

O Princípio de Mínima Ação de Maupertuis: O que futuros professores de Física podem aprender estudando uma fonte primária?^{†*}

Yaffa Bruxel Rabeno¹

Graduanda em Física – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Nathan Lima¹

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre – RS

Resumo

Apresentamos uma reflexão teórico-metodológica para o uso de fontes históricas primárias principalmente em contexto de formação de professores, a fim de privilegiar o desenvolvimento do que Freire denomina autonomia epistêmica. Essa reflexão é apresentada em diálogo com discussões do campo dos Estudos das Ciências, em especial, a chamada Virada Ontológica da Antropologia, e da Filosofia de Linguagem do Círculo de Bakhtin, sugerindo três contribuições: a ênfase na autonomia epistêmica dos estudantes, a busca da superação da dicotomia entre saberes técnicos e pedagógicos, e a adoção de uma concepção epistemológica não-estruturalista, alinhada às discussões metodológicas provenientes da Antropologia do Laboratório. A fim de exemplificar as potencialidades e a riqueza de discussões de fontes primárias a partir desse quadro teórico-metodológico, apresentamos a tradução do francês para o português de uma fonte primária, As Leis do Movimento e do Repouso escrita por M. de Maupertuis no século XVII, em que seu princípio de Mínima Ação é formalizado pela primeira vez. Na sequência, comentamos possíveis caminhos de reflexão e diálogo na sala de aula. Assim, o artigo traz contribuições tanto no sentido teórico, como no sentido de oferecer uma fonte primária em português, com caminhos de reflexão possíveis para o contexto didático.

[†] Maupertuis Principle of Least Action: What can future Physics teachers learn by studying a primary source?

* Recebido: 27 de fevereiro de 2023.

Aceito: 08 de junho de 2023.

¹ E-mails: yaffarabeno@hotmail.com; lima.nathan@gmail.com

Palavras-chave: *Fontes Primárias; História e Filosofia da Ciência; Antropologia do Laboratório; Estudos das Ciências; História Cultural.*

Abstract

*We present a theoretical-methodological reflection for the use of primary historical sources mainly in the context of teacher education, in order to privilege the development of what Freire calls epistemic autonomy. This reflection is presented in dialogue with discussions in the field of Science Studies, especially the so-called Ontological Turn of Anthropology, and the Philosophy of Language of the Bakhtin Circle, presenting three contributions: the emphasis on the epistemic autonomy of students, the search for overcoming the dichotomy between technical and pedagogical knowledge, and the adoption of a non-structuralist epistemological conception, aligned with the methodological discussions arising from Laboratory Anthropology. In order to exemplify the potential and richness of discussions of primary sources from this theoretical-methodological framework, we present the translation from French to Portuguese of a primary source, *As Leis do Movimento e do Repouso*, written by M. de Maupertuis in the 19th century. XVII, in which its Least Action principle is formalized for the first time. Next, we comment on possible ways of reflection and dialogue in the classroom. Thus, the article brings contributions both in the theoretical sense and in the sense of offering a primary source in Portuguese, with possible reflection paths for the didactic context.*

Keywords: *Primary Sources; History and Philosophy of Science; Laboratory Anthropology; Science Studies; Cultural History.*

I. Introdução

O campo de pesquisa em História, Filosofia, Sociologia e Ensino de Ciências (HFSEC), apesar de existir há muito tempo, possui alguns marcos importantes de sua institucionalização nas décadas de 1980 e 1990, como a fundação da revista *Science & Education* (MATTHEWS, 1992) e com a fundação do Grupo Internacional de História, Filosofia, Sociologia e Ensino de Ciências, o IHPST. Ao longo dessas três décadas, muitas pesquisas têm sido publicadas defendendo uma diversidade de perspectivas, métodos e objetivos a serem alcançados. Para uma revisão de abordagens no Ensino de Física, por exemplo, o trabalho de Teixeira, Greca e Freire (2012) apresenta um panorama na literatura internacional.

Recentemente, ademais, alguns autores – sobretudo, mas não somente no contexto brasileiro – têm problematizado a importância de conectar as atividades de ensino que se valem do uso de História, Filosofia e Sociologia da Ciência com perspectivas didáticas e curriculares explícitas, deixando evidente os compromissos político-pedagógicos subjacentes a tais propostas (MOURA; GUERRA; CAMEL, 2020). Isto é, os pesquisadores defendem que não é suficiente trabalhar com HFSEC. É necessário analisar se o tema, a abordagem e as discussões realizadas se alinham com perspectivas epistemológicas e pedagógicas de interesse. Apenas para exemplificar, uma atividade com história da ciência pode, dependendo de como é estruturada, reforçar concepções míticas sobre a história da ciência (ALLCHIN, 2004) e até mesmo os chamados “mitos” sobre a ciência (AULER; DELIZOICOV, 2001), ou ainda, mesmo uma abordagem epistemologicamente sofisticada pode reforçar a concepção de uma ciência apolítica quando não explicita a dimensão social do empreendimento científico (MOURA, 2021).

Alinhando-nos a essas preocupações, o presente artigo tem dois objetivos. O primeiro objetivo é apresentar uma reflexão teórico-metodológica para atividades com história e filosofia da ciência de forma a potencializar que essas fomentem o que Freire denomina *autonomia epistêmica* (FREIRE, 2013a, 2013b), com implicações, sobretudo, para o contexto de formação de professores. Em especial, partindo de discussões da chamada virada ontológica da Antropologia (KOHN, 2015) e da Teoria do Enunciado Concreto de Bakhtin (BAKHTIN, 2016; LIMA *et al.*, 2019; SOUZA, 2002), ressaltamos a importância de permitir que os discentes (futuros professores) entrem em contato com fontes históricas primárias (artigos originais, diários, cartas) e, a partir do estudo dessas fontes, direcione-se a discussão da Física (isto é, dos conceitos físicos discutidos no texto) e sobre a Física (ou seja, a discussão sobre o que é a Física ou a ciência de uma forma geral e como ela se relaciona com outros campos da cultura e da atuação humana).

Essa proposta teórico-metodológica traz três contribuições. Primeiramente, ela inverte o que é usualmente feito: ao invés de se apresentar um episódio histórico e já tensionar a discussão para uma determinada reflexão, parte-se das reflexões primeiras dos discentes para organizar possíveis análises do episódio histórico – o que visa privilegiar a autonomia epistêmica. Em segundo lugar, ressalta-se a importância de partir do mesmo episódio para discutir a Física (os conteúdos, os conceitos) e sobre a Física (sobre a natureza da ciência), o que vai ao encontro da perspectiva de romper com a dicotomia entre conteúdos técnicos e pedagógicos, como vem preconizando as recentes diretrizes de formação docente (MASSONI; BRUCKMANN; ALVES-BRITO, 2020), em oposição aos modelos antigos como o 2+2 (2 anos de cursos pedagógicos e 2 anos de cursos de Física) (ARAÚJO; VIANNA, 2010). Ou seja, ao invés de o futuro professor aprender a Física separadamente das preocupações pedagógicas, nesse modelo de formação o próprio conteúdo é integrado com discussões mais amplas que são inerentes à carreira docente. Em terceiro lugar, ela não se compromete de forma rígida com uma concepção epistemológica específica previamente, mas

abre espaço para que do encontro do texto com o leitor (e suas reflexões, experiências e leituras prévias) se construa um novo aprendizado sobre o que é a ciência, o que se alinha com perspectivas pós-estruturalistas na história e no ensino de ciências² (LIMA, 2021).

Deve-se ressaltar que existem na literatura muitos artigos que defendem a importância do uso de textos históricos e fontes primárias no Ensino de ciências e de Física. Oliveira (2011) discute como a leitura de um texto histórico mobiliza reflexões sobre a Natureza da Ciência. O livro de Silva e Guerra (2015) traz diferentes fontes primárias e comentários que viabilizam compreender o processo de construção dos conceitos científicos. Há, também, propostas que usam fontes primárias para viabilizar o aprendizado significativo de conceitos (BOSS; SOUZA FILHO; CALUZI, 2009). Ressalta-se ainda, na literatura, a importância de trabalhar com fontes primárias em uma abordagem investigativa a fim de se alinhar com tendências pedagógicas contemporâneas (BATISTA; DRUMMOND; FREITAS, 2015). Karam e Lima (2022) defendem a importância do uso de fontes históricas primárias no aprendizado da própria física, e Karam (2021) apresenta reflexões metodológicas para a escolha de fontes primárias em sala de aula. Fonseca *et al.* (2017), além de apresentar uma discussão teórica ampla sobre o assunto e apresentar diferentes trabalhos que se alinham a essa perspectiva, também apresentam uma proposta didática em que se pode integrar aspectos conceituais e de Natureza da Ciência. Nossa proposta, portanto, se alinha as discussões presentes na literatura sobre a importância da adoção de fontes primárias no ensino. Esperamos contribuir, no contexto do primeiro objetivo, com a reflexão sobre esse tema a partir de uma perspectiva teórica diferente (e, possivelmente, complementar ao que vem sendo discutido).

O segundo objetivo do artigo é apresentar uma fonte histórica primária, a dizer, o artigo original *As Leis do Movimento e do Repouso* escrito por M. de Maupertuis no século XVII e traduzido por nós do francês para o português. Esse texto tem um significado importante para a história da Mecânica visto que é um dos primeiros artigos a propor a noção de um Princípio de Mínima Ação, que depois estaria presente em formulações mais recentes da Mecânica (MOREIRA, 1999), como o que chamamos hoje de mecânica lagrangeana. Em especial, esse princípio tem – também – um forte papel no desenvolvimento da Teoria Quântica, estando presente em discussões de Louis de Broglie e Erwin Schrödinger (LIMA; KARAM, 2021). A partir desse texto, fazemos uma discussão sobre quais possíveis caminhos didáticos poderiam se abrir para discutir a Física e sobre a Física a partir do texto apresentado e do quadro teórico-metodológico mobilizado. Ao fazer isso, pretendemos, primeiramente, exemplificar como, ao partir de uma fonte primária, podemos adotar uma postura epistêmico-metodológica que nos permita ter abertura para construir novas concepções sobre a ciência e,

² Perspectivas estruturalistas se comprometem, usualmente, com uma proposição universal que organiza a leitura da história. A noção de uma “estrutura de revoluções científicas”, por exemplo, mostra como uma mesma estrutura, ou metanarrativa, é usada para avaliar diferentes episódios. Perspectivas pós-estruturalistas, por outro lado, abdicam de tal proposição universal.

também, contribuir diretamente para o contexto didático, uma vez que a fonte primária traduzida e comentada pode ser usada em cursos de Mecânica de licenciatura em Física.

O artigo está estruturado da seguinte forma: na seção 2, apresentamos nossas reflexões teórico-metodológicas (o que está associado ao objetivo 1). Na seção 3, apresentamos a fonte primária traduzida para o português. Na seção 4, fazemos os comentários e reflexões sobre o uso de tal fonte no contexto de formação de professores (o que está associado ao objetivo dois). Na seção 5, apresentamos nossas considerações finais.

II. Reflexões teórico-metodológicas iniciais

Educar implica formar alguém para ser um sujeito ideal em um certo modelo de sociedade e, portanto, a concepção e execução curricular são práticas carregadas de valores e compromissos políticos (SILVA, 2010). Nesse sentido, tem-se discutido que a complexidade do mundo contemporâneo tem exigido mais do que nunca um novo pacto epistêmico-político, que, sim, valorize a ciência, mas que também traga os diferentes entendimentos e preocupações das comunidades para o centro do debate, visibilizando saberes e valores que, historicamente, foram apagados. Denominamos tal concepção de uma educação não-narcísica (LIMA; GUERRA, 2022) em alusão às discussões feitas por Eduardo Viveiros de Castro sobre o caráter radicalmente decolonial da Antropologia (CASTRO, 2018).

Avançando na discussão pedagógica sobre uma abordagem não-narcísica, um ponto importante a ser ressaltado é o resgate do conceito de autonomia epistêmica para Paulo Freire (2013b), a qual implica o amadurecimento da curiosidade gnosiológica sobre a realidade. Esse amadurecimento, ou superação de uma curiosidade ingênua, demanda rigor metodológico, estruturação dos conhecimentos, e avanço no domínio dos meios semióticos típicos da representação científica, o que corrobora a importância do contexto formal de educação, onde essas práticas conseguem ser elaboradas e organizadas com maior frequência.

Ademais, considerando que as catástrofes que vivemos hoje (mutação climática, pandemia, desigualdade social) são frutos de uma crise paradigmática da sociedade de consumo, como já discutiram inúmeros autores (KRENAK, 2019; SANTOS, 2008), a proposta pedagógica que incentiva a autonomia epistêmica, no sentido dado por Freire, tem profundo sentido subversivo. Uma vez que a sociedade de consumo objetifica a natureza e o seres humanos, tratando a primeira como recursos naturais e os segundos como recursos humanos, incentivar a autonomia epistêmica é romper com a lógica subjacente ao sistema.

De fato, existe um paralelo entre o modelo escolar usual e a estruturação fabril. Enquanto um *designer* concebe e propõe um sapato, inúmeros operários executam passos que não conceberam e, portanto, não se veem como criadores daqueles objetos. Da mesma forma, no modelo tradicional de ensino, alguém concebeu o currículo e os conhecimentos. Os professores e os alunos apenas executam as tarefas indicadas e, assim, também não se veem como criadores do conhecimento, mas se sentem alienados desse (AULER, 2018).

Alguém com autonomia epistêmica, por outro lado, é um sujeito de fato, com

subjetividade, com agência sobre o mundo, sendo capaz de o compreender e o modificar. Não é mais agente passivo do sistema econômico ou cultural. Assim, em um mundo de catástrofes e crises perpétuas, a educação não-narcísica resiste à ideologia hegemônica preconizando a autonomia epistêmica dos sujeitos envolvidos. A radicalidade da defesa da autonomia é ressaltada, por exemplo, nos trabalhos de bell hooks (2013) e pela discussão de educação pós-colonial e pós-abissal de Boaventura de Sousa Santos (2019).

Nesse sentido, é importante discutir o que é necessário para se promover tal autonomia. Como mencionamos na introdução, muitas pesquisas discutem já a importância de superar um ensino de história da ciência propedêutico em direção à abordagens investigativas (BATISTA; DRUMMOND; FREITAS, 2015). Concordando com os autores, ressaltamos ainda a possibilidade de trabalhar em uma perspectiva investigativa tomando como ponto de partida as reflexões, concepções e posicionamentos axiológicos dos próprios estudantes. Isto é, a partir de uma fonte primária, podemos deixar como questão norteadora: *o que aprendemos sobre a natureza e o que aprendemos sobre a ciência a partir do texto estudado?* E deixar os discentes traçarem suas reflexões iniciais.

Embora seja uma mudança prática simples ela se compromete com uma mudança epistemológica mais profunda. Podemos, de uma forma geral, adotar uma perspectiva mais axiomática sobre a ciência, defendendo *a priori* o que deveria ser a ciência, como fazem epistemólogos como Popper e Lakatos, ou podemos adotar uma perspectiva mais descritiva, encontrando as características da ciência por meio da observação de suas práticas, como fazem usualmente os antropólogos das ciências, principalmente após o advento da Antropologia de Laboratório (WOOLGAR, 1982)³.

Tal perspectiva descritiva possui o compromisso metodológico de não apagar as falas e discursos que surgem do encontro com o texto em favor de concepções teóricas prévias (LATOURE, 2005). Não se nega, obviamente, a existência das concepções prévias, mas não são as categorias teóricas primárias que ditam o caminho a ser seguido (STENGERS, 2018; VENTURINI, 2010). Assim, uma vez que não há um arcabouço teórico inicial rígido, cada texto, em cada turma, viabiliza uma nova reflexão sobre a ciência. Cada episódio e cada encontro é um aprendizado único – o que vai ao encontro da proposta da História Cultural da Ciência e dos Estudos das Ciências (MOURA; GUERRA, 2016).

Essa prática, além de fomentar a cultura de leitura e escrita nos estudantes, o que é uma prática extremamente importante na cultura científica, visa fomentar que os alunos desenvolvam suas reflexões e descrições, a partir de seu arcabouço teórico, leituras e experiências. Isso implica uma ruptura com a cultura tradicional do Ensino de Física, em que a leitura e escrita são negligenciadas em favor da resolução de listas de exercícios.

Uma vez passada a etapa de leitura e reflexão inicial dos discentes, o docente participa do debate trazendo, por sua vez, suas reflexões, suas construções teóricas e análises.

³ Levi-Strauss diferencia o que ele chama de pesquisas centrípetas (que partem de teorias e modelos prévios para análise de episódios e práticas) e centríguas (que partem do episódio em direção às construções teóricas).

O professor tensiona o debate e enriquece a discussão a partir de sua trajetória dentro da educação formal. Com isso, ressaltamos que o papel do professor é fundamental e não pode ser negligenciado nessa proposta, visto que a autonomia epistêmica demanda o enriquecimento conceitual e aumento do rigor metódico que o professor deve proporcionar.

Por outro lado, viabiliza-se que as discussões dos discentes venham à tona e ganhem espaço na descrição do episódio estudado. Nesse contexto, não há uma única realidade a ser descrita, mas diferentes realidades, com diferentes redes de conceitos e atores. Essas diferentes realidades, co-existem, e se legitimam em suas próprias comunidades, como discutem os estudos da virada ontológica da Antropologia (KOHN, 2015). As dificuldades do mundo contemporâneo, entretanto, demandam que criemos pontos de contato entre essas realidades, e estabeleçamos consensos que pavimentem a construção de um mundo comum.

Ainda, nossa proposição parte do pressuposto de que o texto, embora seja materialmente finito, viabiliza um número virtualmente infinito de interpretações e conexões com outros textos no grande campo da cultura, como discute Bakhtin (VENEU; FERRAZ; REZENDE, 2015). Assim, a partida para a discussão deve ser as diferentes interpretações construídas pelos discentes a partir de seus “excedentes de visão” (BAKHTIN, 1990), isto é, de seu local único na existência. O papel do professor, nesse sentido, é tensionar os debates a partir de seu excedente de visão particular, que parte de sua formação acadêmica e intelectual, mas também de suas experiências valorativas da vida.

Assim, o final do processo didático conduz a uma nova concepção sobre o texto, e viabiliza que todos (alunos e professores) desenvolvam uma nova concepção da Física e sobre a Física. Ao mesmo tempo que se remete à cultura tradicional bem estabelecida da ciência, na qual o professor é responsável por representar e traduzir os elementos dessa comunidade – agindo como um tradutor intercultural (SANTOS, 2019), permite-se que os valores, reflexões e análises de toda turma tensionem o debate. O resultado é um entendimento plural, diverso, que respeita a autonomia epistêmica ao mesmo tempo que não ignora o conhecimento estabelecido no contexto científico. A fim de síntese, apresentamos uma tabela apresentando as etapas de tal processo didático, como concebido em nossa proposta.

Tabela 1 – Sistematização do percurso didático a partir da proposta teórica (cada etapa pode durar quanto for necessário e possível dentro do contexto concreto).

| Etapas | Descrição |
|---------------------------------|---|
| 1 – Docente escolhe um episódio | A escolha de um episódio histórico usualmente está associada, primeiramente, ao próprio currículo a ser implementado; mas, também, aos interesses do docente em explorar aquele episódio. Como ressalta Karam (2021), não é qualquer episódio que é útil na sala de aula. Então, sim, o episódio escolhido já revela uma certa intencionalidade, um desejo do docente em explorar certos conceitos da Física ou sobre a Física. |

| | |
|---|---|
| 2 – Docente prepara possíveis caminhos e reflexões | Antes de apresentar a fonte primária aos alunos, o próprio docente aprofunda sua análise da obra, recorre a fontes secundárias e, a partir, de seus conhecimentos e, em diálogo com a literatura especializada, traça possíveis reflexões sobre os conceitos a serem abordados e sobre a natureza da ciência. |
| 3- Discentes leem e escrevem suas reflexões | Os discentes entram em contato com a fonte primária, sem elaboração do docente. Permite-se que eles tracem suas reflexões, as escrevam e as sistematizem. Permite-se que cada discente apresente sua própria elaboração e interpretação do texto. |
| 4- Diálogo | Faz-se um primeiro diálogo em que discentes e o professor trazem suas reflexões. O docente tensiona o debate apresentando as reflexões a partir das comunidades científicas. |
| 5- Momento de estudo a partir das construções coletivas | A partir disso, pode-se escolher caminhos de aprofundamento da obra, estudando comentadores ou autores que permitam refletir sobre aspectos específicos do que foi trabalhado. |
| 6- Fechamento: estabelecendo consensos | Por fim, fecha-se a atividade com um novo momento de diálogo, em que é sistematizado o conjunto de reflexões levantados, apontando os consensos obtidos e divergências que permaneceram. |

A fim de exemplificar a riqueza e profundidade reflexiva que as fontes primárias permitem, na sequência apresentamos uma fonte primária, *As Leis de Movimento e de Repouso*, traduzida por nós do francês para o português e, na sequência, comentamos justamente os possíveis encaminhamentos de reflexões que o docente poderia fazer com os alunos. Não temos o objetivo de discutir uma intervenção didática real, mas apenas exemplificar, como – a partir do nosso excedente de visão – tensionaríamos o debate em uma experiência didática. Nossas reflexões, como temos reforçado, não esgotam e jamais poderão esgotar o sentido do texto, e o processo didático só se completa com o debate concreto com as reflexões dos discentes. Entretanto, entendemos que a discussão permite exemplificar possibilidades e caminhos de debate, mostrando também como os entendimentos são retirados a partir do caso concreto e não a partir de categorias teóricas prévias (sem negar a existência de tais categorias).

III. A fonte primária

Pierre-Louis Moreau de Maupertuis foi um cientista francês, viveu no século XVIII, e se dedicou a diferentes tópicos de matemática, física e ciência natural:

Pierre-Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759) foi eleito em 1723 para a Académie des Sciences de Paris e em 1728 para a Royal Society de Londres.

Ardente defensor do newtonianismo na Académie, considerava-se “o primeiro que se atreveu, na França, a propor a atração como princípio a ser examinado” (Maupertuis, 1965a, p. 284). Em 1744 é convidado por Frederico II para reorganizar a Academia de Ciências de Berlim, da qual foi Presidente de 1746 até sua morte. Duas de suas realizações científicas bem conhecidas são a comprovação empírica do achatamento dos pólos da Terra e a formulação do princípio físico de mínima ação, nas quais travou, respectivamente, intensa disputa com os discípulos de Descartes e Leibniz. As concepções de Maupertuis sobre a geração dos organismos aparecem em três de suas obras: a Vênus física, de 1745, o Sistema da natureza, de 1752 e a Carta XIV – Sobre a geração dos animais componente das Cartas de 1752. Referências importantes à questão da geração no que diz respeito ao papel do acaso, da providência e das leis naturais aparecem em seu Ensaio de cosmologia de 1750, obra que utilizaremos para a análise das relações entre a cosmologia e a história natural do autor (RAMOS, 2003, p. 43).

O Princípio da Mínima Ação foi apresentado pela primeira vez por Maupertuis em 1744 e 1746, tanto para a óptica quanto para a mecânica. Embora outros cientistas possam ter feito algumas atualizações sobre o princípio, como Leonhard Euler (1707-1783) e Joseph-Louis de Lagrange (1736-1813), somente no século XIX o princípio da menor ação ganhou sua real e mais forma geral por William Rowan Hamilton (1788-1856) – o princípio de Hamilton.

AS LEIS
DE MOVIMENTO E DE REPOUSO
deduzidas de um princípio metafísico.

Por M. de MAUPERTUIS

Dei o princípio sobre o qual se funda a seguinte obra, em 15 de abril de 1744, na Assembleia Pública da Academia Real de Ciências de Paris (Academie Royale des Sciences de Paris), como comprovarão os Atos desta Academia.

*O Professor Euler escreveu no final desse mesmo ano o seu excelente Livro: *Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes*. No suplemento que foi adicionado a ele, esse ilustre geômetro demonstra que, nas trajetórias descritas por corpos sob a ação de forças centrais, a velocidade multiplicada pelo elemento da curva sempre faz um **mínimo**.*

Essa observação me deu ainda mais prazer, pois é uma bela aplicação de meu princípio ao movimento dos planetas, do qual este princípio é de fato a regra.

Tentarei extrair verdades de um tipo mais elevado e mais importante da mesma fonte.

I.
EXAME DA EVIDÊNCIA DA EXISTÊNCIA DE DEUS

Retiradas das maravilhas da natureza.

Quer permaneçamos fechados em nós mesmos, quer saíamos para navegar nas maravilhas do Universo, encontramos tantas evidências da existência de um Ser todo-poderoso e todo-sábio, que é mais necessário reduzir o número [de provas] do que procurar aumentá-lo: que devemos pelo menos fazer uma escolha entre essas provas, examinar sua força ou sua fraqueza, e dar a cada uma apenas o peso que deveria ter: pois não se pode fazer mais mal à verdade do que desejando se basear em raciocínios falsos.

Não estou examinando aqui o argumento que se encontra na ideia de um Ser infinito: nessa ideia grande demais para que possamos desenhar de nossa própria mente, ou de qualquer outra mente finita, e que parece provar que um ser infinito perfeito existe.

Não vou citar esse consentimento de todos os homens sobre a existência de um Deus, que parecia uma prova tão forte para o filósofo da Roma Antiga ^[1]. Eu não discuto se é verdade que há algumas pessoas que se desviam das outras nisso, nem se um punhado de homens que pensavam de forma diferente de todos os outros habitantes da Terra pudesse fazer uma exceção, e nem se a diversidade que se pode encontrar nas ideias que têm de Deus todos aqueles que admitem sua existência impede que grande proveito seja obtido deste consentimento.

Por fim, não vou insistir no que podemos concluir da inteligência que encontramos em nós mesmos, daquelas centelhas de sabedoria e de um poder que vemos espalhado em Seres finitos, e que supõe uma fonte imensa e eterna da qual derivam sua origem.

Todos esses argumentos me parecem muito fortes, mas não são desse tipo que estou examinando.

De todos os tempos, aqueles que se empenharam na contemplação do Universo, encontraram aí sinais da sabedoria e da força daquele que o governa. Quanto mais progresso foi feito no estudo da Física, mais essas provas se multiplicaram. Alguns ficam confusos com as características da Divindade que são encontradas em todos os momentos na Natureza, outros, por mau zelo religioso, deram a algumas provas mais força do que deveriam e, às vezes, tomaram por provas que não eram.

Talvez fosse permitido relaxar no rigor dos argumentos, se não tivéssemos razões para estabelecer um princípio útil, mas aqui os argumentos são suficientemente fortes e o número é grande o suficiente para que possamos fazer o exame mais rígido e a escolha mais escrupulosa.

Não me deterei nas provas da existência do Ser Supremo, que os Antigos tiraram da beleza, da ordem e do arranjo do Universo. Podemos ver aqueles que Cícero relata ^[2], e aqueles que ele cita de Aristóteles ^[3]. Eles conheciam muito pouco a Natureza para ter o direito de admirá-la. Estou ligado a um filósofo que, por suas grandes descobertas, estava muito mais ao alcance de julgar essas maravilhas e cujos raciocínios são muito mais precisos do que todos os deles.

Newton parece ter ficado mais comovido com as provas que se encontra na contemplação do Universo do que com todas as outras que poderia extrair do fundo de sua mente.

Esse grande homem acreditava^[4] que os movimentos dos corpos celestes demonstram suficientemente a existência d'Aquele que os governa. Seis planetas, Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno, giram em torno do Sol. Todos se movem na mesma direção e descrevem orbes que são aproximadamente concêntricas: enquanto outras espécies de estrelas, os cometas, descrevendo orbes muito diferentes, se movem em todos os tipos de direções e vagam por todas as regiões do céu. Newton acreditava que tal uniformidade só poderia ser o efeito da vontade de um Ser Supremo.

Objetos menos elevados não pareciam fornecer argumentos menos fortes. A uniformidade observada na construção dos animais, sua organização maravilhosa e útil, eram para ele provas convincentes da existência de uma Criatura todo-poderosa e sábia^[5].

Vários físicos, depois de Newton, encontraram Deus nas estrelas, nos insetos, nas plantas, na água^[6].

Não vamos ocultar a fraqueza de alguns de seus raciocínios e para tornar mais conhecido o abuso que foi feito das provas da existência de Deus, examinemos aquelas que pareciam tão fortes a Newton.

A uniformidade, diz ele, do movimento dos planetas, necessariamente prova uma escolha. Não era possível que um destino cego fizesse todos se moverem na mesma direção e em orbes quase concêntricas.

Newton poderia adicionar a esta uniformidade de movimento dos planetas, que todos eles se movem quase no mesmo plano. A zona na qual todas as suas orbes estão encerradas é apenas cerca da 17ª parte da superfície da esfera. Portanto, se tomarmos a orbe da Terra como o plano ao qual relacionamos os outros, e olharmos para sua posição como o efeito do perigo, a probabilidade de que as 5 outras esferas não devam ser incluídas nesta área é $17^5 - 1$ para 1; ou seja, de 1419856 a 1.

Se alguém concebe, como Newton, que todos os corpos celestes atraídos para o Sol, movem-se no vazio é verdade que dificilmente seria provável que o acaso os tivesse feito mover-se à medida que se moviam. Restava, no entanto, alguma probabilidade e, portanto, não podemos dizer que essa uniformidade é o efeito necessário de uma escolha.

Mas há mais: a alternativa de uma escolha ou de uma probabilidade extrema baseia-se apenas na impotência, em que se está no sistema de Newton, para dar uma causa física dessa uniformidade. Para outros Filósofos que admitem um fluido que transporta os planetas, ou que apenas moderam seu movimento, a uniformidade de seu corpo não parece inexplicável: ela não supõe mais esse golpe singular do acaso, ou essa escolha e não prova a existência de Deus mais do que seria qualquer outro movimento comunicado à Matéria^[7].

Não sei se o argumento que Newton extrai da construção de animais é muito mais forte. Se a uniformidade que observamos em vários fosse uma prova, essa prova não seria

contradita pela infinita variedade que observamos em várias outras? Sem se afastar dos mesmos elementos, compare uma águia com uma mosca, um veado com um caracol, uma baleia com uma ostra, e julguemos essa uniformidade. Na verdade, outros Filósofos querem encontrar uma prova da existência de Deus na variedade de formas, e eu não sei quais são as mais bem fundamentadas.

O argumento baseado na adequação das diferentes partes dos animais às suas necessidades parece mais sólido. Não são seus pés feitos para andar, suas asas para voar, seus olhos para ver, suas bocas para comer, outras partes para reproduzir seus semelhantes? Não marca tudo isso uma inteligência e um desenho que precedeu à sua construção? Este argumento atingiu os antigos como atingiu Newton: e é em vão que o maior inimigo da Providência responde a ele, que o uso não era o objetivo, que era o resultado da construção das partes dos animais: o perigo formou os olhos, os ouvidos, a língua, usadas para ver, ouvir, falar ^[8].

Mas não poderíamos dizer que na combinação fortuita das produções da natureza, como só havia aquelas em que se encontravam certas relações de conveniência, que poderiam subsistir, não é de se admirar que essa conveniência seja encontrada em todas as espécies que atualmente existem? O acaso, dir-se-ia, produziu uma multidão inumerável de indivíduos. Um pequeno número foi encontrado construído de modo que as partes do animal pudessem satisfazer suas necessidades; em outro infinitamente maior, não havia conveniência nem ordem: todos estes últimos pereceram. Animais sem boca não podiam viver, outros que careciam de órgãos para a geração não podiam se perpetuar, os únicos que permaneceram são aqueles em que a ordem e a conveniência eram encontradas, e essas espécies que vemos hoje são apenas a menor parte do que um destino cego produziu.

Quase todos os autores modernos que lidaram com Física ou História Natural apenas ampliaram as provas que extraímos da organização de animais e plantas, e os impulsionaram para os menores detalhes da Natureza. Para não citar aqui exemplos demasiadamente indecentes, que seriam muito comuns, falarei apenas daquele ^[9] que encontra Deus nas dobras da pele de um rinoceronte: porque este animal sendo coberto por uma pele muito dura, poderia não se mover sem essas dobras. Não se está atacando a maior das verdades ao querer prová-lo por meio de tais argumentos? O que diria quem nega a providência porque a carapaça da tartaruga não tem dobras nem juntas? O raciocínio de quem o prova pela pele do rinoceronte é da mesma força: deixemos essas ninharias a quem não sente a sua frivolidade.

Outra espécie de filósofos cai na extremidade oposta. Muito pouco tocados pelas marcas de inteligência e propósito que encontramos na Natureza, eles gostariam de banir todas as causas finais. Eles acreditam que com a matéria e o movimento, o Mundo poderia ter sido formado como é. Alguns vêem a Inteligência Suprema em tudo, outros não a vêem em lugar nenhum, eles acreditam que um mecânico cego poderia ter formado os corpos mais organizados de plantas e animais, e operar todas as maravilhas que vemos no Universo ^[10].

Vemos, por tudo o que acabamos de dizer, que nem o grande argumento de Descartes, tirado da ideia que temos de um Ser perfeito, nem qualquer um dos outros argumentos metafísicos de que falamos causou grande impressão em Newton. Por outro lado, todas as provas que Newton extrai da uniformidade e conveniência das diferentes partes do Universo não teriam parecido provas para Descartes.

Devemos admitir que essas provas são abusadas: alguns dando-lhes mais força do que têm, outros multiplicando-as muito. Os corpos dos animais e plantas são máquinas muito complicadas, as últimas partes das quais escapam muito aos nossos sentidos, e sobre as quais somos muito ignorantes quanto ao uso e fim, para que possamos julgar a sabedoria e o poder necessários para construí-los. Se algumas dessas máquinas parecem levadas a um alto grau de perfeição, outras parecem apenas esboçadas. Vários podem parecer inúteis ou prejudiciais, se julgarmos por nosso único conhecimento e se nós já não supomos que foi um Ser onisciente e onipotente que as colocou no universo.

De que serve, na construção de algum animal, encontrar aparências de ordem e conveniência, quando depois disso paramos repentinamente por alguma conclusão infeliz? A serpente, que não anda nem voa, não poderia ter evitado a perseguição de outros animais se um número prodigioso de vértebras não desse ao seu corpo tanta flexibilidade que ela rasteja mais rápido do que vários animais andam. Teria morrido de frio durante o inverno, se sua forma longa e pontiaguda não a tornasse adequada para se fortalecer na terra. Teria sido ferida por rastejar continuamente, ou rasgada ao passar pelos buracos onde se esconde, se seu corpo não tivesse sido coberto com pele luxuriosa e escamosa. Não é tudo isso admirável? Mas para que serve tudo isso? À conservação de um animal cujo dente mata o homem. Oh ! nós respondemos, você não sabe a utilidade das serpentes. Elas eram aparentemente necessárias no universo, elas conterão remédios excelentes que você não conhece. Fiquemos em silêncio então, ou pelo menos não admiremos um aparelho tão grande em um animal que só conhecemos como prejudicial.

Tudo está repleto de tal raciocínio nos escritos dos naturalistas. Acompanhe a produção de uma mosca, ou de uma formiga: elas fazem você admirar o cuidado da providência pelos ovos do inseto, para a alimentação dos mais pequenos, para o animal envolto nos panos da crisálida e para o desenvolvimento de suas partes em sua metamorfose. Tudo isso resulta na produção de um inseto, inconveniente para o homem, que o primeiro pássaro devora ou que cai nas redes de uma aranha.

Enquanto um encontra aqui provas da sabedoria e poder do Criador, não seria de se temer que o outro encontrasse ali algo para fortalecer em sua incredulidade?

Mentes muito grandes, tão respeitáveis por sua piedade quanto por sua iluminação,^[11] não poderiam deixar de admitir que a conveniência e a ordem não parecem ser observadas tão exatamente no Universo, ninguém teria vergonha de entender como isso poderia ser o obra de um Ser todo-sábio e todo-poderoso. O mal de todos os tipos, desordem, vício e dor, parecia-lhes difícil conciliar com o império de tal Mestre.

Veja, eles disseram, nessa Terra, os mares cobrem metade dela, no resto, você verá rochas íngremes, regiões geladas, areias escaldantes. Examine os costumes daqueles que a habitam: você encontrará mentiras, roubos, assassinatos e, por todos os vícios, mais comuns do que a virtude. Entre esses seres infelizes, você encontrará vários desesperados nos tormentos da fome e da miséria; muitos definham em outras enfermidades que sua duração torna insuportável: quase todos oprimidos por preocupações e tristezas.

Alguns filósofos parecem ter ficado tão impressionados com essa visão que, esquecendo-se de todas as belezas do Universo, procuram apenas justificar a Deus por ter criado coisas tão imperfeitas. Alguns, para manter sua sabedoria, parecem ter diminuído seu poder, dizendo que ele fez tudo o que poderia fazer o melhor^[12]: Que de todos os mundos possíveis, este, apesar de seus defeitos, ainda era o melhor. Os outros, a fim de reter o poder, parecem estar enganando a sabedoria. Deus, segundo eles, poderia muito bem fazer um mundo mais perfeito do que aquele em que habitamos, mas ele teria que usar métodos muito complicados e ele tinha mais em vista da maneira pela qual operava, do que a perfeição da obra^[13]. Esses usam o exemplo do pintor, que acreditava que um círculo desenhado sem uma bússola provaria melhor sua habilidade, que não teria feito as figuras mais compostas e regulares, descritas com instrumentos.

Não sei se alguma das respostas acima é satisfatória, mas não acredito que a objeção seja invencível. O verdadeiro filósofo não deve se deixar deslumbrar pelas partes do Universo onde brilham a ordem e a conveniência, nem se deixar abalar por aquelas onde não as descobre. Apesar de todas as desordens que nota na natureza, ele encontrará caracteres suficientes da sabedoria e do poder de seu Autor, de modo que não pode ignorá-los.

Não estou falando de outra espécie de Filósofos, que afirma que não há mal na Natureza: *Que tudo o que existe é bom*^[14].

Se examinarmos essa proposição, sem primeiro assumir a existência de um Ser todo-poderoso e sábio, ela não é sustentável. Se o tirarmos da suposição de um Ser onisciente e onipotente, não passará de um ato de fé. Em primeiro lugar, parece homenagear a Inteligência Suprema, mas no fundo, tende apenas a subjugar tudo à necessidade. É mais um consolo em nossas misérias do que um elogio à nossa felicidade.

Volto às provas que extraímos da contemplação da Natureza.

Aqueles que reuniram a maioria dessas provas não examinaram suficientemente sua força ou extensão. Milhares de coisas no Universo anunciam que não é governado por um poder cego. Por todos os lados podemos ver uma série de efeitos contribuindo para algum objetivo, isso só prova inteligência e desígnios. E é para o propósito desses desígnios que devemos buscar sabedoria. Habilidade na execução não é suficiente, a razão deve ser razoável. Não se admiraria, se culparia o trabalhador, e ele seria ainda mais culpado se empregasse mais habilidade na construção de uma máquina que seria inútil ou cujos efeitos seriam perigosos.

Qual é a utilidade de admirar essa regularidade dos planetas, em se mover todos na mesma direção, quase no mesmo plano e em órbitas aproximadamente semelhantes, se não víssemos que era melhor fazê-los mover-se também. Tantas plantas venenosas e animais nocivos, produzidos e cuidadosamente preservados na natureza, são adequados para nos fazer conhecer a sabedoria e a bondade daquele que os criou? Se essas coisas fossem descobertas no universo, só poderiam ser obra de demônios.

É verdade que nossa visão sendo tão limitada como é, não podemos exigir que ela persiga a ordem e a sequência das coisas longe o suficiente. Se pudesse, sem dúvida ficaria tão impressionada com a sabedoria dos motivos quanto com a inteligência na execução. Mas neste desamparo em que estamos, não vamos confundir esses diferentes atributos. Pois, embora uma inteligência infinita necessariamente suponha sabedoria, uma inteligência limitada poderia perdê-la. E valeria tanto que o universo devesse sua origem a um destino cego, como se fosse obra de tal inteligência.

II. QUE DEVEMOS PROCURAR AS EVIDÊNCIAS DE EXISTÊNCIA

De Deus, nas Leis Gerais da Natureza. Que as Leis segundo as quais o Movimento é preservado, distribuído e destruído são fundadas nos atributos de uma Inteligência suprema.

Não é, portanto, nos pequenos detalhes, naquelas partes do Universo cujas relações sabemos muito pouco, que devemos buscar o Ser Supremo: é nos fenômenos cuja universalidade não sofre nenhuma exceção, e que sua simplicidade se expõe inteiramente à nossa visão. É verdade que esta pesquisa será mais difícil do que aquela que consiste apenas no exame de um inseto, uma flor, ou qualquer outra coisa desta espécie, que a natureza oferece a todo momento aos nossos olhos. Mas podemos pedir a ajuda de um guia seguro em sua caminhada, embora ele ainda não tenha dado seus passos para onde queremos ir.

Até agora, a matemática teve como objetivo apenas necessidades grosseiras do corpo ou especulações inúteis da mente. Nunca pensamos em fazer uso dela para demonstrar ou descobrir outras verdades que não aquelas que dizem respeito à extensão e aos números. Porque não devemos estar enganados com algumas obras, que têm da matemática apenas ar e forma, e que basicamente são apenas a metafísica mais incerta e mais tenebrosa. O exemplo de alguns filósofos deve ter feito aprender que as palavras *Lema*, *Teorema* e *Corolário* não carregam certezas matemáticas por *completo*, que essa certeza não depende nem dessas grandes palavras, nem mesmo do método seguido pelos geômetras, mas da simplicidade dos objetos que consideram.

Vamos ver se podemos fazer melhor uso dessa ciência. As provas da existência de Deus que ela fornecerá terão, sobre todas as outras, a vantagem da evidência que caracteriza as verdades matemáticas. Aqueles que não têm confiança suficiente nos raciocínios metafísicos encontrarão mais certeza neste tipo de provas e aqueles que não prestam atenção suficiente às provas populares encontrarão nelas mais exatidão e elevação.

Portanto, não vamos parar na simples especulação dos objetos mais maravilhosos. A

organização dos animais, a multidão e a pequenez das partes dos insetos, a imensidão dos corpos celestes, suas distâncias e suas revoluções são mais aptas a surpreender nossa mente do que a iluminá-la. O Ser Supremo está em toda parte, mas nem tudo é igualmente visível. Nós o veremos melhor nos objetos mais simples: procuremo-lo nas primeiras leis que impôs à natureza; nessas regras universais, segundo as quais o movimento é conservado, distribuído ou destruído e não em fenômenos que são consequências muito complicadas dessas leis.

Eu poderia ter começado com essas leis, como os matemáticos as dão e como a experiência as confirma. Então, buscar aí as características da sabedoria e do poder do Ser Supremo. No entanto, como aqueles que nos deram, baseavam-se em hipóteses que não eram puramente geométricas, portanto, sua certeza não parece se basear em demonstrações rigorosas. Achei mais seguro e útil deduzir essas leis a partir dos atributos de um Ser todo-poderoso e sábio. Se os que assim encontro são os mesmos que de fato se observam no Universo, não é esta a prova mais forte de que esse Ser existe e de que é o autor dessas leis?

Mas, pode-se dizer, embora as regras de movimento e repouso tenham até agora sido demonstradas apenas por hipóteses e experimentos, elas são talvez as consequências necessárias da natureza dos Corpos e não há nada arbitrário em seu estabelecimento, você atribui a uma providência o que é efeito apenas da necessidade?

Se é verdade que as leis de movimento e repouso são consequências indispensáveis da natureza dos corpos, isso prova ainda mais a perfeição do Ser Supremo. É que todas as coisas são ordenadas de tal forma que uma Matemática cega e necessária executa o que a Inteligência mais iluminada e mais livre prescreveria.

Alguns filósofos antigos sustentavam que não havia movimento. O uso muito sutil de sua mente desmente o que seus sentidos percebem. As dificuldades que encontraram para conceber como os corpos se movem, os fez negar que estão se movendo, e que podem se mover. Não relataremos os argumentos nos quais eles tentaram basear sua opinião, mas observaremos que não podemos negar o movimento exceto por raciocínios que destroem a existência de todos os objetos fora de nós, o que reduziria o Universo ao nosso próprio ser e todos os seus fenômenos às nossas percepções.

É verdade que só conhecemos o movimento pelos sentidos: mas há muito que conhecemos de maneira diferente? A força motriz, o poder que um corpo em movimento tem de mover os outros, são palavras inventadas para complementar nosso conhecimento e que significam apenas os resultados dos fenômenos. Só o hábito nos impede de sentir tudo o que há de maravilhoso na comunicação do movimento. Desde que abrimos nossos olhos, nada os atingiu com tanta frequência como este fenômeno. Aquele que não refletiu sobre isso, não encontra nada de obscuro nisso e quem pensa muito sobre isso, desespera-se para compreender qualquer coisa.

Se alguém que nunca havia tocado em um corpo, e que nunca tinha visto se chocar, mas que teve a experiência do que acontece, quando diferentes cores se misturam, viu aparecer um corpo azul movendo-se em direção a um corpo amarelo e que ele seja

questionado sobre o que acontecerá quando os dois corpos se encontrarem? Talvez a coisa mais provável que ele pudesse dizer seria que o corpo azul ficará verde assim que atingir o corpo amarelo. Mas deixe-o adivinhar ou que os dois corpos se unem para se mover com uma velocidade comum, ou que um comunicaria à outra parte de sua velocidade a fim de se mover na mesma direção com uma velocidade diferente, ou que refletiria na direção oposta; não acredito que isso seja possível.

No entanto, assim que atingirmos corpos, assim que soubermos que são impenetráveis, assim que percebemos que é preciso uma certa força para mudar o estado de repouso ou movimento em que se encontram, vemos que quando um corpo se move em direção a outro, se o atinge, deve refletir, ou parar, ou diminuir sua velocidade, deve mover aquele que encontra, se estiver em repouso, ou que muda seu movimento, se se move. Mas como essas mudanças são feitas? Qual é esse poder que os corpos parecem ter para agir um sobre o outro?

Vemos partes da matéria em movimento, vemos outras em repouso. O movimento não é, portanto, uma propriedade essencial da matéria, mas um estado em que pode ser encontrado ou não, e que não vemos que ele pode se controlar sozinho.

As partes da matéria que se movem na natureza receberam, portanto, seu movimento de alguma causa estranha, que até agora é desconhecida para mim. E como eles próprios são indiferentes ao movimento ou ao repouso, os que estão em repouso ficam lá e aqueles que se movem uma vez, continuam a se mover, até que alguma causa mude sua condição.

Quando uma parte da Matéria em movimento encontra outra em repouso, ela comunica a ela uma parte de seu movimento, ou todo o seu movimento. E como o encontro de duas partes da matéria, uma das quais está em repouso e a outra em movimento, ou ambas em movimento, é sempre seguido por alguma mudança no estado de ambas. Esse choque parece ser a causa dessa mudança, embora fosse absurdo dizer que uma parte da matéria, que não pode se mover por si mesma, poderia mover outra.

Para encontrar a causa primeira do movimento, o maior filósofo da antiguidade recorreu a um primeiro motor, imóvel e indivisível ^[15]. Um filósofo moderno não apenas reconheceu Deus para o autor do primeiro movimento impresso na matéria, mas ele acreditava na Ação de Deus continuamente necessária para todas as distribuições e modificações do movimento. Não sendo capaz de compreender como a força de mover pertencia ao corpo, ele julgou justificado negar que lhe pertencesse e concluiu que, quando um corpo choca ou pressiona outro corpo, só Deus o move: o impulso é apenas a ocasião que determina que Deus o mova ^[16].

Esses filósofos colocam a causa do movimento em Deus só porque não sabiam onde colocá-la: não podendo conceber que a matéria tivesse qualquer eficácia, para produzir, distribuir e destruir o movimento, recorreram a um Ser imaterial. Era necessário saber que todas as leis de movimento e repouso foram fundadas no princípio mais adequado, para ver que eles deviam seu estabelecimento a um Ser todo-poderoso e sábio, ou que este Ser age

imediatamente, ou que deu aos corpos o poder de agir um sobre o outro, ou que ele empregou alguma outra mina que é ainda menos conhecida por nós.

A mais simples das leis da natureza, a do repouso ou equilíbrio, é conhecida há muitos séculos, mas até agora não parecia ter qualquer ligação com as leis do movimento, que eram muito mais difíceis de descobrir.

Essas pesquisas eram tão pouco do gosto, ou tão pouco ao alcance dos antigos, que podemos dizer que ainda hoje fazem uma ciência muito nova. Como, de fato, os antigos teriam descoberto as leis do movimento, enquanto alguns reduziram todas as suas especulações sobre o movimento a disputas sofisticadas e que outros sabiam que não havia movimento?

Os filósofos mais laboriosos, ou mais sensatos não julgaram que as dificuldades ligadas aos primeiros princípios das coisas era motivo para desesperar sobre saber algo sobre isso, nem desculpas para prescindir de qualquer pesquisa.

Assim que a verdadeira forma de filosofar foi introduzida, não nos contentamos mais com essas disputas vãs sobre a natureza do movimento: queríamos saber de que leis ele é distribuído, preservado e destruído. Sentíamos que essas leis eram a fundação de toda Filosofia Natural.

O grande Descartes, o mais ousado dos Filósofos, buscou essas leis e se enganou. Mas como se os tempos tivessem finalmente levado este assunto a uma espécie de maturidade, de repente se viu surgindo por todos os lados, essas leis desconhecidas por tantos séculos. Huygens, Wallis e Wren as encontraram ao mesmo tempo. Vários matemáticos depois deles, que as buscaram por caminhos diferentes, as confirmaram.

No entanto, todos os matemáticos que concordam hoje no caso mais complicado, não concordam no caso mais simples. Todos concordam com as mesmas distribuições de Movimento no Choque de *Corpos Elásticos*, mas eles designam diferentes [leis] para os *corpos duros* e alguns afirmam que não se pode determinar as distribuições de movimento no choque desses corpos. Os constrangimentos que ali encontraram fizeram com que decidissem negar a existência e até mesmo a possibilidade de corpos duros. Afirmam que os corpos que tomamos por tal são apenas corpos elásticos, cuja rigidez torna imperceptível a flexão de suas partes e seu endireitamento.

As experiências teriam sido realizadas em corpos vulgarmente chamados de duros, o que prova que esses corpos são apenas elásticos. Quando dois globos de marfim, aço ou vidro colidem, embora depois do choque os encontremos como sua primeira figura, talvez nem sempre a tenham conservado. Podemos ter certeza disso pelos olhos, se nós pintamos um dos globos com alguma cor que pode ser apagada e que mancha o outro: vê-se pelo tamanho da mancha que os globos se achataram durante o choque, embora depois nenhuma mudança perceptível permanecesse em sua superfície.

Raciocínios metafísicos se somam a esses experimentos: afirma-se que a dureza, tomada no sentido rigoroso, exigiria na natureza efeitos incompatíveis com uma certa *Lei de*

Continuidade. Diz-se que, quando um corpo duro encontra um obstáculo inabalável, ele perde repentinamente sua velocidade, sem passar por qualquer outro grau de diminuição ou sem que a converta em uma velocidade contrária, e que uma velocidade positiva se torne negativa, sem ter passado pelo repouso.

Mas admito que não sinto a força desse raciocínio. Não sei se sabemos o suficiente a forma como o Movimento se produz ou se extingue, para poder dizer que aqui foi violada a lei da continuidade: nem sei o que é essa lei? Quando supomos que a velocidade aumenta ou diminui em graus, não haveria sempre falhas de um grau a outro? E as falhas imperceptíveis não violariam a continuidade tanto quanto faria a destruição repentina do Universo?

Quanto às experiências relatadas; eles mostram que se pode confundir *dureza* com *elasticidade*; mas não provam que um é apenas o outro. Pelo contrário, logo que se tenha refletido sobre a impenetrabilidade dos corpos, parece que não é diferente de sua dureza; ou que a dureza é uma consequência necessária. Se na maioria dos corpos, as partes de que são compostos se separam ou se dobram, isso só acontece porque esses corpos são aglomerados de outros corpos: os corpos simples, os corpos primitivos, que são os elementos de todos os outros, devem ser duros, inflexíveis, inalteráveis.

Quanto mais examinamos a elasticidade, mais parece que essa propriedade depende apenas de uma estrutura particular de corpos, que deixa entre suas partes intervalos nos quais eles podem se curvar.

Parece, portanto, que estaríamos mais bem fundamentados em afirmar que todos os corpos primitivos são duros do que em afirmar que não existem corpos duros na Natureza. No entanto, não sei se a forma como conhecemos os Corpos não nos permite nenhuma afirmação. Se quisermos admiti-lo, concordaremos que a razão mais forte que tivemos para admitir apenas corpos elásticos, foi a incapacidade de encontrar as leis de comunicação do Movimento dos corpos duros.

Descartes admitiu esse Corpo e acreditou ter encontrado as leis de seu Movimento. Ele partiu de um princípio bastante semelhante: *Que a quantidade de movimento é sempre a mesma na natureza.* Ele deduziu leis falsas disso, porque o princípio não é verdadeiro.

Os Filósofos que vieram depois dele foram atingidos por outra conservação: é o que eles chamam de *Força Viva*, que é o produto de cada massa pelo quadrado de sua velocidade. Estes não basearam suas leis do movimento nesta conservação; eles deduziram essa conservação das leis do movimento que viram como resultado. No entanto, como a conservação da Força Viva ocorre apenas no choque de corpos elásticos, foi confirmado na opinião que não existem outros corpos além destes na natureza.

A conservação do movimento só é verdadeira em alguns casos. A conservação da Força Viva ocorre apenas para certos corpos. Nem pode passar por um princípio universal, nem como resultado geral das leis do Movimento.

Se examinarmos os princípios sobre os quais foram fundados alguns Autores que nos

deram essas leis, e os caminhos que seguiram, ficaremos surpresos ao ver que eles tiveram sucesso tão feliz. E não se pode deixar de acreditar que confiaram menos nesses princípios do que na experiência. Aqueles que raciocinaram com mais justiça reconheceram que o princípio que eles usaram para explicar a comunicação do movimento dos corpos elásticos não poderia ser aplicado à comunicação do movimento dos corpos duros. Finalmente, nenhum dos princípios que têm sido usados até agora, seja para as leis do movimento do corpo rígido, seja para as leis do movimento do corpo elástico, se estende às leis do repouso.

Depois de tantos grandes homens que trabalharam neste assunto, dificilmente ousou dizer que descobri o princípio universal, no qual todas essas leis se fundamentam; que também se estende a corpos rígidos e corpos elásticos; do qual depende o movimento e repouso de todas as substâncias corporais.

É o princípio da *menor quantidade de ação*: um princípio tão sábio, tão digno do Ser Supremo, e ao qual a Natureza parece tão constantemente apegada; que ela não apenas o observe em todas as suas mudanças, mas que em sua permanência, ela ainda tenda a observá-lo. *No choque dos corpos, o movimento é distribuído de maneira que a quantidade de ação que a mudança ocorrida supõe seja a menor possível. No repouso, os corpos que se mantêm em equilíbrio devem estar situados de maneira que, se houvesse algum pequeno movimento para eles, a quantidade de ação seria mínima.*

As leis de Movimento e Repouso deduzidas deste princípio, sendo precisamente as mesmas que se observam na Natureza: podemos admirar sua aplicação em todos os fenômenos. O movimento dos animais, a vegetação das plantas, a revolução das estrelas, são apenas as consequências: o espetáculo do universo torna-se muito maior, muito mais belo, muito mais digno de seu Autor, quando sabemos que um pequeno número de leis, as mais sabiamente estabelecidas, bastam para todos esses movimentos. É então que se pode ter uma ideia correta do poder e sabedoria do Ser Supremo; não quando julgamos por alguma pequena parte, da qual não sabemos nem a construção, nem o uso, nem a conexão que tem com as outras. Que satisfação para o espírito humano, ao contemplar estas leis, que são o princípio do movimento e do resto de todos os corpos do Universo, encontrar aí a prova da existência d'Aquele que o governa!

III.

PESQUISAR

Leis de Movimento e Repouso.

Corpos, em repouso ou em movimento, têm uma certa força para persistir no estado em que se encontram: esta força pertencente a todas as partes da matéria, é sempre proporcional à quantidade de matéria que esses corpos contêm, e se chama sua *inércia*.

A impenetrabilidade dos corpos e sua inércia tornaram necessário o estabelecimento de algumas leis, para reunir essas duas propriedades, sempre opostas na natureza. Quando

dois corpos se encontram, incapazes de se penetrar, o repouso de um e o movimento do outro, ou o movimento de ambos devem ser alterados: mas esta alteração depende da força com que os dois corpos se chocam, vamos examinar o que *o choque* é. Vamos ver do que depende e se não podemos ter uma ideia suficientemente clara de sua força, vamos pelo menos ver as circunstâncias que o tornam o mesmo.

É assumido aqui, como assumido por todos aqueles que buscaram as leis do movimento. Deixe os corpos se encontrarem diretamente, isto é, que seus centros de gravidade se movam em uma linha reta que é a direção de seu movimento e que no choque esta linha passe pelo local de seu toque e seja perpendicular a ele. Esta última condição sempre ocorre, se os corpos são globos de matéria homogênea, como os consideramos aqui.

Se um corpo se movendo com certa velocidade, encontra outro corpo em repouso; o choque é o mesmo como se o último corpo, movendo-se com a velocidade do primeiro, o encontrasse em repouso.

Se dois corpos se movendo em direção um ao outro, se encontram; o choque é o mesmo como se um dos dois estando em repouso, outro encontrasse com uma velocidade igual à soma das velocidades de um e do outro.

Se dois corpos se movendo para o mesmo lado, se encontram; o choque é o mesmo como se um dos dois estando em repouso, outro encontrasse com uma velocidade igual à diferença entre as velocidades de um e do outro.

Em geral, então, se dois corpos se encontram, ou um dos dois está em repouso, ou ambos se movem em direção um ao outro, ou ambos se movem para o mesmo lado: quaisquer que sejam suas velocidades, se a soma ou a diferença dessas velocidades (o que é chamado de *velocidade respectiva*⁴) for a mesma, o choque é o mesmo. *A magnitude do choque de dois corpos dados depende apenas de suas velocidades respectivas.*

A verdade dessa proposição é fácil de ver, ao conceber os dois corpos transportados em um plano móvel, cuja velocidade destruindo a velocidade de um dos dois daria ao outro a soma ou a diferença das velocidades que eles tinham. A colisão dos dois corpos no plano seria o mesmo que em um plano estacionário.

Vamos agora ver a diferença que a dureza, ou elasticidade dos corpos, faz nos efeitos do choque.

Corpos perfeitamente duros são aqueles cujas partes são inseparáveis e inflexíveis, do qual, conseqüentemente, a forma é inalterável.

Corpos perfeitamente elásticos são aqueles cujas partes, depois de dobradas, se endireitam, voltam à sua primeira posição e devolvem o corpo à sua primeira forma. Quanto à natureza dessa elasticidade, não nos comprometemos a explicá-la. Basta aqui saber o efeito.

Não estou falando dos corpos moles, nem dos corpos fluidos, eles são apenas aglomerados de corpos rígidos ou elásticos.

⁴ [N.T.] Hoje, chamaríamos de velocidade relativa.

Quando dois corpos duros se encontram, suas partes são inseparáveis e inflexíveis, a colisão só pode alterar sua velocidade. Os dois corpos se pressionam e se empurram, até que a velocidade de um seja igual à velocidade do outro. *Os corpos duros, após o choque, portanto, caminham juntos com uma velocidade comum.*

Mas quando dois corpos elásticos se encontram, enquanto eles estão pressionando e empurrando um ao outro, o choque também é usado para dobrar suas partes. E os dois corpos permanecem aplicados um contra o outro, apenas até que seu [material] elástico, esticado pelo choque tanto quanto pode ser, os separe ao se desfazer; e fazer com que se afastem com a mesma velocidade que se aproximam. Para que a velocidade respectiva dos dois corpos corresponda à única causa que esticou seu [material] elástico, é necessário que a decompressão reproduza um efeito igual àquele que como causa produziu a compressão: isto é, uma velocidade respectiva, na direção oposta, igual à primeira. *A velocidade respectiva dos corpos elásticos é, portanto, após o choque, a mesma de antes.*

Procuremos agora as Leis, segundo as quais o movimento se distribui entre dois corpos que se chocam, sejam esses corpos duros ou elásticos.

Deduziremos essas Leis de um único Princípio, e desse mesmo Princípio deduziremos as leis de seu resto.

PRINCÍPIO GERAL

Sempre que houver qualquer mudança na Natureza, a Quantidade de Ação necessária para essa mudança é a menor possível.

A *Quantidade de Ação* é o produto da massa dos corpos, por sua velocidade e pelo espaço que viajam. Quando um corpo é transportado de um lugar para outro, a ação é tanto maior quanto maior a massa, quanto a velocidade for mais rápida, quanto o espaço pelo qual é transportado for mais longo.

PROBLEMA I.

Encontrando as Leis do Movimento do Corpo Duro

Sejam dois corpos duros, cujas massas são A & B , que se movem para o mesmo lado, com as velocidades a & b : A mais rápido do que B , de modo que ele o alcança e se choca com ele. Seja a velocidade comum desses dois corpos após o choque $= x < a \text{ \& \> } b$. A mudança no verso é que o corpo A que se move com velocidade a e que em um certo tempo atravessa um espaço $= a$, passa a se mover com velocidade x e apenas percorre um espaço $= x$: o corpo B que se moveria com velocidade b , e cobriria apenas um espaço $= b$, se move com velocidade x , percorre em um espaço $= x$

Esta mudança é, portanto, a mesma que teria acontecido, se enquanto o corpo move com velocidade a , e percorre um espaço $= a$, teria sido carregado para trás em um plano

imaterial, que teria se movido $a - x$, por um espaço $= a - x$: e que o corpo B , movendo-se com velocidade b , percorre o espaço $= b$, teria sido transportado em um plano imaterial, que teria se movido com $x - b$, por um espaço $= x - b$.

Agora, que os corpos A e B movem-se com velocidades adequadas nos planos móveis, ou estejam eles em repouso, o movimento desses planos carregando os corpos sendo o mesmo: as Quantidades de Ação, produzidas na Natureza, serão $A(a - x)^2$, & $B(x - b)^2$; cuja soma deve ser a menor possível. Então nós temos

$$Aaa - 2Aax + Axx + Bxx - 2Bbx + Bbb = \text{Mínimo}$$

Ou

$$-Aadx + 2Axdx + 2Bxdx - 2Bbdx = 0$$

De onde tiramos como velocidade comum

$$x = \frac{Aa + Bb}{A + B}$$

Nesse caso, em que os dois corpos se movem do mesmo lado, a quantidade de movimento destruída e a quantidade produzida são iguais: a quantidade total de movimento permanece, após o choque, a mesma de antes.

É fácil aplicar o mesmo raciocínio ao caso em que os corpos se movem em direção um ao outro: ou basta considerar b como negativo em comparação com a , e a velocidade comum será

$$x = \frac{Aa - Bb}{A + B}$$

Se estava em repouso antes do choque, $b = 0$; e a velocidade comum é

$$x = \frac{Aa}{A + B}$$

Se um corpo encontra um obstáculo inabalável, podemos considerar esse obstáculo como um corpo de uma massa infinita em repouso: Se, portanto, B é infinito, a velocidade $x = 0$.

Agora vamos ver o que deve acontecer quando os corpos são elásticos. Os corpos de que vou falar são aqueles que têm elasticidade perfeita.

PROBLEMA II.

Encontrando as Leis do Movimento dos Corpos Elásticos?

Sejam dois corpos elásticos, cujas massas são A e B , que se movem para o mesmo lado, com as velocidades a e b A mais rápido que B , de modo que ele o alcance e se choque com ele: e seja α e β as velocidades dos dois corpos após o choque: a soma ou a diferença dessas velocidades após o choque é a mesma de antes.

A mudança no Universo é que o corpo A , que se move com velocidade a , e que em um certo tempo atravessa um espaço $= a$, passa a se mover com velocidade α , e apenas

percorre um espaço = α : o corpo B , que só se move com velocidade b , e percorre apenas um espaço = b , passa a se mover com velocidade β , e percorre um espaço = β .

Esta mudança é, portanto, a mesma que teria acontecido se enquanto o corpo A move-se com velocidade a , e percorre o espaço = a , teria sido carregado para trás em um plano imaterial, que teria se movido com $a - \alpha$, por um espaço = $a - \alpha$, e que o corpo B move-se com velocidade b , e vagou pelo espaço = b , teria sido transportado em um plano imaterial, que teria se movido com $\beta - b$, por um espaço = $\beta - b$.

Agora, que os corpos A e B movam-se com velocidades adequadas nos planos móveis, ou estejam eles em repouso, o movimento desses planos carregando os corpos, sendo o mesmo: as Quantidades de Ação, produzidas na Natureza, serão $A(a - \alpha)^2$ & $B(\beta - b)^2$ cuja soma deve ser a menor possível. Então nós temos

$$Aaa - 2Aa\alpha + A\alpha\alpha + B\beta\beta - 2Bb\beta + Bbb = \text{Mínimo.}$$

ou

$$-2Aada\alpha + 2A\alpha da + 2B\beta d\beta - 2Bbd\beta = 0$$

Agora, para os corpos elásticos, sendo a respectiva velocidade, após o choque, o mesmo de antes; temos $\beta - \alpha = a - b$, onde $\beta = \alpha + a - b$ e $d\beta = d\alpha$: que sendo substituído na equação anterior, dê para as velocidades

$$\alpha = \frac{Aa - Ba + 2Bb}{A+B} \text{ e } \beta = \frac{2Aa - Ab + Bb}{A+B}$$

Se os corpos se movem um em direção ao outro, é fácil aplicar o mesmo raciocínio: ou basta considerar b negativo em comparação com a , e as velocidades serão

$$\alpha = \frac{Aa - Ba - 2Bb}{A+B} \text{ e } \beta = \frac{2Aa + Ab - Bb}{A+B}$$

Se um dos corpos estava em repouso antes do choque, $b = 0$ e as velocidades são

$$\alpha = \frac{Aa - Ba}{A+B} \text{ e } \beta = \frac{2Aa}{A+B}$$

Se um dos corpos é um obstáculo inabalável, considerando esse obstáculo como um corpo B de uma massa infinita em repouso; nós teremos a velocidade $\alpha = -a$ quer dizer, que o corpo A irá rebater com a mesma velocidade que teve ao bater no obstáculo.

Se tomarmos a soma das Forças Vivas, veremos que depois do choque é a mesma que era antes, isto é, que:

$$A\alpha\alpha + B\beta\beta = Aaa + Bbb$$

Aqui, a soma das Forças Vivas é preservada após o choque, mas essa conservação ocorre apenas para corpos elásticos, e não para corpos rígidos. O princípio geral, que se

estende a ambos, é que a quantidade de ação necessária para causar qualquer mudança na natureza é a menor possível.

Este Princípio é tão universal e fecundo que dele derivamos a Lei do Repouso ou Equilíbrio. É óbvio que não há mais nenhuma diferença aqui entre corpos duros e elásticos.

PROBLEMA III.

Encontrando a Lei do Descanso Corporal?

Considero aqui os corpos presos a uma alavanca e para encontrar o ponto em torno do qual eles permanecem em equilíbrio. Estou procurando o ponto em torno do qual, se a alavanca receber algum pequeno movimento, a Quantidade de Ação será a menor possível.

Seja c o comprimento da alavanca, que suponho imaterial, nas extremidades da qual estão colocados dois Corpos, cujas massas são A e B . Seja z a distância do corpo A ao ponto procurado e $c - z$ distância do corpo B : é óbvio que, se a alavanca tiver algum pequeno movimento, os corpos A e B irão descrever pequenos arcos semelhantes entre si e proporcionais às distâncias desses corpos no ponto que estamos procurando. Esses arcos serão, portanto, os espaços percorridos pelos corpos e, ao mesmo tempo, representarão suas velocidades. A Quantidade de Ação será, portanto, proporcional ao produto [da massa] de cada corpo pelo quadrado de seu arco ou (uma vez que os arcos são semelhantes) ao produto [da massa] de cada corpo pelo quadrado de sua distância do ponto, em torno do qual a alavanca gira: isto é, Azz e $B(c - z)^2$, cuja soma deve ser a menor possível. Então nós temos

$$Azz + Bcc - 2Bcz + Bzz = \text{Minimo.}$$

Onde nós conseguimos

$$z = \frac{Bc}{A + B}$$

Que é a proposição fundamental da estática.

Referências

1. *Cicer. Tuscul. I. 13.*
2. *Tuscul. I. 28. & 29.*
3. *De Nat. De ouro. II. 37. 38.*
4. *Newt. Opticks III. Livro. Consulta 31.*
5. *Theol. Astron. de Derham. , Theol. Phys. do mesmo. , Theol. de insetos de Lesser.*
6. *Theol. da Água de Fabricius.*
7. *Veja o pedaço do Sr. Dan. Bernoulli na inclinação. planos das órbitas dos planetas.*
8. *Lucret. lib. 4*
9. *Philos. Transação. No. 470*
10. *Descartes. Princip. O Homem de Descartes.*

11. *Medit. Chret. & Metaph. por Fr. Malebranche Medit. VII.*
12. *Leibnitz. Theod. II. ir. N. 224. 225.*
13. *Malebranche Medit. Chret. & Metaph. VII.*
14. *Pope. Ensaio sobre o homem.*
15. *Aristot. Physic. Lib. VIII*
16. *Malebranche. Entrevistas sobre a metáfora. Manutenção*

IV. Discussão sobre a fonte primária: o que ela nos permite aprender de Física e sobre a Física?⁵

O objetivo dessa seção é apresentar nossas reflexões sobre a fonte primária apresentada (o que corresponde à etapa 2 do que foi proposto na Tabela 1). Essas seriam as reflexões que o docente levaria para o diálogo a fim de tensionar o debate a partir da fonte primária. Esperamos com essa discussão, exemplificar a riqueza de reflexões que surgem da leitura da fonte primária bem como contribuir para os docentes que pretenderem usar essa fonte em curso de Mecânica para formação de professores.

A fonte primária chegou até o grupo de pesquisa quando tomamos conhecimento de que versões contemporâneas do Princípio de Mínima Ação de Maupertuis teve importância histórica no desenvolvimento da Mecânica Quântica, seja em sua formulação relativística para teoria de Louis de Broglie, ou não-relativística para Schrödinger (LIMA; KARAM, 2021). Por isso, decidimos fazer um resgate da proposição original, chegando no texto do próprio Maupertuis. A partir da leitura da fonte primária, e em diálogo com a literatura especializada, sistematizamos quatro possíveis eixos de reflexão.

a) Física: o que podemos aprender sobre Mínima Ação com o texto lido?

O princípio de mínima ação, hoje em dia, é apresentado usualmente no contexto da Mecânica Lagrangeana, por meio do Princípio de Hamilton (MARION, 2004):

$$\delta \int L dt = \delta \int (K - V) dt = 0 \quad (1)$$

Em que L é a lagrangeana, dada pela diferença entre a energia cinética (K) e a energia potencial (V). A integral é determinada em relação ao tempo t . O princípio de Hamilton, entretanto, é posterior ao de Maupertuis. São poucos os livros que trazem esse princípio: um exemplo é o livro de Landau e Lifchitz (1969). Na sua forma contemporânea, o princípio é expresso da seguinte forma:

$$\delta \int p. ds = 0 \quad (2)$$

⁵ O presente trabalho se configura como uma proposição teórica, sem o objetivo de trazer relato de experiência. Entretanto, um exemplo de discussão a partir do texto de Maupertuis foi realizado no Encontro Estadual de Ensino de Física, realizado em 2023 na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A gravação do seminário pode ser encontrada em <https://www.youtube.com/watch?v=cSPPbtKh7Qw&t=16s>.

Ou seja, a integral do momento p ao longo da trajetória deve ser um mínimo. Esse princípio é mais restritivo do que o princípio de Hamilton e pode ser obtido como um caso particular. Uma das principais dificuldades ao trabalhar com esse princípio é justamente o domínio do cálculo variacional, que não é simples, e usualmente só é trabalhado nas disciplinas mais tardias do curso de Física. Assim, a abordagem tradicional dos livros didáticos de cursos de Mecânica podem ser desafiadoras. Como é sabido há décadas, entender o conceito ou a descrição do fenômeno antes do domínio do formalismo matemático pode ser fundamental para a compreensão do assunto (PIAGET, 1976). Chama a atenção o fato de Maupertuis conseguir abordar o tema sem usar cálculo variacional. Se usarmos o princípio como o conhecemos hoje em casos como o de colisões (elásticas e inelásticas) e o equilíbrio estático, é possível descrever a mínima ação dos sistemas sem precisar usar cálculo variacional. Ou seja, os três exemplos dados por Maupertuis podem ser muito importantes para introduzirmos o assunto, darmos a noção do que é a minimização da ação e pavimentar o caminho para a discussão formal.

Para que isso seja feito, entretanto, o professor deve usar os exemplos de Maupertuis, mas precisa reconstruir seus argumentos em uma concepção contemporânea, pois – como bem apontou Silva e Martins (2007) – o argumento matemático usado por Maupertuis está conceitualmente equivocado. Entretanto, se analisamos os exemplos usados por ele, com a concepção contemporânea, podemos escrever a minimização da ação recaindo em um problema de cálculo diferencial simples, o que é mais usual para alunos da educação básica.

Relembrando que estamos falando de um curso de mecânica para licenciatura, o professor está ministrando a disciplina para alunos que tem conhecimento de cálculo diferencial e integral. Em cursos de Mecânica Clássica, usualmente, introduz-se cálculo variacional para que se possa discutir o princípio de Hamilton. Usar os exemplos de Maupertuis permite usar apenas cálculo diferencial (como o próprio Maupertuis o faz) de forma que há uma vantagem didática nesse aspecto, pois os alunos poderão valer-se de ferramentas matemáticas que já conhecem. Nesse sentido, o episódio torna-se especialmente interessante para introduzir a discussão e abrir uma ponte para introdução da mecânica Lagrangeana e Hamiltoniana.

b) Importância do erro para Física

Aproveitando a discussão de Silva e Martins (2007), fica extremamente propício o debate sobre o papel do erro no empreendimento científico. No geral, as narrativas epistemológicas tendem a privilegiar a importância dos experimentos e previsões que dão certo, que propiciam o aumento de explicação do conteúdo empírico (POPPER, 2002). Ao nos debruçarmos sobre fontes históricas, reconhecemos, entretanto, que o desenvolvimento científico se dá a partir de erros também. Embora Maupertuis tenha apresentado uma concepção que hoje entendemos como errada, sua proposta de existir uma grandeza minimizada ao longo da trajetória, associada ao momento, se manteve presente na Mecânica e

se mostrou muito profícua, inclusive para o desenvolvimento da Teoria Quântica.

Os escritos de pensadores como Paul Feyrabend e Thomas Kuhn podem nos ajudar a refletir sobre como concepções não-rationais, ou extra-científicas, podem contribuir para o desenvolvimento científico. Em especial, a discussão sobre genética de conceitos de Foucault (2018) ressalta que na gênese não encontramos a certeza, o chão sólido e correto, mas a dúvida, o erro e o engano. Como pode a ciência promover tantos resultados partindo de erros? Essa é uma questão extremamente desafiadora que o episódio histórico impõe para nós e que merece ser debatido no contexto didático.

Exemplos de como a discussão sobre o papel do erro podem ser introduzidos no contexto pedagógico já existem na literatura. Por exemplo, Bagdonas, Zanetic e Gurgel (2018) resgatam o problema da constante cosmológica na sala de aula, e mostram que muitos alunos pensavam que uma pessoa tão inteligente como Einstein não poderia cometer erros. Assim, a proposta mostra explicitamente a potencialidade de trazer esse tipo de discussão no sentido de tensionar as concepções sobre natureza da ciência.

c) Pensamento Religioso e Científico

Outro aspecto importante e surpreendente do texto é sua proximidade com o pensamento religioso. O objetivo principal do texto não era achar uma nova lei física, mas defender a existência de Deus. Para Maupertuis, a existência de um único princípio, do qual podemos derivar as expressões de colisão elástica, inelástica e de equilíbrio é uma prova de que existe uma inteligência por trás da organização do Universo.

Assim, contrariando o discurso popular, de que ciência e religião sempre guardam uma posição de antagonismo, o texto de Maupertuis é um episódio que revela a possibilidade de o pensamento religioso motivar, inspirar e direcionar o empreendimento científico. Essa e outras possibilidades de relação entre ciência e religião são discutidas na literatura de educação em ciências (BAGDONAS; SILVA, 2015). O esquema apresentado por Bagdonas e Silva (2015) permite olhar para essas diferentes possibilidades a partir de um quadro teórico fundamentado na filosofia da ciência.

No caso específico de Maupertuis, vemos que o pensamento religioso, ou a busca pela justificativa da existência de Deus, está intimamente conectado com a busca de um princípio unificador por trás da explicação de todos os fenômenos físicos. Para ele, não é a diversidade de características que prova a existência de um criador, mas justamente a possibilidade de unificar os mais diferentes movimentos em um único princípio. Argumentos como esse, sobre a relação entre a multiplicidade de experiências e uma realidade mais profunda subjacente, perpassam toda história da ciência (FEYRABEND, 1988).

Pode-se levar essa discussão para sala de aula para tensionar as discussões de forma que os alunos reflitam sobre como interpretar a obra de Maupertuis. Em especial, no contexto da Mecânica, é válido levar para o debate o fato de que o próprio Newton possuía uma grande

quantidade de escritos místicos (FORATO, 2008) – o que usualmente é negligenciado no contexto didático.

d) Papel do pensamento não-científico hoje

Diretamente conectada com a questão anterior, o texto abre a pergunta para refletirmos se as inter-relações da ciência com outras áreas do conhecimento continua sendo relevante no contexto atual e, mais ainda, se o próprio conhecimento não-científico tem um valor importante para o desenvolvimento e cuidado da sociedade. Ou seja, o episódio também abre espaço para colocarmos em suspeição o mito da superioridade das decisões tecnocráticas (AULER; DELIZOICOV, 2001).

Podemos partir das discussões anteriores para ampliarmos mais as reflexões e, em especial, trazermos o debate específico gerado sobre Natureza da Ciência para pensarmos sobre o contexto contemporâneo. Embora não seja necessário fazer isso em todo estudo de um episódio histórico, o presente caso permite fazer tal conexão. E, como defendemos, cada episódio apresenta um conjunto único de possibilidades para reflexão. Nesse caso, a presença de um forte pensamento religioso na base de um conceito muito importante para Mecânica Clássica e Quântica nos enseja a possibilidade de repensarmos o pacto político-epistêmico vigentes e refletir sobre o papel dos especialistas e não-especialistas na sociedade contemporânea.

A ideia não é apresentar uma resposta definitiva para essa questão, mas justamente viabilizar a reflexão sobre os diferentes posicionamentos epistemológicos e os compromissos políticos que eles carregam. Ao fazer isso, permitimos que o ensino de um tópico extremamente técnico (princípio de mínima ação) transite por reflexões epistemológicas e políticas, ensejando uma análise de nossa sociedade contemporânea. Nesse sentido, reforçamos a potencialidade dessa abordagem enquanto promotora de autonomia epistêmica e de sujeitos não-alienados. Não precisamos nos eximir de discutir Física para entrar na dimensão política da ciência e, tão pouco precisamos seguir o modelo didático hegemônico vigente em que os atravessamentos sociais e culturais da ciência são ignorados.

Em relação a esse tópico em especial, vemos dois posicionamentos principais (que podem representar polos extremos em um espectro contínuo de posicionamentos). Há autores que defendem a importância fundamental da ciência para o desenvolvimento da humanidade, para a mitigação de inequidades e superação das mudanças climáticas. Bruno Latour (2020), por exemplo, defendeu explicitamente a rede científica em oposição a outras formas de circulação de conhecimento no mundo contemporâneo, especialmente referindo-se ao contexto de pós-verdade inaugurado com Donald Trump.

Outros autores, entretanto, reforçam a importância de resgatar cosmovisões desenvolvidas em outras comunidades, fora do contexto científico, aproximando-se de uma concepção mais integrada da natureza, diferente da concepção extrativista típica do mundo moderno. Pignarre e Stengers (2011) discutem, por exemplo, contribuição do pensamento

mágico contemporâneo para se afastar da cosmovisão da sociedade de consumo. Ou seja, novamente, o texto de Maupertuis enseja uma reflexão profunda com impacto direto sobre a percepção que temos dos problemas contemporâneos.

Como pretendemos evidenciar nessa seção, as reflexões advindas da leitura do texto de Maupertuis são frutos das proposições feitas pelo próprio autor em conjunção com o excedente de visão dos interpretadores (BAKHTIN, 2016). Outros episódios históricos podem não ter uma relação tão óbvia com a questão da religiosidade ou com a importância do erro. Por outro lado, outros interpretadores privilegiarão outros aspectos do texto, farão outras perguntas e terão outras inquietações.

Por isso, ressaltamos a importância de deixar os discentes ter um primeiro contato com a fonte primária e traçar suas próprias reflexões. Eventualmente, algumas reflexões cairão dentro do escopo apresentado aqui (com menor ou maior diálogo com a literatura), ou, talvez, outras reflexões e questionamentos serão levantados. Do encontro do texto com o excedente de visão dos alunos e dos docentes, pode-se construir um conhecimento único, singular, e profundo da Física e sobre a Física, respeitando a autonomia epistêmica de todos os sujeitos.

V. Considerações Finais

Apresentamos neste trabalho uma reflexão teórico-metodológica sobre o uso de fontes primárias no ensino de Física e de ciências, principalmente no contexto de formação de professores. Partindo do conceito de autonomia epistêmica de Freire, defendemos a importância de partir das interpretações de fontes primárias feitas pelos próprios discentes. Ao fazer isso, permite-se que diferentes visões sejam levantadas e debatidas. Em diálogo com reflexões da filosofia bakhtiniana, entendemos que um texto enseja virtualmente infinitas interpretações e, portanto, o contexto didático pode ser um espaço para o encontro e diálogo dessas reflexões.

O professor, por sua vez, a partir de seu excedente de visão, organiza suas reflexões para tensionar e enriquecer o debate, contribuindo para a análise do episódio histórico, para o aprendizado da Física e sobre a Física. Ao fazer isso, além de valorizarmos a autonomia epistêmica, buscamos superar a dicotomia entre saberes técnicos e pedagógicos, e aderimos a uma descrição pós-estruturalista da natureza da ciência, privilegiando a descrição de episódios, em diálogo com o que vem sendo discutido no contexto dos Estudos Sociais das Ciências, principalmente na virada Ontológica da Antropologia, e na História Cultural da Ciência.

Para exemplificar a potencialidade e a riqueza do uso de fontes primárias a partir dessa concepção, apresentamos uma fonte primária traduzida do francês para o português, *As Leis do Movimento e do Repouso*, de Maupertuis. Nesse texto, é apresentada pela primeira vez a concepção de princípio de mínima ação do autor, a qual teve influência importante não somente na Mecânica Clássica como na Teoria Quântica.

Na sequência, apresentamos nossas reflexões sobre o episódio, o que corresponderia a análise do docente, que seria levada para tensionar as discussões com os alunos. Apresentamos nossa análise em quatro eixos, indicando como que – ao partir do texto – podemos nos beneficiar no aprendizado da Física e sobre a Física. Como reforçamos ao longo do trabalho, os aprendizados elencados aqui são específicos do episódio adotado e referem-se ao excedente de visão dos autores. Outros episódios e outros interpretadores privilegiarão outros aspectos e dimensões da Física.

Esperamos, assim, contribuir primeiramente para o debate pedagógico sobre o uso de história e filosofia da ciência a partir de novos quadros teóricos para a Educação em Ciências. Além disso, entendemos que o trabalho contribui com a tradução e análise de uma fonte primária de interesse histórico, com contribuições importantes para o entendimento de conceitos fundamentais na Física. Nossa análise, ainda, levanta perguntas que podem ser exploradas no contexto didático e apresenta possíveis trabalhos que podem contribuir para a reflexão sobre tais questionamentos.

Agradecimentos

Agradecemos à professora Eliane Veit, pela leitura e revisão da tradução da fonte primária traduzida por nós. O segundo autor agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul pelo auxílio concedido no contexto do edital 10/2021 auxílio recém-doutor ou recém-contratado.

Referências

ALLCHIN, D. Pseudohistory and Pseudoscience. **Science & Education**, v. 13, n. 3, p. 179-195, 2004.

ARAUJO, R. S.; VIANNA, D. M. A história da legislação dos cursos de Licenciatura em Física no Brasil: do colonial presencial ao digital a distância. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2010.

AULER, D. **Cuidado! Um cavalo viciado tende a voltar para o mesmo lugar**. Curitiba: Appris, 2018.

AULER, D.; DELIZOICOV, D. Alfabetização científico-tecnológica pra quê? **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 3, n. 1, p. 122-134, 2001.

BAGDONAS, A.; ZANETIC, J.; GURGEL, I. O maior erro de Einstein? Debatendo o papel dos erros na ciência através de um jogo didático sobre cosmologia. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 1, p. 97-117, 2018.

BAGDONAS, A.; SILVA, C. C. Enhancing Teachers' Awareness About Relations Between Science and Religion. **Science & Education**, v. 24, n. 9, p. 1173-1199, 2015.

BAKHTIN, M. **A Estética da Criação Verbal**, 1990.

BAKHTIN, M. **Os Gêneros do Discurso**. São Paulo: Editora 34, 2016.

BATISTA, G. L. de F.; DRUMMOND, J. M. H.; FREITAS, D. B. Fontes primárias no ensino de física: considerações e exemplos de propostas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 3, p. 663-702, 2015.

BOSS, S. L. B.; SOUZA FILHO, M. P.; CALUZI, J. J. Fontes Primárias e aprendizagem significativa: aquisição de subsunçores para a aprendizagem do conceito de carga elétrica. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, VII, 2019. p. 1-12.

CASTRO, E. V. de. **Metafísicas Canibais**: elementos para uma antropologia pós-estrutural. São Paulo: Ubu, 2018.

FEYERABEND, P. **Farewell to Reason**. New York: Verso, 1988.

FONSECA, D. S. *et al.* Pressão atmosférica e natureza da ciência: uma sequência didática englobando fontes primárias. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 12, n. 1, p. 145, 2017.

FORATO, T. C. de M. A filosofia mística e a doutrina newtoniana: uma discussão historiográfica. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 1, n. 3, p. 29-53, 2008.

FOUCAULT, M. **Microfísica do Poder**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2018.

FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. Rio de Janeiro: Terra e Paz, 2013 a.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia**: saberes necessários à prática educativa. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2013 b.

HOOKS, B. **Ensinando a transgredir**: a educação para prática da liberdade. São Paulo: Martins Fontes, 2013.

KARAM, R. Considerações metodológicas sobre o uso de fontes primárias no ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 4, n. 3, 2021.

KARAM, R.; LIMA, N. W. Using History of Physics to teach Physics? *In*: GUIASOLA, J.; MCLOUGHLIN, E. (Org.). **Connecting Research in Physics Education with Teacher Education 3**. Dublin: The International Commission on Physics Education, 2022. p. 22-38.

KOHN, E. Anthropology of Ontologies. **Annual Review of Anthropology**, v. 44, n. 1, p. 311-327, 2015.

KRENAK, A. **Ideias para Adiar o Fim do Mundo**. São Paulo: Companhia das Letras, 2019.

LANDAU, L. L.; LIFCHITZ, E. **Mécanique**. Moscou: Éditions Mir, 1969.

LATOUR, B. **Reassembling the Social: An Introduction to Actor Network Theory**. Oxford: Oxford University Press, 2005.

LATOUR, B. **Onde Aterrorar? Como se orientar politicamente no Antropoceno?** Rio de Janeiro: Bazar do Tempo, 2020.

LIMA, N.; KARAM, R. Particle velocity = group velocity: A common assumption in the different theories of Louis de Broglie and Erwin Schrödinger. **American Journal of Physics**, v. 89, n. 5, p. 521-528, 2021.

LIMA, N. W. *et al.* A Teoria do Enunciado Concreto e a Interpretação Metalinguística: Bases Filosóficas, Reflexões Metodológicas e Aplicações para os Estudos das Ciências e para a Pesquisa em Educação em Ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 24, n. 3, p. 258-281, 2019.

LIMA, N. W. Histórias Plurais para a Construção de um Mundo Comum: como História, Filosofia e Sociologia das Ciências na Educação em Ciências Podem Contribuir para Construção do Mundo Pós-Pandemia. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, 2021.

LIMA, N. W. ; GUERRA, A. Superando Narciso: histórias das ciências para adiar o fim do mundo. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 15, n. 2, p. 386-399, 2022.

MARION, J. **Classical Dynamics of Particles and Systems**. New York: Brooks/Cole, 2004.

MASSONI, N. T.; BRUCKMANN, M. E.; ALVES-BRITO, A. A Reestruturação Curricular do curso de Licenciatura em Física da UFRGS: construção de novas identidades na formação docente inicial do século XXI. **Revista Educar Mais**, v. 4, n. 3, p. 512-541, 2020.

MATTHEWS, M. R. History, philosophy, and science teaching: The present rapprochement. **Science & Education**, v. 1, n. 1, p. 11-47, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00430208>

MOREIRA, I. de C. Maupertuis (1698-1759) e o Princípio de Mínima Ação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 1, p. 172-186, 1999.

MOURA, C. Para que história da ciência no ensino? Algumas direções a partir de uma perspectiva sociopolítica. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 4, n. 3, 2021.

MOURA, C. B. de; GUERRA, A. Cultural History of Science: A Possible Path for Discussing Scientific Practices in Science Teaching? **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 3, p. 749-771, 2016.

MOURA, C. B. de; GUERRA, A.; CAMEL, T. A natureza da ciência pelas lentes do currículo: normatividade curricular, contextualização e os sentidos de ensinar sobre ciências. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 22, p. 1-27, 2020.

OLIVEIRA, O. B. de. Em defesa da leitura de textos históricos na formação de professores de ciências. **Pro-Posições**, v. 22, n. 1, p. 71-82, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-73072011000100007>

PIAGET, J. **Para Onde Vai a Educação**. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1976.

PIGNARRE, P.; STENGERS, I. **Capitalist Sourcery: Breaking the Spell**. London: Macmillan Publishers Limited, 2011.

POPPER, K. **The Logic of Scientific Discovery**. New York: Routledge, 2002.

SANTOS, B. de S. **Um Discurso sobre as Ciências**. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2008.

RAMOS, M. C. Origem da vida e origem das espécies no século XVIII: as concepções de Maupertuis. **Scientiae Studia**, v. 1, n. 1, p. 43-62, 2003.

SANTOS, B. de S. **O Fim do Império Cognitivo. A Afirmação das Epistemologias do Sul.** Belo Horizonte: autêntica, 2019.

SILVA, A. P. B.; GUERRA, A. **História da Ciência e Ensino:** Fontes primárias e propostas para sala de aula. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2015.

SILVA, A. P. B.; MARTINS, R. de A. Maupertuis e o princípio mecânico de ação mínima: uma análise crítica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 625-633, 2007.

SILVA, T. **Documentos de Identidade:** Uma Introdução às teorias do currículo. Belo Horizonte: Autentica, 2010.

SOUZA, G. T. **Introdução à Teoria do Enunciado Concreto do círculo Bakhtin/Volochinov/Medvedev.** 2. ed. São Paulo: Humanitas/FFLCH/USP, 2002.

STENGERS, I. A proposição cosmopolítica. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, n. 69, p. 442-464, 2018.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE, O. The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions. **Science & Education**, v. 21, n. 6, p. 771-796, 2012.

VENEU, A.; FERRAZ, G.; REZENDE, F. Análise do Discurso no Ensino de Ciências: Considerações Teóricas. Implicações Epistemológicas e metodológicas. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. 1, p. 126-149, 2015.

VENTURINI, T. Diving in magma: how to explore controversies with actor-network theory. **Public Understanding of Science**, v. 19, n. 3, p. 258-273, 2010.

WOOLGAR, S. Laboratory Studies: a comment on the state of the art. **Social Studies of Science**, v. 12, p. 481-498, 1982.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).