

O Papel de Émilie du Châtelet na Construção do Conceito da Vis Viva

Claudson Eduardo Araujo Barbosa Barros

Resumo

Esta pesquisa analisa as contribuições de Émilie du Châtelet para a consolidação do conceito de vis viva, termo precursor da energia cinética. A pesquisa evidencia como suas interpretações conceituais e experimentais fortaleceram a defesa da concepção leibniziana frente às críticas cartesianas. Os resultados mostram que sua atuação foi decisiva e permite, dentro do contexto historiográfico, a abrangência de novas possibilidades didático-pedagógicas. Neste sentido, esta pesquisa justifica-se pela necessidade de resgatar as contribuições de Émilie em defesa da concepção leibniziana e a sua disposição em enfrentar críticos renomados adeptos das concepções cartesianas. Assim, o objetivo é destacar as interpretações conceituais e experimentais de Émilie na construção do conceito da força viva. Para tanto, analisamos o tratamento dado por Newton (1687), Leibniz (1686) e Jean Bernoulli (1667-1748). A pesquisa adota uma abordagem qualitativa e historiográfica com base em fontes primárias e secundárias, enfatizando as principais demonstrações algébricas e experimentais. Dessa forma, partimos da hipótese de que a atuação da marquesa foi crucial na interpretação de experimentos, resultando em um elo decisivo entre a força viva leibniziana e a energia cinética moderna. Como resultado, destacamos a relevância deste material na percepção da marquesa na evolução histórica e transição conceitual da força viva para energia cinética, permitindo o seu devido reconhecimento e expandindo as possibilidades de abordagens didático-pedagógicas.

Palavras-chave: Émilie du Châtelet, Força viva, Energia cinética.

Abstract

This research investigates the contributions of the Marquise Émilie du Châtelet to the conceptual development of vis viva, which we currently understand as kinetic energy. It highlights how her conceptual and experimental interpretations strengthened the Leibnizian position against Cartesian criticisms. The findings show that her role was decisive and, within a historiographical context, opens new didactic-pedagogical possibilities. In this sense, the study is justified by the need to reassess Émilie's contributions in defense of the Leibnizian framework and her willingness to confront renowned critics aligned with Cartesian conceptions. The objective is to emphasize Émilie's conceptual and experimental interpretations in the construction of the concept of vis viva. To do so, we analyze the treatment of the topic by Newton (1687), Leibniz (1686), and Johann Bernoulli (1667–1748). The research adopts a qualitative and historiographical approach based on primary and secondary sources, emphasizing key algebraic and experimental demonstrations. We start from the hypothesis that the marquise's work was crucial in interpreting experiments, creating a decisive link between Leibnizian vis viva and modern kinetic energy. As a result, we highlight the relevance of this material for understanding Émilie's role in the historical development and conceptual transition from vis viva to kinetic energy, enabling her proper recognition and expanding didactic-pedagogical approaches.

Keywords: Émilie du Châtelet, Vis viva, Kinetic energy.

INTRODUÇÃO

Atualmente o conceito de energia cinética é amplamente aceito na Física. No entanto, seu fundamento conceitual tem raízes na antiga concepção da *vis viva*¹, defendida por Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716). Uma publicação feita por Leibniz, intitulada *Brevis Demonstratio erroris memorabilis Cartesii et aliorum circa legem naturalem*, marcou o início da controvérsia da força viva². Conforme Lindsay (1973, p. 110)³, esse marco “polarizou filósofos naturais em dois campos, os apoiadores da quantidade de movimento de Descartes e aqueles que se identificavam com o significado fundamental da força viva de Leibniz”. Assim, temos duas correntes de pensamento: a cartesiana e a leibniziana.

Dentro da corrente de pensamento leibniziana, podemos destacar a marquesa Gabrielle Émilie Le Tonnelier de Breteuil (1706-1749)⁴. Ela desempenhou um papel fundamental ao traduzir a obra *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* e ao dispor suas interpretações. Além disso, ela expandiu a noção de força viva ao apresentar argumentos em defesa da concepção leibniziana⁵. No entanto, é comum notar, nas publicações científicas contemporâneas, atribuições dos méritos conceituais de energia cinética a Leibniz, a Thomas Young (1773-1829)⁶ ou a Jean Bernoulli (1667-1748)⁷. Contudo, é possível identificar um notório problema na historiografia desse conceito, a subestimada contribuição da marquesa.

Compreender como esse desenvolvimento ocorreu permite uma visão precisa da história, além de desfazer distorções recorrentes na historiografia moderna e nos materiais didático-pedagógicos. A ausência de Émilie du Châtelet nos materiais didáticos de Física contribui para uma visão parcial da história da energia cinética.

¹ Iremos chamar *vis viva* de força viva, por conveniência do idioma português, mas sem confundi-la com o conceito de força.

² Papineau, D. “The vis viva Controversy: Do Meanings Matter?” *Studies in History and Philosophy of Science, Part A*. vol. 8. 111-42. Países baixos: Amsterdã, 1977, www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0039368177900115?via%3Dihub.

³ Lindsay, Robert Bruce. *Energy: Historical Development of the Concept*, 110. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson & Ross, 1973.

⁴ Nos referiremos a ela apenas como Émilie ao longo do texto com intuito de manter a padronização textual

⁵ Reichenberger, Andrea. “Émilie du Châtelet’s Interpretation of the Laws of Motion in the Light of 18th Century Mechanics.” *Studies in History and Philosophy of Science* 69 (2018): 1-11.

⁶ Gomes, Luciano Carvalhais. “A História da Evolução do Conceito Físico de Energia Cinética Como Subsídio para o Ensino e Aprendizagem - Parte I.” *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32, nº 2 (2015): 407-41, <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2015v32n2p407>.

⁷ Iltis, Carolyn. “D’Alembert and the vis viva Controversy.” *Studies in History and Philosophy of Science* 2 (1970): 135-44, <https://nature.berkeley.edu/departments/espm/env-hist/articles.html>.

Sua inclusão nas abordagens didático-pedagógicas pode enriquecer o ensino ao permitir que estudantes compreendam muito além da evolução conceitual. As atividades pedagógicas podem explorar os experimentos com colisões e quedas livres como forma de relacionar história e prática experimental em sala de aula. Logo, o objetivo geral desta pesquisa é evidenciar a relevância do papel de Émilie na consolidação do conceito de força viva, em termos das suas interpretações conceituais e empíricas.

Para tanto, a metodologia desta pesquisa está ancorada nos princípios de uma pesquisa qualitativa do tipo exploratória historiográfica, baseada em fontes primárias e secundárias. Martins (2005, p. 117)⁸ descreve a historiografia como algo constituído “por artigos, livros e outros textos que descrevem a atividade científica e refletem sobre ela”. Desse modo, serão descritos os acontecimentos no desenvolvimento histórico do conceito de força viva, contemplando seus elementos científicos e matemáticos.

Assim, foi realizado um levantamento bibliográfico em repositórios internacionais dos textos de Newton⁹, Leibniz¹⁰ e Châtelet¹¹. Também foram realizadas consultas em materiais que tratam a historiografia do conceito de energia e os aspectos da vida da marquesa, tais como Gomes¹², Lindsay¹³, Martins¹⁴, Papineau¹⁵ e Pereira e Silva¹⁶.

Inicialmente, há um esclarecimento da visão cartesiana de Newton acerca do conceito de força viva e enfoque no desenrolar dos debates sobre a controvérsia, em

⁸ Martins, Roberto de Andrade. "Ciência Versus Historiografia: Os Diferentes Níveis Discursivos nas Obras Sobre História da Ciência" In Ana Maria Alfonso-Goldfarb & Maria Helena Roxo Beltran. *Escrevendo a História da Ciência: Tendências, Propostas e Discussões Historiográficas*, 115-45. São Paulo: EDUC; Livraria de Física; FAPESP, 2005.

⁹ Newton, I. *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. Londini: Jussu Societatis Regiae ac Typis Josephi Streater, 1687, <https://ia902906.us.archive.org/8/items/1686-newton-principia-1ed/>.

¹⁰ Leibniz, Gottfried Wilhelm. *Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii et aliorum circa legem naturae*. *Acta Eruditorum*, 161-3. vol. 5, mar. 1686, <https://archive.org/details/s1id13206520/mode/2up>.

¹¹ Châtelet, G. É. Du. *Institutions de Physique*. Paris: Prault Fils, 1740, <https://www.digitale-sammlungen.de/de/view/bsb10130894?>.

¹² Gomes, "A História da Evolução do Conceito Físico de Energia Cinética Como Subsídio para o Ensino e Aprendizagem - Parte I".

¹³ Lindsay, "Energy: Historical Development of the Concept".

¹⁴ Martins, Roberto de Andrade. "A Marquesa de Châtelet: Uma Filósofa Natural do Século XVIII." *Ensino de Matemática e Ciências: História e Filosofia na Formação de Professores*, 7-24. org. Rafael Prearo Lima & Rodrigo Rafael Gomes & Rubens Pantano Filho. Campinas: FE/Unicamp, 2022.

¹⁵ Papineau, "The vis viva Controversy: Do Meanings Matter?".

¹⁶ Pereira, Jaene Guimarães & Ana Paula Bispo da Silva. "A França se Rende ao Charme da Marquesa: Émilie du Châtelet e Sua Tradução de Newton." *18º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia* 18 (2022), https://www.researchgate.net/publication/365153311_A_Franca_se_rende_ao_charme_da_marquesa_Emilie_du_Chatelet_e_sua_traducao_de_Newton.

que são citados os principais embates acerca do conceito. Também apresentamos as principais contribuições conceituais feitas pela marquesa e, por fim, as contestações aos méritos de Émilie, bem como sua cartada final baseada em ensaios experimentais.

Apesar de frequentemente lembrada apenas como tradutora da obra de Newton ou como figura ligada a Voltaire¹⁷, Émilie desempenhou um papel essencial no desenvolvimento histórico do conceito de energia cinética. Contudo, a hipótese desta pesquisa é que, através de sua defesa da teoria das forças vivas de Leibniz e sua análise de experimentos empíricos, Émilie consolidou ideias fundamentais à noção moderna de energia cinética. Porém, para compreender o contexto do diálogo no qual ela se inseriu, é necessário entender a concepção contra a qual ela argumentava.

A concepção cartesiana de Newton

É importante, de início, distinguir a noção de força viva em foco daquela relacionada à energia total em sistemas orbitais, como na mecânica celeste. Embora ambas envolvam a ideia de conservação de energia, a força viva de Émilie e Leibniz refere-se a uma concepção precursora da energia cinética e tenta explicar a conservação em colisões e sistemas dinâmicos. Por outro lado, na mecânica celeste, o foco está na conservação da energia total de um corpo em órbita, tema não abordado nesta pesquisa.

A concepção de Newton não se baseia em torno da força viva, mas da quantidade de movimento. Em seu livro, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* publicado em 1687, ele propõe a seguinte definição:

A quantidade de movimento é a medida da velocidade e da quantidade de matéria conjuntamente.

O movimento por inteiro é a soma dos movimentos de todas as partes. Portanto, em um corpo com o dobro da quantidade de massa, com mesma velocidade, o movimento é o dobro. Com o dobro da velocidade, é o quádruplo¹⁸

¹⁷ Pereira & Silva, "A França se Rende ao Charme da Marquesa: Émilie du Châtelet e Sua Tradução de Newton".

¹⁸ Newton, "Philosophiæ naturalis principia mathematica", 2.

Algebricamente, afirmar que um corpo com o dobro da massa ($2m$), mesma velocidade (v), resulta em um movimento dobrado ($2p$), é o mesmo que:

$$2m \times v = 2p \quad (01)$$

Mantendo essa proporção ($2m$) e dobrando a velocidade ($2v$), temos o quádruplo da quantidade de movimento ($4p$), ou:

$$2m \times 2v = 4p \quad (02)$$

Desse modo, Newton propõe uma proporção entre a quantidade de movimento (p) com o produto da velocidade (v) com a massa (m), de tal modo que:

$$p \propto m \times v \quad (03)$$

Essa visão é considerada cartesiana por se basear na quantidade de movimento proposta pelo filósofo René Descartes (1596-1650). Diferentemente do filósofo, Newton considerava a velocidade como uma grandeza vetorial e não como valor absoluto. Ainda assim, sua formulação recebeu críticas, gerando uma divisão de correntes de pensamento e contribuindo para o início da chamada controvérsia da força viva. Isso ocorreu devido a uma publicação feita por Leibniz que marcou o início de “uma disputa que chamou a atenção da maioria dos filósofos naturais europeus por cerca de cinquenta anos”¹⁹.

Leibniz, Jean Bernoulli, d'Alembert e a controvérsia da força viva

Papineau (1977)²⁰ cita que Leibniz aponta um “erro memorável no que diz respeito à identificação da 'força motriz' (*vis motrix*) de um corpo com sua ‘quantidade de movimento’”. Leibniz (1686)²¹ expõe críticas à Descartes por defender uma concepção que possibilitaria um movimento mecânico perpétuo. Ele inicia seu artigo diferenciando a força motriz da quantidade de movimento, por vezes também chamada de força. Leibniz passou a sentir que essa associação era distorcida e argumentou que a conservação do movimento explicava o fato de um corpo não perder força se outro não ganhar e vice-versa, bem como os corpos perdem ou ganham movimento em decorrência de uma influência externa²².

¹⁹ Papineau, “The vis viva Controversy: Do Meanings Matter?”, 111.

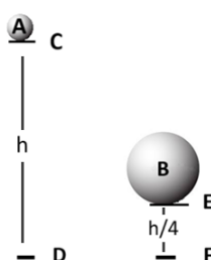
²⁰ Ibid.

²¹ Leibniz, “Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii et aliorum circa legem naturae”.

²² Lindsay, “Energy: Historical Development of the Concept”, 109.

A este respeito, Leibniz propõe que “um pêndulo retornará exatamente à altura da qual foi solto, a menos que a resistência do ar e outras pequenas interferências absorvam parte de seu movimento”²³. Desse ponto de vista, o pêndulo perderia força caso houvessem pequenas interferências externas. Ele ainda argumenta que o esforço necessário para erguer um corpo A de uma libra a uma altura CD é equivalente a erguer um corpo B de quatro libras a uma altura quatro vezes menor, conforme a ilustração da figura 01.

Figura 01: Ilustração análoga ao exemplo dado por Leibniz (1686)²⁴



Fonte: autoria própria.

Nesta situação, Leibniz se remete à Galileu quando cita que a velocidade adquirida pelo corpo A no ponto D (v_{AD}) é o dobro da velocidade de B no ponto F (v_{BF}).

$$v_{AD} = 2v_{BF} \quad (04)$$

Neste sentido, sabendo que sua massa tem valor unitário e utilizando o produto da equação 03, a resultante da quantidade de movimento (p) é:

$$p_A \propto m_A \times 2v_B \quad (05)$$

Por outro lado, a massa de B é quatro vezes a massa de A, daí obtém-se:

$$p_B \propto 4m_A \times v_B \quad (06)$$

Ao anular os fatores iguais, em 05 e 06, temos que $p_A \propto 2$ e $p_B \propto 4$. Com isso, Leibniz observa que a quantidade de movimento de A no ponto D é proporcional a metade da quantidade de movimento de B no ponto F. Por fim, ele conclui que a força motriz é diferente de quantidade de movimento e que uma não pode ser estimada com base na outra. Para finalizar, ele cita que as forças são proporcionais a uma razão composta, indicando que depende de múltiplos fatores.

²³ Leibniz, “Brevis demonstratio erroris memorabilis Cartesii et aliorum circa legem naturae”, 161.

²⁴ Ibid.

Posteriormente, os argumentos de Leibniz servem para Émilie relacionar, por meios experimentais, como ocorre a interação entre a força viva e a velocidade do corpo. Outra possível contribuição à Émilie, veio de Jean Bernoulli (1667-1748). Ele estava dedicado à formalidade algébrica e propôs a inserção do fator $\frac{1}{2}$ no formalismo algébrico do conceito.

Em 1727, Jean Bernoulli apresentou uma análise da força viva em termos de esferas movimentadas pelo acionamento de molas comprimidas. O aumento da velocidade é representado pela pressão da mola, p , ou pela força morta, juntamente com o incremento de tempo.

Assim, $dv = p dt$. Como $v = \frac{dx}{dt}$, então $dt = \frac{dx}{v}$. Portanto, $dv = \frac{p dx}{v}$ ou $v dv = p dx$. A integral disso é $\int p dx = \frac{v^2}{2}$.

Bernoulli acrescenta o conceito de massa, mostrando que a força viva, é proporcional ao quadrado da velocidade. Como pressão e força newtoniana são equivalentes, então podem ser interpretados como

$$\frac{mv^2}{2} = \int F dx.^{25}$$

Assim, Bernoulli interpretava $\int p dx$ como a representação de uma quantidade ligada ao surgimento da força viva no corpo. Todavia, o termo $\int F dx$ refere-se à integral de uma força ao longo de um deslocamento, isto é o trabalho realizado, mas que também define a variação de energia cinética. Da interpretação de Bernoulli, ainda é possível notar que o conceito de força morta se equipara ao que conhecemos por energia potencial, por ser uma força capaz de incrementar velocidade, o que, para Émilie, não era possível.

A controvérsia só teve fim com a publicação da obra *Traité de Dynamique* publicada em 1743 por d'Alembert²⁶. Em seu tratado, ele não teria se preocupado com os mesmos aspectos físicos e matemáticos que Émilie e Bernoulli. D'Alembert visa demonstrar conceitualmente as diferenças entre força viva e força morta. Ela também distingue força viva e momentum ao afirmar que “a força viva é uma força agindo

²⁵ Iltis, “D'Alembert and the vis viva Controversy”, 143.

²⁶ Ibid.

através de uma distância enquanto momentum é a medida de uma força agindo por um tempo”²⁷.

O interesse pelo tema diminuiu no decorrer da década de 1740. Em partes, isso ocorreu porque d'Alembert concluiu que se tratava de uma disputa de palavras, uma vez que, conforme Papineau (1977)²⁸, ele não acreditava na existência de quaisquer forças e que elas não poderiam ser as causas dos movimentos. Essas divergências construíram o cenário no qual Émilie du Châtelet desenvolveu suas interpretações, discutidas nas seções seguintes.

Émilie em defesa da força viva

No contexto histórico e cultural em que Émilie viveu, não era comum que mulheres assumissem papéis nas discussões científicas. Ela contou com o apoio de seu pai e de Voltaire, um amigo por quem tinha grande admiração²⁹. Esse apoio era condicional, uma vez que eles não queriam que ela aderisse às concepções metafísicas de Leibniz. Seguindo o contexto do iluminismo, "Émilie e Voltaire se inclinavam a discutir e criticar inconsistências bíblicas. Mais tarde, a pedido da marquesa, ambos seguem os estudos voltados a Newton"³⁰.

Émilie ainda teve grande influência de Bernoulli. Embora ele tenha se dedicado à formalização matemática do conceito, suas interpretações foram questionadas pela marquesa. Para tanto, em 1740, ela publicou a obra *Institutions de Physique* e define os termos força viva e força morta de tal maneira:

Quando um corpo em movimento encontra um obstáculo, ele exerce uma força para deslocar esse obstáculo [...] se esse esforço é anulado por uma resistência invencível, a força desse corpo é uma *força morta*, ou seja, ela não produz nenhum efeito [...], se a resistência não é invencível, a força é então uma *força viva*, pois ela produz um efeito real [...]³¹

²⁷ Iltis, "D'Alembert and the vis viva Controversy", 135.

²⁸ Papineau, "The vis viva Controversy: Do Meanings Matter?".

²⁹ Pereira & Silva, "A França se Rende ao Charme da Marquesa: Émilie du Châtelet e Sua Tradução de Newton", 458.

³⁰ Ibid., 459.

³¹ Châtelet, "Institutions de Physique", 240.

Assim, para Émilie, Bernoulli estaria conceitualmente equivocado ao propor que a velocidade seria incrementada a um corpo por uma força morta, uma vez que força morta seria, por definição, uma força incapaz de produzir um efeito real. No entanto, isso não significaria que Bernoulli estivesse matematicamente errado.

Sua distinção entre os termos prossegue quando ela explica por que os corpos caem, afirmando que “quando nada segura o corpo, a gravidade produz uma força viva nesse corpo, que o faz cair em direção a face da Terra”³². Émilie conclui que essas forças se diferenciam porque uma não produz efeito no obstáculo, força morta, enquanto a outra produz um efeito, força viva³³.

Em outro momento, ela trata sobre a contestação de Galileu à Aristóteles sobre os corpos caírem com velocidades proporcionais às suas massas, quando imersos em um mesmo meio, o que não ocorre em um meio sem resistências. Ela cita que Galileu reconheceu que as velocidades dos corpos variam de acordo com suas alturas. Então, ao falar sobre a queda dos corpos, Émilie esclarece

4. Que os espaços que eles (os corpos) percorrem correspondem ao quadrado dos tempos, ou ao quadrado das velocidades. Consequentemente, as velocidades e tempos estão em proporção dupla aos espaços.

5. Que o espaço que o corpo percorre ao cair durante um dado tempo é o dobro daquele que percorreria durante o mesmo tempo em um movimento uniforme, [...] ³⁴

No contexto da queda livre, um determinado espaço, que é a altura (h), é proporcional ao quadrado do tempo de queda (t^2) ou ao quadrado da velocidade final (v^2), ou seja:

$$h \propto t^2 \quad (07)$$

$$h \propto v^2 \quad (08)$$

A equação 08 nos permite refletir sobre a proporção de conservação de energia de um corpo em queda livre, que atualmente conhecemos por:

$$v^2 = 2gh \quad (09)$$

³² Châtelet, “Institutions de Physique”, 256.

³³ Ibid., 403.

³⁴ Ibid., 267.

Note que a proporção 08 é corrigida pela igualdade seguida da constante $2g$ na equação 09. Por outro lado, se lembrarmos que a velocidade final em um movimento retilíneo uniforme é dada por:

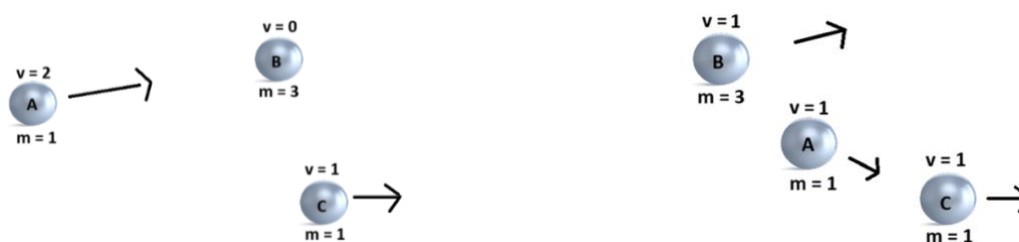
$$v = v_o + gt \quad (10)$$

Substituindo 10 em 09 e considerando um corpo partindo do repouso, velocidade inicial $v_o = 0$, temos:

$$gt^2 = 2h \quad (11)$$

Portanto, a equação (11) valida a proporção (07) proposta por Émilie. Ainda nesse diálogo, Émilie cita que “o Sr. Herman relata um caso que não deixa espaço para qualquer argumento e no qual não se pode contestar que a força do corpo foi quadruplicada em virtude do dobro da velocidade”³⁵. Ela ainda expõe um exemplo em que uma bola A, com massa unitária e velocidade igual a dois, colide com uma bola B, que tem massa igual a três e está inicialmente parada. Posteriormente, A colide com C, que tem massa e velocidade unitárias.

Figura 02: O antes e depois da colisão de A com B, segundo o exemplo de Châtelet (1740)³⁶



Fonte: autoria própria.

Observe que, inicialmente, A tinha velocidade 2 e, posteriormente, transferiu um grau de velocidade para a bola B. Em seguida, A colidirá com C, transferindo o grau de velocidade restante e fazendo C ter velocidade de grau 2. Ao analisarmos as interações, vemos que “a massa do corpo B sendo 3 e sua velocidade sendo 1, sua força será 3, segundo a própria admissão daqueles que recusam aceitar as forças vivas. O corpo C, cuja velocidade é 1 e cuja massa é 1, também terá uma força de 1”³⁷. Nessa situação, “o corpo A comunicou uma força de 3 ao corpo B e uma força

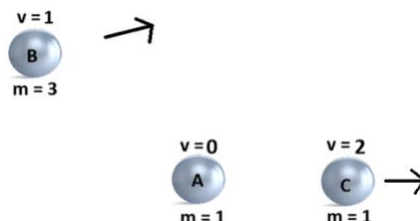
³⁵ Châtelet, “Institutions de Physique”, 435.

³⁶ Ibid.

³⁷ Ibid.

de 1 ao corpo C. Assim, o corpo A, com velocidade 2, forneceu um total de 4 de força. Logo, ele possuía essa força. Se não a tivesse, não poderia tê-la transmitido”³⁸.

Figura 03: Resultado final da colisão de A com C, segundo o exemplo de Châtelet (1740)³⁹



Fonte: autoria própria.

No caso da bola C, multiplicando-se sua velocidade pela massa (figura 03), obtém-se 2 graus de força viva. Entretanto, como C já possuía 1 grau (figura 02) antes de sua colisão, ela ganha apenas 1 grau adicional. Observe, ainda, que Émilie utilizou o raciocínio daqueles que propuseram a força viva de um corpo como sendo o produto da massa pela sua velocidade, ainda assim, obteve um resultado controverso ao esperado para A.

Fazendo o produto para a bola A, espera-se que sua força viva seja grau 2, uma vez que ela possui velocidade 2 e massa 1. Todavia, observando o comportamento da força viva adquirida pelas bolas B e C ao interagirem com a bola A, Émilie conclui que A tinha 4 graus de força viva. Ela chega a essa conclusão, uma vez que “a força do corpo A tinha 2 de velocidade e 1 de massa, isto é o quadrado desta velocidade multiplicado pela sua massa”⁴⁰.

Segundo os cartesianos, não seria possível dois corpos B e C adquirirem força viva, simultaneamente, de um corpo A. Inquietada com a crítica dos cartesianos, Émilie retrata que

[...] um corpo A, suspenso livremente no ar, cuja velocidade é dois e cuja massa é dois, impacta simultaneamente sob um ângulo de 60 graus em dois corpos B e B, cuja massa de cada um é dois.

Neste caso, o corpo A permanece em repouso após o impacto e os corpos B e B compartilham entre si sua velocidade e cada um se move

³⁸ Châtelet, “Institutions de Physique”, 435.

³⁹ Ibid.

⁴⁰ Ibid.

com um grau de velocidade: agora, esses corpos B e B, cuja massa é dois e que receberam, cada um, um grau de velocidade, têm cada um dois de força independente da perspectiva adotada.

Portanto, o corpo A, com uma velocidade 2, comunicou uma força 4 simultaneamente. O que é, precisamente, o caso exigido pelos adversários das forças vivas. Então esse resultado refuta a objeção da consideração do tempo, sobre a qual os inimigos das forças vivas tanto fizeram alarde até agora.⁴¹

Analogamente, imagine a seguinte situação de um jogo de bilhar. A bola A, seria a bola branca e as bolas B e B são representadas por duas bolas laranjas, conforme a figura a seguir.

Figura 04: Analogia do experimento com um jogo de bilhar



Fonte: autoria própria.

Após a tacada inicial, bola A (na cor branca) percorrerá a trajetória correspondente à linha projetada. De modo que, A tem massa 2 e adquire grau 2 de velocidade. Posteriormente, ela irá colidir com as bolas B e B (na cor laranja) exatamente 60° de cada bola, as quais estão em repouso. Quando A colide simultaneamente com elas, cada uma adquire um grau de velocidade da bola A, fazendo A parar. Com isso, a bola A transferiu toda sua força viva para as bolas B e B, que ganham força viva simultaneamente.

A moral desse experimento está na contestação feita aos cartesianos, que alegavam que não era possível fazer dois corpos adquirirem força viva simultaneamente. Dando continuidade à sua argumentação, Émilie apresenta outro experimento que contribuiu ainda mais para sua notoriedade frente à defesa da força viva.

⁴¹ Châtelet, "Institutions de Physique", 582.

As evidentes e contestadas contribuições de Émilie

As maiores contribuições de Émilie perpassam por suas interpretações matemáticas e pelas conclusões acerca de ensaios experimentais. Todavia, o reconhecimento de Émilie não ocorreu sem conflitos. Em 1739, ela contratou Johann Samuel König como tutor de matemática, mas ela já possuía manuscritos prontos antes desse contato. A publicação da obra intitulada *Institutions de Physique* em 1740, fundamentada nas concepções leibnizianas⁴², reforçou sua autonomia intelectual e marcou sua entrada definitiva na controvérsia da força viva. Com isso,

a publicação dessa obra produziu um conflito de Émilie com König, que a acusou de se basear nos seus ensinamentos sem citá-lo. Entretanto, sabe-se atualmente que o primeiro manuscrito dessa obra, muito semelhante à primeira edição, já estava pronto em 1738, antes do contato de Émilie com König⁴³

Por outro lado, Jean Bernoulli (1667-1748) também não tiraria seus méritos, uma vez que seu foco era matemático e suas interpretações geraram dúvidas. Seu filho, Daniel Bernoulli (1700-1782), que publicou sua obra *Hydrodynamics* em 1738 também não tiraria a notoriedade de Émilie, pois sua ideia consistia na utilização do conceito leibniziano de força viva com objetivo de mostrar que esta força pode se transformar em trabalho útil.

Para acabar com quaisquer dúvidas, a cartada final de Émilie é apresentada quando ela baseia seus argumentos nos ensaios experimentais envolvendo queda de corpos propostos por Willem Jacob's Gravesande (1688-1742). Neste experimento, ela propõe fixar

uma bola de argila e a fazer ser atingida simultaneamente por duas bolas de cobre. Uma bola cuja massa era 3 e a velocidade 1 e outra bola cuja velocidade era 3 e massa 1.

⁴² Martins, "A Marquesa de Châtelet: Uma Filósofa Natural do Século XVIII".

⁴³ Ibid., 18.

Primeiro, observa-se que o afundamento causado pela bola de massa 1 e velocidade 3 foi sempre muito maior do que o causado pela outra, o que mostra a desigualdade das forças envolvidas.

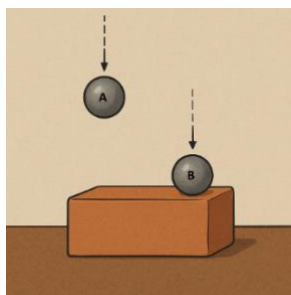
Em seguida, essas duas bolas se chocaram simultaneamente com uma bola de argila suspensa livremente por um fio. A bola de argila não foi deslocada e as duas bolas de cobre ficaram em repouso, ambas igualmente afundadas na argila.

Por fim, essas deformações iguais foram medidas e se mostraram maiores do que a deformação feita pela bola de massa 3 e velocidade 1 quando ela sozinha atingiu a argila fixada. Entretanto, foram menores do que o afundamento causado pela bola de massa 1 e velocidade 3.

Isso ocorre porque a bola de massa 3 usou sua força para afundar na argila e seu afundamento foi aumentado pelo esforço da bola de massa 1, que pressionou a argila contra a bola 3, o que reduziu a depressão da bola 1 [...] ⁴⁴

Outra forma de pensar esse experimento é imaginar um bloco de massa de argila sob uma superfície e duas bolas de metal, com mesma massa, caindo sobre ela de alturas diferentes, conforme a figura 05.

Figura 05: Bolas metálicas de mesma massa caindo sobre um bloco de argila



Fonte: autoria própria.

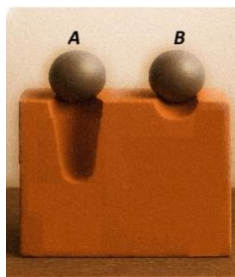
Este é, também, um exemplo análogo ao citado por Lindsay em que propõe deixar

⁴⁴ Châtelet, "Institutions de Physique", 441.

cair uma bola de uma certa altura acima do chão de modo que ela caia em um prato rigidamente fixado ao chão; o prato está cheio de massa macia. Quando a bola atinge a massa, ela penetra uma certa distância nela e então para. Em seu estado final, ela claramente não tem energia, uma vez que perdeu sua velocidade e obviamente não está em posição de prosseguir seu movimento.⁴⁵

Utilizando a ideia vista na proporção 08, espera-se que a bola A, ilustrada na figura 05, irá colidir com a argila com uma velocidade maior que B e atinja profundidade bem maior que B. De modo análogo, a bola B que irá cair de uma altura menor que A e, portanto, terá velocidade menor que A ao atingir a argila. Como consequência, B atingirá menor profundidade em relação a bola A. De fato, isso ocorre, como podemos perceber na figura 06.

Figura 06: Profundidade atingida por bolas metálicas de mesma massa



Fonte: autoria própria.

Desse modo, Émilie constatou a validade da proporção 08 também para a profundidade atingida por cada bola. Ou seja, a profundidade atingida por cada bola é proporcional ao quadrado de velocidade no momento da colisão com a argila. Com essa conclusão, Émilie deu uma roupagem nova à filosofia newtoniana, consolidando a concepção leibniziana em bases experimentais e deixando, assim, sua grande contribuição para a ciência no entendimento do que hoje conhecemos por energia cinética.

⁴⁵ Lindsay, "Energy: Historical Development of the Concept", 9.

Implicações didático-pedagógicas das contribuições de Émilie du Châtelet

A trajetória de Émilie du Châtelet oferece um conjunto de possibilidades para o ensino de Física. A abordagem da controvérsia da força viva em sala de aula, oportuniza compreender que conceitos como força, energia, movimento e trabalho não surgiram de maneira linear ou definitiva, mas emergiram de debates, discordâncias e interpretações distintas. Essa abordagem rompe com a visão tradicional de ciência e possibilita que os alunos percebam a Física como um campo dinâmico, permeado por disputas teóricas e validações experimentais.

Trabalhar o papel de Émilie nesse contexto permite mostrar que a experimentação e a argumentação científica não se restringem à contribuição de figuras amplamente conhecidas, como Newton ou Leibniz, mas envolvem também personagens historicamente desprezados, como as mulheres cientistas. A utilização dos experimentos analisados por Émilie, especialmente aqueles envolvendo queda de corpos inspirados nos estudos de Gravesande, permite estabelecer um elo direto entre história da ciência e práticas experimentais.

Esse conjunto experimental pode ser convertido em atividades investigativas acessíveis à realidade escolar, utilizando materiais simples como massas moldáveis, esferas metálicas ou objetos equivalentes para explorar a relação entre velocidade, profundidade de impacto e a proporcionalidade quadrática característica da força viva. Essas atividades não apenas reforçam conceitos fundamentais de energia cinética, mas também possibilitam que os estudantes reconstituam, em pequena escala, etapas históricas.

Além disso, a presença de Émilie du Châtelet como figura central nesse processo abre espaço para reflexões críticas sobre a invisibilização das mulheres na ciência. Ao apresentar sua participação na controvérsia da força viva, bem como a resistência que enfrentou no século XVIII, o professor pode estimular debates sobre questões de gênero, reconhecimento científico e construção social do conhecimento. Tal perspectiva alinha-se às diretrizes atuais de ensino de Ciências, que enfatizam a contextualização sociocultural e a promoção de uma alfabetização científica crítica, contemplando diversidade e inclusão.

Por fim, o estudo das contribuições de Émilie também favorece a compreensão da natureza da ciência, particularmente no que se refere ao papel do erro, do debate e da pluralidade teórica no avanço do conhecimento. Dessa forma, as

contribuições de Émilie du Châtelet não apenas enriquecem a narrativa histórica dos conceitos físicos, mas também proporcionam um poderoso recurso pedagógico para promover uma visão mais humanizada e crítica sobre como o conhecimento científico é construído.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por sua condição socioeconômica, Émilie pode ter sido considerada uma pessoa privilegiada. Ela "só teve êxito nos estudos através da permissão e ajuda dos homens com quem se relacionava: do seu pai; depois do Voltaire (1694-1778) com quem teve um longo romance [...] e também seu esposo"⁴⁶. Além disso, sua posição social privilegiada lhe permitia ignorar a maioria das proibições direcionadas às mulheres da época⁴⁷.

Apesar de não ter seu devido reconhecimento nas publicações contemporâneas, não podemos deixar de enxergar os feitos de Émilie diante de suas dificuldades. Sua produção *Institutions de Physique* não teve apoio de seus amigos, Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698–1759) e o Voltaire, devido à sua adesão às concepções metafísicas de Leibniz⁴⁸.

Em certo momento quando, dentre outros feitos, "durante seus últimos dias, em momentos de incertezas, frente a uma gestação complicada devido a sua idade avançada que a marquesa Émilie du Châtelet resolve finalizar sua obra mais audaciosa: a tradução e comentários do Principia de Newton"⁴⁹. Sua modéstia foi preservada quando ela admite que Leibniz foi o primeiro a descobrir a verdadeira medida da força viva e que a distinguiu da força morta⁵⁰. Apesar de sua atuação, ela é ignorada em vários materiais historiográficos, tal como em Lindsay (1973)⁵¹ ao citar os artigos de Johan e Daniel Bernoulli, d'Alembert, Euler e Köenig como sucessões da controvérsia e ignora as interpretações matemáticas e as conclusões acerca de ensaios experimentais feitas pela marquesa.

⁴⁶ Pereira & Silva, "A França se Rende ao Charme da Marquesa: Émilie du Châtelet e Sua Tradução de Newton", 457.

⁴⁷ Ibid.

⁴⁸ Ibid.

⁴⁹ Ibid.

⁵⁰ Châtelet, "Institutions de Physique".

⁵¹ Lindsay, "Energy: Historical Development of the Concept".

Com suas interpretações e ensaios experimentais, Émilie pode ser considerada uma das principais pontes transitórias entre força viva e energia cinética. Todavia, seus feitos normalmente não estão estampados nos materiais historiográficos e pedagógicos. Tal fato se deve, em partes, a todo o contexto em que se desenrolaram os fatos, bem como aos costumes ainda impregnados na sociedade moderna.

Naturalmente, o conceito de energia cinética resultou de um processo histórico coletivo, envolvendo diversos autores que dialogaram entre si ao longo do tempo. No entanto, não é razoável permitir que a historiografia contemporânea ignore fatos marcantes e perpetue os preconceitos existentes no âmbito científico e pedagógico, de tal maneira que justifica a relevância desta pesquisa.

Dessa forma, resgatar as contribuições da marquesa no desenvolvimento do conceito de força viva corrige um viés historiográfico e também oferece um material rico para educadores, ilustrando como a ciência é uma construção humana, complexa e diversa.

SOBRE O AUTOR:

Claudson Eduardo Araujo Barbosa Barros
Universidade Estadual da Paraíba
claudson.barbosa@aluno.uepb.edu.br

Artigo recebido em 30 de junho de 2025

Aceito para publicação em 11 de novembro de 2025



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