

ESTADO DE REPOUSO E ESTADO DE MOVIMENTO: UMA REVOLUÇÃO CONCEITUAL DE DESCARTES

CAPÍTULO 11

Roberto de Andrade Martins

Introdução

A primeira lei do movimento, de Newton, ou *lei da inércia* foi publicada pela primeira vez em 1687, sob a seguinte forma: “Todo corpo persevera em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma direção, a menos que compelido a mudar seu estado por uma força impressa” (NEWTON, 1687, p. 12).

Até hoje, é comum utilizarmos formulações muito parecidas, também introduzindo os conceitos de *estado de repouso* e *estado de movimento*. Estamos tão acostumados a utilizar essa nomenclatura, que não prestamos muita atenção a essas expressões, que são, no entanto, de grande importância para uma correta compreensão da primeira lei de Newton. Poucos sabem que esses conceitos foram introduzidos por René Descartes, e não por Newton.

Neste trabalho, vamos analisar, primeiramente, a relação histórica entre o pensamento de Newton e a filosofia de Descartes, mostrando a forte influência que o segundo exerceu sobre o primeiro. Depois, analisaremos o modo como Descartes formulou suas primeiras *leis da natureza* e a introdução do conceito de *estado de movimento*. Então, retornando a Newton, analisaremos as principais semelhanças e diferenças entre a concepção cartesiana e a newtoniana. Por fim, discutiremos como a compreensão histórica do conceito de *estado de movimento* e da abordagem de Descartes pode contribuir para o ensino da Mecânica.

Newton, Galileo e o ímpeto

Mesmo quem lê com atenção a obra de Newton poderá não encontrar qualquer indício de que ele foi fortemente influenciado por Descartes. Nos *Principia*, depois de apresentar as suas três leis do movimento e alguns corolários, Newton introduziu um comentário geral (*scholium*) em que atribuiu as duas primeiras leis a Galileo: “Pelas duas primeiras leis e pelos dois primeiros corolários, Galileo descobriu que a queda dos corpos está na razão dupla do tempo e que o movimento dos projéteis é realizado em uma parábola” (NEWTON, 1687, p. 20), no entanto, não foi a partir do estudo de Galileo que Newton chegou à lei da inércia; e não se pode dizer que o matemático italiano tivesse realmente chegado a essa lei, em suas obras.

A mecânica galileana não é igual à de Newton. Galileo manteve as categorias aristotélicas de movimento violento e natural, e a distinção filosófica entre movimentos retilíneos e circulares, afirmando que apenas os movimentos circulares são naturais, perpétuos e perfeitos (ver: Westfall, 1972, p. 187; Martins, 1998; Franklin, 1976a, p. 540-542).

Embora popularmente se costume afirmar que Galileo foi o primeiro a apresentar a lei da inércia, uma análise cuidadosa mostrou que, na maior parte dos casos em que ele parece utilizar essa lei, ele apenas concebia uma tendência dos corpos de continuarem um movimento *circular*, e não retilíneo (COHEN, 1964, p. 133; DUTTON, 1999, p. 54). Em outros casos, como ao descrever o movimento de projéteis, Galileo utilizou o conceito medieval de *ímpeto* (Westfall, 1972, p. 185; Franklin, 1976a, pp. 536, 538, 540). “O papel que o *impetus* desempenhou na dinâmica de Buridan é exatamente o mesmo que Galileo atribuiu ao seu *ímpeto* ou *momento*” (DUHEM, 1990, p. 194, grifo do autor). Em outros momentos, Galileo introduziu algo que costuma ser chamado atualmente de *inércia circular*.¹

O conceito de ímpeto, que influenciou fortemente tanto Galileo quanto o próprio Newton, tem uma longa história, que não pode ser descrita aqui.² Muitos autores sugeriram diferentes versões da ideia de que um projétil continua a se mover por causa de algum poder interno.

Tais propostas surgiram na Antiguidade (com Hiparco?)³ e foram reaparecendo até o final da Idade Média, tendo sido defendidas por Philoponus, Avicenna, Franciscus de Marchia e outros autores (FRANKLIN, 1976a, p. 531-535). Um dos mais importantes foi Jean Buridan (aprox. 1300-1358), que produziu uma visão original e muito bem argumentada de um poder interno de movimento, dando-lhe o nome de *ímpeto*. De acordo com Buridan e outros autores medievais, é necessário dar uma causa para a continuação do movimento de um projétil depois do seu lançamento, porque se não houvesse uma causa para que ele continuasse a se mover, ele pararia. Essa causa, o ímpeto, seria interna – um princípio de movimento que o corpo recebe da mão ou instrumento que o lançou.

No século XVI, circulavam na Itália várias versões do conceito de ímpeto, tais como as utilizadas por Giambattista Benedetti e por Giordano Bruno; elas são muito semelhantes à ideia utilizada por Galileo no século seguinte (KOYRÉ, 1966, p. 47-106). A ideia era bem conhecida na época de Newton, e certamente teve alguma influência sobre seu conceito de inércia; mas essa não foi a principal influência no surgimento da sua primeira lei do movimento.

¹ Muitos autores atribuíram esse conceito a Galileo (Koyré, 1965, p. 67-68; Koyré, 1966, 205-290; Dijksterhuis, 1986, p. 347-352; Franklin 1976b, p. 58-62, 84-87; Shea, 1972, p. 116-138; Shapere, 1974, p. 87-121; Feyerabend, 1993, cap. 7, p. 65-76, esp. 73-76). Alguns historiadores, como Stillman Drake, negaram essa interpretação, mas parece-me que ele estava equivocado.

² Foi Pierre Duhem, em seus *Études sur Léonard da Vinci* (Duhem, 1913), quem primeiro chamou a atenção para os estudos medievais sobre conceitos semelhantes ao do ímpeto, de Johann Philoponus (século VI d.C.) a Jean Buridan (século XIV), mostrando como essas ideias levaram gradualmente à dinâmica de Galileo e de outros autores dos séculos XVI e XVII (MENN, 1990, p. 216).

³ Não há um acordo geral a respeito de quem apresentou pela primeira vez uma ideia semelhante à teoria do ímpeto de Buridan (FRANCO, 2003, p. 525). Diferentes autores alegam que a primeira proposta apareceu nas obras de Hiparco de Nicaea (século II a.C.), ou de Alexandre de Aphrodisias (século III d.C.), Themistius (século IV), Johann Philoponus ou Simplicius (século VI).

A influência de Descartes

Os historiadores da ciência identificaram o período da vida de Newton em que ele chegou à primeira formulação de sua lei da inércia. Isso ocorreu, provavelmente, em janeiro de 1665 (WHITESIDE, 1970, p. 10), quando tinha 22 anos de idade. Pode-se determinar essa época por meio de um caderno de anotações de Newton, que contém suas ideias sobre dinâmica escritas entre setembro de 1664 e início de 1665 (HERIVEL, 1965, p. 129; WHITESIDE, 1991, p. 12). Nessa época, ele ainda era estudante da universidade de Cambridge.

Nessa época, o ensino ainda seguia o currículo medieval do *trivium* e do *quadrivium* (WHITESIDE, 1970, p. 6), com estudos humanísticos básicos de lógica, gramática e retórica complementados por disciplinas de Aritmética, Geometria, Astronomia e Música. Sabe-se que Newton estudou idiomas clássicos (Latim e Grego e, talvez, Hebraico), alguns dos filósofos clássicos (especialmente Aristóteles) e alguns comentadores, como Johannes Magirus. Além daquilo que a universidade lhe proporcionava, ele estudou por conta própria Matemática avançada, Óptica, Astronomia e Filosofia, inteirando-se dos avanços mais recentes dessas áreas. De acordo com as anotações mantidas pelo próprio Newton, sabe-se que durante o ano de 1664 ele estudou obras de René Descartes, Robert Boyle, Joseph Glanvil, Walter Charleton, Thomas Hobbes e Henry More (WHITESIDE, 1970, p. 7).

Sob o ponto de vista do desenvolvimento de suas ideias a respeito de mecânica, a leitura que mais influenciou Newton nessa época foi a da obra *Philosophiae principia*, de Descartes. Estimulado por esse estudo, em janeiro de 1665, o jovem estudante preencheu mais de dez páginas do caderno de anotações que denominou *Waste book*⁴ com seus pensamentos a respeito das leis do movimento, tomando como ponto de partida as *leis da natureza cartesianas* (WHITESIDE, 1970, p. 10; WHITESIDE, 1991, p. 13). As primeiras ideias, sob a forma de *axiomas e proposições*, ainda não apresentavam uma forma semelhante à que conhecemos, dividindo aquilo que chamamos de *lei da inércia* em duas partes:

- » Axiomas, e proposições.
- 1) Uma vez que uma quantidade se move, ela nunca parará a menos que seja impedida por alguma causa externa.
- 2) Uma quantidade sempre se moverá na mesma linha reta (não mudando a determinação nem a rapidez de seu movimento) a menos que alguma causa externa a desvie. (HERIVEL, 1965, p. 141).

⁴ Os escritos dinâmicos do *Waste book* de Newton foram publicados pela primeira vez por John Herivel (1965, p. 128-182).

Logo adiante, no mesmo caderno de anotações, Newton reformulou sua ideia, que apresentou como o *axioma 100*:

Ax. 100. Toda coisa deve perseverar naturalmente naquele estado no qual está, a menos que seja interrompida por alguma causa externa, daí os axiomas 1º e 2º. Um corpo, uma vez movido, manterá sempre a mesma velocidade, quantidade e determinação de seu movimento. (WHITESIDE, 1991, p. 38; HERIVEL, 1965, p. 153).

Esse *Axioma 100* é a mais antiga versão que conhecemos daquilo que depois se tornou sua primeira lei do movimento. Assim, Newton fundiu em um só axioma as ideias que apareciam inicialmente sob a forma de duas proposições; e nesta segunda formulação, introduziu a ideia de que o corpo procura permanecer no mesmo *estado* em que se encontra – uma ideia que, como veremos, ele tirou de Descartes.

Antes de estudar a obra de Descartes, Newton já sabia que um corpo tende a manter seu movimento; mas ele tinha uma concepção semelhante ao conceito de ímpeto, pois supunha que era necessária uma *força interna* para manter um corpo em movimento uniforme (WESTFALL, 1983, p. 144, 146). E mesmo depois de adotar as ideias de Descartes, Newton continuou a pensar sobre uma força interna nos corpos, aparentemente sem perceber que isso era incompatível com a conceituação de Descartes, pois no mesmo *Waste book* ele escreveu:

A força que o corpo tem para se preservar no seu estado será igual à força que o colocou naquele estado; não maior, pois não existe nada no efeito que não estava na causa, nem menor, porque a causa só perde sua força ao comunicá-la ao seu efeito, e não existe razão pela qual não deve estar no efeito o que foi perdido na causa. (WESTFALL, 1983, p. 146).

Em escritos posteriores, Newton continuou a pensar sobre a força interna que mantém um corpo em movimento: Força é o princípio causal do movimento e do repouso. E é ou uma externa que gera e destrói ou muda de outra maneira o movimento impresso sobre algum corpo; ou um princípio interno pelo qual o movimento ou repouso que existe é conservado em um corpo” (NEWTON, apud HALL; HALL, 1962, p. 148; WESTFALL, 1972, p. 187).⁵

Newton nunca abandonou totalmente essa ideia de uma força associada ao movimento. Ela aparece na versão madura de sua dinâmica com o nome de *vis insita*, ou *força inerente*, responsável pelo movimento inercial.⁶ Mas seu estudo da obra de Descartes introduziu uma nova

⁵ Esta citação é de um manuscrito de Newton, sem data, denominado “De gravitatione et aequipondio fluidorum” (reproduzido em Hall; Hall, 1962, p. 90-121). De acordo com Whiteside, ele foi escrito pouco depois de 1668 (WHITESIDE, 1970, p. 12).

⁶ Exploramos detalhadamente este aspecto do pensamento de Newton em um trabalho que está em vias de publicação: “The law of inertia and vis insita: Newton and his sources”.

interpretação, que foi depois considerada a essência da lei de inércia: a ideia de que não é necessária nenhuma causa para manter o movimento retilíneo, com velocidade constante, mas sim para alterar esse movimento.

Há vários outros indícios de que Newton se baseou em Descartes para formular a sua lei da inércia. Isaac Bernard Cohen analisou uma expressão curiosa, *quantum in se est* (tanto quanto lhe é possível) que é usada por Newton na sua primeira lei do movimento, e encontrou que ela havia sido utilizada anteriormente por Descartes em sua *primeira lei da natureza* (COHEN, 1964):

- 】 *Descartes*: “A primeira [lei da natureza] é que cada coisa em particular permanece no mesmo estado, tanto quanto lhe é possível [*quantum in se est*], e que ele apenas muda ao encontrar outros corpos” (1644, p.54).
- 】 *Newton*: “A força inerente da matéria é um poder de resistir, pelo qual cada corpo, tanto quanto lhe é possível [*quantum in se est*], continua em seu estado presente de repouso ou de movimento uniforme para a frente em uma direção reta”.

Embora Descartes não fosse o único autor a utilizar a expressão *quantum in se est* nessa época,⁷ é realmente plausível que Newton a tenha copiado dele, já que aparece na apresentação de ideias muito semelhantes a respeito da conservação do movimento (KOYRÉ, 1965, p. 70).

Pode-se considerar que a formulação da primeira lei do movimento de Newton foi fortemente influenciada por Descartes; mas ele nunca reconheceu essa dívida (ver: Whitrow, 1971, p. 226; Cohen, 1964, p. 136; Jaki, 2001, p. 394). De fato, Newton somente cita Descartes para criticá-lo. Talvez isso possa ser explicado por processos psicológicos de autoafirmação: Newton não queria ser considerado um seguidor de Descartes e sim um pensador original.

Há um único elogio de Descartes feito por Newton, em uma carta que escreveu a Robert Hooke no início de 1676, onde afirmou: “Aquilo que Des-Cartes [*sic*] fez foi um bom passo. Você adicionou muito, de vários modos, e especialmente tomando para consideração filosófica as cores de lâminas finas. Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes”⁸ – carta de Newton para Hooke, 5 de fevereiro de 1676 (TURNBULL, 1959, p. 416). Provavelmente, Newton estava sendo irônico e não sincero. Por um lado, ele não tinha muito respeito pelo próprio Hooke; e na mesma época em que escreveu essa carta, enviou outras a Henry Oldenburgh (o editor das *Philosophical Transactions of the Royal Society*), sugerindo que muitas das ideias de Hooke tinham sido copiadas de Descartes ((TURNBULL, 1959, p. 405, 408).

⁷ A expressão *quantum in se est* era bastante comum no século XVII, ao contrário do que Cohen afirmou em seu artigo. Um livro de frases latinas, da época de Newton, a atribuiu a Cícero e a Tito Lívio, sob a seguinte forma: “*Pro se quisque, quantum in se est*” – cada um por si, tanto quanto lhe é possível (ROBERTSON, 1681, p. 824).

⁸ A famosa expressão *sobre ombros de gigantes* não foi criada por Newton: era utilizada amplamente desde a Idade Média (JAKI, 2001, p. 394) e apareceu pela primeira vez na Antiguidade, tendo sido utilizada por Lucano (FRANKLIN, 1976a, p. 543 e 545, nota 118).

As primeiras leis da natureza, segundo Descartes

René Descartes (1596-1650), como veremos agora mais detalhadamente, propôs um princípio muito semelhante à primeira lei de Newton. Para evitar anacronismos, é conveniente não ficar falando sobre *a lei da inércia de Descartes* (pois ele não usou a palavra *inércia*),⁹ bem como evitar falar sobre como Descartes chegou à *primeira lei de Newton*. Alan Gabbey sugeriu utilizar a expressão *princípio da conservação do movimento* para caracterizar a ideia de Descartes (GABBAY, 1971, p. 54-55) e vamos passar a utilizar essa expressão.

Descartes apresentou a primeira versão de seu princípio na obra *Le monde*, escrita entre 1629 e 1633, mas que só foi publicada postumamente (Dutton, 1999, p. 55; Arthur, 2007, p. 5; Gabbey, 1971, p. 52).

Eis o seu enunciado:

A primeira [lei da natureza] é que cada parte da matéria, em particular, continua sempre a estar no mesmo estado, enquanto o encontro com outras não a obriga a mudá-lo. Quer dizer, se ela tiver certo tamanho, ela não se tornará jamais menor, a menos que outras a dividam; se ela é redonda ou quadrada, ela não mudará jamais essa forma, sem que as outras a obriguem; se ela está parada em algum lugar, ela não partirá jamais de lá, a menos que outras a empurrem de lá; e se ela começou uma vez a se mover, ela continuará sempre com a mesma força, até que as outras a parem ou retardem. (DESCARTES, 1664, p. 81-82).

Em 1644, Descartes publicou em latim sua obra *Principia philosophiae*, na qual a mesma ideia aparece de uma forma mais desenvolvida. Essa segunda versão é a mais relevante, pois foi ela que Newton leu.

XXXVII. *Primeira lei da natureza: que cada coisa permanece no estado, tanto quanto lhe é possível; e que qualquer coisa que se mova tenta se mover para sempre.*

Como Deus não está sujeito a mudar, e por agir ele sempre do mesmo modo, nós podemos atingir o conhecimento de certas regras, que eu chamo de leis da natureza, e que são as causas secundárias dos diversos movimentos que notamos em todos os corpos; e isso as torna aqui muito consideráveis. A primeira [lei da natureza] é que cada coisa em particular que seja simples e indivisa continua a estar no mesmo estado, tanto quanto lhe é possível, e que apenas o muda por causas externas. Assim vemos facilmente que quando uma parte dessa matéria é quadrada, ela permanece sempre quadrada, a menos que algo aconteça que mude sua forma; e que, se ela está em repouso, nós não acreditamos que ela começará a se mover, a não ser que seja impelida por outra causa. Nem existe qualquer razão mais forte pela qual, se ela se move, e se nada a impedir, ela não continue

⁹ Descartes conhecia a palavra *inércia* no sentido comum que ela possuía: uma tendência dos corpos a pararem ou a permanecerem em repouso. Ele se referiu a essa ideia em uma carta, negando sua validade: “Eu não reconheço qualquer inércia ou preguiça natural nos corpos” – carta de Descartes para Mersenne, 1638 (*apud* JAMMER, 1997, p. 60).

seu movimento espontaneamente. E daí devemos concluir que tudo o que se move, tanto quanto lhe é possível, move-se para sempre. (DESCARTES, 1644, p. 54).

XXXIX. *Segunda lei da natureza: que todo movimento é reto em si mesmo; e aquilo que se move em um círculo sempre tenta se afastar do centro do círculo que descreve.*

A segunda lei da natureza é: cada parte individual da matéria, considerada apenas em si mesma, nunca tende a continuar seu movimento seguindo linhas oblíquas [curvas], mas apenas em linhas retas [...]. A causa desta regra, como da anterior, depende da imutabilidade e simplicidade das operações pelas quais Deus conserva o movimento na matéria. (DESCARTES, 1644, p. 55-56).

Vemos que Descartes apresentou seu princípio de conservação do movimento em duas partes. A primeira lei afirma que o movimento se conserva, mas não se refere à sua direção. A segunda complementa a primeira, indicando que esse movimento tende a ser retilíneo.

No caso de Descartes, o seu ponto de partida para chegar ao princípio da conservação do movimento não foi o conceito de ímpeto, mas uma linha de pensamento completamente diferente. Não há nenhum motivo para supormos que existe um único caminho linear que leva de Aristóteles, passando pela teoria do ímpeto, até o princípio newtoniano de inércia. Pelo contrário, os historiadores têm percebido que a história é extremamente complexa, e que diferentes pensadores do século XVII defenderam leis da conservação do movimento diferentes e incompatíveis, e que essas diversas leis tiveram diferentes genealogias históricas (MENN, 1990, p. 217). As leis do movimento de Descartes são devidas à atividade conservadora de Deus, que dá aos corpos uma certa quantidade de movimento quando os cria, e preserva esse movimento como parte de sua atividade conservadora geral (DUTTON, 1999, p. 55-56). Assim, Descartes não pensava que o movimento é preservado por causa de alguma coisa inerente ao corpo que se move, mas apenas pela imutabilidade divina. Eis a justificativa que Descartes apresentou para a conservação do movimento:

XXXVI. *Deus é a causa primária do movimento; e ele sempre conserva uma mesma quantidade de movimento no universo.*

Após haver examinado a natureza do movimento, devemos considerar sua causa, que é dupla: a primeira, que é mais universal e primária, é a causa geral de todo movimento que existe no mundo; e depois a outra particular, que faz com que cada parte individual da matéria o adquira, se ela não o tinha antes. Naquilo que se refere à geral, parece-me evidente que não há nenhuma outra além do próprio Deus, que criou no início a matéria com o movimento e o repouso, e que atualmente conserva no universo, por seu auxílio ordinário, tanto movimento e repouso quanto ele aí havia colocado ao criá-lo. Pois, embora o movimento não seja senão um modo na matéria que é movida, ele tem no entanto uma certa quantidade, que não aumenta nem diminui jamais, embora haja às vezes mais e às vezes menos em algumas de suas partes. É por isso que, quando uma parte da matéria se move duas vezes mais rápido do que uma outra,

e quando essa outra é duas vezes maior do que a primeira, devemos pensar que há tanto movimento na menor quanto na maior; e que sempre que o movimento de uma parte diminui, a de alguma outra parte aumenta em proporção. Sabemos também que é uma perfeição de Deus, não apenas que ele é imutável em sua natureza, mas também que ele age de uma forma constante e imutável; e assim, além das mudanças que observamos no mundo, e aquelas em que acreditamos, pois Deus as revelou, e que nós sabemos acontecerem ou ter acontecido na natureza, sem qualquer mudança por parte do Criador, nós não devemos supor outras [mudanças] em suas obras, por medo de lhe atribuir inconstância. De onde se segue que, como ele moveu de várias formas diferentes as partes da matéria, quando ele as criou, e como ele as mantém todas no mesmo modo e com a mesma razão com que as criou, ele conserva sempre nela uma igual quantidade de movimento. (DESCARTES, 1644, p. 53-54)

Descartes justificou o princípio da conservação do movimento por um argumento tirado da teologia natural, que tem raízes profundas nas filosofias de Aristóteles e de Platão (MENN, 1990, p. 217-218). Esses dois pensadores atribuíram ao céu um movimento circular uniforme cuja causa é Deus. Descartes concluiu que não apenas os movimentos celestes mas também os sublunares são constantes, pois todos eles provêm igualmente de Deus (MENN, 1990, p. 227).

Sabe-se que Descartes emprestou a ideia principal da conservação do movimento de seu amigo holandês Isaac Beeckman (1588-1637). Ambos conceberam o movimento em termos da conservação do movimento de um corpo por Deus, sem qualquer ideia de uma causa interna de movimento, ou seja, sem nada equivalente ao ímpeto medieval (ARTHUR, 2007, p. 3). A principal diferença entre suas opiniões foi que Beeckman não associava essa conservação de movimento a uma trajetória reta, aceitando também a possibilidade de movimentos circulares – tais como o movimento da Terra em torno do Sol – sem nenhuma causa externa (ARTHUR, 2007, p. 4, 7-8). Para Descartes, pelo contrário, todos os corpos possuem uma tendência a se mover uniformemente em linha reta.

Os estados de repouso e de movimento

Na física de Aristóteles, todo movimento é uma mudança; e toda mudança precisa ser explicada por uma causa. As mudanças, para Aristóteles, são de diversos tipos, incluindo mudanças qualitativas (por exemplo, de cor), de tamanho e de posição. O deslocamento de um ponto para outro é uma mudança, e não poderia ocorrer sem uma causa.

A teoria do ímpeto não negava essas ideias de Aristóteles. O ímpeto era considerado uma causa do movimento, ou seja, era aquilo que tornava o deslocamento de um corpo compreensível.

A postura de Descartes é diferente. Ele considera que o deslocamento de um ponto para outro *não é uma mudança e não precisa ser explicado*.

Para ele, “o movimento – pelo menos o movimento retilíneo uniforme – não era um processo e sim um estado, e como tal equivalente ontologicamente a um estado de repouso, e não exigindo qualquer força externa, como o repouso”. (COHEN, 1964, p. 132).

Ora, é exatamente e apenas por ser um *estado* – assim como o repouso – que o movimento pode se conservar e que os corpos podem perseverar em seu movimento sem a necessidade de qualquer força ou causa que os mova, exatamente como persistem em seu repouso. É óbvio que os corpos não poderiam fazer isso enquanto o movimento era considerado como um processo de mudança. (KOYRÉ, 1965, p. 67).

Vamos analisar com mais cuidado o enunciado da primeira lei de Descartes: “A primeira [lei da natureza] é que cada coisa em particular que seja simples e indivisa continua a estar no mesmo estado, tanto quanto lhe é possível, e que apenas o muda por causas externas” (DESCARTES, 1644, p. 54). O *estado* de um corpo só pode mudar por causas externas. Aristóteles concordaria com isso; mas ele não poderia admitir que o movimento de um corpo é um *estado*.

Ao afirmar que o movimento é um *estado*, assim como o repouso, Descartes introduziu uma mudança filosófica profunda. Em certo sentido, um corpo em movimento uniforme não está sofrendo nenhuma mudança e, portanto, esse tipo de movimento não exige qualquer explicação ou causa (OLIVER, 2001, p. 185). Apenas mudanças de movimento exigem uma explicação, e essas mudanças serão explicadas por influências externas.

Newton utilizou esse conceito de *estado de movimento* criado por Descartes. No seu enunciado da lei de inércia, temos: “Todo corpo persevera em seu *estado de repouso ou de movimento* uniforme em uma direção, a menos que compelido a mudar seu estado por uma força impressa” (NEWTON, 1687, p. 12, grifos nossos). A expressão *estado de movimento* se tornou atualmente tão familiar, que não percebemos que ela envolve um conceito paradoxal, no entanto, ela pareceu estranha a muitas pessoas, durante um longo tempo:

Muitos anos atrás, foi bem observado pelo Bispo Horsely, que as palavras ‘status motus’, estado de movimento, implicam uma contradição direta de seus termos. ‘Eu acredito’ (disse o Bispo) ‘que é necessário algum princípio ativo tanto para o início quanto para a continuação do movimento. Eu sei que muitos newtonianos não aceitarão isso. Acredito que eles estão equivocados, como eu próprio fui enganado anteriormente pela expressão *um estado de movimento*. Movimento é uma mudança... *Estado* implica o contrário de mudança, e sendo o movimento uma mudança, um *estado de movimento* é uma contradição em termos.’ O raciocínio do Bispo parece totalmente conclusivo, e concorda perfeitamente com o sentido comum e com a linguagem humana. (TAYLOR, 1817, p. 15).

Imagino que alguns de meus leitores vão considerar os comentários acima tolos, já que foram feitos por um bispo, que não sabe nada sobre Física. É relevante, por isso, esclarecer que Samuel Horsley (1733-1806), além de ser um pastor anglicano e bispo de Rochester a partir de 1792, era uma pessoa extremamente envolvida com as ciências. Ele foi eleito membro da *Royal Society* em 1767, tendo atuado como secretário dessa sociedade de 1773 a 1784. Entre outras coisas, ele foi o editor das obras completas de Newton: *Isaaci Newtoni opera quae exstant omnia. Commentariis illustrabat Samuel Horsley*. London: John Nichols, 1779-1785. 5 v.

Vamos agora esclarecer o que o bispo Horsley queria dizer. O adjetivo latino *status* significa fixo, estabelecido, indicado; como substantivo, significa uma parada, posição, postura, situação (SMITH; LOCKWOOD, 2000, p. 707). O termo *status* está associado etimologicamente às palavras *stabilis* (estável, firme), *stabilitas* (estabilidade, firmeza, durabilidade), *statio* (estação, parada, ou o ato de ficar parado), *stativus* (ficar parado, estacionário), *statua* (estátua), etc. (SMITH & LOCKWOOD, 2000, p. 705-706). Todas essas palavras transmitem a ideia de repouso, não de movimento. Na Física, o termo *estática* (que também está associado a *status*) significa o estudo do equilíbrio, contrapondo-se ao estudo do movimento. Em muitas obras filosóficas medievais e do período moderno, *status* era considerado sinônimo de *quietis* (repouso), em frases como esta: “Natura [est] principium motus & status seu quietis” (DIONYSIUS, 1644, p. 181).

Portanto, o uso da expressão *estado de movimento* (*status motus*) por Descartes era realmente paradoxal e intrigante.

A relatividade do repouso e do movimento

Um dos argumentos mais importantes de Descartes a favor de sua primeira lei da natureza é a relatividade do movimento: repouso e movimento não são coisas totalmente distintas, já que um objeto parado em relação a um navio estará se movendo em relação ao litoral. Portanto, não é necessária mais ação para manter um corpo em movimento do que para mantê-lo parado.

Pois para determinar o seu lugar [a posição de um corpo] devemos notar algum outro corpo que consideramos como parado; mas conforme a diferença entre aqueles que considerarmos [como estando parados] seremos capazes de dizer que a mesma coisa, no mesmo tempo, muda de lugar e não muda. Por exemplo, se considerarmos um homem assentado na popa de um navio que o vento leva para longe do porto, e apenas levarmos em conta este navio, este homem não muda de posição, pois vemos que ele sempre permanece na mesma situação em relação às partes do navio sobre o qual está [...] e se considerarmos as terras próximas, este homem muda constantemente de posição, porque ele se afasta destas e se aproxima de algumas outras. (DESCARTES, 1644, p. 40).

Não existe, portanto, nenhuma diferença essencial entre repouso e movimento. Se uma caixa está parada sobre o tombadilho do navio, ninguém irá pensar que é necessária uma força para mantê-lo parado; mas se o navio está se movendo em relação ao litoral, também não pode ser necessária nenhuma força para fazer a caixa acompanhar o movimento do navio, já que a situação é sempre a mesma, sendo apenas descrita com relação a diferentes sistemas de referência.¹⁰

Assim, se podemos dizer que um corpo parado permanece no mesmo *estado*, também podemos dizer que um corpo em movimento permanece no mesmo *estado*, levando em conta um outro sistema de referência.

Newton percebeu claramente a importância desse aspecto do pensamento de Descartes, e se referiu a ele em sua definição de inércia:

Atribui-se vulgarmente resistência aos que estão em repouso, e ímpeto aos que estão em movimento; mas movimento e repouso, conforme concebidos vulgarmente, se diferenciam apenas relativamente; e os corpos que vulgarmente são considerados como parados não estão sempre realmente parados. (NEWTON, 1687, p. 2).

Percebe-se, portanto, que Newton adotou os principais aspectos do pensamento cartesiano a respeito do movimento, no entanto não se deve imaginar que a conceituação newtoniana seja idêntica à do filósofo francês. Há diversos aspectos do pensamento de Newton que são incompatíveis com o de Descartes: sua aceitação do movimento absoluto; alguns conceitos teológicos; seu conceito de atividade da matéria; e a ideia de que a inércia é uma *força*.

Diferenças entre Newton e Descartes

Conceitos teológicos e movimento absoluto

Para Descartes, não existe o espaço vazio; o espaço é uma relação entre corpos materiais, e o lugar ocupado por um objeto é definido pelas outras coisas materiais que estão à sua volta. Por essa razão, ele aceitava um princípio da relatividade do movimento muito amplo, e este princípio estabelece a equivalência entre repouso e movimento.

Embora Newton também aceitasse o princípio da relatividade do movimento, suas ideias eram muito diferentes. Para ele, existe um espaço absoluto, e há uma diferença entre movimento relativo e movimento absoluto. Embora ele admita que não podemos detectar uma translação absoluta, seria possível detectar *rotações* e *acelerações* absolutas (ver: Lacey, 1970; Laymon, 1978; Arthur, 1994; Rynasiewicz, 1995).

¹⁰ Descartes não utilizou a expressão *sistema de referência*, mas é mais fácil descrever suas ideias utilizando essa expressão.

A aceitação de um espaço absoluto por Newton pode ser considerada um aspecto da sua dinâmica, mas também tem um componente teológico. De acordo com ele, Deus tem uma ação direta sobre o mundo, não apenas ao criá-lo, mas também em manter a sua ordem. Para Newton, o espaço está preenchido por Deus e é, de certa forma, o órgão sensorial divino (McGUIRE, 1978, p. 507). Assim, Deus sabe se um corpo está realmente se movendo ou não. Como a concepção de movimento de Newton é completamente diferente da de Descartes, poderia haver uma diferença dinâmica entre repouso e movimento. Em princípio, poderia existir inércia no sentido de uma resistência ao movimento, sem uma tendência correspondente de manter o movimento dos corpos. Por isso, ao contrário de Descartes, Newton precisava de uma *explicação* para o movimento uniforme dos corpos que não estão sujeitos a forças externas. E foi por isso que ele continuou a manter, em seu pensamento dinâmico, um conceito semelhante ao do ímpeto, atribuindo poderes ativos à matéria e interpretando a inércia como uma força interna.

Atividade da matéria

No antigo pensamento grego, a matéria, considerada o substrato material dos corpos, era caracterizada pela sua passividade. A atividade dos corpos era devida à *natureza*, ou seja, à *physis*. No pensamento medieval, a matéria também era concebida como inerte (JAMMER, 1997, p. 31-35) e essa ideia manteve-se depois, sendo aceita por quase todos os filósofos do século XVII (SILVER, 1973, p. 599).

Para Descartes, a matéria é simplesmente espaço preenchido (não há espaço vazio, para ele) e todas suas propriedades surgem de sua extensão. Ela seria totalmente passiva, sem qualquer princípio ativo. É exatamente por causa da inatividade da matéria que ela não pode mudar, por si própria, o seu estado de repouso ou de movimento, na filosofia cartesiana.

A posição de Newton é diferente. Embora ele considerasse que a matéria, em si, é um princípio passivo incapaz de se mover sozinha (McMULLIN, 1978, p. 29), sua ontologia incluída também *forças*, que não podem ser reduzidas à matéria, e que constituem o princípio dinâmico da natureza. Esses princípios ativos seriam manifestações da ação de Deus no mundo natural (GABBEY, 1971, p. 14).

O conceito de Newton de uma atividade interna à matéria proveio de duas fontes principais: a influência da filosofia neo-platônica (especialmente por intermédio do filósofo Henry More) e seus estudos sobre alquimia (McMULLIN, 1978, p. 43-44).

Para Descartes, não existem essas forças e esse dinamismo interno da matéria; há apenas matéria passiva e movimento.

Inércia como *força*

No pensamento newtoniano, a inércia é uma *força* que age dentro dos corpos:

Definição 3. A força inerente [*vis insita*] da matéria é um poder de resistir, pelo qual todo corpo, tanto quanto é capaz, persevera em seu estado de repouso, ou de movimento uniforme em uma direção reta. (NEWTON, 1687, p. 2).

Como já indicamos, a ideia de Descartes de conservação do movimento não exige uma explicação dinâmica, mas a de Newton sim, por isso ele continuou a utilizar um conceito semelhante ao de ímpeto: uma *força interna* que mantém o corpo em movimento uniforme. Como Ernan McMullin comentou, “É evidente a tensão entre essa concepção, que lembra as antigas teorias do ímpeto, e as novas idéias que já estavam implícitas nas leis do movimento cartesianas”. (McMULLIN, 1978, p. 41).

Para Newton, a força interna mantém o movimento; e a *força impressa* (externa) modifica o movimento. Isso é bem diferente do que encontramos nos livros-texto; mas é o que Newton pensava.¹¹

A força do movimento, em Descartes

Descartes se referiu, em alguns pontos, à força de um corpo em movimento, embora a conceituação cartesiana dispense uma *causa* para explicar a continuação do movimento de um corpo, (MELI, 2006, p. 323-324). Isso aparece, por exemplo, no enunciado da primeira lei da natureza do *Le monde*, que já foi apresentado anteriormente; e no seguinte trecho de sua correspondência:

[...] pelo simples fato de que um corpo começou a se mover, é certo que ele tem dentro de si a força de continuar a se mover; da mesma forma, pelo simples fato de que ele está em repouso em algum lugar, é certo que ele tem a força de continuar a permanecer lá. (carta de Descartes para MERSENNE, outubro de 1640, *apud* ARTHUR, 2007, p. 6).

Note-se, no entanto, que essa ideia é diferente do conceito de ímpeto, pois Descartes associou uma força *tanto ao repouso quanto ao movimento*, indiferentemente. E, assim como não precisamos de uma *causa* para explicar a continuidade do repouso, não precisamos de uma causa para explicar a continuação de um movimento.

Esse conceito cartesiano de força de repouso e força de movimento foi mantido nos *Princípios da filosofia*:

¹¹ Para mais detalhes sobre a concepção de Newton sobre a *vis insita*, ver nosso trabalho que está em vias de publicação: *The law of inertia and vis insita: Newton and his sources*.

Além disso, deve-se notar que a força com a qual um corpo atua contra outro corpo ou resiste à sua ação consiste apenas nisto, que cada coisa persevera, quanto quando é capaz, em continuar no mesmo estado em que se encontra, de acordo com a primeira lei que foi apresentada acima [...] E também quando ele [o corpo] está em repouso ele tem uma força de permanecer em repouso e de resistir a tudo o que poderia fazê-lo mudar. Do mesmo modo, quando ele se move tem uma força para continuar a se mover com a mesma velocidade e na mesma direção. (DESCARTES, 1651, p. 101-102).

Essa não é uma força *ativa*, que mantém o movimento; mas é uma força *reativa*, que apresenta uma resistência à mudança de estado de repouso ou de movimento. É bem diferente do conceito newtoniano de uma força interna que mantém o movimento.

Comentários finais

A lei da inércia que se ensina atualmente não é a concepção desenvolvida por Newton. De fato, a física *oficial* não conservou as ideias newtonianas de espaço e movimento absolutos, de um Deus capaz de distinguir repouso de movimento, de uma matéria dotada de poderes ativos e de uma força interna que conserva o movimento dos corpos. A conceituação que é ensinada hoje em dia é muito mais próxima do pensamento de Descartes (deixando de lado a sua justificativa teológica). Além disso, Descartes publicou suas ideias mais de 40 anos antes do que Newton. Assim, seria mais razoável declarar, nos livros-textos, que aquilo que está sendo ensinado é a *lei da conservação do movimento de Descartes*, do que lhe dar o nome de *primeira lei de Newton*.

A análise histórica aqui apresentada permite perceber alguns dos principais componentes do princípio cartesiano da conservação do movimento: (1) os conceitos de *estado de repouso* e *estado de movimento*; (2) o princípio da relatividade dos movimentos. Parece-me que esses dois aspectos podem e devem ser enfatizados no ensino da *lei da inércia*. Por outro lado, muitos estudantes tendem a pensar sobre o movimento inercial utilizando concepções semelhantes às do ímpeto (ver: Steinberg, Brown e Clement, 1990; Kozhevnikov e Hegarty, 2001; Song, Cho, e Chung, 1997; Halloun e Hestenes, 1985; Clement, 1982). Os professores devem estar cientes disso, e devem compreender que se trata de ideias que devem ser respeitadas e discutidas racionalmente, e não descartadas como *primitivas*, *erradas* ou *irracionais*. Afinal de contas, o próprio Newton admitia essa ideia.

Agradecimentos

O autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), cujos apoios possibilitaram o desenvolvimento desta pesquisa.

Referências

ARTHUR, Richard. Space and relativity in Newton and Leibniz. *The British Journal for the Philosophy of Science*, v. 45, p. 219-240, 1994.

ARTHUR, Richard. Beeckman, Descartes and the force of motion. *Journal of the History of Philosophy*, 45, p. 1-28, 2007.

CLEMENT, John. Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, v. 50, p. 66-71, 1982.

COHEN, Isaac 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, p. 131-155, 1964.

DESCARTES, René. *Principia philosophiae*. Amsterdam: Louis Elzevir, 1644.

DESCARTES, René. *Les principes de la philosophie*. Escrits en Latin, et traduits en Français par un de ses amis. Paris: chez Henry le Gras et Edme Pepingué, 1651.

DESCARTES, René. *Le monde de mr. Descartes, ou le traité de la lumière et des autres principaux objets des sens*. Paris: Michel Bobin et Nicolas le Gras, 1664.

DIJKSTERHUIS, Eduard Jan. *The mechanization of the world picture*. Princeton: Princeton University Press, 1986.

DIONYSIUS AREOPAGITA. *Sancti Dionysii Areopagitae operum omnium quae extant, et commentariorum quibus illustrantur*. Tomus II. Paris: apud Antonium Stephanum, 1644.

DUHEM, Pierre Maurice Marie. *Études sur Léonard de Vinci. Troisième série: Les précurseurs parisiens de Galilée*. Paris: Hermann, 1913.

DUHEM, Pierre. Research on the history of physical theories. *Synthese*, v. 83, p. 189-200, 1990.

DUTTON, Blake D. Physics and metaphysics in Descartes and Galileo. *Journal of the History of Philosophy*, v. 37, p. 49-71, 1999.

FEYERABEND, Paul. *Against method*. 3rd edition. London: Verso, 1993.

FRANCO, Abel B. Avempace, projectile motion, and impetus theory. *Journal of the History of Ideas*, 64, p. 521-546, 2003.

FRANKLIN, Allan. Principle of inertia in the Middle Ages. *American Journal of Physics*, v. 44, p. 529-545, 1976a.

FRANKLIN, Alan. *The principle of inertia in the Middle Ages*. Boulder: Colorado Associated University Press, 1976b.

GABBEY, Alan. Force and inertia in seventeenth-century dynamics. *Studies in History and Philosophy of Science*, v. 2, p. 1-67, 1971.

HALL, A. Rupert; HALL, Marie Boas. *Unpublished scientific papers of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1962.

HERIVEL, John. *The background to Newton's Principia: a study of Newton's dynamical researches in the years 1664-84*. Oxford: Clarendon Press, 1965.

JAKI, Stanley L. The Christological origins of Newton's first law. p. 393-407, in: *Science and the future of mankind*. Vatican: Pontificia Academia Scientiarum, 2001.

JAMMER, Max. *Concepts of mass in classical and modern physics*. New York: Dover, 1997.

KOYRÉ, Alexandre. *Newtonian studies*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1965.

KOYRÉ, Alexandre. *Études galiléennes*. Paris: Hermann, 1966.

KOZHEVNIKOV, Maria; HEGARTY, Mary. Impetus beliefs as default heuristics: dissociation between explicit and implicit knowledge about motion. *Psychonomic Bulletin and Review*, v. 8, p. 439-453, 2001.

LACEY, Hugh M. The scientific intelligibility of absolute space: a study of Newtonian argument. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 21, p. 317-342, 1970.

- LAYMON, Ronald. Newton's bucket experiment. *Journal of the History of Philosophy*, 16, p. 399-413, 1978.
- MARTINS, Roberto de Andrade. Natural or violent motion? Galileo's conjectures on the fall of heavy bodies *Dialoghi – Rivista di Studi Italici*, 2 (1/2), p. 45-67, 1998.
- MCGUIRE, James E. Existence, actuality and necessity: Newton on space and time. *Annals of Science*, 35, p. 463-508, 1978.
- MCMULLIN, Ernan. *Newton on matter and activity*. Notre Dame: University of Notre Dame, 1978.
- MELI, Domenico Bertoloni. Inherent and centrifugal forces in Newton. *Archive for History of Exact Sciences*, v. 60, p. 319-335, 2006.
- MENN, Stephen. Descartes and some predecessors on the divine conservation of motion. *Synthese*, v. 83, p. 215-238, 1990.
- NEWTON, Isaac. *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. London: Joseph Streater, 1687.
- OLIVER, Simon. Motion according to Aquinas and Newton. *Modern Theology*, v. 17, p. 163-199, 2001.
- RYNASIEWICZ, Robert. By their properties, causes and effects: Newton's scholium on time, space, place and motion. *Studies in History and Philosophy of Science*, 26, p. 133-153, 295-321, 1995.
- ROBERTSON, William. *Phraseologia generalis*. Cambridge: John Hayes, 1681.
- SHAPER, Dudley. *Galileo: a philosophical study*. Chicago: University of Chicago Press, 1974.
- SHEA, William R. *Galileo's intellectual revolution*. New York: Science History Publications, 1972.
- SILVER, Bruce. Berkeley and the principle of inertia. *Journal of the History of Ideas*, 34, p. 599-608, 1973.
- SMITH, Sir William; LOCKWOOD, Sir John. *Latin English dictionary*. Edinburgh / London: Chambers / John Murray, 2000.

SONG, Jinwoong; CHO, Sook- Kyoung; CHUNG, Byung-Hoon. Exploring the parallelism between change in students' conceptions and historical change in the concept of inertia. *Research in Science Education*, 27, p. 87-100, 1997.

STEINBERG, Melvin S.; BROWN, David E.; CLEMENT, John. Genius is not immune to persistent misconceptions: conceptual difficulties impeding Isaac Newton and contemporary physics students. *International Journal of Science Education*, 12 (3), p. 265-273, 1990.

TAYLOR, Thomas.¹² Vindiciae antiquae. No. 1. *The Classical Journal*, 16, p. 6-22, 1817.

TURNBULL, H. W. (Ed.). *The correspondence of Isaac Newton*. v. 1, 1661-1675. Cambridge: University Press, 1959.

WESTFALL, Richard S. Circular motion in seventeenth-century mechanics. *Isis*, v. 63, p. 184-189, 1972.

WESTFALL, Richard S. *Never at rest: a biography of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

WHITESIDE, Derek Thomas. Before the Principia: the maturing of Newton's thoughts on dynamical astronomy, 1664-1684. *Journal of the History of Astronomy*, 1, p. 5-19, 1970.

WHITESIDE, Derek Thomas. The prehistory of the 'Principia' from 1664 to 1686. *Notes and Records of the Royal Society of London*, v. 45, p. 11-61, 1991.

WHITROW, G. J. The laws of motion. *The British Journal for the History of Science*, 5, p. 217-234, 1971.

¹² Este artigo foi publicado de forma anônima. A identidade do autor é revelada nas páginas 123-124 de uma resenha: The works of Richard Bentley, D. D. Collected and edited by the Rev. Alexander Dyce. *The Church of England Quarterly Review*, 4, p. 91-125, 1838.