela pode ser associada a uma outra analogia, agora com a turmalina, que foi fundamental para o seu modelo final<sup>98</sup>. Isso evidencia o quão importante pode se tornar o enquadramento teórico do investigador que, em determinados momentos, recorre a concepções específicas para prosseguir com o desenvolvimento de um determinado conhecimento.

Quando joalheiros, no início do século XVIII, observaram que, quando friccionada (aquecida) a turmalina atraía cinzas, ela se tornou objeto de interesse entre filósofos naturais. Por certo, ela apresentava bipolaridade, mas essa propriedade, estava ligada à sua estrutura e constituição interna, como no imã. É nesse sentido que Galvani estabelece uma relação entre a pedra e o aparelho neuromuscular. Essa analogia “é uma dessas metáforas físicas que são frequentes no trabalho de Galvani e que, uma vez formuladas, levou-o à elaboração de modelos explicativos novos, mais coerentes e exaustivos”<sup>99</sup>.

Para Galvani, as linhas transparentes e avermelhadas da turmalina equivalem ao músculo, enquanto as opacas representam as fibras nervosas dentro do tecido animal<sup>100</sup>. Na pedra, a eletricidade dupla pode se acumular nas tiras transparentes e opacas, assim como no animal ele pode se acumular na fibra muscular pelo qual penetram (e não apenas estão em contato) as fibras nervosas. Extrapolando o modelo macroscópico, essa analogia permite uma visão/idealização microscópica que contribuiu consideravelmente para o modelo final do anatomista.

Em suma, a diferença entre a analogia inicial da garrafa de Leiden e o modelo final galvânico da garrafa de Leiden animal pode ser sintetizada em, pelo menos, quatro aspectos essenciais no que se refere a esse último: i) há uma indicação da onde o desequilíbrio é acumulado e como é produzido; ii) é de natureza microscópica; iii) apresenta um mecanismo explicativo para as contrações musculares a partir da eletricidade animal; iv) supera as objeções hallerianas contra a visão neuro-muscular, uma vez que o nervo, para Galvani, era uma estrutura tubular condutora rodeada por uma camada isolante<sup>101</sup>.

Ainda em defesa da sua teoria da eletricidade animal, no *De viribus*, Galvani apresenta características comuns entre ela, a eletricidade artificial e a eletricidade do torpedo e peixes elétricos. Além disso, explicita suas conjecturas quanto a origem dessa eletricidade e a causa das contrações. Ele admite que a natureza da eletricidade animal, assim como os adeptos dos espíritos animais, está no cérebro. “Acreditamos que é igualmente verdade que a eletricidade é preparada por ação do cérebro, que é extraída do sangue, e que entra nos nervos e passa por dentro deles”<sup>102</sup>. No que diz respeito à maneira pela qual as contrações são induzidas, o anatomista admite que a obscuridade se sobressai. Conquanto, duas explicações surgiram: i) as contrações poderiam resultar da passagem extremamente rápida do fluído elétrico pelas fibras musculares de modo a provocar atrações violentas e peculiares das partículas que as compõem; ii) o fluxo elétrico poderia causar uma irritação mecânica nas fibras musculares ou nervosas, a partir de uma perspectiva da teoria da irritabilidade de Haller<sup>103</sup>.

Efetivamente, pelo menos dez anos se passaram até que Galvani construísse e publicasse a sua teoria da eletricidade animal, termo utilizado por Pierre Bertholon (1741–1800) alguns anos antes. Juntamente ao *De viribus*, distintas reações surgiram na comunidade em relação aos experimentos contidos na obra e sua extraordinária teoria de uma nova eletricidade.

## O *De viribus*, a sua comoção e considerações para um ensino sobre a ciência

A publicação do *De viribus electricitatis in motu musculari* acendeu na comunidade, principalmente entre anatomistas, médicos, físicos, da Itália e toda Europa, a chama calorosa das incertezas, curiosidades e querelas trazidas

com um novo conhecimento na ciência. Na última década do século XVIII, a eletricidade animal mantinha-se como um dos temas científicos mais importantes e debatidos entre letrados – acadêmicos e curiosos.

O entusiasmo com a nova teoria foi notável. As experiências, embora simples, eram fascinantes e significativas, tendo instigado diversos pesquisadores à sua realização. Mariano Fontana afirma, em carta ao próprio amigo Galvani, que “aqui agora tudo é eletricidade animal, e seu nome é famoso em Pavia”<sup>104</sup>. Ele enfatiza que a teoria galvânica é considerada original e que seus resultados, ao serem repetidos alguns de seus experimentos, eram exatos. Galvani havia fornecido uma descrição detalhada de suas preparações animais, dos arranjos desenvolvidos e dos seus resultados, visando, com isso, a replicação de suas experiências. Robert Boyle (1627-1691), uma das figuras mais influentes da ‘nova’ era experimental na ciência, havia frisado, à luz do legado baconiano, que os relatórios experimentais deveriam ser escritos de modo a permitir, por meio de descrições, textos, imagens naturalísticas, e afins, a replicação dos efeitos dos experimentos<sup>105</sup>. Boyle considerava que, em certo sentido, o informe da investigação não deveria ser apenas um relato, mas uma confissão da investigação desenvolvida; com seus acertos e erros<sup>106</sup>. Com efeito, Galvani foi admirado, sobretudo, pela “modéstia com que falou de sua descoberta; ele explicou os detalhes com a tímida dúvida que caracteriza o conhecimento verdadeiro, e a franqueza ingênua, que sempre foi a prerrogativa dos confidentes íntimos da natureza”<sup>107</sup>.

O certo é que o atraso na publicação do *De viribus* que ocorreu no início de 1792, embora seja datado de 1791, fez com que Galvani imprimisse algumas cópias e as distribuisse. Um exemplar chegou a Volta, que em maio de 1792, como chama a atenção Trumpler<sup>108</sup>, afirma que os experimentos feitos por Galvani não eram apenas novos e maravilhosos, mas abriam “um campo amplo de experiências tão curiosas quanto extraordinárias e extremamente úteis”. Inicialmente, mas por um tempo efêmero, ele acredita que o animal pudesse produzir uma eletricidade intrínseca<sup>109</sup>. Contudo, ao passo que desenvolve os experimentos, e os modifica, ele passa da exultação à dúvida. Volta preocupou-se com a hipótese de desequilíbrio nos metais, secundarizada por Galvani pelos conhecimentos físicos da época.

No decorrer da história a hesitação deu lugar a uma das maiores controvérsias da história da ciência; mas essa é uma história a ser contada em outro trabalho. Sem dúvida, essa querela traz distintos elementos que evidenciam os possíveis papéis que o experimento pode assumir quando de debates calorosos na ciência. Longe de evidenciar um experimento definidor, a disputa permite reflexões de como pode se dar a escolha teórica na ciência, e de como elementos não empíricos, como a morte precoce de Galvani, em 1798, pode ou não influenciar no término de controvérsias<sup>110</sup>.

Galvani viveu à sombra de Volta por muito tempo, em análises históricas e em materiais didáticos. A invenção da pilha, por este último, foi um dos elementos mais impactantes que fizeram com que a investigação galvânica fosse interpretada, fria e simploriamente, no ensino, por exemplo, como a trilha que levou Volta ao seu notável invento. Para além de sua importância para a eletrofisiologia, como se buscou evidenciar no texto, os seus estudos permitem implicações ao ensino de ciências em diferentes vertentes.

A defesa em se discutir na educação científica, em distintos níveis, inclusive na formação de pesquisadores, aspectos relativos à Natureza da Ciência<sup>111</sup>, constitui-se um propósito a ser alcançado atualmente. São infundáveis as referências na literatura que apontam a proficuidade da História e Filosofia da Ciência para esse fim<sup>112</sup>.

*A história, filosofia e a sociologia da ciência [...] podem humanizar as ciências [...] podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral da matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do mar de falta de significação que se diz ter inundado as salas de aula de ciências [...]*<sup>113</sup>.

Um resgate histórico-filosófico da ciência permite exemplificar e/ou contraexemplificar asserções relativas à Natureza da Ciência e do trabalho científico, como as que se referem a seletividade das observações e o reconhecimento das influências teóricas, filosóficas, religiosas, culturais do investigador em uma pesquisa científica, o papel dos experimentos, inclusive os considerados, em princípio, cruciais, a dinâmica entre hipótese e experimentação, a ideia de um método único e infalível, etc.

Nesse sentido, a contextualização dos experimentos galvânicos, à luz do conceito de experiência exploratória e de experiência instruída, por exemplo, pode contribuir para minimizar-se o estereótipo de que a experimentação possui um papel limitado na ciência; como fonte (no sentido de gênese) de conhecimento ou corroboradora de teorias. Ela é parte estruturante do conhecimento científico que pode abarcar desejos elementares de obtenção de regularidades empíricas, de busca por conceitos e classificações<sup>114</sup>. As experimentações desenvolvidas pelo anatomista e seus assistentes ressaltam que, em determinados momentos da história, o jogo dialógico entre constructos teóricos (ora bem estabelecidos, por vezes incipientes) e a investigação empírica, possibilita que o 'cientista' seja livre para variar, duvidar, analisar resultados esperados e, inclusive e principalmente, desprovidos de expectativas.

O acaso, tanto reconhecido por Bacon, mas sem grande importância, quanto elemento relevante para a gênese ou desenvolvimento de experimentos exploratórios, se fez presente em distintos momentos da pesquisa galvânica. A casualidade, quando encontra o sujeito que a reconhece, e não sem razões lógicas, integra o processo científico e passa a ter um papel importantíssimo, em muitos casos, para a continuidade de uma investigação, como no caso analisado.

As diferentes funções que o experimento assumiu nesse episódio histórico, suplantam uma visão puramente empírico-indutivista da ciência. Cabe ressaltar que, reconhecidas as distintas posturas epistemológicas entre a experiência exploratória e a instruída, a ideia baconiana permite, igualmente, se refletir a experimentação na ciência. As aproximações entre essas duas conceitualizações experimentais, aplicadas a um episódio específico, tende a favorecer um ensino que não busca limitar os papéis que a experimentação pode assumir na ciência.

Como salienta Steinle<sup>115</sup>, a análise de experimentações exploratórias pode ilustrar a necessidade de se associar estudos histórico-filosóficos para a compreensão dos experimentos. Indo ao encontro dessa colocação, o ensino pode beneficiar-se, sobretudo com discussões relativas à Natureza da Ciência, quando de uma análise histórico-filosófica de um episódio como este, repleto de nuances experimentais e sua relação com um corpo ainda incipiente de conhecimento.

Em síntese, os estudos de Galvani trouxeram consigo comoção suficiente para Alibert delicadamente sublinhar:

*E todos vocês, que desejam a glória das ciências, imitem essa vida tão simples quanto virtuosa; imitem este desinteresse nobre, que o fez renunciar a bens e a fortuna, que o fez obedecer a voz de sua consciência; imitem sua infatigável paciência na pesquisa, sua sinceridade e modéstia no sucesso, sua estabilidade nos sentimentos afetuosos do coração<sup>116</sup>.*

Por certo, Galvani foi um estudioso importantíssimo na ciência e o desprezo conferido a ele, diante principalmente de Volta, deve ser retificado.

## Notas e Referências Bibliográficas

**Anabel Cardoso Raicik** Licenciada em Física pela Universidade Federal de Santa Catarina (2012). Mestre em Educação Científica e Tecnológica pelo Programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina (2015). Doutoranda do Programa de Pós Graduação e Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina - Bolsista CAPES (2015-2019). E-mail: [anabelraicik@gmail.com](mailto:anabelraicik@gmail.com)

- 1 A autora contou com financiamento da CAPES.
- 2 ASSIS, A. K. T. *Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade*. São Paulo: Livraria da Física, v. 1, 2011.
- 3 No século XVII, Otto von Guericke já havia elaborado um dispositivo constituído de um globo de enxofre móvel em torno de um eixo de madeira. Este aparato dá a Guericke, normalmente, o título de ter sido o inventor da máquina eletrostática. No entanto, sua intenção com esse dispositivo foi desenvolver uma réplica da Terra e não uma máquina geradora de eletricidade. Nesse sentido, atribui-se à Hauksbee a invenção do primeiro dispositivo desenvolvido com a finalidade de ser um gerador de eletricidade, em 1705 (BONAUDI, F. Groping in the dark: magnetism and electricity from prehistory to (almost) Maxwell. *Nuclear Physics B-Proceedings Supplements*, v. 33, n. 3, p. 8-20, 1993; ASSIS, 2011, op. cit.; RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q. Um resgate histórico e filosófico dos estudos de Stephen Gray. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 16, n. 1, p. 109-128, 2016).
- 4 ASSIS, A. K. T. *Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade*. Montreal: Apeiron, v. 2, 2018.

- 5 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*, p. 101-114, 2000.
- 6 BACON, F. Of the dignity and advancement of learning, books IV-IX. In: SPEDDING, J.; ELLIS, R. L.; HEATH, D. D. (Ed.), *The Works of Francis Bacon*. Boston: Houghton, Mifflin and Company, p. 13-345, 1882. RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O.; ANGOTTI, J. A. P. Experimentos exploratórios e experientia literata: (re) pensando a experimentação. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 23, n. 1, 2018.
- 7 Em *Of the Dignity and Advancement of Learning*, publicado em 1623, Bacon apresenta uma classe de experiências que denominou *experientia literata*. A análise dessa classe experimental, e sua relação com a concepção presente em sua obra máxima, *Novum Organum*, está sendo objeto de pesquisa entre estudiosos e historiadores da ciência nas últimas décadas. Um estudo nacional mais detalhado sobre o tema pode ser encontrado em RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2018, op. cit.
- 8 BACON, op. cit., 1882.
- 9 RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, op. cit., 2018.
- 10 STEINLE, F. Entering new fields: exploratory uses of experimentation. *Philosophy of Science*, v. 64, p. 565-574, 1997.
- 11 STEINLE, op. cit., 1997; STEINLE, F. Experiments in History and Philosophy of Science. *Perspectives on Science*, v. 10, n. 4, p. 408-432, 2002; STEINLE, F. Exploratory Experiments: Ampère, Faraday, and the origins of Electrodynamics. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2016.
- 12 STEINLE, op. cit., 2002, p. 419.
- 13 RAICIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. Francis Bacon e a chama apagada na ciência: a experientia literata. In: Atas do XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Florianópolis, SC, Brasil, 2017a, p. 5.
- 14 TRUMPLER, M. Verification and variation: Patterns of experimentation in investigations of Galvanism in Germany, 1790-1800. *Philosophy of Science*, v. 64, 1997, p. S75-S84,
- 15 PRAIA, J.; CACHAPUZ, A.; GIL PEREZ, D. A hipótese e a experiência científica em educação em ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. *Ciência & Educação*, v. 8, n. 2, 2002, p. 254.
- 16 ALIBERT, J. L. *Éloges: Historiques composés pour la société médicale de Paris*. Paris: Crapelet, 1806, p. 188.
- 17 Existiam dois principais grupos na Universidade de Bolonha na época do ingresso de Galvani; os 'juristas' e os 'artistas', sendo possível por meio deste último a obtenção do diploma de filosofia e/ou medicina (PICCOLINO, M.; BRESADOLA, M. *Shocking Frogs*. New Your: Oxford Press, 2013).
- 18 Marcello Malpighi (1628-1694) pode ser considerado, de acordo com alguns autores e historiadores, um dos mais importantes autores da anatomia microscópica moderna e crítico do que considerava a ~~da~~ visão de medicina "dogmática e retrógrada" dos antigos (PICCOLINO, M. Marcello Malpighi and the difficult birth of modern life sciences. *Endeavour*, v. 23, n. 4, p. 175-179, 1999; REVERÓN, R. R. Marcello Malpighi (1628-1694), Fundador de la Microanatomía. *Int. J. Morphol.*, v. 29, n. 2, p. 399-402, 2011). O termo 'racional', na perspectiva malpighiana, é bastante amplo, podendo englobar um sistema derivado de deduções lógicas, realizações do estudo experimental de organismos e, em geral, qualquer progresso científico relevante. "Ele sabia que o estudo das variedades em todos os seus aspectos era a maneira de penetrar o íntimo *design* da natureza e esta busca nunca poderia ser puramente descritiva" (PICCOLINO, 1999, op. cit., p. 178).
- 19 Bresadola (BRESADOLA, M. Medicine and science in the life of Luigi Galvani (1737-1798). *History of Neuroscience*, v. 46, n. 5, p. 367-380, 1998) destaca a apresentação pública de *De ossibus* como tendo ocorrido em 1761. Contudo, Dibner (DIBNER, B. *Luigi Galvani: An expanded version of a biography prepared for the forthcoming edition of the Encyclopaedia Britannica*. Norwalk: Burndy Library, 1971), Alibert (ALIBERT, 1806, op. cit.), Pupilli (PUPILLI, G. C. Introduction. In: GALVANI, L. *Commentary on the effect of electricity on muscular motion*, traduzido por R. M. Green. Massachusetts: Elizabeth Licht, p. ix-xx, 1953), Heilbron (HEILBRON, J. L. The contributions of Bologna to Galvanism. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, v. 22, n. 1, p. 57-85, 1991) e inclusive Bresadola com Picollino (PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, op. cit.) defendem que Galvani a defendeu em 1762.
- 20 FERRARI, G. Public Antomy Lessons and the Carnival: the anatomy theatre of Bologna. *The Past and Present Society*, n. 117, p. 50-106, 1987.
- 21 PICOLLINO; BRESADOLA, op. cit., 2013, p. 37.
- 22 Idem, p. 34.
- 23 BRESADOLA, op. cit., 1998.
- 24 Bresadola (BRESADOLA, op. cit., 1998) e Dibner (DIBNER, op. cit., 1971), por exemplo, destacam que Galvani e Lucia se casaram em 1762. Picollino e Bresadola (PICCOLINO; BRESADOLA, op. cit., 2013), no entanto, enfatizam que o casamento ocorreu em 1764.
- 25 ALIBERT, op. cit., 1806, p. 190.
- 26 PICCOLINO; BRESADOLA, op. cit., 2013.
- 27 FRIZE, M. *Laura Bassi and Science in 18th Century Europe: The Extraordinary Life and Role of Italy's Pioneering Female Professor*. New York: Springer, 2013, p. 50.
- 28 FRIZE, op. cit., 2013, p. 50.
- 29 FULTON, J. F.; CUSHING, H. M. D. A bibliographical study of the Galvani and the Aldini writings on animal electricity. *Annals of Science*, v. 1, n. 3, p. 239-286, 1956.
- 30 JARDIM, W. T.; GUERRA, A. 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*, v. 40, n. 3, p. e3603, 2018.
- 31 BRESADOLA, op. cit., 1998.
- 32 ALIBERT, op. cit., 1806, p. 193.
- 33 HOME, R. W. Electricity and the nervous fluid. *Journal of the History of Biology*, v. 3, n. 2, p. 235-251, 1970.
- 34 Sua obra *De partibus corporis humani sensilibus et irritabilibus* foi publicado originalmente em latim, em 1753, mas lida na Sociedade Real de Gottingen em maio de 1752 (Russo, 2004).
- 35 RUSSO, M. Irritabilidade e sensibilidade: fisiologia e filosofia de Albrecht von Haller. In: MARTINS, L. A. C.; SILVA, C. C.; FERREIRA, J. M. H. (Eds.) *Filosofia*

- e história da ciência no Cone Sul: 3º encontro. Campinas: AFHIC, p. 310-319, 2004.
- 36 HOME, op. cit., 1970.
- 37 BRESADOLA, op. cit., 1998.
- 38 HOME, op. cit., 1970.
- 39 BRESADOLA, op. cit., 1998.
- 40 KOEHLER, P. J.; FINGER, S.; PICCOLINO, M. The 'Eels' of south America: Mid-18th-century dutch contributions to the theory of animal electricity. *Journal of the History of Biology*, p. 1-49, 2009; JENSEN, G. M. *Lazzaro Spallanzani (1729-1799) e o torpedo: um tipo de peixe elétrico?*. São Paulo: PUC-SP, 2008. 114 p. Dissertação – Mestrado em História da Ciência, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, 2008.
- 41 KIPNIS, N. Luigi Galvani and the debate on animal electricity, 1791-1800. *Annals of Science*, v. 44, p. 107-142, 1987.
- 42 Neste artigo sapos e rãs serão utilizados como sinônimos.
- 43 GALVANI, 1782 apud PERA, M. *The ambiguous frog*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1992.
- 44 BRESADOLA, M. At play with nature: Luigi Galvani's experimental approach to muscular physiology. In: HOLMES, F. L.; RENN, J.; RHEINBERGER, H. (Eds.), *Reworking the Bench: Research Notebooks in the History of Science*, p. 67-92, 2003.
- 45 PICCOLINO; BRESADOLA, op. cit., 2013, p. 75.
- 46 Embora tenham surgido críticas quanto a validade que poderiam ter experimentos que envolviam animais mortos, referentes, por exemplo, à estimulação de tecidos vivos, é com eles que Galvani conseguia distinguir movimentos produzidos por causas mecânicas, quando o sapo estava sem vida, daqueles sensoriais, ocultos ao observador.
- 47 O fato de Galvani sublinhar, no manuscrito *Memorie ed esperimenti inediti*, que os sapos foram preparados de "maneira usual" gerou, entre historiadores da ciência, distintas interpretações sobre o quê, especificamente, ele se referia. Como ressaltam Piccolino e Bresadola (PICCOLINO; BRESADOLA, op. cit., 2013), Pera (PERA, op. cit., 1992) e Bresadola (BRESADOLA, op. cit., 2003), a título de exemplo, a princípio se poderia supor que Galvani já havia realizado experimentos eletrofisiológicos anteriormente (mas sem registro), o que justificaria a frase. Mas ele poderia estar se referindo às preparações desenvolvidas com sua pesquisa com corações. Contudo, o mais provável é que Galvani estivesse fazendo menção à prática tradicional dos fisiologistas da época.
- 48 PERA, op. cit., 1992; PICCOLINO; BRESADOLA, op. cit., 2013; BRESADOLA, op. cit., 2003.
- 49 BRESADOLA, op. cit. 2003, p. 74.
- 50 STEINLE, op. cit., 1997.
- 51 A garrafa de Leiden é instrumento que, atualmente, podemos denominar de condensador ou capacitor. Uma de suas funções é armazenar cargas elétricas. "Na garrafa de Leiden há uma abundância de fluido elétrico no interior do vidro e uma deficiência correspondente no lado de fora. Completando o circuito restaura-se o equilíbrio. Franklin mostrou que uma garrafa não é necessária para esse efeito. Poder-se-ia coletar eletricidade com um painel plano de vidro com uma fina folha de metal na parte superior e inferior. Este condensador plano ficou conhecido por vários nomes, incluindo *quadrado mágico* (quadrado mágico) de Franklin" (FINGER, S.; PICCOLINO, M. *The shocking history of electric fishes: from ancient epochs to the birth of modern neurophysiology*. Oxford: Oxford University Press, 2011, p. 169). O "quadrado mágico" de Franklin, ou simplesmente o "quadrado de Franklin" é, portanto, uma versão plana de um capacitor elétrico.
- 52 PICCOLINO; BRESADOLA, op. cit., 2013 e FINGER, S.; PICCOLINO, M. op. cit., 2011.
- 53 Por força neuromuscular Galvani estava se referindo a um "princípio muito ativo presente nos nervos" (PICCOLINO; BRESADOLA, op. cit., 2013, p. 81).
- 54 BRESADOLA, op. cit., 2003.
- 55 PICCOLINO; BRESADOLA, op. cit., 2013, p. 82.
- 56 BRESADOLA, op. cit., 2003.
- 57 STEINLE, op. cit., 2002.
- 58 PERA, op. cit., 1992; BRESADOLA, op. cit., 2003; PICCOLINO; BRESADOLA, op. cit., 2013.
- 59 PERA, 1992, op. cit.; HOFF, H. E. Galvani and the pre-Galvanian electrophysiologists. *Annals of Science*, v. 1, n. 2, p. 157-172, 1936.
- 60 GALVANI, L. *Commentary on the effects of electricity on muscular motion: a translation of Luigi Galvani's De viribus electricitatis in motu musculari commentarius*. Trad. Robert M. Green. Cambridge, MA, Elizabeth Licht, 1953, p. 24.
- 61 JALOBEANU, D. Disciplining Experience: Francis Bacon's experimental series and the art of experimenting. *Perspectives on Science*, v. 24, n. 3, 2016, p. 339.
- 62 PICCOLINO; BRESADOLA, op. cit., 2013.
- 63 PERA, op. cit. 1992.
- 64 Com efeito, essa mudança em termos da concepção de eletricidade animal de Galvani não teve impacto relevante. Para maiores detalhes e esclarecimentos sugere-se a leitura de Pera (PERA, op. cit., 1992).
- 65 PICCOLINO, BRESADOLA, op. cit., 2013.
- 66 TRUMPLER, op. cit., 1997.
- 67 GALVANI, op. cit., 1953, p. 25.
- 68 Idem.
- 69 Idem.
- 70 STEINLE, op. cit., 1997; STEINLE, op. cit., 2002.
- 71 GEORGESCU, L. A new form of knowledge: Experientia Literata. *Society and Politic*, v. 5, n. 2, 2011, p. 110.
- 72 RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, op. cit., 2017a.

- 73 PERA, op. cit., 1992.
- 74 PICCOLINO; BRESADOLA, op. cit., 2013.
- 75 Idem.
- 76 GALVANI, op. cit., 1953.
- 77 GALVANI, op. cit., 1953, p. 36.
- 78 PERA, op. cit., 1992.
- 79 ROBERTS, R. M. *Descobertas acidentais em ciências*. Campinas, SP: Papirus, 1993.
- 80 HEILBRON, op. cit., 1991.
- 81 GALVANI, op. cit., 1953, p. 40.
- 82 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; PERA, op. cit., 1992, p. 81.
- 83 GALVANI, op. cit., 1953.
- 84 PICCOLINO; BRESADOLA, op. cit., 2013.
- 85 GALVANI, op. cit., 1953, p. 41.
- 86 Idem.
- 87 GALVANI, op. cit., 1953, p. 44.
- 88 PICCOLINO, M. Luigi Galvani's path to animal electricity. *C. R. Biologies*, n. 329, p. 303-318, 2006.
- 89 PERA, op. cit., 1992, p. 87.
- 90 O eletróforo foi inventado por Johan Carl Wilcke que publicou seus resultados em 1762. "O eletróforo foi melhorado e popularizado por Alessandro Volta ao redor de 1775. O nome "eletróforo" é devido a Volta, sendo derivado das palavras gregas para "âmbar" e "portador", *elétron* e *foro*, significando um portador de eletricidade. Este instrumento é muitas vezes chamado de "eletróforo de Volta" embora tenha sido inventado por Wilcke" (ASSIS, 2018, op. cit., p. 120). O aparelho era "capaz de produzir cargas elétricas por um processo que atualmente chamamos de indução eletrostática. O eletróforo era constituído por dois discos metálicos, estando o disco inferior recoberto por uma resina isolante. O disco superior possuía uma haste isolante que permitia manipulá-lo" (MARTINS, R. A. Alessandro Volta e a invenção da pilha. *Acta Scientiarum*, v. 21, n. 4, p. 823-835, 1999, p. 826).
- 91 PICCOLINO, op. cit., 2006.
- 92 PERA, op. cit., 1992.
- 93 PICCOLINO; BRESADOLA, op. cit., 2013, p. 130.
- 94 PERA, op. cit., 1992.
- 95 GALVANI, op. cit., 1953.
- 96 GALVANI, op. cit., 1841; PICCOLINO; BRESADOLA, op. cit., 2013, p. 131.
- 97 GALVANI, op. cit., 1953, p. 59.
- 98 PICCOLINO, op. cit., 2006.
- 99 PICCOLINO; BRESADOLA, 2013, op. cit., p. 134.
- 100 SCHWARTZ, N. A. The search of source domain analogues: on how Luigi Galvani got a satisfactory model of the neuromuscular system. In: MAGNANI, L.; CASADIO, C. (Eds.) *Model-Based Reasoning in Science and Technology*. Springer: 2016, p. 531-540.
- 101 PICCOLINO; BRESADOLA, op. cit., 2013.
- 102 GALVANI, op. cit., 1953, p. 67.
- 103 PICCOLINO, op. cit., 2006.
- 104 BERNARDI, op. cit., 2000, op. cit.
- 105 RAÍCIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. Q.; ANGOTTI, J. A. P. Uma análise da ilustração do experimentum crucis de Newton em materiais de divulgação científica. *Física na Escola*, v. 15, n. 2, p. 24-30, 2017b; 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.
- 106 SHAPIN, S. Pump and Circumstance: Robert Boyle's Literary Technology. *Social Studies of Science*, v. 14, n. 4, p. 481-520, 1984.
- 107 ALIBERT, op. cit., 1806, p. 330.
- 108 TRUMPLER, M. J. *Questioning Nature*: Experimental Investigations of Animal Electricity in Germany, 1791-1810. Yale University, 1992, p. 12.
- 109 MARTINS, op. cit., 1999.
- 110 COHEN, I. B. Foreword. In: PERA, M. *The ambiguous frog*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, p. xi-xiii, 1992.
- 111 PEDUZZI, L. O.; RAÍCIK, A. C. *Sobre a natureza da ciência*: asserções comentadas para uma articulação com a história da física. Agosto, 2017, 51p. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: [www.evlucaodosconceitosdafisica.ufsc.br](http://www.evlucaodosconceitosdafisica.ufsc.br)
- 112 MATTHEWS, M. R. História, filosofia, e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995; PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: Pietrocola, M.(org.). *Ensino de física*: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: Editora da UFSC, 2005; PEDUZZI, L. O. Q. *Evolução dos Conceitos da Física*. 1. ed. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2011. 130 p. (ISBN: 978-85-99379-92-9), 2011; TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE, J. O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no ensino de física. In: PEDUZZI, L. O.; MARTINS, A. F.; FERREIRA, J. M. H. (Org). *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino*. Natal: EDUFRRN, p. 9-40, 2012; FORATO, T. C. M.; MOURA, B. A.; PRESTES, M. E. B. Bibliografia sobre

a utilização da história e filosofia da ciência no ensino de ciências e biologia. *Boletim de História e Filosofia da Biologia*, v. 2, n. 3, 2008; SILVA, C. C. (Org.) *Estudos de história e filosofia das ciências*. Subsídios para aplicação no Ensino. São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2006; MOURA, B. A. O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência? *Revista Brasileira de História da Ciência*, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014; MARTINS, A. F. P. Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em 'temas' e 'questões'. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 32, n. 3, p. 703-737, 2015; DAMASIO, F.; PEDUZZI, L. O. Q. A formação de professores para um ensino subversivo visando uma aprendizagem significativa crítica: uma proposta por meio de episódios históricos de ciência. *Labore em Ensino de Ciências*, v.1, n.1, p. 14-34, 2016.

113 MATTHEWS, op. cit., 1995, p. 165.

114 STEINLE, op. cit., 1997.

115 STEINLE, op. cit., 2002.

116 ALIBERT, op. cit., 1806, p. 338.

[Artigo recebido em Janeiro de 2019. Aceito para publicação em Junho de 2019]