

## Da relatividade de movimentos ao universo pleno: as concepções de inércia em Galileu e Descartes

From relativity of movements to the full universe: Galileo and Descartes conceptions of inertia

**Márcio Henrique Bertazi**

Doutorando em Ciências da Engenharia Ambiental  
Universidade de São Paulo  
marciobertazi@gmail.com

**Recebido em:** 24/03/2019

**Aprovado em:** 07/08/2019

**Resumo:** O estudo do movimento tem ocupado parte considerável do desenvolvimento da ciência. Diferentes abordagens procuraram apresentar a plausibilidade de sistemas que se dedicavam a mensurar a relação entre os mais distintos objetos e sua posição no universo, além de explicar como e por que muitos desses objetos se moviam. Galileu e Descartes são importantes personagens dessa história, cujas contribuições foram fundamentais para o aperfeiçoamento do conceito de inércia, conceito ainda hoje fundamental. Ao clivar movimento e repouso Galileu possibilitou a separação do movimento da natureza dos corpos. Descartes, ao compreender repouso e movimento como um estado contingente da matéria, enxergava um espaço que não permitia o vazio. Neste artigo apresenta-se como, entre cinemática e dinâmica, gravidade e colisões, ambos estabeleceram pontes seguras para o posterior desenvolvimento do conceito de inércia, ainda que nunca o tenham mencionado.

**Palavras-chave:** Inércia; História da Ciência; Galileu Galilei e René Descartes.

**Abstract:** The study of movement has engaged a considerable portion of the science development. Different approaches tried to present the plausibility of systems that were dedicated to measuring the relationship between distinct objects and their position in the universe. In addition, they sought to explain how and why many of these objects moved. Galileo and Descartes are important personalities of this history, whose contributions were fundamental to the improvement of the concept of inertia, which is still fundamental. By cleaving movement and repose Galileo made possible the separation of movement from the body's nature. Descartes, understanding repose and movement as a contingent state of matter, saw a full space, without the possibility of emptiness. In this paper we present how, between kinematics and dynamics, gravity and collisions, both author's established safe bridges for the later development of the inertia concept (although they never mentioned the term).

**Keywords:** Inertia; History of Science; Galileo Galilei and René Descartes.

## Introdução

A relação entre o movimento e o universo tem sido uma preocupação recorrente na interpretação da natureza ao longo da história da humanidade, sobretudo naquilo que diz respeito à construção da ciência. Um artigo publicado recentemente na revista *Nature Astronomy*, por exemplo, sugeriu a existência de uma região com baixa densidade de estrelas e galáxias – a uma distância de 500 milhões de anos-luz – que tem repellido a Via Láctea, fazendo com que ela viaje a cerca de dois milhões de quilômetros por hora (HOFFMAN et al., 2017). Há muito que os seres humanos tentam entender as mais variadas formas de movimento de tudo aquilo que conhecem e os dispositivos necessários para calculá-lo.

Mais de 1.400 anos nos separam das rudimentares tentativas de formulação do princípio que atualmente denomina-se inércia e, ainda hoje, sua existência é de fundamental para que se possam explicar os intrincados mecanismos físicos dentro e fora da Terra. O desenvolvimento do conceito de inércia esteve ligado, de modo visceral, às transformações promovidas pela revolução científica do século XVII. As questões decorrentes da astronomia copernicana requereram uma completa reformulação da Física e, nesse interim, do próprio alcance da Filosofia.

É uma possibilidade enxergar na história da ciência a essência anárquica proposta por Feyerabend (1977), na medida em que, quando se ampliam as perspectivas históricas e se vislumbra o desenvolvimento da técnica em uma perspectiva de longa duração, violações e rupturas parecem necessárias e centrais ao progresso da ciência. Como as linhas a seguir pretendem brevemente retomar, parece ter sido justamente o que ocorreu com Copérnico, Galileu e Descartes, salvas, evidentemente, as particularidades de cada um deles. Parte substancial da ciência tem uma relação imediata aos pensadores e pensadoras que decidiram não se limitar a certas regras metodológicas consolidadas, violando-as de modo voluntário ou involuntário.

Nas emaranhadas linhas da História, é importante também pensar, como Popper (1972), que jamais podemos apresentar prova conclusiva de refutação de uma teoria, sobretudo porque resultados experimentais sempre podem ser colocados em questão. Se a ciência empírica é caracterizada apenas pela estrutura lógica ou formal de seus enunciados, então não a podemos excluir de uma vez de alguma Metafísica que eleve uma teoria obsoleta como algo incontestável. Toda ciência empírica, dirá Popper, deve ser caracterizada por seus métodos enquanto (I) nossa maneira de manipular sistemas científicos; (II) aquilo que fazemos *com* eles e (III) aquilo que fazemos *a* eles.

Galileu e Descartes lograram substancial relevância no estudo do movimento, seja pela observação de novos astros no espaço infinito do universo seja pela completude da materialização do espaço (KOYRÉ, 2006). Ou por meio da experiência (KOYRÉ, 1982), ou pela via dedutiva e determinista da teoria do mundo material (RUSSEL, 1968), ambos traçaram rumos fundamentais para o estabelecimento definitivo da Física clássica. Analisemos, brevemente, parte destes pensamentos no que diz respeito ao estudo da inércia, ainda que este termo sequer fosse mencionado à época.

### **Do *impetus* às leis de Newton: ruptura com a física aristotélica**

A “nova ciência” oriunda da revolução científica, decorrente, em larga medida, das contribuições do astrônomo e matemático polonês Nicolau Copérnico (1473-1543), acabou por substituir a visão aristotélica de mundo, culminando na concepção de um universo mecanicista, completamente destituído de ideias de ordem e finalidade. A Física aristotélica era até então, essencialmente, uma ciência qualitativa: o estudo da realidade podia ser percebido pelos sentidos (PORTO; PORTO, 2009).

Essa “metafísica do sensível” de que nos lembram Giovanni Reale e Dario Antiseri (1990) formaliza-se em um universo finito constituído de uma esfera, centrada no planeta Terra, à qual estão presas as estrelas. Tratava-se de um mundo dividido em duas porções bem demarcadas: (I) o mundo sublunar (formado por matéria sujeita a processos de transformação), cujos elementos são a terra, o fogo, o ar e a água; e (II) o mundo supralunar, no qual a matéria é imutável em sua própria natureza e onde são formados os corpos celestes. O Cosmos aristotélico era um ordenamento rígido cujos critérios são de natureza Metafísica. Dessa forma, quando são tomados os elementos do mundo sublunar, há uma ordem decrescente de leveza (fogo→ar→água→terra)<sup>1</sup>. Daí que “o movimento natural conduz a terra para baixo” (ARISTÓTELES, 2009, p. 146). Ou seja, tendo menos leveza, uma pedra arremessada ao alto tenderia a ser conduzida para o seu local próprio: a terra. Voltaremos nisso a seguir.

Em Aristóteles, todo o movimento é a passagem da potência ao ato. O ato (que é a forma) é condição, norma, fim e objetivo da potencialidade. Dessa forma, o ato tem prioridade sobre a potência. Se o movimento é eterno, logo é eterna a sua causa. Tudo o que está em movimento é por outro movido e assim por diante. É importante demarcar que tanto potência como ato se dão em todas as categorias enumeradas por Aristóteles, de modo que a mutação de acordo com a

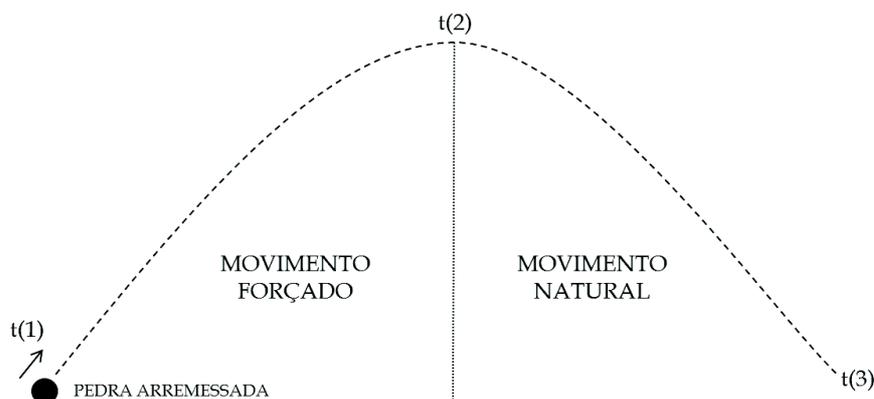
---

<sup>1</sup> Ou seja, o fogo tem maior leveza que o ar, que, por sua vez, tem maior leveza que a água e assim por diante.

substância é a geração e a corrupção; a mutação segundo a qualidade é a alteração; segundo a quantidade é o aumento e a diminuição; e de acordo com o lugar é a translação (REALE; ANTISERI, 1990).

O movimento, dessa forma, era classificado de duas formas: (a) movimentos naturais e (b) movimentos forçados ou violentos (que se originavam diante de uma força externa exercida por outro corpo). Os agentes causais dos movimentos naturais eram as causas finais e, no caso dos movimentos violentos, as causas eficientes. É importante que mencionemos que toda mudança tem como pano de fundo uma causa e toda causa tem um efeito real. No caso do movimento (tanto em *a* como em *b*), o efeito imediato era a mudança de lugar; a forma dessa mudança é espaço-temporal (POLITO, 2015). Uma pedra arremessada para cima, para a Física aristotélica, passaria por esses dois movimentos: na medida em que era arremessada por uma força exterior – digamos por um cidadão grego – a pedra teria imediatamente o seu movimento forçado. Chegaria, então, um momento em que a pedra começaria a cair (exatamente o ponto em que o movimento natural substituíria completamente o movimento forçado), pois o material com menos leveza tendia a voltar ao seu lugar de origem. A Figura 1 esquematiza, de modo simples, esse movimento. No instante  $t(1)$  a pedra é arremessada até que em  $t(2)$  todo o movimento forçado cessa e dá lugar ao movimento natural, que tende a reconduzir o objeto ao seu lugar natural em  $t(3)$ .

**Imagem 1:** Esquema do movimento aristotélico forçado e natural



(Elaboração própria.)

Foram recorrentes as críticas a essa explicação do movimento: se, no mesmo momento em que a mão do cidadão grego deixa de estar em contato com a pedra – ou seja, não é mais um movimento forçado – por que a pedra não cai imediatamente, obedecendo, pois, ao movimento natural? O inglês Guilherme de Ockham (séc. XIII-XIV), ao propor um experimento em que duas

flechas são lançadas ao mesmo tempo, uma em direção à outra, questionou a Física aristotélica, na medida em que esta explicava a continuidade do movimento forçado pela impulsão do ar. Ora, se as trajetórias das flechas se encontravam em algum momento, como pode a mesma impulsão de ar fazer com que ambos os vetores contrários continuem? Para Ockham, o corpo em movimento se movia por simples continuidade de seu movimento (PORTO; PORTO, 2009) o que é uma impressionante definição rudimentar do conceito de inércia.

O filósofo francês Jean Buridan (séc. XIII-XIV) diria que o lançador imprimia uma “virtude” ao objeto lançado, configurando, pois, uma tendência a continuar o movimento inercial (conceito de *impetus*). O que vai diminuir até eliminar o *impetus* são a gravidade e a resistência do ar, fazendo com que o objeto assuma a forma natural de queda (PORTO; PORTO, 2009). A teoria do *impetus* tem um papel de destaque na história do desenvolvimento do conceito de inércia. Joannes Philoponus (séc. V-VI) de Alexandria dizia que uma “energeia” motora, de natureza incorpórea, seria impressa no projétil por quem o havia lançado. Essa força seria a verdadeira causa eficiente responsável pela manutenção do movimento. O *impetus* se exauria pela resistência do meio e pela dissipação gradativa. Ibn Sina ou Avicena (séc. X-XI) dizia que na ausência de um meio resistente um corpo, uma vez colocado em movimento, permanecia em movimento retilíneo e uniforme, sem nenhum decréscimo de seu *impetus* (POLITO, 2015).

Finalmente, nesta breve incursão sobre a Física aristotélica e suas críticas decorrentes, é importante destacarmos que a natureza do movimento, para Aristóteles, não é um estado, mas um processo que ocorre com o corpo que se move, por meio de sucessiva ocupação de lugares no universo (o seu “lugar natural”). Há, pois, uma completa ausência de simetria, na qual não existe uma equivalência imediata entre repouso e movimento. O movimento não é, portanto, um estado, mas um processo de natureza absoluta que ocorre com os corpos.

Copérnico, embora tenha preservado a finitude do universo aristotélico, abandonou o caráter geocêntrico do modelo cosmológico. A Terra deixou de ser o centro deste universo, abalando profundamente a explicação do lançamento de objetos (não podiam mais, via movimento natural, retornar ao seu “lugar natural”, pois a Terra já não era mais o centro de tudo). Alexandre Koyré, em *The Astronomical Revolution* (KOYRÉ, 1973) menciona que, ao deslocar o centro de todo o movimento da Terra para o Sol, Copérnico teria invertido o sistema do Universo, embora não tenha alterado a estrutura matemática do conhecimento astronômico até então. Nesse sentido, era um seguidor de Ptolomeu. A astronomia de Ptolomeu, aliás, permitia reproduzir o movimento

planetário com surpreendente precisão e estava mais baseada no cálculo de ângulos do que de distâncias<sup>2</sup>. A *superioridade* do sistema copernicano dava-se não pela diminuição do número de movimentos celestes (e, evidentemente, do número de círculos correspondentes), mas pelo fato desses movimentos terem sido padronizados, regularizados e sistematizados.

Os argumentos contrários, porém, não tardaram a surgir. Se, de fato, a Terra estava em movimento constante ao redor do Sol, uma pedra que fosse jogada do alto de uma torre não cairia exatamente ao pé da torre, pois, tendo a Terra se movimentado durante o tempo de ascensão e queda da pedra, haveria uma variação horizontal de seu movimento. A crítica era, inclusive, levada ao extremo: movimentasse-se a Terra, as nuvens seriam deixadas para trás, a terra arremessaria os seus conteúdos. Copérnico defenderia sua tese fundamentando que o movimento circular da Terra era um movimento natural: o “sistema terrestre” se moveria, pois, em conjunto. Há uma “afinidade de essências” (PORTO; PORTO, 2009) que possuem com o planeta (o que não deixa de ser uma razão Metafísica).

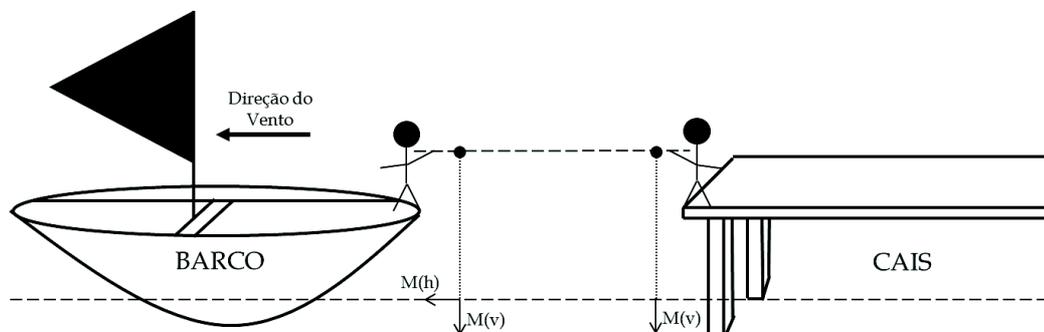
O italiano Giordano Bruno (séc. XVI) substituiu essa razão Metafísica por uma razão mecânica alicerçada na teoria do *impetus*. De fato, para ele, haveria um pertencimento mecânico a um sistema de movimento: uma espécie de *solidariedade mecânica* – e não Metafísica – entre os corpos e as estruturas de onde partiam. Um clássico experimento de Bruno fazia referência a um barco que se deslocava de um cais. Dois indivíduos deixavam cair, da mesma altura e ao mesmo tempo, objetos iguais. Na medida em que o objeto do cais caía verticalmente (apenas um movimento) o do barco possuía uma *composição de movimentos*<sup>3</sup> (PORTO; PORTO, 2009). Estaria presente, pois, tanto em Bruno como em Copérnico, a relatividade dos movimentos (POLITO, 2015). A Figura 2 esquematiza essa composição: enquanto o objeto lançado do cais possui apenas um movimento vertical  $M(v)$ , o objeto lançado de um barco em movimento possui dois movimentos, vertical  $M(v)$  e horizontal  $M(h)$ , que acompanha a velocidade e direção do barco.

---

<sup>2</sup> Ptolomeu, ao modificar o princípio da motricidade circular uniforme, com o desenvolvimento do conceito dos *equantes*, tornou possível reproduzir o movimento planetário com precisão sem, contudo, aumentar de modo indevido o número de círculos do sistema de cálculos e observações. Ver em: Koyré (1973) e Grasshoff (1990).

<sup>3</sup> O conceito de “composição de movimento” não é uma criação de Bruno. Historicamente, tem-se atribuído a Galileu a criação do termo. A ideia é que todo movimento complexo possa ser decomposto em vários movimentos mais simples, facilitando sua compreensão e seu cálculo.

**Imagem 2:** Esquema da composição de movimentos em Giordano Bruno



(Elaboração própria)

No ano de 1687, o cientista inglês Isaac Newton (1643-1727) publicou os seus *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, cujas leis do movimento fundamentaram definitivamente a mecânica clássica (NEWTON, 1983). O Quadro 1 sintetiza essas leis.

**Quadro 1:** Leis de Newton

1. <sup>a</sup> Lei	Todo corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja obrigado a mudar seu estado por forças impressas nele.
2. <sup>a</sup> Lei	A mudança do movimento é proporcional à força motriz impressa, e se faz segundo a linha reta pela qual se imprime essa força.
3. <sup>a</sup> Lei	A uma ação sempre se opõe uma reação igual, ou seja, as ações de dois corpos um sobre o outro sempre são iguais e se dirigem a partes contraditórias.

Fonte: NEWTON, Isaac. **Princípios matemáticos; Óptica; O peso e o equilíbrio dos fluidos**. Tradução de Carlos Lopes De Mattos. 2. ed. São Paulo: Abril Cultural, 1983.

Para chegar a essas leis, entendemos como inescapáveis as contribuições de Galileu e de Descartes no estudo da inércia, por justamente romperem, na esteira de Feyerabend, com interpretações estanques de mundo. Vejamos, a seguir, como estes autores formularam, ainda que indiretamente, um dos mais importantes princípios da história da ciência mundial.

### **Galileu: da experiência à relatividade**

O italiano Galileu Galilei (1564-1642) procurou estabelecer uma metodologia que lhe permitisse o conhecimento seguro dos fenômenos que se davam na natureza. A matemática teria papel de destaque (método matemático-experimental). Nessa caminhada, dava mais ênfase no modo pelo qual os fenômenos ocorriam e não o porquê de ocorrerem. De fato, a natureza passava

a ser concebida como um sistema simples e ordenado: a linguagem do universo era o domínio próprio da matemática (ROSA, 2012). Os experimentos galileanos foram lembrados na construção da história da ciência, embora Koyré (1986) alerte que o experimento não fosse um tipo demonstrativo (ou seja, não poderia por si mesmo decidir questões teóricas). Ainda assim, Michael Segre (2008) identificou três tipos de experimentos nos escritos de Galileu: (I) experimentos reais (afirmados ou realizados); (II) experimentos imaginários (I e II funcionando enquanto prova empírica); e (III) experimentos pensados, funcionando enquanto prova mental.

Pfister e King (2015) dissertam que a partir dos experimentos com pêndulos de materiais diferentes, Galileu teria descoberto que todos os corpos caem igualmente (desconsiderando-se a fricção). Em outras palavras, aquilo que conhecemos na Física contemporânea: a massa inercial e a massa gravitacional sempre coincidem. Em grande parte de suas experiências com esferas rolando em um plano inclinado<sup>4</sup>, Galileu derivou a lei da queda livre: a altura da queda livre cresceria em proporção quadrática com o tempo. Pablo Mariconda menciona que a ciência de Galileu, oposta à simples *techné* aristotélica, não separava ciência e técnica, mas era, antes de tudo, uma “ciência útil, no sentido não apenas de ter consequências práticas [...] mas também de poder ser controlada, testada e avaliada por essas consequências práticas” (MARICONDA, 2006, p. 275). Galileu teria muito bem compreendido o mérito da abordagem matemática: de fato, qualquer “sucesso aplicativo das teorias científicas constituiria uma prova concreta de sua validade” (GEYMONAT, 1997, p. 320).

Em 1610, com a publicação de *Sidereus Nuncius* (GALILEI, 2010), Galileu já trazia à tona uma série de descobertas. Contradiu, por exemplo, a imutabilidade e perfeição da esfera supralunar aristotélica a partir da observação e registro das crateras na superfície da Lua e das manchas solares. Também observou grande quantidade de novas estrelas até então não visíveis a olho nu, além dos satélites de Júpiter – uma espécie de “sistema solar em miniatura” (POLITO, 2015, p. 8) – e as fases do planeta Vênus. Rosa (2012) nos lembra de que Galileu estava

---

<sup>4</sup> As experiências com planos inclinados são recorrentes nos *Diálogos*, como neste excerto de Salviati: “Parece-me, portanto, até aqui, que vós me haveis explicado os acidentes de um móvel sobre os dois planos diferentes; e que no plano inclinado o móvel pesado espontaneamente desce e vai continuamente acelerando-se, e, que, para retê-lo em repouso, é necessário usar força; mas sobre o plano ascendente é necessário força também para pará-lo, e que o movimento que lhe foi impresso vai continuamente enfraquecendo, até que finalmente se anula” (GALILEI, 2004, p. 226).

completamente ciente da invenção do telescópio pelo holandês Hans Lippershey (séc. XVI-XVII), em 1608.<sup>5</sup>

Para Galileu, os movimentos de um corpo não poderiam ser perceptíveis por qualquer outro corpo que o compartilhasse. Em seu *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano* (GALILEI, 2004), completado em 1630 e publicado dois anos depois, estabeleceu o conceito de relatividade do movimento, sobretudo a partir do princípio da independência dos movimentos. Os corpos em queda mantinham paralelamente o movimento vertical de queda, um movimento de igual dimensão ao sistema de onde partiam. Não porque receberam um *impetus*, mas porque esse movimento persistia inicialmente, uma fundamental percepção para o fortalecimento do conceito de inércia (PORTO; PORTO, 2009).

A inércia parece ter aparecido a Galileu como a persistência do movimento, enquanto fundamento da gravidade. A utilização sistêmica de planos inclinados é recorrentemente rememorada na história da ciência. Um objeto esférico que era arremessado de baixo para cima em um plano inclinado desaceleraria não por perder o seu *impetus*, mas por afastar-se do centro da terra. Por outro lado, um objeto que era colocado a descer um plano inclinado tendia a aumentar a sua velocidade cada vez que mais se aproximava do centro de gravidade terrestre. É por isso que o verdadeiro movimento uniforme para Galileu era o movimento circular uniforme, porque a gravidade era a mesma em todos os pontos (uniformidade percebida enquanto atributo da perfeição circular) (PORTO; PORTO, 2009). O movimento circular, entretanto, não podia ser obtido naturalmente sem um movimento retilíneo anterior, como podemos depreender através de Salviati no *Diálogo*:

Mas o movimento pela linha horizontal, que não é declive nem aclave, é movimento circular em torno do centro: o movimento circular, portanto, nunca será adquirido naturalmente sem o precedente movimento reto, mas uma vez adquirido, ele continuará perpetuamente com velocidade uniforme (GALILEI, 2004, p. 109).

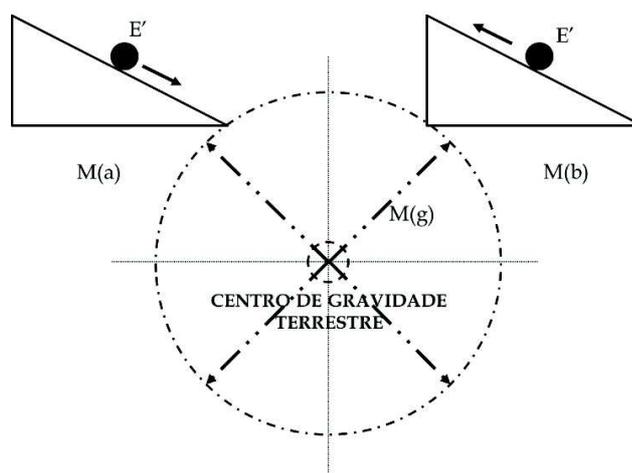
A Figura 3 representa de modo muito simples as experiências com o plano inclinado de Galileu, a partir do diálogo entre Salviati e Simplicio. Em M(a) temos um plano inclinado no qual a esfera E' desce o plano inclinado, aumentando a sua velocidade na medida em que se aproxima, cada vez mais, do centro de gravidade terrestre. Ao contrário, em M(b), a mesma esfera E' que é lançada de baixo para cima em um plano inclinado tende a perder sua velocidade até o valor zero,

---

<sup>5</sup> Aparentemente Lippershey foi o primeiro a patentear o projeto de telescópio. Galileu criou o seu próprio instrumento depois de tomar conhecimento da invenção do holandês

pois está afastando-se do centro de gravidade terrestre; momento no qual retorna e transforma-se em M(a). A uniformidade atribuída à perfeição circular explicava como a gravidade era a mesma em todos os pontos da superfície terrestre, como indicado em M(g) (o que inviabilizaria o movimento retilíneo infinito).<sup>6</sup>

**Imagem 3:** Esquema dos planos inclinados de Galileu e sua relação com a gravidade



(Elaboração própria)

A grande “novidade”, por assim dizer, do princípio de inércia de Galileu se deu pela relação entre estado de movimento e sistema de referência. Tratava-se de uma brusca ruptura com o movimento aristotélico enquanto processo: o movimento passava a ser concebido como atributo relativo. Movimento e repouso dependiam exclusivamente da descrição de um observador. De certa forma, eram os estados que mudavam e não o corpo: era este o princípio de relatividade de Galileu (POLITO, 2015).

Galileu defendia que para que o movimento se propagasse não seria necessária a ação de uma força motriz contínua para promover o movimento (em Aristóteles na medida em que o movimento violento cessava ele tendia a se transformar em movimento natural). Para Galileu, ao contrário, bastava que nada houvesse no caminho que pudesse obstruir o movimento que ele, por si só, se prolongaria ao infinito. É importante mencionar que o movimento natural não possuía

---

<sup>6</sup> O conceito de força da gravidade, entretanto, aparecerá apenas depois dos estudos de Newton (diretamente proporcional às massas dos corpos e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os corpos). A teoria geral da relatividade de Einstein explicará o fenômeno como uma consequência da curvatura espaço vs. tempo que regula o movimento dos objetos. Se levarmos ao extremo a concepção de Galileu, um movimento retilíneo na esfera terrestre deveria se dar sob a superfície, pois, se estivesse tangente, tocaria a superfície da Terra em um único ponto, afastando-se, em ambas as extremidades, do centro de gravidade terrestre e diminuindo, pois, sua velocidade (POLITO, 2015; PORTO; PORTO, 2009).

para Galileu o mesmo sentido que tinha para Aristóteles, porque na Física galilaica, como dissemos acima, o movimento não fazia parte da natureza do corpo, era algo exterior a ele, que não o afetava nem o modificava (BALOLA, 2010). Alexandre Koyré (1986) nos lembra de que o movimento nunca revelava – nem exprimia de modo imediato – a natureza do móvel. Os termos “natural” e “violento” só poderiam ser distinguidos entre os movimentos que se faziam por si mesmos (e.g. queda) e aqueles que um corpo só poderia fazer em virtude de uma ação exterior (e.g. arremesso).

Um corpo, por si só, não possuía inclinação natural nem para o repouso (defesa do alemão Johannes Kepler (séc. XVI-XVII)) nem para o movimento horizontal, porque nada havia no corpo que o inclinasse para qualquer um desses estados. Ora, Raquel Balola (2010) aponta que, ao juntar na noção de estado o movimento e o repouso, Galileu separou de vez o movimento da natureza dos corpos. O corpo poderia ser indiferente ao seu estado de movimento ou de qualquer um desses estados. Se, pois, somos indiferentes ao movimento, podemos estar nos movendo a uma enorme velocidade sem nos darmos conta. Tratava-se de uma explicação mais robusta que a de Copérnico que, no entanto, reafirmava-o. Galileu teria resolvido a questão do movimento dos projéteis através de uma análise na qual, juntamente com o princípio da inércia, apareceria o princípio da composição dos movimentos ou da independência dos efeitos das forças (DUGAS, 1955). Como lembrado por Koyré (1986), escapava a Galileu a causa da queda dos corpos: desconhecia o conceito de gravidade e era impossível utilizar as hipóteses e convicções dele decorrentes. Concebe, portanto, seu conceito de inércia de uma perspectiva de inércia circular, já que de certa forma baseava-se na experiência astronômica do movimento circular dos planetas. Os trabalhos de Galileu mostram “a persistência natural, ou mais precisamente, a situação privilegiada do movimento *circular*” (KOYRÉ, 1986, 256, grifo do autor). E talvez dessa observação cotidiana que fazia dos movimentos circulares dos planetas é que tenha tido a visão obstruída da possibilidade da gravidade<sup>7</sup>.

A lei da inércia, enquanto pensamos em partículas livres que se movem uniformemente em linhas retas em relação a um sistema inercial, não poderia ter sido formulada, com toda essa clareza e completude, por Galileu. Uma das razões, talvez a mais importante quando pensamos no contexto histórico, é que o conceito de sistema inercial ainda não estava plenamente disponível na época (PFISTER; KING, 2015). Por outro lado, já estava bem estabelecido a Galileu que um corpo livre de qualquer influência externa mantinha sua velocidade horizontal constante (ainda que a

---

<sup>7</sup> Para uma perspectiva crítica a esta recorrente interpretação, ver: Vasconcelos, 2005.

defesa pelo movimento circular uniforme estivesse atrelada a este entendimento). Ele combinou, inclusive, esse movimento constante horizontal com a sua lei de queda livre, aplicando a regra do paralelogramo<sup>8</sup>, elucidando assim o caminho parabólico de um corpo projetado.

O fato do conceito de inércia galilaico ser imperfeito acabou por afetar o seu desenvolvimento de uma cinemática matemática. Rupert Hall (1965) suspeita que essa compreensão dependia inteiramente da lei da aceleração, da qual Galileu já havia derivado muitos teoremas antes mesmo de haver obtido sua justificativa final. De fato, em abril de 1607 uma carta de Benedetto Castelli nos assegura que Galileu possuía uma “doutrina” de movimento que ensinou a seus discípulos, da qual Castelli mencionava, de modo específico, um princípio inercial: “uma força é necessária para iniciar o movimento, mas, para continuar, a ausência de resistência é suficiente”<sup>9</sup> (HALL, 1965, p. 192).

A cinemática de Galileu, ainda que não tenha traçado um caminho seguro e completo, acabou se tornando a chave da dinâmica no século XVII. Embora seja muito provável que o próprio Galileu nunca tenha pensado exatamente nesses termos – o que seria puro exercício de anacronismo assim refletirmos – o que ele forneceu foi um esqueleto matematicamente preciso do que a dinâmica era para se materializar com o conceito de forças. Isaac Newton notaria isso mais tarde, percebendo que a cinemática identificava e quantificava os processos físicos básicos: a tarefa da dinâmica era tomar esses processos adequadamente identificados e quantificados e associá-los aos tipos necessários de força ou de estado inercial (GAUKROGER; SCHUSTER; SUTTON, 2000).

Ao menos desde o final do século XIX a produção da história da ciência tendeu a compreender o conceito de inércia de Galileu como o desenvolvimento natural e lógico da teoria medieval do *impetus*; isso, mais contemporaneamente, tem sido sistematicamente revisto. Tanto as leis do movimento dos planetas de Kepler como a lei da queda livre de Galileu teriam auxiliado Newton a produzir derivações matemáticas e demonstrações de resultados derivados de seus predecessores a partir de longos estudos, experimentos e observações (DRAKE, 1964).

### **Descartes: entre o estado e o *quantum in se est***

---

<sup>8</sup> A regra do paralelogramo é uma propriedade da Geometria que relaciona a soma do quadrado dos lados de um paralelogramo com a soma do quadrado de suas diagonais. A grande “vantagem” da regra é a sua possível generalização para qualquer espaço vetorial.

<sup>9</sup> Do original: “a mover is necessary to commence a motion, but to continue it absence of resistance is enough”.

René Descartes (1596-1650), talvez o maior expoente da revolução científica, foi o responsável pela completa reformulação da filosofia natural, lançando novas bases metafísicas, epistemológicas e metodológicas. Empregou, para isso, o método da dúvida radical e sistemática levando o racionalismo, por vezes, ao extremo. Para ele, ao contrário da metafísica do sensível de Aristóteles, era necessário duvidar dos sentidos. Não existia, no universo cartesiano, espaço vazio. Havia, entretanto, a identificação entre espaço e matéria; matéria inerte na qual só poderiam existir propriedades primárias. Nessa reformulação foram eliminadas as noções de causalidade formal, ato e potência (POLITO, 2015). Todo o conhecimento, no viés do pensamento racionalista, se obteria de forma dedutiva (o único atributo da matéria era a sua extensão). Diametralmente oposto à Física aristotélica, o movimento seria visto por Descartes enquanto estado (PORTO; PORTO, 2009).

Os sistemas racionalistas do século XVII, na busca por uma “verdade” do conhecimento, fizeram com que o mundo das ideias e o mundo dos objetos entrassem em sintonia perfeita (em uma mesma *camada primitiva do ser*). De acordo com Cassirer:

A razão como sistema de ideias claras e distintas e o mundo como totalidade do ser criado não podem separar-se um do outro em nenhum ponto: cada um desses dois planos do ser [ser corpóreo e ser pensante] oferece tão somente expressões e representações diversas de uma mesma e única substancialidade (CASSIRER, 1992, p. 138).

Não existia na concepção cartesiana um conhecimento verdadeiro sobre as coisas. Todas as qualidades sensíveis (cor, cheiro, som, etc.) só nos evidenciavam o estado da alma. É por isso que chegar ao conhecimento da Natureza dependia de reduzirmos a matéria à pura extensão (CASSIRER, 1992). Em *O Mundo ou Tratado da Luz*, Descartes reduziu todos os fenômenos à variação dinâmica da matéria (grossura e movimento) e à variação geométrica (disposição espacial dos corpos e figura) (DESCARTES, 2008). Nessa completa revisão da Filosofia, o francês estabeleceu três regras para as leis da natureza de um “mundo novo”. A primeira delas dizia que cada parte da matéria, tomada individualmente, continuava sempre no mesmo estado enquanto ela não encontrasse outra parte que lhe constrangesse a mudar. Tratava-se de uma definição de inércia muito próxima à contemporânea. De fato, para a Física cartesiana, repouso e movimento eram um estado puramente contingente da matéria (ou seja, podiam ou não acontecer) e não propriedades intrínsecas a certos objetos.

A segunda regra dizia que quando um corpo empurrava outro corpo, ele só lhe transmitia movimento caso ele perdesse, simultaneamente, de seu próprio movimento; assim como ele não poderia retirar o movimento do outro corpo senão aumentando o seu próprio movimento. Aqui

há um ponto inescapável com relação à conservação da quantidade de movimento: para Descartes, desde o primeiro instante da criação do mundo, a imutabilidade de Deus era aquilo que produzia sempre o mesmo efeito. A terceira e última regra mencionava, por sua vez, que ainda que o movimento de um corpo se fizesse mais frequentemente em linha curva e que esse corpo não pudesse jamais fazer nenhum movimento que não fosse de algum modo circular, então cada uma de suas partes em particular tendia sempre a continuar o seu movimento em linha reta (DESCARTES, 2008).

É importante mencionar que no momento em que Descartes se dedicava ao *Do vazio e da origem do fato de que nossos sentidos não percebem certos corpos*, assumia que todos os movimentos que eram realizados no mundo eram, de algum modo, circulares. Como não existia vazio<sup>10</sup>, quando um corpo deixava o seu lugar, ele ocupava o lugar de outro e assim por diante. A quantidade de movimento, entretanto, não era uma grandeza vetorial no universo cartesiano<sup>11</sup>.

Em *Descartes Among the Scholastics*, Roger Ariew (2011) mostra que a introdução do espaço vazio no universo cartesiano teria consequências indesejáveis. O espaço vazio perturbava a continuidade do movimento etéreo. Sébastien Basso (séc. XVI) rejeitava o vazio: a natureza abominava o vácuo. Descartes, por sua vez, não se deixaria influenciar pelos tipos de consideração que eram relevantes a Basso (o restabelecimento da Filosofia dos antigos eclipsada por Aristóteles, a defesa do atomismo e, por conseguinte, a necessidade de rejeitar as formas substanciais e reais da geração). O embate com o *gassendismo*<sup>12</sup> era evidente. Gassendi, de fato, defendia que qualquer corpo, livre de influências externas, deveria seguir um caminho retilíneo em velocidade uniforme. Ao contrário da Filosofia mecânica de Descartes, seu atomismo se dava em moldes epicuristas e, por assim dizer, defendia inescapavelmente a existência do espaço vazio. A gravidade era vista, inclusive, como uma força externa, um movimento sob a ação da gravidade era um movimento violento ao invés de natural. Alexandre Koyré (2006) aponta que Descartes não se contentou em afirmar (como o fizeram Bruno e Kepler) que não existia espaço vazio no mundo; foi além e negou que existia um “espaço”, uma entidade de “matéria” que o “preenchia”.

---

<sup>10</sup> De fato, para Descartes o vazio era uma mera “quimera”. Nos diz: “não saberíamos sentir nenhum corpo se ele não causasse alguma mudança nos órgãos de nossos sentidos, isto é, se não removessem as pequenas partes da matéria a partir das quais esses órgãos são compostos” (DESCARTES, 2008, p. 39).

<sup>11</sup> Newton definiria a quantidade do movimento como a medida do mesmo, provida conjuntamente da velocidade e da quantidade da matéria (NEWTON, 1983).

<sup>12</sup> Escola de pensamento derivada do filósofo e matemático francês Pierre Gassendi (1593-1655).

O princípio de inércia em Descartes enfatizava a relação entre o movimento e o agente causal: não era necessária uma força para produzir o movimento retilíneo e uniforme. As causas do movimento eram os próprios corpos: como o universo não era vazio, tudo se dava através das colisões. Assim, na Física cartesiana, a razão da conservação dos estados dos corpos está assentada em uma lei geral, num princípio metafísico que lhe é próprio (BALOLA, 2010). A lei suprema do universo cartesiano é a lei da persistência: aquilo que é, perdura (KOYRÉ, 1986). De fato,

na concepção cartesiana, o repouso e o movimento são a qualidade da matéria, já que qualquer parte da matéria tem tendência a conservar o seu estado de repouso ou de movimento. Mas para isso é preciso que nenhuma outra parte venha impedir essa tendência para a conservação (BALOLA, 2010, p. 79).

Na primeira lei do movimento de Descartes, a quantidade de movimento conservada na colisão era definida como a soma dos produtos individuais do tamanho e velocidade dos corpos impactados. O tamanho do corpo correspondia ao seu volume e à sua área superficial<sup>13</sup>. Existia, portanto, uma sofisticada tentativa de integrar os diversos fatores envolvidos no movimento inercial dos corpos em uma fórmula única (SLOWIK, 2002). William Hine (1995), entretanto, alerta que parte da academia tem preferido se referir à contribuição de Descartes como “conservação do movimento” ao invés de inércia, já que a teoria da inércia configura-se como uma família de estatutos, definições e regras que dependiam de seu contexto de produção (como em Galileu, seria anacrônico pensarmos nesses termos).

Entretanto, há indicativos importantes na história da ciência de que Newton, de modo indubitável, teria apreendido a inércia a partir das obras de Descartes. A semelhança entre os autores encontra-se não apenas na ideia, mas na linguagem utilizada para descrevê-la. Ambos consideraram o movimento como um estado; de fato, utilizaram o termo *quantum in se est* ao descrever a teoria da inércia enquanto lei. Para Bernard Cohen (1964) a mais significativa mudança sobre o movimento natural veio justamente quando Descartes alterou o sentido do termo, implicando que o “natural” era o corpo manter o seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme, estivesse se movendo horizontal ou verticalmente.

---

<sup>13</sup> Lembremo-nos, pois, que as variáveis de Descartes são quatro: (a) grossura (grandeza ou tamanho); (b) figura; (c) movimento (velocidade) e (d) força. Os três elementos cartesianos possuem diferentes composições dessas variáveis. O fogo é o mais sutil e o mais penetrante do mundo (as suas partes são diminutas e movem-se muito mais rápido que as de outros corpos). Suas partes mudam de figura a todo o momento. O elemento ar é um líquido muito sutil cujas partes são razoavelmente redondas e extremamente unidas. Não pode ser tão puro em nenhum lugar do mundo. O elemento terra, por sua vez, é feito de partes grossas que se movem em uma velocidade muito reduzida. A variação das partículas no universo cartesiano se dá pela grandeza e pela velocidade (DESCARTES, 2008).

Não podemos fugir à confusão entre a afirmação de Descartes de que todos os movimentos realizados no mundo eram de algum modo circulares e sua terceira regra das leis da natureza, no qual afirmava que o movimento de um corpo tendia a continuar o seu movimento em linha reta. Ao mesmo tempo em que argumentava que o único tipo de movimento inercial consistia no retilíneo também assumia aquilo que parecia ser uma forma de inércia circular tal qual em Galileu. Com relação à colisão (segunda regra), na qual nos assegura de que um corpo móvel menor em colisão com um corpo maior em estado estacionário jamais moveria o maior, algo contradiz imediatamente nossas intuições empíricas sobre o que ocorre na verdade, e que não parece ter nenhuma razão cinemática de natureza óbvia (GAUKROGER; SCHUSTER; SUTTON, 2000).

Indo um pouco mais longe, Richard Blackwell (1966) mostra que Descartes estava plenamente ciente de que um corpo em repouso tendia a ficar em repouso e resistia, inclusive, a ser colocado em movimento. Se os corpos deviam entrar de forma significativa na sua descrição de colisão, ele teria, de algum modo, que calcular a resistência ao movimento. Para isso, utilizou a noção do que hoje denominamos quantidade de repouso. Essa quantidade era designada como uma função do tamanho ou volume espacial em uma Física tal cujos únicos princípios, como vimos, eram a extensão e o movimento. Embora sejam semelhantes às duas primeiras leis da natureza de Descartes e de Newton enquanto pronunciadas, as diferenças teóricas são colossais. Um corpo preservava seu estado de movimento em repouso em Descartes porque isso era uma exigência imediata da imutabilidade de Deus. Em Newton, o mesmo valia em razão da massa do corpo. Enquanto em Descartes a razão era puramente externa, em Newton era interna, puro fruto do mundo material. Uma vez que a matéria cartesiana era extensão, qualquer modificação dessa estrutura reformularia, de modo imediato, toda a sua Física e Metafísica.

### **Considerações finais**

Thomas Kuhn aponta que as “revoluções científicas são os complementos desintegradores da tradição à qual a atividade da ciência normal<sup>14</sup> está ligada” (KUHN, 1998, p. 24). A observação e a experiência constituem alicerce fundamental da ciência, mas não podem sozinhas, de acordo com o físico e filósofo, determinar um dado conjunto de crenças semelhantes. Galileu e Descartes, por caminhos ora semelhantes ora díspares impuseram rupturas e continuidades que não podem ser descoladas do contexto do qual ativamente participaram.

---

<sup>14</sup> “[...] atividade na qual a maioria dos cientistas emprega inevitavelmente quase todo seu tempo, é baseada no pressuposto de que a comunidade científica sabe como é o mundo” (KUHN, 1998, p. 24).

Tanto Galileu como Descartes enfatizaram a relação entre o movimento e o sistema de referência. Entretanto, enquanto o princípio de inércia cartesiano era dinâmico (princípio da conservação da quantidade de movimento) em Galileu isso se desenvolveu pela via cinemática, ainda que não se utilizassem dessas ciências da mesma forma que hoje as utilizamos.

Como uma causa secundária da mudança natural (sendo Deus a causa primária), a primeira lei de Descartes lançou as bases da perseverança de um corpo em um estado de repouso ou de movimento. A força associada, quantificada em termos de dados relativos ao próprio estado do corpo, era ou uma força que mantinha o estado ou uma força concorrente em interações corporais. A primeira lei de Newton definia como causa dessa perseverança (movimento ou repouso) a relutância do corpo em adotar outro estado como sendo expresso conjuntamente pela resistência às forças inerciais e impressas, quantificadas em termos de dados relativos, também, à mudança de estado. Enquanto descrição, ambas as formulações são coincidentes. As funções contextuais, entretanto, diferem-se grandemente. O significado da natureza dos princípios emergia não apenas do reconhecimento das situações que poderiam descrever, mas também de uma apreciação das funções que lhes eram destinadas por seus criadores (GAUKROGER, 1980). Assim, devemos atentar para o que os princípios faziam, não só para o que eles diziam. Um processo de compreensão, portanto, oposto ao de Galileu.

Especula-se que só tenha sido possível a Galileu unificar a Física à Astronomia – talvez uma de suas maiores conquistas – a partir da questão da inércia dos movimentos circulares. Evidentemente, até a elaboração final do conceito de inércia (primeira lei de Newton), uma série de dificuldades ainda necessitava ser superada. Descartes reconheceu a inércia como uma lei fundamental da natureza – ainda que este reconhecimento não fosse pleno – que se dava em um movimento retilíneo e generalizado sobre a Terra (não existiam espaços vazios). O passo seguinte seria dado por Newton, associando a inércia à massa como quantidade de matéria (ROSSI, 2001).

De tudo exposto, fica mais clara a exposição de Alexandre Koyré (1986) de que a Física de Descartes é a Física das colisões (afinal, não existe espaço vazio, tudo é choque); a Física de Galileu é a Física da gravidade (é a proximidade ou não do centro de gravidade terrestre a baliza do movimento); e a Física de Newton é a física da força (a força inata da matéria é um poder de resistir).

#### **Referências bibliográficas:**

ARIEW, Roger. **Descartes Among the Scholastics**. Leiden; Boston: Brill, 2011.

ARISTÓTELES. **Sobre a geração e a corrupção.** Tradução de Francisco Chorão. Lisboa: Imprensa Nacional; Casa da Moeda, 2009.

BALOLA, Raquel. **Princípios matemáticos da filosofia natural: a lei de inércia.** Dissertação (Mestrado)—Lisboa: Universidade de Lisboa, Faculdade de Letras, Departamento de Estudos Clássicos, 2010.

BLACKWELL, Richard J. Descartes' Laws of Motion. *Isis*, v. 57, n. 2, p. 220–234, 1966.

CASSIRER, Ernst. Psicologia e teoria do conhecimento. In: **A filosofia do iluminismo.** Tradução de Álvaro Cabral. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1992.

COHEN, I. Bernard. “Quantum in Se Est”: Newton's Concept of Inertia in Relation to Descartes and Lucretius. *Notes and Records of the Royal Society of London*, v. 19, n. 2, p. 131–155, 1964.

DESCARTES, René. **O Mundo ou Tratado da Luz.** Tradução de Érico Andrade. São Paulo: Hedra, 2008.

DRAKE, Stillman. Galileo and the Law of Inertia. *American Journal of Physics*, v. 32, p. 601–608, 1964.

DUGAS, René. **A history of mechanics.** Tradução de J. R. Maddox. London: Routledge & Kegan Paul LTD., 1955.

FEYERABEND, Paul. **Contra o método.** Tradução de Octanny Silveira Da Mota e Leonidas Hegenberg. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1977.

GALILEI, Galileu. **Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano.** Tradução de Pablo Rubén Mariconda. 2. ed. São Paulo: Discurso Editorial; Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2004.

GALILEI, Galileu. **Sidereus Nuncius: O Mensageiro das Estrelas.** Tradução de Henrique Leitão. 3. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2010.

GAUKROGER, Stephen (org). **Descartes: Philosophy, Mathematics and Physics.** Sussex; New Jersey: The Harvester Press; Barnes & Noble Books, 1980.

GAUKROGER, Stephen; SCHUSTER, John; SUTTON, John (orgs.). **Descartes' Natural Philosophy.** London and New York: Routledge, 2000.

GEYMONAT, Ludovico. **Galileu Galilei.** Tradução de Eliana Aguiar. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

GRASSHOFF, Gerd. **The history of Ptolemy's star catalogue.** New York: Springer-Verlag New York, Inc., 1990.

HALL, A. Rupert. Galileo and the Science of Motion. *The British Journal for the History of Science*, v. 2, n. 3, p. 185–199, 1965.

HINE, William L. Inertia and Scientific Law in Sixteenth-Century Commentaries on Lucretius. *Renaissance Quarterly*, v. 48, n. 4, p. 728–741, 1995.

HOFFMAN, Yehuda et al. The dipole repeller. *Nature Astronomy*, v. 1, n. 36, p. 1–5, 2017.

KOYRÉ, Alexandre. **The Astronomical Revolution: Copernicus, Kepler, Borelli.** Tradução de R. E. W. Maddison. Paris; London; New York: Hermann; Methuen; Cornell University Press, 1973.

- KOYRÉ, Alexandre. **Estudos de história do pensamento científico**. Tradução de Márcio Ramalho. Rio de Janeiro; Brasília: Forense Universitária; Editora da Universidade de Brasília, 1982.
- KOYRÉ, Alexandre. **Estudos Galilaicos**. Tradução de Nuno Ferreira Da Fonseca. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1986.
- KOYRÉ, Alexandre. **Do mundo fechado ao universo infinito**. Tradução de Donaldson M. Garschagen. 4. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2006.
- KUHN, Thomas. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 5. ed. São Paulo: Perspectiva, 1998.
- MARICONDA, Pablo Rubén. Galileu e a ciência moderna. **Cadernos de Ciências Humanas - Especiaría**, v. 9, n. 16, p. 267–292, 2006.
- NEWTON, Isaac. **Princípios matemáticos; Óptica; O peso e o equilíbrio dos fluidos**. Tradução de Carlos Lopes De Mattos. 2. ed. São Paulo: Abril Cultural, 1983.
- PFISTER, Herbert; KING, Markus. **Inertia and Gravitation: The Fundamental Nature and Structure of Space-Time**. Switzerland: Springer International Publishing Switzerland, 2015. v. 897.
- POLITO, Antony Marco Mota. Galileu, Descartes e uma Breve História do Princípio de Inércia. **Physicae Organum: Revista dos Estudantes de Física da Universidade de Brasília**, v. 1, n. 1, 2015.
- POPPER, Karl. O problema da teoria do método científico. In: **A lógica da pesquisa científica**. Tradução de Leonidas Hegenberg e Octanny Silveira Da Mota. São Paulo: Cultrix, 1972.
- PORTO, C. M.; PORTO, M. B. D. S. M. Galileu, Descartes e a elaboração do princípio da inércia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 4, p. 4601–4610, 2009.
- REALE, Giovanni; ANTISERI, Dario. **História da Filosofia: Antiguidade e Idade Média**. 3. ed. São Paulo: Paulus, 1990. v. 1.
- ROSA, Carlos Augusto de Proença. **História da ciência: a ciência moderna**. 2. ed. Brasília: FUNAG, 2012. v. 2.
- ROSSI, Paolo. **O nascimento da ciência moderna na Europa**. Tradução de Antonio Angonese. Bauru, SP: EDUSC, 2001.
- RUSSEL, Bertrand. **História da Filosofia Ocidental: livro terceiro**. Tradução de Brenno Silveira. 3. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1968.
- SEGRE, Michael. O papel do experimento na física de Galileu. **Caderno de Física da UEFES**, v. 6, n. 1 e 2, p. 87–114, 2008.
- SLOWIK, Edward. **Cartesian Spacetime: Descartes' Physics and the Relational Theory of Space and Motion**. London and New York: Springer Netherlands, 2002.
- VASCONCELOS, Júlio Celso Ribeiro de. Galileu contra a inércia circular. **Sci. stud.**, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 395–414, 2005.