

A Lei de Hooke como não costumamos ver na escola: em abordagem historicamente contextualizada

Juliana M. Hidalgo

Paulo Henrique Oliveira

Resumo

Robert Hooke (1635-1703) é um personagem geralmente desconhecido no ambiente escolar, embora contribuições suas sejam ensinadas nas disciplinas de Física. O conteúdo físico Lei das Molas ou Lei de Hooke é regularmente presente no Ensino Médio, mas não costuma ser historicamente contextualizado em salas de aula e materiais didáticos. Considerando esse cenário, julgamos relevante a perspectiva de uma proposta de abordagem histórico-filosófica para a Lei de Hooke, que pode complementar a apresentação desse conteúdo, usualmente restrita a um enunciado acompanhado de sua formulação matemática. Elaboramos uma sequência didática que envolve a utilização de três tipos de recursos: narrativas histórico-pedagógicas, elaboradas pelos próprios autores do presente trabalho, que contextualizam os estudos de Robert Hooke, especialmente a obra Lectures De Potentia Restitutiva (1678), e “humanizam” o personagem histórico; um excerto selecionado do Lectures De Potentia Restitutiva, traduzido pelos próprios autores; a realização de experimento histórico envolvendo molas, inspirado por registro de Hooke. A proposta traz inovações para o ensino desse conteúdo específico, se alinhando a recomendações de documentos educacionais e a considerações da literatura acadêmica que trata da inserção didática da História da Ciéncia.

Palavras-chave: Lei de Hooke; molas; Robert Hooke; força elástica.

Abstract

Robert Hooke (1635-1703) is a generally unknown character in the school environment, although his contributions are taught in Physics. The physical content Law of Springs or Hooke's Law is regularly present in high school but is not usually historically contextualized in classrooms and teaching materials. Considering this scenario, we consider the perspective of a proposed historical-philosophical approach to Hooke's Law to be relevant. We developed a didactic sequence that involves the use of three types of resources: historical-pedagogical narratives, prepared by the authors of the present work, which contextualize Robert Hooke's studies, especially the work Lectures De Potentia Restitutiva (1678), and “humanize” the historical character; a selected excerpt from Lectures De Potentia Restitutiva, translated by the authors themselves; carrying out a historical experiment involving springs, based on Hooke's work. The proposal, somewhat innovative for this specific content, aligns with recommendations from educational documents and considerations from academic literature that deals with the didactic insertion of the History of Science.

Keywords: Hooke's law; springs; Robert Hooke; elastic force.

1 INTRODUÇÃO

Em linguagem atual, dizemos que a deformação causada em uma mola é proporcional à força que a causa, ou, a distensão de um objeto elástico é diretamente proporcional à força aplicada sobre ele. É segundo esse tipo de redação que a chamada Lei de Hooke figura como conteúdo regular nas aulas de Física no Ensino Médio. Este tópico está presente, por exemplo, em todas as sete coleções aprovadas no edital 2021 do Programa Nacional do Livro Didático para a área de Ciências da Natureza. Nota-se, contudo, que nenhuma dessas coleções traz qualquer sinal de contextualização histórica para esse conteúdo físico. Nessas obras, o estudante não encontra nenhuma informação sobre como a Lei de Hooke foi elaborada,

em que contexto e a partir de que tipo de questionamento. No tratamento desse conteúdo físico, em livros didáticos, o nome do pesquisador Robert Hooke é restrito à nomenclatura segundo a qual a Lei das Molas é conhecida. Assim, uma concepção de ciência aproblemática e a-histórica perpassa esse tipo de apresentação no cenário educacional, uma vez que o conhecimento científico é apresentado pronto, sem as questões que lhe deram origem¹. Dito de outro modo, temos que: “A abordagem lógica, a-histórica e linear/sequencial dos conteúdos, veiculada pelo livro didático (e por outros materiais de ensino), é uma simplificação (grosseira) que ressalta apenas os resultados da ciência”².

Em quatro das sete coleções aprovadas no PNLD 2021 - *Ser Protagonista, Conexões, Moderna Plus e Diálogo*³, o nome de Robert Hooke reaparece na abordagem do conteúdo “célula”, a ser ministrado pelos professores de Biologia. Essas obras não trazem, contudo, informações biográficas sobre Hooke. Dessas coleções, apenas a *Ser Protagonista* esclarece que o objetivo de Hooke ao observar a cortiça ao microscópio era investigar propriedades físicas desse material, dentre as quais a elasticidade⁴. Seria oportuno que essa passagem do texto didático - a ser comentada pelo professor de Biologia - evidenciasse que justamente os interesses e estudos de Hooke sobre elasticidade de materiais como a cortiça o teriam levado à Lei das Molas – a ser ensinada pelo professor de Física. A omissão usual desse tipo de conexão leva a uma concepção de ciência analítica, segundo a qual os conhecimentos (no caso de Biologia e de Física) não se relacionam⁵.

Considerando as referidas lacunas em termos de uma abordagem historicamente contextualizada da Lei de Hooke, e, a partir de pesquisa teórica realizada, elaboramos uma proposta de sequência didática⁶, a fim de complementar a apresentação desse conteúdo, usualmente restrita a um enunciado acompanhado de sua formulação matemática. Compõe essa proposta um conjunto de atividades direcionadas para o Ensino Médio. Nelas fazemos uso de duas narrativas histórico-pedagógicas⁷, elaboradas pelos autores do

¹ Daniel Gil Pérez et al., “Para uma imagem não deformada do trabalho científico,” *Ciência & Educação* 7 (2001): 131.

² Luís Peduzzi & Anabel Raicik, “Sobre a natureza da ciência: asserções comentadas para uma articulação com a história da ciência,” *Investigações em Ensino de Ciências* 25 (2020):32.

³ Ana Fukui et al., *Ser Protagonista Ciências da Natureza e suas Tecnologias* (São Paulo: Editora SM, 2020); Miguel Thompson et al., *Conexões. Ciências da Natureza e suas Tecnologias* (São Paulo: Editora Moderna, 2020); José Mariano Amabis et al., *Moderna Plus. Ciências da Natureza e suas Tecnologias* (São Paulo: Editora Moderna, 2020); Kelly Santos, *Diálogo: Ciências da natureza e suas tecnologias* (São Paulo: Moderna, 2020).

⁴ Fukui et al., *Ser Protagonista*, 130.

⁵ Gil Pérez et al., 131-2.

⁶ Utilizamos aqui a expressão “sequência didática” como um produto educacional baseado em atividades de ensino-aprendizagem bem pesquisadas sobre um conteúdo. Conforme: Dimitris Psillos, Vassilis Tselfes & Petros Kariotoglou, “An epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching-learning sequences: the case of fluids,” *International Journal of Science Education* 26 (2004):555-78; Martine Méheut. & Dimitris Psillos, “Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research,” *International Journal of Science Education* 26 (2004): 515-35.

⁷ Utilizamos aqui a expressão “narrativas histórico-pedagógicas” no sentido de textos de conteúdo histórico elaborados como recursos para o contexto escolar. Trata-se, portanto, de uma perspectiva distinta de um texto historiográfico. E, por outro lado, preferimos não utilizar “textos históricos” em

presente trabalho, que contextualizam a Lei de Hooke (ou Lei das Molas) e o personagem Robert Hooke, “humanizando-o”.

Nessas narrativas, nos afastamos da representação do pesquisador-gênio isolado, com caráter sobre-humano. Pelo contrário, mostramos Robert Hooke como um ser humano imerso em questões do seu tempo. Adota-se aqui a perspectiva de que a

[...] história, a filosofia [...] da ciência [...] podem **humanizar as ciências** e aproximar-as dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; 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, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam [...]⁸.

Utilizamos também um trecho selecionado, em tradução nossa, da obra *Lectures de Potentia Restitutiva*, publicada por Hooke, em 1678. Nas atividades propostas, busca-se estimular a leitura e a interpretação da fonte histórica, bem como das narrativas, tendo em vista um estudo crítico desses materiais pelos estudantes, auxiliados pela mediação docente. O excerto do *Lectures de Potentia Restitutiva* inspira, ainda, a realização de procedimento experimental investigativo semelhante ao descrito por Robert Hooke.

Julgamos relevante a apresentação desse tipo de proposta, uma vez que o contexto de elaboração da Lei de Hooke e a própria figura de Robert Hooke podem trazer aspectos interessantes para o ambiente escolar. Consideramos ainda que a “história da ciência pode contribuir para o entendimento de como o empreendimento científico é humano”⁹. Essa perspectiva encontra ressonância na legislação educacional vigente, a qual sinaliza que a “contextualização social, histórica e cultural da ciência e da tecnologia é fundamental para que elas sejam compreendidas como empreendimentos humanos e sociais”¹⁰. Adequase, assim, ao entendimento de que a História e a Filosofia da Ciência podem auxiliar no ensino dos conceitos científicos e no desenvolvimento de visões mais complexas a respeito da ciência¹¹.

Ratificamos, desse modo, que a presente proposta busca incrementar o ensino da Lei de Hooke, uma vez que:

referência às narrativas elaboradas, uma vez que essa terminologia também costuma ser empregada em referência a fontes primárias da História da Ciência.

⁸ Michael Matthews, “História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual da reaproximação,” *Caderno Catarinense de Ensino de Física* 12 (1995): 165.

⁹ Daniel Ortega & Breno Arsioli Moura, “Uma abordagem histórica da reflexão e da refração da luz,” *Revista Brasileira de Ensino de Física* 42 (2020): e20190114-5.

¹⁰ Brasil, Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular (Brasília: Secretaria da Educação, 2018): 549.

¹¹ Matthews, 168.

A história das ciências não pode substituir o ensino comum das ciências, mas pode complementá-lo de várias formas. O estudo adequado de alguns episódios históricos permite compreender as interrelações entre ciência, tecnologia e sociedade, mostrando que a ciência não é uma coisa isolada de todas as outras mas sim faz parte de um desenvolvimento histórico, de uma cultura, de um mundo humano, sofrendo influências e influenciando por sua vez muitos aspectos da sociedade¹².

Neste trabalho, apresentamos uma síntese da sequência didática à luz dos referenciais teóricos que a fundamentaram, bem como realizamos uma discussão detalhada das etapas propostas. Antes disso, contudo, na seção subsequente, damos visibilidade ao personagem Robert Hooke e aos seus estudos, com destaque para a temática elasticidade.

2 ROBERT HOOKE E A ELASTICIDADE

O polímata britânico Robert Hooke (1635-1703) nasceu frágil e doente. Havia pouca esperança de que ele sobrevivesse à infância. Era o mais jovem dentre quatro filhos de uma família humilde. A primeira etapa da sua educação ocorreu em casa, a cargo do seu pai, o Reverendo John Hooke, mas foi frequentemente interrompida pelas fortes dores de cabeça do menino. A perda do pai aos 13 anos de idade agravou ainda mais a sua situação financeira. Na época, Robert Hooke tornou-se aprendiz em um renomado ateliê de pintura, desenvolvendo habilidades artísticas que vinham se manifestando desde a infância. Contudo, problemas alérgicos fizeram com que Hooke deixasse o ateliê, passando a viver de favores. Talentoso na construção de objetos mecânicos, Hooke passou a elaborar artefatos sob demanda e a atuar como auxiliar em laboratórios a fim de sobreviver e conseguir estudar. Na *Westminster School*, aprendeu latim, grego e hebraico, familiarizou-se com a geometria euclidiana e outros tópicos matemáticos. Aos 18 anos de idade, ingressou no *Christ Church College*, em Oxford, mas obteve o título de mestre em artes somente dez anos depois, uma vez que as dificuldades financeiras¹³ impediram-no de se dedicar totalmente aos estudos¹⁴.

¹² Roberto de A. Martins, "Introdução: a história das ciências e seus usos na educação," in *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino*, org. Cibelle C. Silva (São Paulo: Livraria da Física, 2006): XXI.

¹³ Essas dificuldades seriam arrefecidas muito posteriormente, na medida em que Hooke conseguiu conforto financeiro ao atuar na reconstrução de Londres, após o incêndio de 1666. Conforme: Michael Cooper, *Robert Hooke and the rebuilding of London* (Sutton: Stroud, 2003), 196-7; Stephen Shapin, *Nunca pura: estudos históricos de ciências 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), 202.

¹⁴ Cooper, 31; Shapin, 196.

A necessidade de trabalhar enquanto estudava colocou-o em contato com diversos estudiosos e pesquisas. Dessa forma, Hooke transitou por diferentes áreas do conhecimento. A posição de auxiliar técnico no laboratório do pesquisador Robert Boyle (1627-1691) levou-o à colocação como uma espécie de curador na *Royal Society*, em Londres. Nessa instituição científica, ele era encarregado de levar novidades em termos de experimentos e observações para discussão nas reuniões semanais. Como costumava atender a demandas específicas, nem sempre podia escolher o que iria investigar e às vezes era obrigado a deixar pesquisas inconclusas. Naquele contexto, Hooke mantinha contato direto com a elite da ciência da época, geralmente formada por cavalheiros abastados. Contudo, muitos não o consideravam sob o mesmo *status* intelectual, mas sim como um comerciante de inventos, mecânico, socialmente inferior¹⁵.

Embora tenha publicado outros trabalhos, sua obra de maior impacto foi o *Micrographia*, de 1665, mesmo ano em que ele que passou a ocupar uma cátedra de professor no *Gresham College*¹⁶. No *Micrographia*, as habilidades artísticas e técnicas de Robert Hooke foram evidenciadas em numerosas ilustrações realistas e detalhadas de animais e vegetais vistos ao microscópio. Hooke também contribuiu com várias inovações significativas para o microscópio composto, tornando o aparelho compacto, portátil, de fácil manuseio, com sistema de iluminação para as amostras e muito mais preciso¹⁷. A publicação do *Micrographia* foi de grande importância para Hooke, pois alterou o modo como ele era percebido pela *Royal Society* e pela comunidade científica da época. Com o tempo, ele passou da função de secretário à tesoureiro, e por fim, foi aceito como membro efetivo da *Royal Society*¹⁸.

O sucesso da obra incomodou algumas pessoas que quiseram desmerecer o trabalho de Robert Hooke. Ele chegou a ser ridicularizado em peças teatrais e em discursos públicos. O grande rival de Hooke, no entanto, foi o pesquisador Isaac Newton (1643-1727). Sua desavença com Newton teve repercussões significativas (vide a Figura 1): “As suas questões com seus colegas, sobretudo com o seu ‘fellow’ na *Royal Society*, Isaac Newton, trouxeram-lhe grandes dissabores durante a vida e um injustificado esquecimento depois de morto”¹⁹.

Newton viveu 25 anos a mais do que Robert Hooke, tendo se esforçado, nesse período, para apagar a imagem do seu adversário. Há, inclusive, suspeitas de que apoiadores de Newton teriam destruído todos os retratos originais do seu oponente, de modo que somente existem representações atuais de Hooke compostas a partir de eventuais comentários dos seus contemporâneos sobre suas características físicas²⁰.

¹⁵ Shapin, 192-210.

¹⁶ Para assumir essa cátedra, Hooke concordou com a condição de se manter solteiro. Assim, Hooke nunca se casou, nem teve filhos. Conforme Cooper, 163.

¹⁷ Roberto de Andrade Martins, “Robert Hooke e a pesquisa microscópica dos seres vivos,” *Filosofia e História da Biologia* 6 (2011): 105-42.

¹⁸ Cooper, 109; Lisa Jardine, *The curious life of Robert Hooke – The man who measured London* (New York: Harper Perennial, 2004); Taysy Tavares & Maria Elice Prestes, “Pseudo-história e ensino de ciências: o caso Robert Hooke (1635-1703),” *Filosofia e História da Biologia* 9 (2012): 38-9.

¹⁹ Armando Brito, “Quem tramou Robert Hooke?”, *Ciência & Tecnologia dos Materiais* 20 (2008): 35.

²⁰ Ibid.

Hooke passou a ser descrito “(quando eventualmente era mencionado) como um indivíduo amargurado e enrenqueiro que tinha como sua ocupação brigar com cientistas mais nobres e mais importantes”²¹.



Figura 1 – O esquecimento de Hooke parece se refletir até mesmo no posicionamento da lápide em sua homenagem, escondida atrás de um mostrador na Catedral de Saint Paul, em Londres. Esta lápide não remonta à morte de Hooke. Na época, seu corpo foi enterrado em uma pequena igreja na região em que habitava. Fonte: Foto gentilmente cedida pelo Prof. Dr. Breno Moura.

Quanto ao interesse de Robert Hooke pelo estudo da elasticidade dos corpos, este pode ser notado ainda no *Micrographia*²². Um dos trechos mais conhecidos desse trabalho trata da observação da cortiça ao microscópio. Na obra, Hooke explicou que sua intenção era investigar as propriedades físicas desse material, dentre as quais estavam a elasticidade, a flexibilidade e a restituição, uma vez que desejava entender o que possibilitava à cortiça retornar ao seu estado original após uma compressão²³. Ao descrever suas conclusões a respeito da estrutura observada, ele afirmou: “parece muito provável que as próprias películas ou laterais dos poros²⁴, tenham em si uma propriedade de elasticidade, como quase todos os outros tipos de substâncias Vegetais têm, de modo a ajudar a se restaurarem às suas posições anteriores”²⁵.

O tema elasticidade foi mesmo recorrente entre os interesses de Robert Hooke. Em 1676, onze anos após o lançamento do *Micrographia*, Hooke enunciou, de modo inusitado, por meio do anagrama

²¹ Stephen Inwood, *The man who knew too much. The strange and inventive life of Robert Hooke 1635-1703* (London: Macmillan, 2012), 5.

²² Tavares & Prestes, 40.

²³ Robert Hooke, *Micrographia: or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses with observations and inquiries thereupon* (London: J. Martyn and J. Allestry, 1665), 113-4.

²⁴ Poros, favos de mel e células (em analogia com pequenos quartos de mosteiro – “cellas”, em latim) foram alguns dos termos usados por Hooke para descrever as estruturas observadas na cortiça.

²⁵ Hooke, *Micrographia*, 113.

“ceiiinossstuu”, o que dizia ser a “verdadeira Teoria da Elasticidade” ou a “teoria da mola”²⁶. Esse registro enigmático constava em uma lista de assuntos sobre os quais Hooke dizia ter a intenção de publicar, contida nas páginas finais do seu livro *A description of helioscopes, and some other instruments*, no qual descrevia um novo tipo de telescópio²⁷. Mas por que Robert Hooke registrou a sua “teoria da mola” daquela maneira?

Hooke justificou que ainda não havia pesquisado tudo o que desejava sobre o tema, mas já desejava registrar, de alguma forma, o que julgava ter descoberto²⁸. Como mencionamos, ele vinha se envolvendo em contendas com pesquisadores importantes. Além de Newton, Hooke se envolveu em uma disputa com Christiaan Huygens (1629-1695) acerca da elaboração de relógios com mecanismos de molas para marcar a passagem do tempo²⁹. O estudo das molas era então de grande interesse, uma vez que estas eram usadas em relógios e em outros objetos. Havia interesse de natureza tecnológica e econômica nos estudos sobre elasticidade, especialmente no caso das molas. Relógios com mecanismos de molas, e não baseados em pêndulos, eram uma inovação desejável, especialmente para a navegação. O mecanismo com molas garantia a isocronia das oscilações (em tempos iguais) e, portanto, uma possibilidade de medir tempo com maior precisão do que os relógios de pêndulo³⁰. Naquele contexto, a utilização do anagrama por Hooke representava uma forma de proteção de suas ideias sobre a elasticidade, pois permitia estabelecer a prioridade da descoberta sem revelar detalhes:

Hooke era muito cauteloso quanto a tornar públicas suas invenções e descobertas com receio de que alguém se apropiasse e tirasse proveito delas antes que ele próprio tivesse a oportunidade de fazê-lo. Em particular, ele suspeitava que o secretário da Royal Society, Henry Oldenburg, estivesse transmitindo informações científicas a Christiaan Huygens sobre o seu projeto de um relógio com um mecanismo baseado em uma balança de molas. [...] Uma maneira de alguém anunciar a prioridade de uma descoberta sem revelar exatamente o que encontrou era publicar uma breve descrição do tópico com a parte central na forma de um anagrama. Quando o autor estivesse pronto, o anagrama poderia ser revelado e uma descrição completa apresentada ao público³¹.

²⁶ Robert Hooke, *A description of helioscopes, and some other instruments* (London: J. Martyn, 1676), 31.

²⁷ Ibid.

²⁸ Ibid.

²⁹ Inwood, 20, 70.

³⁰ Mecanismos como molas não eram afetados por mudanças de posição ou pelo vento. As medidas de tempo podiam ser precisas tanto em terra quanto no mar. Vide Mary Hesse, "Hooke's Vibration Theory and the Isochrony of Springs," *Isis* 57 (1966): 439.

³¹ Cooper, 67.

Dois anos depois do registro do anagrama, em 1678, Robert Hooke publicou o *Lectures de Potentia Restitutiva, or of Spring*³², no qual expôs a sua “teoria da elasticidade”³³. Era a primeira vez que ele trazia esse conhecimento à tona de modo claro, embora já viesse pesquisando sobre o tema da elasticidade há muito tempo, como indicava a já referida passagem do *Micrographia*. O *Lectures de Potentia Restitutiva* é, portanto, a obra na qual finalmente Robert Hooke expôs suas conclusões e experimentos sobre as molas e a força elástica. Para evidenciar o prestígio de sua investigação de longa data, Hooke ressaltou que alguns daqueles experimentos teriam sido presenciados pelo Rei Charles II, e que já vinha estudando o assunto há dezoito anos³⁴. Segundo Monteiro, essa seria uma das obras de maior maturidade de Hooke, na qual ele expõe a sua teoria vibratória da matéria, relacionada às suas experiências com molas: “Hooke percebeu que o movimento é fundamental na natureza, em grande e pequena escala. E percebeu também, [...] que há dois tipos de movimento essenciais entre os corpos: afastamento e aproximação [...]. Daqui se retirou a chamada Lei de Hooke”³⁵.

Assim, logo na abertura do *Lectures de Potentia Restitutiva*, ele revela, em latim, o significado do anagrama ceiiinossstuu: “*ut tensio sic vis*”. Nas palavras de Hooke: “*ut tensio sic vis*; ou seja, a força de qualquer mola está na mesma proporção do seu estiramento: ou seja, se uma força estica ou curva um espaço, duas [forças] irão esticar dois [espaços], e três irão esticar três, e assim por diante”³⁶. Ou, ainda, segundo Hooke: “a força ou o poder dele restaurar a si mesmo à sua posição natural é sempre proporcional à distância ou ao espaço de onde ele é removido”³⁷.

Na sequência didática apresentada a seguir, propomos que um excerto traduzido da obra *Lectures de Potentia Restitutiva* seja levado à sala de aula, servindo como base para a realização de um experimento descrito por Hooke, sendo este contextualizado por duas narrativas histórico-pedagógicas de nossa autoria.

3 SÍNTSE DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

O Quadro 1 registra sinteticamente as etapas previstas na sequência didática. Como uma introdução à temática Lei de Hooke, inicialmente, sugere-se que o professor comente brevemente sobre as molas e a sua utilização em nosso cotidiano. Em seguida, na primeira etapa da sequência didática, propõe-se uma discussão coletiva das duas narrativas histórico-pedagógicas, “Quem foi o Hooke, da chamada Lei

³² Robert Hooke, *Lectures de Potentia Restitutiva, or, Of spring explaining the power of springing bodies* [...] (London, J. Martyn, 1678).

³³ No *Lectures De Potentia Restitutiva*, Hooke usa os termos teoria e lei indiferentemente para o conhecimento exposto: refere-se à “teoria da elasticidade”, bem como a esta ser uma “Regra ou Lei da Natureza”.

³⁴ Hooke, *Lectures de Potentia Restitutiva*, 1.

³⁵ Isadora Monteiro, “As forças que equilibram o universo: revisitando Robert Hooke” (dissertação de mestrado, Universidade de Lisboa, 2021), 38.

³⁶ Hooke, *Lectures de Potentia Restitutiva*, 1.

³⁷ Ibid.

de Hooke?" e "Robert Hooke e a força elástica" (Apêndice 1), as quais sugerimos que já tenham sido indicadas para leitura prévia dos estudantes, como atividade extraclasse.

Quadro 1 – Síntese das etapas da sequência didática

ETAPAS	ATIVIDADES
I	<ul style="list-style-type: none"> Leitura prévia extraclasse das narrativas histórico-pedagógicas "Quem seria o Hooke, da chamada Lei de Hooke?" e "Robert Hooke e a força elástica" Comentário sobre as molas e a sua utilização em nosso cotidiano Discussão coletiva mediada das narrativas histórico-pedagógicas "Quem foi o Hooke, da chamada Lei de Hooke?" e "Robert Hooke e a força elástica"
II	<ul style="list-style-type: none"> Leitura e discussão coletiva de excerto traduzido do <i>Lectures De Potentia Restitutiva</i>
III	<ul style="list-style-type: none"> Realização de experimento histórico

Elaboramos as narrativas a partir do estudo de textos primários, em especial dos trabalhos originais do pesquisador³⁸, bem como a partir da consulta à historiografia especializada³⁹. Considerando os elementos apresentados por essas fontes, realizamos recortes, tendo em vista os objetivos pedagógicos de contextualizar os estudos de Robert Hooke, em especial o *Lectures De Potentia Restitutiva*, bem como humanizar o personagem histórico, situando-o na sociedade e no ambiente intelectual da época.

Nesse ensaio de transposição didática da História da Ciência⁴⁰ levamos em conta aspectos tais como o recorte histórico, pressupostos historiográficos, a linguagem e a extensão das narrativas, tendo em vista a adequação ao público visado⁴¹. Os elementos trazidos pelas narrativas são fundamentais para a contextualização do excerto do *Lectures de Potentia Restitutiva*, a ser contemplado em etapa subsequente dessa proposta. Isso porque a introdução de textos históricos no contexto didático não é uma tarefa elementar, de modo que é preciso haver guias para uma leitura contextualizada desses documentos⁴².

Na segunda etapa da sequência didática, sugerimos que os alunos sejam organizados em duplas para a leitura e a discussão do excerto traduzido do *Lectures de Potentia Restitutiva* (Apêndice 2). Na terceira etapa, as duplas realizam um experimento análogo à indicação de Hooke na referida obra, e há a

³⁸ Hooke, *Micrographia*; Hooke, *A description of helioscopes*; Hooke, *Lectures de Potentia Restitutiva*.

³⁹ Cooper, *Robert Hooke*; Jardine, *The curious life of Robert Hooke*; Brito, "Quem tramou Robert Hooke?"; Martins, "Robert Hooke e a pesquisa microscópica"; Tavares & Prestes, "Pseudo-história e ensino de ciências"; Inwood, *The man who knew too much*; Shapin, *Nunca pura*; Monteiro, "As forças que equilibram o universo".

⁴⁰ Empregamos aqui a expressão "transposição didática da História da Ciência" no sentido de elaboração de uma proposta para a inserção de um episódio histórico no contexto educacional a partir de fontes históricas e historiográficas. Conforme Thaís Forato, Maurício Pietrocola & Roberto de A. Martins, "Historiografia e natureza da ciência na sala de aula," *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* 28 (2011): 50.

⁴¹ Tomamos como base, as seguintes referências: Forato, Pietrocola & Martins, "Historiografia e natureza da ciência"; Thaís Forato, Maurício Pietrocola & Roberto de A. Martins, "Enfrentando obstáculos na transposição didática da história da ciência para a sala de aula," in *Temas de história e filosofia da ciência no ensino*, org. Luís Peduzzi, André Martins & Juliana Ferreira (Natal: EDUFRN, 2012): 123-54; Abigail Vital & Andreia Guerra, "Textos para ensinar física: princípios historiográficos observados na inserção da história da ciência no ensino," *Ciência & Educação* 22 (2016): 351-70.

⁴² Forato, Pietrocola & Martins, "Historiografia e natureza da ciência", 48.

discussão coletiva dos resultados obtidos. Para a segunda e terceira etapas, tomamos como base referências teóricas relacionadas à utilização didática de experimentos históricos e de fontes primárias da História da Ciência⁴³.

Quanto ao uso didático do documento histórico, tomamos como inspiração o projeto norte-americano *Teaching with primary sources*⁴⁴. Nessa iniciativa, as fontes históricas não são concebidas como recursos para fins de constatação de verdades, mas sim como objetos a serem interpretados contextualmente a partir de questionamentos. Trata-se de uma perspectiva investigativa-interpretativa-dialógica para a introdução de fontes primárias no contexto escolar:

[...] os estudantes podem desempenhar um papel ativo ao serem instigados: a investigar possíveis intenções de personagens e seus registros; a elaborar e discutir hipóteses a respeito do processo de construção de conhecimentos científicos; a imaginar aparatos e experimentos descritos nas fontes primárias; a analisar de forma diacrônica questões metodológicas, construindo percepções acerca de diferenças e semelhanças entre pesquisas de épocas distintas [...]⁴⁵.

Quanto à escolha específica do excerto do *Lectures De Potentia Restitutiva*, conforme preconizam Forato, Pietrocola e Martins⁴⁶, avaliamos a viabilidade e a pertinência do material em questão, tendo em vista os objetivos pretendidos e o público visado. Levamos em conta, ainda, a potencialidade do referido excerto para a inserção de uma atividade experimental investigativa. Tomamos como inspiração, especialmente a abordagem apresentada por Jardim e Guerra como “experimentos históricos a partir de narrativas”⁴⁷, na qual o experimento histórico é reproduzido sem a necessidade da utilização dos mesmos materiais que, supostamente, teriam sido utilizados originalmente.

⁴³ Dietmar Hottecke, “How and what can we learn from replicating historical experiments? A case study,” *Science & Education* 9 (2000), 343-62; Elizabeth Cavicchi, “Historical Experiments in Students’ hands: unfragmenting science through action and history,” *Science & Education* 17 (2006), 717-49; Lúcia Sasseron, Viviane Nascimento & Ana Maria Carvalho, “O Uso de Textos Históricos Visando a Alfabetização Científica,” in *História da Ciência e Ensino*, org. Maria Helena Roxo Beltran et al. (São Paulo: Livraria da Física, 2009), 97-106; Sam Wineburg, “Teaching historical thinking using primary sources,” *Teaching with Primary Sources Quarterly* 3 (2010), 1-8; Renata Holubová, “Historical experiments in physics teaching,” *US-China Education Review* 4 (2014), 163-72; Giovanninni Batista, Juliana Drummond & Daniel Freitas, “Fontes primárias no ensino de física: considerações e exemplos de propostas,” *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* 32 (2015), 663-702; Ana Silva & Andreia Guerra, *História da Ciência e Ensino: Fontes Primárias e propostas para sala de aula* (São Paulo: Livraria da Física, 2015); Wagner Jardim & Andreia Guerra, “Experimentos históricos e o ensino de física: agregando reflexões a partir da revisão bibliográfica da área e da história cultural da ciência,” *Investigações em Ensino de Ciências* 22 (2017), 244 – 63.

⁴⁴ Wineburg.

⁴⁵ Batista, Drummond & Freitas, 671.

⁴⁶ Forato, Pietrocola & Martins, “Enfrentando obstáculos na transposição didática”.

⁴⁷ Jardim & Guerra, 250.

4 DETALHAMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

4.1 ETAPA 1

Sugerimos que, na introdução da primeira etapa, o professor realize perguntas para engajar a turma e introduzir a temática Lei de Hooke. Pode-se, por exemplo, registrar as concepções dos alunos sobre o que seriam molas e sondá-los acerca do conhecimento de possíveis situações nas quais esses artefatos são utilizados em nosso cotidiano. Considerando essas contribuições como ponto de partida, media-se uma compreensão inicial de que as molas, ao serem deformadas pela ação de uma força, tendem a restaurar o seu formato original quando cessada essa ação. Nessa introdução, é interessante que seja contemplada, com a ajuda do professor, a utilização de molas em diversos mecanismos, tais como, brinquedos de dar corda, canetas retráteis, amortecedores de automóveis, relógios mecânicos, dentre outros. É importante, também, que o professor introduza questionamentos acerca da elaboração dessa lei que motivem o engajamento da turma: Afinal, quem teria sido Robert Hooke? Quais seriam suas motivações para estudar sobre a elasticidade e, particularmente, sobre as molas?

Seguindo essa breve introdução, nessa primeira etapa, temos a discussão coletiva das duas narrativas histórico-pedagógicas (Apêndice I) que trazem elementos biográficos de Robert Hooke e contextualizam diversos aspectos de suas pesquisas, incluindo a obra *Lectures De Potentia Restitutiva*⁴⁸.

A narrativa “Quem foi o Hooke, da chamada Lei de Hooke?” toma como mote as imagens de dois trabalhos relativamente recentes da artista britânica Rita Greer⁴⁹: uma ilustração, que retrata Robert Hooke a partir de descrições de seus contemporâneos, e uma pintura a óleo, que retrata Hooke e sua atuação profissional em diversas áreas por meio dos objetos em cena (Apêndice I). Partindo de comentários sobre esses trabalhos artísticos de Greer, a narrativa resgata diversos aspectos da vida pessoal de Hooke, que colaboram para a humanização do pesquisador: compleição franzina, problemas de saúde, origem humilde, dificuldades financeiras em boa parte de sua vida, trabalho como auxiliar de laboratório, demora na conclusão dos estudos na Universidade de Oxford, conforto financeiro alcançado pela atuação na reconstrução de Londres após o incêndio de 1666 etc.

Como demonstra o texto dirigido ao aluno, esses aspectos se interligam diretamente a várias questões profissionais significativas da vida do pesquisador. Por exemplo, Hooke era caracteristicamente um polímata, tendo atuado em diversas frentes de pesquisa e executado projetos em diversas áreas. Contudo, essa diversidade não se devia somente aos seus próprios interesses. Hooke necessitava trabalhar sob demanda, atendendo a solicitações de outros pesquisadores, geralmente abastados, para conseguir

⁴⁸ Hooke, *Lectures De Potentia Restitutiva*.

⁴⁹ Trabalhando no Projeto Robert Hooke desde 2003, a artista produziu diversas obras sobre ele a fim de “colocá-lo de volta na história”. Sobre Rita Greer, vide <https://www.roberthooke.org/rita-greer-h7.html>

prover o seu sustento. Assim, envolvia-se com temas variados, de acordo com as solicitações da sua clientela.

São também aspectos abordados na narrativa o aprimoramento das habilidades artísticas do pesquisador, em estágio em renomado ateliê de pintura, sua ocupação como curador de experimentos e secretário da *Royal Society*, a visão que o meio intelectual da época tinha sobre ele - como comerciante de inventos e empregado - e a contenda prolongada com Isaac Newton. A narrativa dirigida ao aluno comenta também sobre os desenhos meticulosos apresentados por Hooke, em 1665, no seu livro mais famoso, o *Micrographia*, que é retratado na pintura de Rita Greer juntamente com o microscópio. O texto interliga os talentos artísticos de Hooke e os seus esforços no aprimoramento da microscopia à precisão e ao realismo distintivos de suas ilustrações, se comparadas a outras da época. Em meio ao registro da pluralidade e da versatilidade de estudos de Hooke, a referência às molas é introduzida nessa primeira narrativa, na medida em que uma das obras de Greer comentadas registra o pesquisador com uma das mãos apoiada sobre uma mola, que aparece em destacadadas dimensão e posição no retrato.

A segunda narrativa histórico-pedagógica a ser estudada nessa etapa é intitulada “Robert Hooke e a força elástica” (Apêndice I). Novamente é apresentada uma tela a óleo da artista Rita Greer, que retrata a atuação plural de Hooke em diversas áreas. Mais uma vez, uma mola está em cena, só que, nesse caso, não em destaque, mas em segundo plano, sombreada. Esse é o mote para um comentário importante que introduzirá a contextualização histórica da obra *Lectures de Potentia Restitutiva*:

Considerando essas duas imagens representadas pela artista (desse texto e do anterior), podemos fazer uma analogia com o modo como Robert Hooke apresentou ao mundo suas conclusões sobre as molas e a força elástica: ora em destaque, ora de forma enigmática – envolta em sombras (trecho da narrativa “Robert Hooke e a força elástica”).

O texto dirigido ao aluno destaca que o *Micrographia* já havia garantido prestígio a Robert Hooke, quando, em 1678, ele publicou o *Lectures de Potentia Restitutiva, ou Aulas sobre a Força Restauradora*, no qual finalmente expôs a sua lei das molas. A narrativa contextualiza que Hooke já se dedicava ao assunto há algum tempo, tendo citado sua lei das molas, na forma do anagrama *ceiiinossstuu*, dois anos antes, na obra *A description of helioscopes, and some other instruments, ou Uma descrição dos helioscópios*. Relembrando as contendas nas quais Hooke se envolvera, explica-se que o uso de anagramas era uma forma de proteção para evitar o roubo de ideias, pois permitia estabelecer a prioridade de uma descoberta sem revelar detalhes. Assim, a narrativa histórico-pedagógica contextualiza historicamente o *Lectures de Potentia Restitutiva* como a obra na qual finalmente Robert Hooke expôs suas conclusões e experimentos sobre as molas e a força elástica, decodificando o significado do anagrama *ceiiinossstuu*: “*Ut tensio sic vis*”.

Sugerimos que o professor solicite aos alunos que leiam previamente à aula as duas narrativas histórico-pedagógicas. Essa leitura prévia pode ser acompanhada pelos seguintes questionamentos, que servem como guia para reflexão individual:

1. Que elementos mais chamaram a sua atenção na vida pessoal e na trajetória profissional de Robert Hooke? Explique por que esses elementos se destacam, para você.
2. Considere a breve biografia de Hooke que você leu: Que características, na sua opinião, remetem a percebermos o pesquisador como ser humano? Que elementos indicariam a relação do pesquisador com o contexto social?
3. Como você deve ter percebido, Hooke fez estudos em diversas áreas. Que aspectos da vida de Hooke podem explicar esses interesses tão variados?
4. O livro *Lectures de Potentia Restitutiva* (*Aulas sobre a Força Restauradora*) sobre as molas e a força elástica é de 1678. Quando publicou esse livro, Robert Hooke havia acabado de elaborar a lei das molas ou esta era anterior à publicação? O que você notou sobre isso no texto que você leu?
5. Quando Hooke publicou a lei das molas na obra *Uma descrição dos helioscópios*, em 1676, ele utilizou um recurso para expressá-la. Que recurso foi esse? Por que Hooke agiu daquela maneira? O que você achou dessa atitude de Hooke?
6. O que você destacaria a respeito dos estudos de Hooke sobre as molas? O que você aprendeu e o que mais chamou a sua atenção?

Após a leitura e a reflexão individual prévias, extraclasse, o professor pode retomar essas questões em momento de discussão coletiva das narrativas histórico-pedagógicas em sala de aula. O professor pode, na discussão, citar motivações tecnológicas e econômicas para os estudos de Hooke sobre elasticidade, especialmente sobre as molas. Havia interesse na elaboração de relógios com mecanismos de molas, no lugar de pêndulos, a fim de que as medidas de tempo fossem mais precisas, o que interessava muito, por exemplo, à navegação. Hooke e Huygens travaram uma disputa de prioridade quanto à invenção desses mecanismos. Outra motivação importante, que pode ser citada pelo professor, dizia respeito à teoria vibracional da matéria de Hooke, um aspecto significativo de suas ideias e também relacionado ao seus estudos a respeito das molas⁵⁰.

A contextualização histórica do estudo de Hooke sobre as molas abre caminho para a segunda etapa da sequência didática, na qual será lido e interpretado um excerto traduzido do *Lectures de Potentia Restitutiva*. E, posteriormente, na terceira etapa, será realizado um experimento inspirado em registro de Hooke nessa obra.

⁵⁰ Essas motivações são referidas na seção que apresentou o episódio histórico no presente artigo e podem ser consultadas pelo professor.

4.2 ETAPA 2

A atividade subsequente é orientada pelo questionamento: de que maneira a força aplicada se relaciona à deformação da mola? Para trabalhá-lo em sala de aula, propomos a inserção didática de um excerto traduzido da obra *Lectures de Potentia Restitutiva* (Apêndice II).

Organizados em duplas, os alunos leem o trecho do texto histórico, acompanhados por um roteiro de orientação para a leitura:

1. Nesse texto, há elementos que se interligam a pontos abordados nas narrativas que discutimos anteriormente. Procurem localizá-los, refletindo sobre o que significam.
2. Nesse texto, Hooke explica que há uma relação entre a força aplicada a uma mola e o quanto ela estica ou é deformada. Localizem em que parte do texto ele traz essa explicação e tentem compreendê-la.
3. De que maneira Hooke sugeriu que testássemos aquela lei física? Tentem fazer um desenho da montagem experimental que ele sugeriu.
4. Que aplicações Hooke sugeriu para aquela lei física?

Após a leitura e a discussão em duplas, o professor media a compreensão coletiva do documento histórico considerando as contribuições dos estudantes. As questões do roteiro podem ser acionadas pelo professor para fomentar o diálogo sobre o texto histórico. É interessante, contudo, que o professor inicie a discussão com questões abertas do tipo: O que chamou sua atenção primeiramente no texto? O que você notou que não saberia explicar? O que você percebeu que não sabia anteriormente? O que você pôde aprender ao ler esse texto?⁵¹

Hooke concluiu que havia uma razão constante entre a força aplicada e a deformação sofrida pela mola. De acordo com o pesquisador, para qualquer corpo, a força de restauração seria proporcional ao deslocamento. Ele não publicou sobre isso imediatamente, e indicou ter feito uma alusão em forma de anagrama a essa lei, previamente à publicação do *Lectures de Potentia Restitutiva*. Nesse texto, Hooke propôs um experimento para testar aquela regularidade, o qual serve como inspiração para a atividade subsequente da proposta didática.

4.3 ETAPA 3

Na terceira etapa, as duplas realizam um experimento com molas. Sugerimos que cada dupla disponha de um conjunto de seis objetos de massas distintas (tipo 100 g, 200 g, 300 g, 400 g, 500 g e 600 g) e de uma mola, sendo interessante, se possível, variar o tipo de mola entre as duplas. É necessário dispor de um paquímetro ou de uma régua, a depender da deformação, e de um suporte para pendurar a mola.

⁵¹ Esse tipo de questionamento aberto é baseado em Wineburg, já citado.

O objetivo do experimento é comparar as subsequentes deformações com as medidas de peso que as causaram, isto é, investigar uma possível relação entre o peso P do objeto e a deformação X observada. Sugerimos que a realização do experimento seja precedida pelos seguintes questionamentos:

- Que força causará a deformação da mola?
- Seguindo as orientações de Robert Hooke, no trecho que lemos do *Lectures de Potentia Restitutiva*, o que devemos fazer e o que esperamos observar?

Considerando a discussão coletiva dessas questões, o professor pode mediar a compreensão do fenômeno que se pretende investigar e a percepção de como pode ser conduzida essa investigação à luz das indicações de Hooke.

Os alunos devem medir o tamanho da mola com o paquímetro ou com a régua, antes de suspendê-la e anotar o valor da medida. Suspendem a mola no suporte, anotando o valor medido. Em seguida, suspendem os objetos pela mola, um a um, de modo que possam medir e anotar a deformação sofrida pela mola em cada situação. A dupla pode registrar os dados e resultados em uma tabela como a disponível a seguir (Tabela 1). Na tabela, é registrada a relação entre a força aplicada (o peso P) e a deformação X, isto é, encontra-se quanto vale a razão Peso/ Deformação, P/X, para cada situação⁵².

Tabela 1 – Tabela a ser preenchida pelas duplas. Fonte: autoria própria.

Objeto	m [g]	P [N]	X [m]	Razão P/X [N/m]
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Sugerimos alguns questionamentos a fim de orientar as discussões dos grupos:

1. Houve dificuldades ao realizar o experimento?
2. Que resultados foram obtidos pela sua dupla? O que vocês perceberam quanto à razão P/X?
3. Esses resultados estão de acordo com o esperado pela lei elaborada por Hooke, isto é, eles podem ser descritos por essa lei? Explique.
4. Analise os dados obtidos pelas outras duplas e responda à questão 3, considerando esses novos dados.

⁵² A condução dessa atividade é inspirada no trabalho de Monteiro, já citado.

5. Que diferenças e semelhanças você nota quando compara os resultados obtidos pelos outros grupos aos seus dados? O que você nota, por exemplo, em relação à razão P/X?

De forma mediada pelo professor, pretende-se investigar se a deformação da mola é aproximadamente proporcional ao peso aplicado. Esse resultado pode ser comparado ao enunciado sugerido por Hooke. Pode ser investigado, assim, se um valor aproximadamente constante é obtido quando cada medida de peso é dividida pela medida da deformação causada por aquele peso. Em termos metodológicos atualizados (não utilizados por Hooke), tal investigação também pode ser realizada a partir de gráficos construídos pelos estudantes, por exemplo. Sugerimos que a apresentação do enunciado atual da Lei de Hooke, acompanhado de sua formulação matemática, tal como usualmente é observada em livros didáticos, seja realizada ao final dessa discussão acerca dos resultados obtidos na atividade experimental.

Considerando os resultados obtidos, é oportuno, ainda, abordar uma compreensão contextualizada de que leis físicas são tentativas de descrever regularidades na natureza, isto é, “leis são enunciados descritivos de relações entre fenômenos observáveis”⁵³, sendo este tipo de conhecimento uma produção cultural humana, que contém limitações e sofre alterações ao longo do tempo. Desse modo, o que conhecemos atualmente como Lei de Hooke não é fruto do trabalho isolado de um único pesquisador, sendo sua formulação matemática posterior, uma vez que “Hooke e seus contemporâneos costumavam expressar relações matemáticas verbalmente”⁵⁴. Outras contribuições à temática elasticidade seriam dadas posteriormente a Hooke por autores como Thomas Young (1773-1829), por exemplo. Ao trazer o conceito de módulo da elasticidade no trabalho *Lectures on Natural Philosophy*, de 1807, Young reconheceu:

É notado por experimento que a medida da extensão e da compressão de corpos elásticos uniformes é simplesmente proporcional à força que ocasiona isso [esses efeitos]; ao menos quando as forças são comparativamente pequenas. [...] [essa] primeira parte dessa lei foi descoberta pelo Dr. Hooke [...].⁵⁵

Além do caráter provisório e coletivo da Ciência, pode ser relevante também discutir sobre limites de validade do conhecimento científico. Para o caso da Lei de Hooke, é importante notar que a depender da situação, há deformações irreversíveis, ou seja, quando a força é retirada, a mola não recupera sua forma original, ficando definitivamente deformada:

⁵³ Norman Lederman et al., “Views of nature of science questionnaire: toward valid and meaningful assessment of learners’ conceptions of nature of science,” *Journal of Research in Science Teaching* 39 (2002), 500.

⁵⁴ Cooper, 13.

⁵⁵ William Magie, *A source book in physics* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1969), 96.

A formulação de Hooke da relação entre tensão e deformação vale para muitos materiais para pequenas deformações, normalmente até alguns décimos por cento. Desvios começam a aparecer para deformações maiores, à medida que se começa a gerar deslocamentos e outras alterações irreversíveis no material⁵⁶.

É relevante, assim, discutir sobre a validade da Lei de Hooke, tendo em vista que aprender ciência implica “conhecer não apenas os conteúdos científicos, mas também seus pressupostos e limites de validade”⁵⁷.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O contexto de elaboração dos conhecimentos físicos e a própria trajetória pessoal e profissional dos cientistas podem trazer aspectos significativos para o ambiente escolar. Em referência à História da Ciência, consideramos que “o esquecimento ou mesmo o anonimato de muitos de seus personagens é injustificável”⁵⁸. Robert Hooke é um desses personagens que costumam ser invisibilizados no ambiente educacional. Suas contribuições aparecem em materiais didáticos, em apresentações usualmente a-históricas. Considerando essa lacuna, apresentamos nesse trabalho uma proposta de cunho histórico-filosófico a fim de contribuir para o ensino da Lei de Hooke na Educação Básica.

A materialização dessa proposta é decorrente de uma pesquisa teórica que envolveu o estudo de trabalhos historiográficos relacionados às investigações de Robert Hooke, bem como trabalhos originais do próprio pesquisador. A partir dessa pesquisa, a “tradução” desse material em uma sequência de atividades para o Ensino Médio levou em conta recomendações da legislação educacional vigente, bem como referenciais teóricos relacionados à inserção didática da História e Filosofia da Ciência, em especial, relativos a narrativas históricas, fontes primárias e experimentos históricos. Para os professores de Física, consideramos que essa proposta pode ser relevante por tratar do ensino de um tema específico - a Lei de Hooke - ainda pouco trabalhado em perspectiva histórica.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio a esta pesquisa.

APÊNDICE I

⁵⁶ Andrew Cleland, *Foundations of Nanomechanics* (Berlin/ Heidelberg: Springer-Verlag, 2003), 175.

⁵⁷ Forato, Martins & Pietrocola, “Enfrentando obstáculos na transposição didática”, 125.

⁵⁸ Peduzzi & Raicik, 37.

NARRATIVAS HISTÓRICO-PEDAGÓGICAS

Quem seria o Hooke, da chamada Lei de Hooke?

Dizemos muitas vezes conhecer alguém quando sabemos o seu nome e associamos a esse nome o rosto da pessoa: isso parece já nos transmitir alguma familiaridade. Essas seriam informações básicas para estabelecermos o nosso conhecimento de alguém, pois o nome e o rosto pertencem a esse alguém e, reciprocamente, aquela pessoa pertence a eles. Conhecer, no entanto, não significa identificar o rosto de alguém no meio de uma multidão, nem saber qual o seu nome.

Dizer quem é alguém vai além. Afinal, o que essa pessoa faz? Onde ela vive? Qual a função dela ali? Como é a sua relação com quem convive? É pai ou mãe, filho ou filha? Trabalha para outras pessoas ou é chefe? Quais os seus interesses?

No caso do inglês Robert Hooke (1635-1703), sabemos, por exemplo, que ele nunca se casou ou teve filhos. Ficou órfão muito cedo. Era um homem reservado e vivia em companhia de uma sobrinha. Podemos responder a muitas das perguntas que fizemos antes, se recorrermos aos seus escritos e a registros de outras pessoas da época.

Não há, contudo, um único retrato de Hooke que tenha restado da época em que ele viveu. Rumores indicam que esse estranho sumiço se deveu a esforços dos partidários do seu arquirrival, Isaac Newton (1643-1727), para apagar vestígios de Hooke. Desse modo, não sabemos muito bem como era o seu rosto.

Sua aparência não é conhecida senão por pinturas feitas segundo descrições de suas feições por pessoas que conviveram com ele. Esses únicos vestígios de que dispomos sobre sua aparência se misturam ao esforço e à criatividade dos artistas que o imaginaram, tal como na Figura 1.

Nesse desenho podemos perceber algumas supostas características da fisionomia do nosso homem misterioso: olhos saltados, como sugere o jogo de luz e sombras, nariz e rosto finos, uma boca pequena, lábios superiores bem estreitos, queixo pontudo e ossos da mandíbula bem marcados. Tem a aparência de magro, talvez franzino. De fato, há registros de que ele era bastante frágil fisicamente e corcunda, sofrendo de diversos problemas de saúde desde a infância.



Figura 1: Ilustração do rosto de Robert Hooke, elaborado pela artista Rita Greer, a partir de descrições de pessoas que conviveram com ele.



Figura 2: Pintura representando Robert Hooke e suas áreas de interesses. Óleo sobre tela, Rita Greer, 2010. Trabalhando no Projeto Robert Hooke desde 2003, a artista produziu diversas obras sobre ele a fim de “colocá-lo de volta na história”.

Uma outra reconstrução da figura de Hooke (Figura 2), feita pela mesma artista, não apresenta apenas o seu rosto reconstituído, mas traz detalhes que remontam aos estudos de Hooke e ao que se sabe sobre sua vida. Nela dá-se cor ao homem. Olhos claros, acinzentados, nos encaram, enquanto ele, visivelmente frágil em aparência, escreve com uma pena e tem sua outra mão apoiada sobre uma grande mola. A referência aos seus estudos sobre as molas é evidente, aparecendo o objeto em destacada dimensão no retrato.

Sobre o papel no qual Hooke escreve estão duas articulações universais projetadas por ele, que permitiram movimentos direcionais de instrumentos astronômicos. Ele tinha interesse por astronomia e manteve um “observatório astronômico” improvisado nos cômodos do Gresham College, instituição na qual trabalhou como professor de geometria por muitos anos. Era uma regra dessa instituição que os professores não podiam se casar, e assim o fez Hooke.

Sobre a mesa, à esquerda, na pintura, visualizamos o desenho minucioso produzido por Hooke do olho de uma mosca, em página aberta do seu livro mais famoso, o *Micrographia*, publicado em 1665. Os dons artísticos de Hooke, aprimorados quando ele, ainda jovem, buscava sustento como estagiário em um renomado ateliê de pintura, são lembrados pela presença de uma paleta com pincéis logo à frente do *Micrographia*. À direita, na tela, em vermelho e dourado, temos o microscópio, instrumento tornado portátil por Hooke, que o aprimorou em precisão e possibilidades de uso, com a introdução de mecanismos que permitiam girar as amostras e iluminá-las. Dessa forma, o retrato nos faz lembrar que Hooke produziu desenhos incrivelmente detalhados e realistas, se comparados a outros da época, ao conjugar suas habilidades artísticas aos seus esforços para melhorar o microscópio e os métodos de análise das amostras. Ele as girava, como fez com a pulga e o piolho, de modo a desenhá-lasmeticulosamente em diferentes ângulos, para depois compor um desenho final.

Hooke desenhou com precisão vários seres vivos, bem como projetou instrumentos mecânicos sob demanda de outros pesquisadores, a fim de conseguir dinheiro para se sustentar. Projetou também obras arquitetônicas, trabalhando na reconstrução de Londres após o grande incêndio de 1666 - o que finalmente lhe garantiu uma vida financeira mais confortável. Essa versatilidade do trabalho de Robert Hooke é bem representada em seus desenhos, mostrados no painel observado atrás dele, à direita na pintura. Seus variados interesses são também dispostos sobre a mesa, na qual se encontram um sapo em uma tigela e reminiscentes de seres marinhos. Estes parecem terem sido introduzidos pela pintora em alusão aos estudos sobre fósseis realizados por Hooke, que impulsionariam sua hipótese de que a Terra seria mais antiga do que a Bíblia indicava.

Em que local estaria Hooke nesse retrato? Atrás do pesquisador, uma grande janela se abre para jardins da Universidade de Oxford, do *Christ Church*, onde ele havia estudado entre 1653 e 1660. Hooke demorou muito para concluir seus estudos, justamente porque a origem humilde o obrigou a trabalhar como auxiliar em laboratórios enquanto estudava. Esse longo período é registrado em tapeçaria observada no painel retratado atrás do pesquisador, que registra também suas datas de nascimento e morte, 1635 e 1703, respectivamente.

A biografia de Hooke revela, assim, um homem de natureza versátil e espírito investigativo aflorado. Indica, ainda, que essa versatilidade decorria em boa parte da necessidade de prestar serviços a outros pesquisadores para se sustentar. Se não nos atentássemos a esse aspecto, poderíamos pensar que ele talvez fosse instável, começando vários estudos e deixando pelo caminho. Contudo, boa parte desses estudos eram encomendados por outros pesquisadores, e talvez seu tempo para se dedicar aos seus próprios interesses de pesquisa fosse escasso.

De origem humilde, Hooke fez observações e experimentos sob demanda durante boa parte da sua vida. Foi secretário de uma instituição de prestígio, a *Royal Society*, na qual conviveu com os pesquisadores

mais renomados da época - estes quase sempre de origem abastada. Durante boa parte de sua carreira, essa diferença social fez com que Hooke fosse visto como um homem a serviço de outros. Foi um longo caminho até que ele chegasse a ser reconhecido e garantisse prestígio no meio intelectual.

Figura 1. Fonte:

https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Paintings_by_Rita_Greer#/media/File:14_Robert_Hooke._Pencil_Drawing.jpg
acesso em 03/04/2024.

Figura 2. Fonte:

https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Paintings_by_Rita_Greer#/media/File:13_Portrait_of_Robert_Hooke.JPG acesso em 03/04/2024.

Fontes consultadas:

Cooper, Michael. *Robert Hooke and the rebuilding of London*. Sutton: Stroud, 2003.

Hooke, Robert. *Lectures De Potentia Restitutiva [...]*. London: J. Martyn, 1678.

Jardine, Lisa. *The curious life of Robert Hooke – The man who measured London*. New York: Harper Perennial, 2004.

Monteiro, Isadora. "As forças que equilibram o universo: revisitando Robert Hooke." Dissertação de mestrado, Universidade de Lisboa, 2021.

Shapin, Stephen. *Nunca pura: estudos históricos de ciências 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.

Robert Hooke e a força elástica

No texto anterior, conhecemos vários interesses de Robert Hooke. Vimos que, na pintura da artista Rita Greer, Hooke está apoiando uma das mãos sobre uma grande mola, que aparece bem destacada, em primeiro plano. Vejamos agora outro retrato de Hooke criado pela artista (Figura 1).

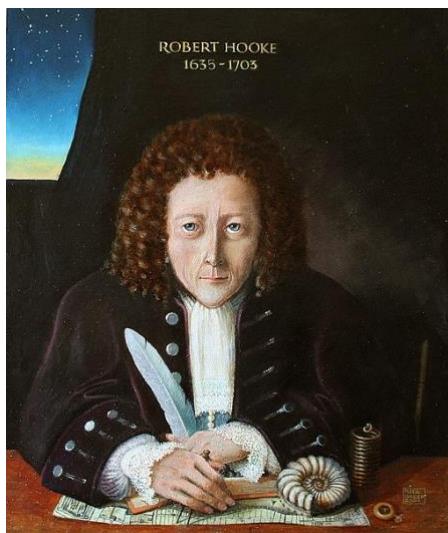


Figura 1: Pintura representando Hooke e suas áreas de interesse. Óleo sobre tela, Rita Greer, 2004.

Nessa pintura, o mesmo Hooke franzino nos observa com os seus olhos saltados. Atrás dele, um céu estrelado lembra o interesse do pesquisador pela astronomia. Sob suas mãos há um mapa da cidade de Londres, de cuja reconstrução ele participou após o incêndio de 1666. Na cena, há também um fóssil e um

pequeno relógio de bolso. Uma mola novamente aparece, mas agora envolta em sombras, à direita na pintura.

Considerando essas duas imagens representadas pela artista (desse texto e do anterior), podemos fazer uma analogia com o modo como Robert Hooke apresentou ao mundo suas conclusões sobre as molas e a força elástica: ora em destaque, ora de forma enigmática – envolta em sombras. Em 1665, Robert Hooke publicou o livro *Micrographia*, registrando, por meio de desenhos detalhados, suas observações feitas com o microscópio que tanto aprimorou. Dentre muitos outros assuntos, Hooke estava interessado em entender o motivo da elasticidade da cortiça. Esse fenômeno fazia com que uma rolha voltasse ao seu formato original quando uma garrafa de vinho era aberta. Tentando entender o que causava essa restauração da cortiça, ele registrou em detalhes sua estrutura porosa observada ao microscópio.

O *Micrographia* deixou Robert Hooke famoso, e ele continuou interessado em estudar a elasticidade dos materiais. Em 1676, Hooke enunciou a sua “teoria da mola” em um outro trabalho seu, chamado *Uma descrição dos helioscópios e de outros instrumentos*, mas em condições em que ninguém poderia entendê-la (Figura 2).

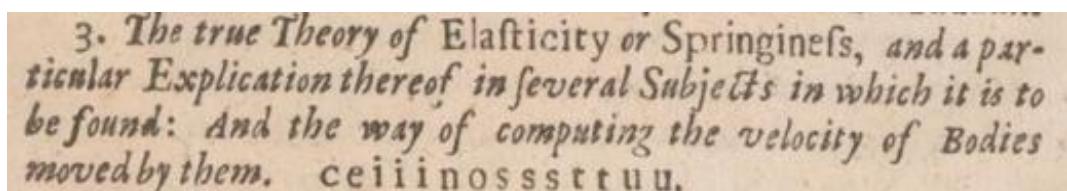


Figura 2: Trecho da obra *Uma descrição dos helioscópios*, de Robert Hooke.

O recorte apresentado na figura anterior está nas páginas finais daquele livro. É o terceiro item de uma lista de assuntos sobre os quais Hooke dizia ter a intenção de publicar. Nesse item, vemos de forma velada, como um anagrama, o que ele chamou de a “verdadeira Teoria da Elasticidade”: *ceiiinossstuu*.

Nenhuma palavra a mais naquela ocasião! Mas o que significava isso? Por que apresentar um conhecimento com tanto suspense, na forma de um anagrama? O que havia por trás da atitude de Robert Hooke?

O uso de anagramas era uma forma de estabelecer a prioridade de uma descoberta sem revelar detalhes. Era uma forma de proteção. Envolvido em disputas com outros pesquisadores da época, inclusive com o já renomado Isaac Newton, Hooke tinha receio de que suas conclusões fossem roubadas. Preferiu usar o anagrama, pois, como ainda não havia pesquisado tudo o que desejava sobre o tema, não queria comentá-lo abertamente. Ao apresentar seu resultado na forma de um anagrama, ele poderia alegar prioridade, caso alguém naquela época dissesse ter chegado a um resultado semelhante. Assim, ele, de certa forma, estava de maneira prudente marcando território.

Dois anos depois, em 1678, Robert Hooke publicou o livro *Lectures De Potentia Restitutiva, ou Aulas sobre a Força Restauradora*, no qual finalmente expôs a sua “teoria da mola”. Esse foi o momento em que Hooke trouxe para o palco aquele assunto, retirando-o das sombras enigmáticas em que o colocara anos atrás. Vejamos essa atitude inusitada do pesquisador...

No *Aulas sobre a Força Restauradora*, Robert Hooke revelou o significado do anagrama. Escondido nas sombras daquele código estava a frase em latim: “*ut tensio sic vis*”, ou seja, “assim o estiramento, assim a força”. Esta frase enunciava o que conhecemos hoje como Lei de Hooke ou lei das molas: a deformação causada em uma mola é proporcional à força que a causa.

Temos, então, que Robert Hooke finalmente decodificou o anagrama que havia apresentado dois anos antes. Ele ainda indicou que já havia chegado àquela lei bem antes disso, dezoito anos antes, e teria preferido mantê-la oculta por todo esse período até encontrar possibilidades de sua aplicação. Enfim, no *Aulas sobre a Força Restauradora*, Hooke finalmente expôs suas conclusões e experimentos sobre as molas e a força elástica. Ressaltando o prestígio de suas pesquisas, Hooke afirmou que alguns daqueles experimentos teriam sido presenciados pelo próprio Rei Charles II.

Na sequência das nossas aulas, usaremos trechos da obra mostrada na Figura 3, de que modo que o próprio Hooke nos dirá como realizaremos um dos seus experimentos.

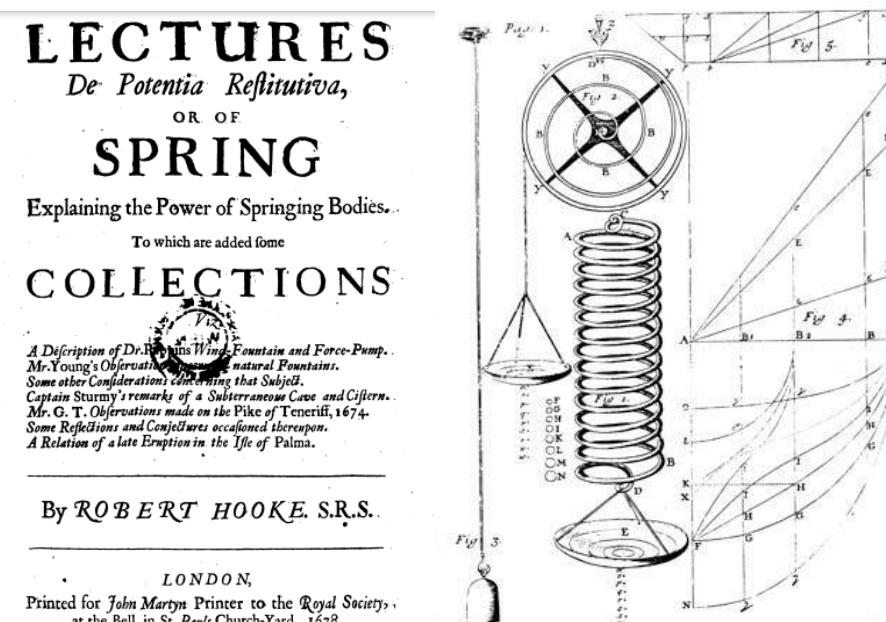


Figura 3: Capa e ilustrações do *Lectures de Potentia Restitutiva*, de Robert Hooke.

Figura 1. Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:13_Portrait_of_Robert_Hooke.JPG acessado em 23/06/2023.

Figura 2. Fonte: <https://www.e-rara.ch/doi/10.3931/e-rara-2171> acessado em 27/06/2023.

Figura 3. Fonte: Hooke, Robert. *Lectures De Potentia Restitutiva* [...]. London: J. Martyn, 1678.
Fontes consultadas:

- Cooper, Michael. *Robert Hooke and the rebuilding of London*. Sutton: Stroud, 2003.
- Hooke, Robert. *Lectures De Potentia Restitutiva [...]*. London: J. Martyn, 1678.
- Jardine, Lisa. *The curious life of Robert Hooke – The man who measured London*. New York: Harper Perennial, 2004.
- Monteiro, Isadora. "As forças que equilibram o universo: revisitando Robert Hooke." Dissertação de mestrado, Universidade de Lisboa, 2021.
- Shapin, Stephen. *Nunca pura: estudos históricos de ciências 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.

APÊNDICE II

EXCERTO TRADUZIDO DA OBRA LECTURES DE POTENTIA RESTITUTIVA OU AULAS SOBRE A FORÇA RESTAURADORA

Ensaios sobre o Poder Restaurador, ou sobre a Mola,
explicando o poder dos Corpos Elásticos [...]

A teoria das molas, embora ensaiada por diversos eminentes matemáticos da nossa época, ainda não foi publicada por nenhum deles. Faz agora cerca de dezoito anos desde que eu a descobri, mas desejando aplicá-la a algum uso particular, eu omiti a sua publicação.

[Faz] cerca de três anos desde que Sua Majestade teve a oportunidade de ver o experimento que testou essa teoria na White-Hall, assim como também o meu relógio de mola.

[Faz] cerca de dois anos desde que eu publiquei essa teoria em um anagrama no final do meu livro sobre descrições de helioscópios, a saber, c e i i i n o s s s t t u u, id est, ut tensio sic vis [anagrama decodificado em latim]; ou seja, a força de qualquer mola está na mesma proporção do seu estiramento: ou seja, se uma força estica ou curva um espaço, duas [forças] irão esticar dois [espacos], e três irão esticar três, e assim por diante. Como a teoria é muito curta, a forma de testá-la é muito fácil.

Pegue, então, uma quantidade de fio de estiramento uniforme, seja de aço, ferro, ou latão, e enrole-a sobre um cilindro uniforme em uma hélice com o comprimento ou número de voltas que você quiser [formando uma espécie de mola], então curve as extremidades do fio em ganchos, por um dos quais suspenda essa bobina por um prego, e no outro sustente o peso que você teria para distendê-la, e pendurando diversos pesos observe exatamente até que comprimento cada um dos pesos a distende além daquilo que o seu próprio peso a estica, e você irá encontrar que se uma onça, ou uma libra, ou um certo peso a alonga uma linha, ou uma polegada, ou um certo comprimento, então duas onças, duas libras, ou dois pesos irão estendê-la duas linhas, duas polegadas, ou dois comprimentos; e três onças, libras ou pesos, três linhas, polegadas ou comprimentos; e daí por diante. E essa é a Regra ou Lei da Natureza, segundo a qual todo tipo de movimento de restituição ou elástico de fato procede, seja de rarefação, ou distensão, ou condensação e compressão. [...]

De tudo isso é evidente que a Regra ou Lei da Natureza em todo corpo elástico é que a força ou o poder dele restaurar a si mesmo à sua posição natural é sempre proporcional à distância ou ao espaço de onde ele é removido, seja por rarefação, ou separação de suas partes umas das outras, ou por condensação, ou por uma aglomeração daquelas partes mais perto entre si. [...]

Deste princípio, será fácil calcular as várias forças de arcos, como o arco longo ou bestas, quer sejam eles feitos de madeira, aço, chifres, tendões ou semelhantes. Bem como o poder da balista ou catapulta usadas pelos antigos, [com] o qual uma vez encontrado e suas tabelas calculadas, eu irei imediatamente demonstrar um modo de calcular a força que elas têm ao disparar ou arremessar flechas, balas, rochas, [...].

Fonte:

Hooke, Robert. *Lectures De Potentia Restitutiva* [...]. London: J. Martyn, 1678.

Glossário:

White-Hall – O Palácio de Whitehall foi a principal residência dos Reis da Inglaterra até ser destruído por um incêndio em 1698.

Helioscópio – Instrumento usado para observar o Sol e as manchas solares.

Onça – Unidade de massa equivalente a cerca de 28 g.

Libra – Unidade de massa equivalente a cerca de 450 g.

Polegada - Unidade de comprimento equivalente a cerca de 2,5 cm.

Linha – Unidade de comprimento equivalente a 1/12 da polegada ou cerca de 0,2 cm.

Balista – Tipo de artilharia antiga usada contra inimigos em formação. Um grande arco era montado em posição horizontal. Um cabo era puxado até tracionar e curvar o arco, colocava-se o projétil e o cabo era travado. Quando a trava era retirada, o arco voltava à sua posição inicial, lançando para longe o projétil, geralmente uma grande lança de metal ou de madeira com a ponta de metal.

Catapulta – Peça de artilharia antiga que utiliza uma espécie de colher para lançar objetos como pedras a uma grande distância. Tal como a balista, sua estrutura também é baseada na tensão de um mecanismo, o qual, uma vez liberado, lança os objetos.

SOBRE OS AUTORES:

Juliana M. Hidalgo

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

julianahidalgo@fisica.ufrn.br

Paulo Henrique Oliveira

Departamento de Física Teórica e Experimental - Universidade Federal do Rio Grande do Norte

phluizsantos@gmail.com

Artigo recebido em 14 de março de 2025.

Aceito para publicação em 13 de junho de 2025.



Todo conteúdo desta revista está licenciado em Creative Commons CC By 4.0.