

---

# Breve História da Inércia - I: O Problema do Movimento de Aristóteles a Copérnico

[Brief History of Inertia - I: The Problem of Motion from Aristotle to Copernicus]

Samuel Simon \* e Evaldo Rezende \*\*

**Resumo:** Nesse trabalho, examinaremos os estudos sobre o movimento, entendido como translação, ou deslocamento, desde as análises de Aristóteles, passando pelas críticas feitas no período medieval ao aristotelismo, culminando com o trabalho de Nicolau Copérnico, que aprimora a noção de movimento relativo. Se, por um lado, Copérnico prepara o terreno para os estudos de Pierre Gassendi, René Descartes e Galileu Galilei sobre a noção de inércia, por outro lado, ainda mantém certa *imagem de natureza* com elementos aristotélicos.

**Palavras-chave:** Movimento, Inércia, Aristotelismo, Imagem de Natureza

**Abstract:** In the present work, we examine studies regarding motion – understood as traversal, or change of place – beginning with the analyses of Aristotle, passing through critiques of Aristotelianism in the medieval period, culminating in the work of Nicholas Copernicus, who prioritizes the notion of relative motion. If, on the one hand, Copernicus prepares the way for the studies of Pierre Gassendi, René Descartes and Galileo Galilei on the notion of inertia, on the other hand, he still retains a certain *image of nature* with Aristotelian elements.

**Keywords:** Motion, Inertia, Aristotelianism, Image of Nature

## Introdução

A noção de inércia, consolidada nos *Principia* de Newton, possui uma longa história, pois está diretamente vinculada ao problema do movimento. Essa noção é um caso admirável das relações entre história e filosofia da ciência, ou, na terminologia empregada por Paulo Abrantes (Abrantes, 2016), das re-

lações entre *imagens de natureza* e *imagens de ciência*. Os estudos do movimento, que têm suas raízes nos pensadores pré-socráticos, de maneira implícita ou mesmo explícita, como no caso de Zenão (*ibid.*, p. 40), alcança uma elaboração sofisticada em Aristóteles, que marcará o desenvolvimento posterior de parte importante da Fí-

---

\*Professor Associado do Departamento de Filosofia e do Programa de Pós-Graduação em Filosofia - PPG-FIL/UnB. Trabalho parcialmente financiado pelo CNPq, na forma de Bolsa de Produtividade em Pesquisa. E-mail: samuell@unb.br

\*\*Mestre em Filosofia no PPG-FIL/UnB, e Membro do Grupo de Lógica e Filosofia da Ciência-UnB/CNPq. E-mail: evaldoprezende@gmail.com

sica, definindo-a como uma disciplina autônoma a partir do século XVII. Nesse trabalho, nos limitaremos a mostrar as relações entre os estudos sobre o movimento, conforme desenvolvida inicialmente por Aristóteles, evoluindo para uma discussão sobre o movimento relativo no período moderno, até preparar o terreno para a noção de inércia em Galileu, o que será apresentado em outro trabalho.

Mostraremos, nesse próximo trabalho (*Breve História da Inércia - II: O problema da inércia em Galileu*), que, além dessa raiz no estudo do movimento, a noção de causalidade tem um papel central no conceito de inércia. Estimamos também que Galileu pode não ter solucionado completamente esse problema. Em parte, evidentemente, pelo próprio desenvolvimento da Física e da Matemática no início do século XVII, mas, talvez também, por suas concepções filosóficas, ou da *imagem de natureza* que possuía.

ou translação, o movimento é uma das formas de *mudança*, na terminologia aristotélica. Dessa maneira, os estudos de Aristóteles, embora estranhos à noção de inércia nos termos modernos, certamente foram decisivos para o desenvolvimento deste conceito. Já no Livro I da *Física*, uma das principais obras do Estagirita sobre o problema do movimento (ou mudança<sup>1</sup>), os princípios internos são detidamente estudados, no contexto da metafísica aristotélica. Uma conclusão importante nesses estudos refere-se ao número desses princípios para a determinação do movimento. Aristóteles conclui que são três, consistindo naquilo que sofre a mudança e no par de contrários que representa a dicotomia falta/excesso. Esses princípios, associados à mudança, de uma maneira em geral, incluem o deslocamento, ou ainda de uma maneira geral, a relação entre natureza e movimento. Como afirma Aristóteles no Livro III da *Física*:

## Movimento em Aristóteles

Entendido como deslocamento,

*Nature is a principle of motion and change, and it is the*

<sup>1</sup> Os termos movimento e mudança em Aristóteles não são equivalentes. Évora (2005) aponta as diferenças entre essas duas noções, decisivas para o estudo da física aristotélica. Mas como bem observa Évora (ibid., p. 131), a distinção entre “mudança” e “movimento” não é algo rigidamente estabelecido, pois houve ocasiões em que Aristóteles usou as duas palavras como se fossem apenas sinônimas, e não termos que apresentam diferentes nuances. De qualquer forma, a distinção entre “mudança” e “deslocamento” é bastante clara em determinadas passagens da Física, conforme podemos observar no seguinte trecho do Livro VIII: “Now of the three kinds of motion that there are – motion in respect of magnitude, motion in respect of affection, and motion in respect of place – it is this last, which we call locomotion, that must be primary” (ARISTOTLE, 1991, *Physics*, p. 147; 260a27-260b14). Nos termos do presente artigo, movimento será entendido no contexto da física moderna, ou seja, como deslocamento em um dado referencial no tempo.

*subject of our inquiry. We must therefore see that we understand what motion is; for if it were unknown nature too would be unknown. When we have determined the nature of motion, our task will be to attack in the same way the terms, which come next in order. (ARISTOTLE, 1991, Physics, p. 56; 200b 11-21).*

É bem conhecida a diferença apresentada por Aristóteles entre movimento natural e não-natural defendida em *Do Céu* (*On the heavens*, 269a33). O movimento retilíneo admite os dois casos, enquanto o circular admite apenas o natural. É interessante ressaltar esse aspecto, pois, para o Estagirita, o contrário de um movimento retilíneo *natural* só pode ser violento. No caso do movimento circular, seu contrário também seria circular pois, como volta a um mesmo ponto, não é por natureza contrário<sup>2</sup>. Dessa maneira, o movimento circular é sempre natural e ocorre apenas na *região de cima*<sup>3</sup> (ou supralunar).

Os escritos aristotélicos permitem delinear a sua elaborada con-

cepção de movimento, possibilitando uma reflexão acerca da inércia, embora Aristóteles nunca tenha utilizado esse termo (ele não tinha uma noção de inércia como uma propriedade do movimento, ao contrário de Galileu). De fato, a inércia (persistência do movimento) não está elencada como um dos princípios internos do movimento, conforme vimos acima. Ademais, Aristóteles não compartilhava da ideia de que o movimento pudesse persistir por si só, afirmando que este era uma *mudança de “alguma coisa para outra coisa”*, ou seja, algo que possuía um início e um fim (momentâneos), tese diferente daquela defendida na modernidade, quando o movimento foi definido simplesmente como um *estado*. Escreve Aristóteles:

*A consideration of the other kinds of movement also makes it plain that there is some point to which earth and fire move naturally. For in general that which is moved changes from something into something, the starting-point and the goal being dif-*

<sup>2</sup> “Nor again can motion along the circle from A to B be regarded as the contrary of motion from A to C; for the motion goes from the same point towards the same point, and contrary motion was distinguished as motion from a contrary to its contrary. And even if one circular motion is the contrary of another, one of the two would be pointless; for that which moves in a circle, at whatever point it begins, must necessarily pass through all the contrary places alike. (By contrarieties of place I mean up and down, back and front, and right and left.)” (ARISTOTLE, 1991, *On the Heavens*, p.7-8; 271a19).

<sup>3</sup> De acordo com Pellegrin (2010, p. 62), é preciso “notar que os termos ‘supralunar’ e ‘sublunar’ são uma criação dos comentadores: Aristóteles fala da região ‘de cima’ e da região ‘daqui’”.

*ferent in form, and always it is a finite change. For instance, to recover health is to change from disease to health, to increase is to change from smallness to greatness. Locomotion must be similar; for it also has its goal and starting point— and therefore the starting-point and the goal of the natural movement must differ in form— just as the movement of coming to health does not take any direction which chance or the wishes of the mover may select. (Ibid., On the Heavens, p. 17; 277a13-277a27).*

Essa diferenciação (mudança de alguma coisa para outra<sup>4</sup>) será retomada adiante, tendo sido mencionada agora apenas para sublinhar que Aristóteles considerava o movimento como uma mudança, algo que tinha uma finalidade, e que não poderia persistir indefinidamente<sup>5</sup>. Logo, Aristóteles não defenderia um movimento inercial

– retilíneo -, perpétuo.

Antes de analisar detalhadamente a negação da inércia em Aristóteles, deve-se atentar para o fato de que, para o filósofo, *o movimento tem uma finalidade, decorrência da crença de que cada corpo possui o seu lugar natural*. A partir da noção de lugar natural desenvolve-se toda a dinâmica aristotélica, pois tal ideia é crucial para entender a finalidade dos movimentos. Como bem lembra Koyré (1966, p.23), para Aristóteles, “todo corpo é concebido como possuindo uma tendência ao seu lugar natural e, portanto, a retornar a esse lugar, quando daí afastado por violência”. Essa tendência explicaria seu movimento natural “pelo caminho mais curto e rápido. Segue, então, que todo movimento natural ocorre em linha reta, e que todo corpo vai ao seu lugar natural tão depressa que ele possa, ou seja, tão rápido quanto o meio circundante o permitir” (*op.cit.*)<sup>6</sup>. Portanto, o tipo de movimento retilíneo (ascendente ou descendente) de cada elemento é determinado

<sup>4</sup> Talvez, pudesse se utilizar aqui o termo *stoicheion*, associado a “*simples corpos*” (*stoicheia*), empregado por Aristóteles (*Do Céu*, 269a). Alguns autores, como Paul Moraux (ARISTOTE, 1965, p. 20) traduzem esse termo acima (“alguma coisa”) como “estado”, que evitamos nesse trabalho, tendo em vista o sentido utilizado no período moderno. Preferimos manter a tradução inglesa, que nos parece mais geral e menos problemática. Peters (1967, p. 180) lembra que Platão, no *Timeu* (201e), foi o primeiro a empregar o termo *stoicheion*, mas em um contexto linguístico. Nesse sentido, concordamos com Polito (2015, p.5), que identifica o movimento (deslocamento), na física de Aristóteles, com um processo e não com um estado.

<sup>5</sup> Aristóteles também menciona no Livro VI da Física que nenhum processo de mudança pode ser infinito com respeito ao tempo (ARISTOTLE, 1991, *Physics*, p. 113; 241a 26).

<sup>6</sup> “*Tout corps est conçu comme possédant une tendance à se trouver dans son lieu naturel, et donc à y revenir dès que, par violence, il en est éloigné (...). Il s’ensuit que tout mouvement naturel s’effectue en ligne droite, et que tout corps va à son lieu naturel aussi vite qu’il le peut, c’est-à-dire aussi vite que le milieu ambiant le lui permet*”.

pelo fato de que cada coisa possui seu lugar natural, no qual tende a permanecer caso nada altere tal movimento. A explicação de Koyré vem ao encontro da afirmação de Aristóteles sobre a relação entre repouso e ação externa (*constraint*)<sup>7</sup>:

*Now all things rest and move naturally and by constraint. A thing moves naturally to a place in which it rests without constraint, and rests naturally in a place to which it moves without constraint. On the other hand, a thing moves by constraint to a place in which it rests by constraint, and rests by constraint in a place to which it moves by constraint. Further, if a given movement is due to constraint, its contrary is natural. (ARISTOTLE, 1991, On the Heavens, p. 69; 276a22-276b22).*

Observa-se, desde já, uma importante divergência entre a filosofia aristotélica e a física galileana: para a primeira, o repouso é definido pela situação transitório do corpo e pelo lugar natural; para a

física moderna, o repouso é um estado do movimento.

A citação acima mostra a dicotomia entre movimento natural e não natural, explicada anteriormente. No entanto, no supracitado trecho, o Aristóteles diz que as coisas podem ser compelidas a se manterem em movimento. Ao dizer isso, ele reforça a tese de que existiria uma tendência ao repouso, conforme afirma Koyré:

*Ainsi, tout mouvement implique un désordre cosmique, une rupture d'équilibre, qu'il soit lui-même effet immédiat d'une telle rupture, causée par l'application d'une force extérieure (violence), ou, au contraire, effet de l'effort compensateur de l'être pour retrouver son équilibre perdu et violé, pour ramener les choses à leurs lieux-naturels, convenables, où ils pourraient reposer et se reposer. C'est ce retour à l'ordre qui constitue justement ce que nous avons appelé mouvement naturel. (KOYRÉ, 1966, p. 19)*

Ou seja, tanto o movimento na-

<sup>7</sup> Preferimos, aqui, não usar o termo força, como fazem alguns autores, pelo significado teórico que esse conceito assume na física moderna, especialmente com Isaac Newton. Mantemos a noção de “coação” ou ação externa. Muitas traduções utilizam o termo força em Aristóteles. No entanto, como bem observa Jammer (1999, p. 34), Aristóteles utiliza o termo força (*dynamis*) em dois sentidos – ativo e passivo; Platão, como já havia assinalado Cornford (1951, p. 236), também a utiliza nesses dois sentidos, mas a noção tem, nesse caso, origem na medicina grega antiga.

tural quanto o violento são *desequilíbrios*, caracterizando-se como a causa da desordem (movimento não natural ou “violento”) ou a tentativa (movimento natural) de retornar à condição anterior, que consiste no repouso de cada coisa em seu lugar natural correspondente. O repouso é o propósito (*sake*) do movimento<sup>8</sup>.

Assim, o movimento (como translação) cessa (momentaneamente) quando o corpo movido encontra o seu lugar natural. E se o movimento natural admite um contrário, ele não pode ser circular, afinal *movimentos circulares não possuem contrários* (ARISTOTLE, 1991, *On the Heavens*, p. 7; 270b32). Assim, as coisas que repousam em seus lugares naturais, afastam-se deles por ação externa e retornam devido à natureza (admitindo sempre um movimento contrário) realizam um *movimento retilíneo, que só pode ocorrer no mundo sublunar*. Evidenciou-se que por ser o movimento uma mudança de uma coisa para outra, ele não pode persistir indefinidamente, logo os movimentos ascendente e descendente (que caracterizam contrários e assim só podem ser retilíneos) não são eternos. Conclui-se que *Aristóteles não teria defendido uma inércia do tipo retilíneo ou linear, entendimento corroborado pela se-*

guinte passagem do Livro VIII da *Física*:

*For the line traversed in rectilinear motion cannot be infinite; for there is no such thing as an infinite straight line; and even if there were, it would not be traversed by anything in motion; for the impossible does not happen and it is impossible to traverse an infinite distance. On the other hand, rectilinear motion on a finite line is composite if it turns back, i.e. two motions, while if it does not turn back it is incomplete and perishable; and in the order of nature, of definition, and of time alike the complete is prior to the incomplete and the imperishable to the perishable. Again, a motion that admits of being eternal is prior to one that does not. Now rotatory motion can be eternal, but no other motion, whether locomotion or motion of any other kind, can be so, since in all of them rest must occur, and with the occurrence of rest, the motion has perished. (ARISTOTLE, *Physics*, 1991, p. 156; 265a17-27).*

<sup>8</sup> “[S]ince all the rest is for the sake of the end.” (ARISTOTLE, *Physics*, p. 32; 199a33)

Ou seja, para Aristóteles é impossível um corpo mover-se sobre uma linha reta infinita, pois não há linhas retas infinitas, e mesmo se houvesse, seria impossível de ser percorrida. Afinal, é necessário lembrar que Aristóteles defendia a existência de um mundo finito, limitado por uma esfera.

Considerando-se que Aristóteles tenha rejeitado a ideia de uma inércia linear, cabe agora analisar se ele teria intuído algo como uma “inércia” circular<sup>9</sup>. Em algumas passagens de sua obra, quando trata do movimento circular, percebe-se que Aristóteles admitiu certamente a eternidade desse movimento<sup>10</sup>.

Contudo, mesmo intuindo a conservação do movimento (circular), Aristóteles não abandonou a ideia de causa, o que foi feito na modernidade<sup>11</sup>. A sentença que inicia o Livro VII da *Física* expressa bem isso, pois Aristóteles afirma que “tudo o que

muda deve ser mudado por alguma coisa”<sup>12</sup> (ARISTOTLE, 1991, p. 115, *Physics*; 241b34). Tal princípio abrange tanto os corpos do mundo sublunar quanto aqueles do mundo supralunar, mas enquanto os primeiros necessitam de uma força externa para se deslocarem de seus respectivos lugares naturais, os corpos celestes não dependem de contato para permanecerem em movimento, e o fazem segundo sua própria natureza<sup>13</sup>.

No entanto, como é bem conhecido, no livro XII da *Metafísica*, Aristóteles defendeu a existência de um *primeiro movente*, eterno e imóvel, que seria a causa dos movimentos eternos e circulares no espaço, e que move sem ser movido. Além disso, Aristóteles diz que, na região supralunar, *não existe apenas um único tipo de movimento espacial*, uma vez que existe o movimento irregular dos planetas; assim, para cada movimento espacial deve existir uma causa correspon-

<sup>9</sup> A rigor, não se poderia falar em inércia, a não ser linear. O que queremos examinar aqui é se Aristóteles, e posteriormente Galileu, pensam em algum tipo de movimento que persiste independentemente da ação de uma força externa, seja retilíneo ou não. Na terminologia aristotélica, sem a ação de uma causa eficiente.

<sup>10</sup> [...]Now rotatory motion can be eternal; but no other motion, whether locomotion or motion of any other kind, can be so, since in all of them rest must occur, and with the occurrence of rest the motion has perished (ARISTOTLE, 1991, *Physics*, p. 156; 265a 24).

<sup>11</sup> Fátima Évora afirma que “a ideia de causa presente no conceito de movimento que sustenta e apoia a física antiga e medieval é eliminada no conceito de movimento da mecânica galileano-cartesiana. De acordo com a mecânica moderna, o movimento não mais corresponde a um processo de mudança, como ocorre na dinâmica aristotélica, mas é um estado inteiro e absolutamente oposto ao repouso, o outro estado, e como tal não necessita de uma causa para mantê-lo. Uma causa será necessária apenas para alterar o estado do corpo. Este novo conceito de movimento está no cerne do princípio de inércia” (ÉVORA, 2005, p. 130, nota 6). Voltaremos a esse aspecto na continuidade desse trabalho, quando discutiremos a inércia galileana.

<sup>12</sup> “Everything that in motion must be moved by something”. Aristóteles retoma essa ideia em *Do Céu*: “Further, since everything that is moved is moved by something” (ARISTOTLE, 1991, *On the Heavens*, p. 37; 288a28).

<sup>13</sup> (Ibid., p. 4, 269a5).



dente, sendo esta uma substância eterna e imóvel. Ou seja, não existe apenas um movente<sup>14</sup>. Dessa maneira, o Estagirita situa-se numa posição curiosa para a Física moderna: para os movimentos do céu, defende uma espécie de causa eficiente – pois os motores são substância -, mas sem contato, gerando um movimento eterno, embora irregular. Ou seja, é causa, mas não uma força, no sentido que será aprimorada por Descartes e Galileu; trata-se de uma ação, ou força “metafísica”, se assim podemos nos exprimir, e não física, como exigirá a Física dos séculos XVII e XVIII. Rigorosamente, não se trata de uma inércia, mesmo circular, pois algo causa o seu movimento. No entanto, como não há contato físico, temos um caso raro de movimento privilegiado e natural, que persiste. Ou seja, seguindo nosso raciocínio, uma “inércia (circular) metafísica”. Como veremos, Galileu ainda não irá superar completamente essa dificuldade.

### As críticas à dinâmica aristotélica

As primeiras críticas à mecânica de Aristóteles surgiram menos de dois séculos após a morte do filósofo, formuladas pelo astrônomo

Hiparco, que contestou a explicação aristotélica acerca do movimento dos projéteis, após a perda do contato com o motor. Hiparco elaborou o conceito de *força impressa*, defendendo que o projétil permanecia em movimento porque “a ação do motor (força externa) imprimiria ao corpo movente (projétil) certa ‘força impressa’” (BERTOLDO, 2004, p. 26). Ou seja, ao invés de o motor empurrar o ar no momento do lançamento do projétil (fazendo assim com que este seja impelido pelo ar e mantenha-se em movimento, como pretendia Aristóteles), ele transmitiria algo ao próprio projétil, permitindo a continuidade do deslocamento deste. Enquanto o projétil permanecesse em movimento, tal “força” diminuiria paulatinamente, e após sua completa dissipação, o movimento cessaria e o corpo passaria ao sua condição natural de repouso (*ibid.*, p. 26).

A tese de Hiparco não foi aceita, possivelmente por que, em parte, contrariava os ensinamentos do Estagirita. Mas Bertoldo (*ibid.*, p. 27) menciona outras possíveis razões para essa rejeição:

*Provavelmente ela [a teoria de Hiparco] lhes devia parecer por demais abstrata ou*

<sup>14</sup> Nas palavras de Aristóteles, “That the movers are substances, then, and that one of these is first and another second according to the same order as the movements of the stars, is evident”. (ARISTOTLE, 1991, *Metaphysics*, p. 177-8; 1073b17).



*especulativa. Pois, como poderiam crer que algo empurrava o projétil, mas que não podiam ver e nem mesmo imaginar? [...] Também se pode acrescentar o fato de que a teoria de Hiparco era fraca ou mesmo insuficiente porque seu autor não apresentou nenhuma prova objetiva para dar fundamento à sua revolucionária concepção de “força impressa”, o que também ajudou a contribuir para que ela caísse no mais completo esquecimento durante séculos, até vir a ser redescoberta por outros pesquisadores.*

Apenas no início da Idade Média a teoria de Hiparco ressurgiu como uma alternativa à solução de Aristóteles para o problema do movimento dos projéteis, por meio das ideias de João Philoponos<sup>15</sup> (século VI d.C.). Como afirma Évora (1995a, p. 291):

*[...] apesar de a literatura*

*dar enorme destaque à teoria da força cinética impressa e incorpórea associada à explicação do movimento violento, ela não constitui um elemento inovador isolado. Ela faz parte de toda uma teoria de movimento, desenvolvida por Philoponos que inclui um novo conceito de lugar, que implica numa nova concepção de movimento natural e violento, e a fortiori numa nova dinâmica, alternativa à aristotélica. De acordo com a dinâmica de Philoponos, a velocidade de um corpo em movimento é determinada pela diferença aritmética – e não pela razão como propunha Aristóteles – entre a potência motriz e a resistência do meio através do qual o corpo se move. O meio, segundo Philoponos, desempenha uma função unicamente restritiva.*

*Ou seja, Philoponos nega a influên-*

<sup>15</sup> A influência de Philoponos manteve-se durante a Idade Média devido à aceitação de algumas de suas ideias por parte dos pensadores árabes. Diz Évora (1995b, p. 82): “Esta influência deu-se principalmente através dos árabes Avicena, ou Ibn Sina (980 – 1037), e Avempace, ou Ibn Badja (1106 – 1138), que advogaram a tese de que a lei do movimento de Aristóteles deveria ser substituída pela lei da diferença aritmética, tal qual propôs Philoponos”. Ou seja, ao invés de considerar que a velocidade de um corpo em movimento é proporcional à razão entre a força motriz (F) e a resistência ou densidade do meio (R) - ou, em outras palavras, em uma formulação algébrica moderna para a concepção aristotélica, a velocidade do corpo é dada pelo quociente entre F e R ( $v = F/R$ ), Avicena e Avempace optaram por endossar a proposta de Philoponos, segundo a qual a velocidade do corpo não era dada pelo quociente, mas sim pela diferença entre a força motriz e a resistência do meio. Novamente, em uma notação moderna,  $v = F - R$ . Sendo assim, apesar de as primeiras edições conhecidas da obra de Philoponos acerca da física aristotélica datarem de 1535 (grego) e 1542 (latim), “há hoje fortes evidências com respeito a sua influência no desenvolvimento da filosofia da natureza anterior ao século XVI” (ibid., p. 82).

cia do meio (ar) no movimento violento (projéteis), embora não tenha rejeitado a ideia de que tudo o que é movido deve ser movido por alguma coisa. A solução encontrada por Philoponos foi propor que aquilo que provoca o movimento transmite ao projétil uma *força incorpórea* responsável pelo deslocamento das coisas após elas perderem o contato com o motor inicial. Segundo Philoponos, não haveria evidências de que o movimento violento seria causado da maneira conforme conjecturou Aristóteles (ÉVORA, 1995a, p. 292). O Estagirita havia proposto duas possíveis respostas ao problema da continuidade do movimento dissociado do motor inicial, e ambas são rejeitadas por Philoponos. Conforme explica Évora (1993, p. 86):

*[...] os projéteis são movidos adiante mesmo depois que aquilo que deu a eles seu impulso não esteja mais tocando-os, ou 1) pela razão da substituição recíproca<sup>16</sup>, de acordo com a qual o ar empurrado adiante pelo projétil volta e toma o lugar do projétil, e então empurra-o adiante como alguns sustentam; ou 2) pelo fato de que o*

*ar que foi empurrado, no instante em que o projétil é inicialmente disparado, move-se com um movimento mais rápido do que a locomoção natural, para baixo do projétil, empurrando assim o projétil adiante.*

De acordo com Évora, Aristóteles aparentemente preferiu a segunda explicação para o movimento retilíneo violento, citando algumas passagens da *Física* para corroborar tal assertiva (215a15 e 266b28–267a15). Em todo caso, Philoponos discorda de ambas as explicações. No que concerne à primeira, na qual o ar empurrado pelo projétil efetua um movimento contrário, retornando para ocupar o lugar do corpo e impulsioná-lo adiante, Philoponos faz a seguinte consideração:

*Let us suppose that antiperistasis take place according to the first method indicated above, that the air pushed forward by the arrow gets to the rear of the arrow and thus pushes it from behind. On that assumption, one would be hard put to it to say what is (since*

<sup>16</sup> A ideia de substituição recíproca é denominada antiperistasis, termo que designa o processo pelo qual o ar ocupa o lugar do projétil, impelindo-o adiante e sendo, portanto, responsável pela manutenção do movimento do corpo. Nos termos de Cohen e Drabkin (citado também por Évora, 1993, p. 87), “[t]he term is used in general of the process whereby P1 pushes P2 into P3’s place, P2 pushes P3 into P4’s place, . . . , Pn-1 pushes Pn into P1’s place (COHEN & DRABKIN, 1966, p. 221 nota 8).

*there seems to be no counter force) that causes the air, once it has been pushed forward, to move back, that is along the sides of the arrow, and, after it reaches the rear of the arrow once more and push the arrow forward. (...) Such a view is quite incredible and borders rather on the fantastic (Philoponos apud. COHEN & DRABKIN, 1948, p. 221-222).*

A segunda opção é considerada mais plausível por Philoponos, mas igualmente equivocada. A suposição de que o ar seja capaz de manter uma flecha ou pedra em movimento, mesmo após o primeiro motor não estar mais em contato com o corpo lançado, seria plausível e não haveria a necessidade de um motor. No entanto, logo a seguir ele apresenta suas objeções, fazendo uso de experiências de pensamento (recurso análogo será empregado por Galileu, séculos mais tarde, também no problema do movimento). A conclusão final de Philoponos se configura, certamente, com a primeira formulação mais aprimorada de um esboço para a noção de conservação da quantidade de movimento e uma semente para o princípio de inércia, como será expressa muitos séculos mais tarde por Descartes nos *Princípios da Fi-*

*losofia:*

*From these considerations and from many others we may see how impossible it is for forced motion to be caused in the way indicated. Rather is it necessary to assume that some incorporeal motive force is imparted by the projector to the projectile, and that the air set in motion contributes either nothing at all or else very little to this motion of projectile. (...) And there will be no need of any agency external to the projectile (...). (Philoponos apud. COHEN & DRABKIN, 1948, p. 223. Grifo dos autores).*

Aristóteles recusou a ideia da existência do vazio porque ela seria incompatível com a sua Física (e com a sua Metafísica), pois acreditava que o meio (ar) era o responsável pelo movimento violento, algo que seria impossível no vazio, uma vez que “le vide, en effet, n’est pas un milieu et ne peut pas recevoir et donc transmettre et entretenir le mouvement”. (KOYRÉ, 1966, p. 23). Philoponos não considera esse aspecto como uma dificuldade, pois defendia que o movimento era causado por uma força incorpórea impressa ao corpo, sem a necessidade da ação do meio. Sob

essa perspectiva, o movimento violento poderia persistir no vazio. No caso dos movimentos naturais, cujo “motor é a própria natureza do corpo, a sua forma, que procura reconduzi-lo ao seu lugar” (*ibid.*, p. 26), o meio não desempenha o papel de conservar o movimento, mas apenas o de resistir a ele. Contudo, os corpos tendem a retornar ao seu lugar natural o mais depressa possível, sendo retardados apenas pela resistência do meio, inexistente no vazio. Consequentemente, para Aristóteles, no vácuo, o movimento desses corpos seria instantâneo. Em resumo, o Estagirita rechaça a hipótese do vazio porque este implicaria a inexistência do movimento violento (como o vazio não é um meio, ele não pode conservar o movimento) e do movimento natural (a velocidade deste seria infinita, algo absurdo).

Finalmente, embora o vazio não seja algo absurdo para Philoponos, esse filósofo parece não admitir a possibilidade de um movimento inercial. Como observa Évora (1995b, p. 80-81):

*Essa força motriz incorpórea, segundo Philoponos, não é uma coisa de natureza permanente, mas desaparece gradualmente, até mesmo no vazio. Esta diminuição se dá devido a uma dupla resistência: a) devido ao meio, b) devido a tendência do*

*corpo pesado de ir para o seu lugar natural. Philoponos portanto permanece sustentando uma postura anti-inercial, pois se, de acordo com sua teoria, a força motriz incorpórea não pode durar para sempre, também o movimento não pode durar ad infinitum.*

### **A questão do movimento segundo Thomas Bradwardine**

A despeito das críticas, formuladas nomeadamente por Hiparco e Philoponos, a física aristotélica continuou ditando os rumos da ciência medieval até o século XIII. Segundo Steenberghen (1984, p. 145):

*O aristotelismo, prolongado e completado pelo neoplatonismo greco-árabe, não oferecia somente aos Latinos os elementos de uma vasta síntese filosófica, mas uma interpretação coerente e completa, muitas vezes engenhosa, de todos os dados observáveis respeitantes ao universo corporal [...]. Se se acorda em chamar “física aristotélica” a esta imponente tentativa de explicação integral da ordem cósmica, pode dizer-se que esta física de modo nenhum fora*

*posta em causa no século XIII.*

Todavia, o prestígio do aristotelismo diminuiu no decorrer do século XIV<sup>17</sup>. Nesse século, um grupo de filósofos e de lógicos resolveu empreender um estudo matemático acerca do movimento. Devido ao fato de a maioria deles ter lecionado no *Merton College*, em Oxford, ficaram conhecidos como “mertonianos”, termo que posteriormente foi substituído por “calculadores” (CROMBIE, 1953, p. 261), destacando assim a disposição desses pesquisadores em investigar a natureza sob uma perspectiva matemática. Ademais, estabeleceram a distinção entre *movimento uniforme* (cuja velocidade é constante) e movimento uniformemente disforme, que na linguagem moderna recebeu o nome de *movimento uniformemente acelerado*. No caso deste último, não é a velocidade que é constante, mas sim a *variação* dessa velocidade. William Heytesburg (1313 – 1372), membro do *Merton College*, definiu como a “velocidade da velocidade” (*op.cit.*).

É nessa tradição de pensamento

na qual se insere Thomas Bradwardine. Enquanto Aristóteles buscava investigar o movimento comparando o deslocamento dos corpos, Bradwardine defendeu que os movimentos podiam ser analisados por si mesmos, comparados por intermédio de suas grandezas. Trata-se de um estudo que envolve proporções, designado simplesmente por *cálculo* (CUSTÓDIO, 2004, p. 36). Acerca de Aristóteles, explica Custódio (*ibid.*, p. 36):

*Para Aristóteles, a questão relevante não era o cálculo, mas investigar quais as determinantes naturais que explicam, objetivamente, a experiência sensível do aumento ou da diminuição da velocidade do movimento. Esta investigação podia ser feita considerando, por um lado o efeito e, por outro, a causa. Não se trata ainda de investigar o ato do movimento por ele mesmo, como propõe Bradwardine, mas de fazê-lo sob o ponto de vista do móvel, no primeiro caso, e sob o ponto de vista do motor, num segundo caso;*

<sup>17</sup> Antes disso, ainda no final do século XIII, a doutrina aristotélica conforme era ensinada na Faculdade de Artes da Universidade de Paris sofreu um claro revés quando, em 18 de janeiro de 1277, o papa João XXI pediu para que o bispo da cidade, Estêvão Tempier, conduzisse uma investigação acerca dos ensinamentos dos Mestres de Artes da Universidade. Pouco mais de um mês depois, em 7 de março, houve a condenação de 219 proposições baseadas no aristotelismo, incluindo teses de Avicena (GILSON, 2007, p. 694), o tomismo (STEENBERGHEN, 1984, p. 133) e a tese averroísta da “dupla verdade”, que por sua vez “consistia em sustentar que uma mesma proposição podia ser considerada simultaneamente falsa, do ponto de vista da fé, e verdadeira, do ponto de vista da razão” (GILSON, 2007, p. 694).

*sendo que a estes dois estudos somava-se um terceiro, relativo às causas.*

Assim como os corpos mais graves caem mais rapidamente, “entre dois corpos leves, o de maior leveza subirá mais rapidamente” (*ibid.*, p. 38). Em suma, o estudo das causas (das inclinações “para baixo” ou “para cima” dos móveis) permitia que Aristóteles comparasse dois movimentos naturais e percebesse qual deles era o “mais intenso” (*ibid.*, p. 37). A velocidade de um corpo em movimento natural é igual a sua tendência de deslocar-se para o seu lugar natural, dividida pela resistência do meio (*ibid.*, p. 38), relação que, em notação moderna, seria expressa, como vimos acima (nota 15), pela expressão  $v = F/R$ <sup>18</sup>.

Bradwardine, por sua vez, acreditava que os movimentos poderiam ser comparados no que tange às suas grandezas (velocidades). O peso e a leveza eram considerados qualidades dos corpos compostos (ou seja, dos corpos formados por alguma combinação dentre os elementos terra, água, ar e fogo), embora fossem consideradas forças agindo em direções contrárias no interior de um mesmo corpo composto. Ou seja, o que determina a força motriz, e conseqüentemente

a resistência interna de um corpo composto é a predominância de elementos “pesados” ou “leves” na constituição do corpo. Da mesma forma, quando o peso é a qualidade predominante, ele se torna a força motriz do corpo como um todo, tendo por resistência a leveza. A ideia é que a velocidade é diretamente proporcional ao peso e inversamente proporcional à leveza.

Bradwardine parece ter sido pioneiro no estudo matemático do movimento, tendo buscado relacionar força, resistência e velocidade (CROMBIE, 1953, p. 247). O resultado desses esforços consistiu na elaboração de um *Tratado sobre as proporções*, onde Bradwardine tratou acerca da “precisa relação matemática entre a magnitude da força motora de Aristóteles, a força do meio resistente e a velocidade alcançada pelo corpo em movimento” (RONAN, 1983, p. 266). Após refutar todas as alternativas existentes, por notar que nenhuma delas condizia com a ideia aristotélica de que só há movimento quando a força é superior à resistência, Bradwardine propôs que o valor da velocidade dependia da razão entre a força motora e a resistência interna em uma formulação que poderia ser escrita, segundo Crombie (*ibid.*, p. 248), em uma notação moderna, segundo a fun-

<sup>18</sup> Ver acima nota 15.

ção logarítmica dessa razão força motriz e velocidade. Essa foi a forma, segundo Crombie, conhecida a partir do século XIV.

Os estudos de Bradwardine representarem uma novidade em relação àquilo que era feito até o momento, embora a sua base ainda não fosse experimental, mas meramente lógica, assim como a dos demais estudiosos do *Merton College*. Essa nova forma de investigação física certamente influenciou o trabalho de Galileu séculos depois, especialmente com suas experiências de pensamento aplicadas ao estudo do movimento.

### Jean Buridan

Segundo Crombie (*ibid.*, 246-53), outros pensadores, além de Philoponos, já no período clássico, não aceitavam a física aristotélica do movimento não-natural. No período medieval, como vimos, os pensadores do *Merton College* defendiam que o projétil mover-se-ia devido a uma “potência” proveniente do meio. A ideia desenvolvida por Hiparco, e que foi aprimorada por Philoponos, segundo a qual o motor transmitia algo ao movente, voltou a ser defendida em meados do século XIV, sobretudo pelo intelectual francês Jean Buridan (1300 – 1358), discípulo de Guilherme de

Ockham (1285–1347), e que se tornou reitor da Universidade de Paris em 1328. Todavia, não existem evidências de que Buridan teve acesso aos escritos de Philoponos, pois como esclarece Évora (1993, p. 91-92):

*[...] existe certa controvérsia sobre a influência da “teoria da força motriz incorpórea” de Philoponos sobre a “teoria da força motriz”, que se tornou amplamente aceita no século XIV e que foi posteriormente elaborada por Jean Buridan (1300?-1358) sob o nome de “teoria do impetus”. Isso porque os escritos de Philoponus sobre este tema só se tornaram conhecidos em 1535, numa versão grega, e em 1542, em latim.*

Não obstante o provável desconhecimento das teses de Philoponos, Buridan também foi um comentarista da obra peripatética e também criticou a explicação de Aristóteles para o movimento dos projéteis. Dentre os argumentos utilizados para contestar a solução aristotélica para o problema do deslocamento dos projéteis, Buridan analisa a possibilidade da *antiperistasis*<sup>19</sup>, ou seja, de que o ar movido pelo projétil no ato do lança-

<sup>19</sup> Ver acima, nota 16.



mento realiza um movimento contrário e então impulsiona o corpo, mantendo-o em movimento. Buridan demonstra a sua discordância em relação à tese aristotélica mencionando o caso hipotético de um navio em movimento, no qual haveria um marinheiro sobre o convés. Esse marinheiro não se sentiria impelido adiante pelo ar, mas ao invés disso sentiria que o ar a sua frente oferecer-lhe-ia resistência. Ademais, caso o homem estivesse posicionado atrás de alguma carga (como grãos ou madeira), ele seria empurrado violentamente entre tal carga e o ar atrás dele, na hipótese de que o ar teria o poder de locomover o navio. Segundo Buridan, isso é refutado pela experiência<sup>20</sup>.

Em linhas gerais, trata-se de considerar que o ar não impulsiona os corpos, mas sim resiste ao movimento destes. Portanto, se o ar não é o responsável pelo deslocamento dos projéteis, algo deve fazê-lo, e segundo Buridan tratar-se-ia de uma força motriz (*virtus motiva*) ou de um ímpeto (*impetus*) impresso ao corpo, ou seja,

*it seems to me that it ought to be said that the motor in moving a moving body*

*impresses (imprimit) in it a certain impetus (impetus) or a certain motive force (vis motiva) of the moving body, [which impetus acts] in the direction toward which the mover was moving the moving body, either up or down, or laterally, or circularly. And by the amount the motor moves that moving body more swiftly, by the same amount it will impress in it a stronger impetus. It is by that impetus that the stone is moved after the projector ceases to move. But that impetus is continually decreased (remittitur) by the resisting air and by the gravity of the stone, which inclines it in a direction contrary to that in which the impetus was naturally predisposed to move it. Thus the movement of the stone continually becomes slower, and finally that impetus is so diminished or corrupted that the gravity of the stone wins out over it and moves the stone down to its natural place. (CLAGETT, 1961, p. 534-535. Grifo do autor.)*

<sup>20</sup> Esse exemplo do navio, utilizado por Buridan para refutar a hipótese da antiperistasis, está contida no Livro VIII, questão 12, de uma obra intitulada *Questiones super Octo Physicorum Libros Aristotelis*, publicada em Paris em 1509. Tal texto foi traduzido por Marshall Clagett em *The Science of Mechanics in the Middle Age* (CLAGETT, 1961). Estamos utilizando aqui as citações de Buridan, conforme traduzido por Clagett.

Da mesma forma como fizera Philoponos, Buridan admitiu que a força motriz reduzir-se-ia devido à resistência do meio, mas contrariamente ao filósofo neoplatônico, defendeu que tal impulso seria de natureza permanente, e que só não se mantinha *ad infinitum* no projétil por causa de forças externas contrárias. Ou seja, Buridan admitiu que o movimento pudesse diminuir, embora não aceitasse que tal processo tratar-se-ia de algo espontâneo, conforme parece ter sido para Philoponos<sup>21</sup>. Para Buridan, o *impetus* seria de natureza permanente (*res nature permanentis*) caso não houvesse a resistência do meio e a gravidade, que atuariam no enfraquecimento dessa força motriz. No entanto, esse autor não renunciou completamente à física aristotélica, pois manteve a ideia de que os corpos possuíam lugares naturais para os quais tenderiam a deslocar-se.

A ideia de que o *impetus* seria uma qualidade permanente conferida ao projétil, responsável pelo movimento, seria uma antecessora da noção de inércia (CLAGETT, 1961, 525). De fato, existe certa similaridade entre ambos, nomeadamente no que se refere à tese de que o movimento persistiria na au-

sência de alguma força contrária. Não obstante, é preciso atentar-se às sutilezas envolvidas na formulação de cada conceito, relacionadas com o contexto histórico do desenvolvimento da ciência, no qual o *impetus* estaria atrelado a uma visão de mundo - *imagem de natureza*, na terminologia de Abrantes (*op.cit.*) -, mais marcadamente aristotélica. De fato, no caso do *impetus* deve-se ter em mente que Buridan era adepto da teoria aristotélica de que haveria lugares naturais, e sendo assim que os corpos visariam o repouso. Logo, o “ímpeto” explicaria porque o projétil continuaria sua trajetória antinatural, contrariando a condição natural de repouso. Nesse caso, o movimento (natural ou violento) representa, como vimos, uma condição de desequilíbrio.

Por outro lado, as concepções de Buridan acerca do movimento diferem das de Aristóteles porque o primeiro buscou aplicar a teoria do *impetus* tanto para o movimento terrestre quanto para o celeste, fazendo com que as dinâmicas dos dois mundos fossem regidas pelo mesmo conjunto de leis (ÉVORA, 1993, p. 95). A unificação das mecânicas terrestre e celeste contrariava a separação entre as regiões su-

<sup>21</sup> Conforme exposto acima, Philoponos postulou que haveria uma força motriz responsável pelo movimento dos corpos, tanto natural quanto violento. De acordo com Évora, a força motriz incorporada de Philoponos “não é uma coisa de natureza permanente, mas desaparece gradualmente, até mesmo no vazio” (ÉVORA, 1995b, p. 80).

blunar e supralunar, que, segundo Aristóteles, seriam governadas por leis distintas. Entretanto, ao postular que o *impetus* era conferido por Deus aos corpos celestes, Buridan volta a se aproximar das ideias aristotélicas a respeito do movimento na região supralunar. Ou seja, diferente da noção de inércia do período moderno, a ação de um primeiro movente (Aristóteles), ou o *impetus* de origem divina<sup>22</sup> (Buridan), exigem a presença de uma força (metafísica).

### Nicolas Oresme e a defesa do movimento da Terra

Discípulo de Buridan, Nicolas Oresme (1320/23-1382), discordou de algumas ideias domestre, inclusive em relação à teoria do *impetus*. Para Oresme, o *impetus* não era uma qualidade permanente conforme pensava Buridan, mas algo que se consumia com o tempo. No entanto, Oresme não se limitou apenas a discutir os pormenores da teoria do *impetus*, ocupando-se também com a discussão acerca da possibilidade do movimento da Terra (considerado como uma hipótese, pois estaria em conflito com a fé cristã), o

que o aproximou de uma noção de inércia e da relatividade do movimento.

Oresme discute o movimento da Terra examinando o conhecido argumento da pedra atirada para o alto. Segundo ele, a pedra realiza dois tipos de movimentos simultaneamente, tanto ao ser arremessada, quanto ao retornar ao local do qual foi lançada. Isso por que, enquanto se move verticalmente para cima e depois para baixo, a pedra também efetua um movimento circular, estando concomitantemente em trajetória retilínea e circular. Com isso, a pedra acompanha o movimento da Terra<sup>23</sup>, e assim cai precisamente no mesmo ponto a partir de onde foi arremessada. Entretanto, tal solução apresenta outro problema: por que nós não percebemos esse movimento composto do corpo? A resposta de Oresme vincula-se à ideia da relatividade do movimento, antecipando, assim, os argumentos de Nicolau Copérnico em quase duzentos anos. Resumidamente, o argumento pode ser descrito do seguinte modo: uma pessoa que estivesse a bordo de navio, mas sem ter consciência do movimento deste, pensaria que ao

<sup>22</sup> Vale lembrar a semelhança incontestável da presença divina na origem do movimento na física de Descartes, conforme apresentada nos *Princípios da Filosofia*. Voltaremos a esse problema no próximo trabalho.

<sup>23</sup> Trata-se da ideia de que um corpo qualquer, tal como uma flecha ou pedra, “é parte do sistema mecânico da rotação da Terra, tal qual um homem que move sua mão verticalmente para cima e para baixo em um mastro é parte do sistema mecânico do navio” (CLAGETT, 1961, p. 599).

deslizar sua mão em linha reta ao longo do mastro, ela estaria em movimento retilíneo, quando na verdade a mão realizaria um movimento composto: mover-se-ia de forma retilínea para baixo e também horizontalmente, seguindo a direção do navio, que por sua vez deslocar-se-ia para leste. O tripulante é partícipe do movimento da embarcação, e como tal não percebe que está em movimento juntamente com ela.

Porém, segundo Évora (1993, p. 99), havia a necessidade de lidar com o argumento aristotélico de que cada corpo simples possui um princípio motor. No caso da Terra imóvel, tal problema não se colocaria, mas caso ela estivesse em rotação, sua trajetória seria antinatural e exigiria o contato direto e permanente de um motor externo, para a manutenção desse movimento contrário à natureza, em consonância com a filosofia de Aristóteles. Oresme contornou a dificuldade propondo que a Terra deslocar-se-ia naturalmente de modo circular, dispensando a necessidade de uma força externa para mantê-la em movimento, já que este seria natural. Consequentemente, este também seria o movimento natural dos corpos terrestres, na qualidade de partícipes do deslocamento da Terra, embora não possamos perceber a trajetória circular dos corpos a nossa volta, pela simples ra-

zão de que também compartilhamos de tal movimento. Com isso, Oresme opôs-se a Aristóteles, uma vez que este defendia que o movimento circular era característico dos corpos celestes, enquanto que o retilíneo era próprio dos corpos terrestres; contudo, isso não representou uma ruptura completa, pois Oresme admitiu que os objetos terrestres também pudessem se deslocar naturalmente de maneira retilínea e para baixo, desde que não estivessem em seu lugar natural (*ibid.*, p. 100). Em resumo, Oresme defendeu a existência de dois tipos de movimento natural para os corpos terrestres: o circular, devido ao fato de que a Terra mover-se-ia circularmente; e o retilíneo (para baixo), que ocorreria quando o corpo buscasse retornar ao seu lugar natural.

Gilson (2007, p. 850) defende que Oresme superou Buridan e anunciando as pesquisas de Descartes e Galileu, “Nicolau Oresme é o predecessor direto de Copérnico” (*ibid.*). Entretanto, a teoria de Oresme ainda estava incompleta, pois lhe faltou a percepção da propriedade inercial do movimento dos corpos.

### Copérnico e o movimento relativo

A importância de Nicolau Copérnico (1473–1543), não somente para a Astronomia, mas também

para a Revolução Científica do século XVII, é muito conhecida e amplamente estudada (DUHEM, 1913-1959; REICHENBACH, 1942; KUHN, 1985; CROWE, 1990; AP-LEBAUM, 2000; HOLTON and BRUSH, 2005)<sup>24</sup>. Consciente de que a publicação do tratado *As Revoluções dos Orbes Celestes* poderia trazer-lhe problemas perante as autoridades eclesiásticas, Copérnico manteve o manuscrito em seu poder durante muitos anos, conforme o próprio relata no Prefácio do livro, dedicado ao papa Paulo III (COPÉRNICO, 1984, p. 6). Nesse Prefácio, Copérnico apresenta sua teoria como uma “hipótese”. No entanto, o sentido desse termo não é isento de controvérsias. Na verdade, importantes interpretes do trabalho de Copérnico avaliam que ele estaria considerando seu modelo mais do que uma simples suposição, mas como um sistema (*form*) que permite a determinação dos movimentos celestes (WALLIS, 1952, p. 484). Holton (op.cit., p. 20) afirma que o próprio Copérnico enfatiza que “the heliocentric system provided a unique pattern into which all the pla-

nets must fit in a definite way”<sup>25</sup>. Copérnico, evidentemente, pressionado pelas dificuldades religiosas da época, foi cuidadoso e afirma, também no Prefácio, que a sua motivação para pensar em formas alternativas para calcular os movimentos das esferas do Universo deu-se porque “os matemáticos não estavam de acordo consigo próprios na investigação de tais movimentos” (COPÉRNICO, 1984, p. 7). Ainda nesse sentido, a vantagem para um modelo mais adequado, ele afirma, seria a correta elaboração do Calendário eclesiástico, discutida durante o Concílio de Latrão, que não pôde ser efetuada porque “a duração dos anos e dos meses, bem como os movimentos do Sol e da Lua, ainda não estavam convenientemente medidos” (*ibid.*, p. 11). Mas a defesa mais importante ele já havia vinculado, páginas antes, à astronomia:

*E deste modo, admitindo os movimentos que eu à Terra atribuo na obra infra, com perguntas e longas observações, descobri que, se estabelecermos relação entre a rotação da Terra e os movi-*

<sup>24</sup> Considerando o desenvolvimento da Física no período moderno, especialmente com Galileu e seu trabalho para os fundamentos da Física, concordamos com Infeld (1973, p. 66) quando ele afirma “[t]he work of Copernicus represents not only the beginning of modern astronomy but also the beginning of the modern science of the universe and of nature. (...) We know from the history of Science that the first step is always the most difficult”.

<sup>25</sup> Essa questão é bastante complexa, pois Copérnico foi obrigado a introduzir epiciclos em seu sistema. O que podemos dizer é que, de um ponto de vista geral, o modelo heliocêntrico corresponderia mais adequadamente a um sistema de mundo, para usar os termos de Galileu, do que o sistema geocêntrico, exatamente por uma melhor adequação e pelas previsões inéditas, como o tamanho do universo, problema indiferente no sistema ptolomaico.

*mentos dos restantes astros, e os calcularmos em conformidade com a revolução de cada um deles, não só se hão-de deduzir daí os seus fenômenos, mas até se hão-de interligar as ordens e grandezas de todas as esferas e astros assim como o próprio céu (ibid., p. 9).*

Esse estudo dos movimentos dos outros astros é empreendido a partir do Livro II, e mantém-se até a última parte (Livro VI) do tratado *As Revoluções dos Orbes Celestes*, enquanto que no Livro I há a descrição das posições das esferas e dos movimentos da Terra, conforme Copérnico os compreende (*ibid.*, p. 9-10)<sup>26</sup>.

O aspecto central para discutir o problema da inércia no sistema copernicano é a relatividade do movimento, conforme pode ser notado na seguinte passagem:

*Na verdade, entre objectos que se movem igualmente na mesma direcção, não se nota qualquer movimento, isto é, entre a coisa observada e o*

*observador. Ora a Terra é o lugar donde aquela rotação celeste é observada e se apresenta à nossa vista. Portanto, se algum movimento for atribuído à Terra, o mesmo movimento parecerá em tudo que é exterior à Terra, mas na direcção oposta. É o caso em primeiro lugar da rotação diurna (ibid., p. 29).*

No entanto, a defesa do movimento terrestre implicava uma dificuldade em relação à ausência de uma mudança aparente de posição das estrelas fixas enquanto a Terra passa para o lado oposto de sua órbita (paralaxe estelar anual). Copérnico reconhece que tal mudança deveria existir, mesmo que seja irrelevante, e justifica que ela não é percebida pela falta de instrumentos capazes de medi-la, somado ao fato de que a esfera das estrelas fixas estaria muito distante da Terra, o que tornaria o desvio insignificante.

Além da questão da paralaxe, Copérnico enfrentou outros problemas em sua defesa do mo-

<sup>26</sup> O problema da finitude ou infinitude do mundo também é complexa no trabalho de Copérnico. Koyré (1957, p.33-34) considera que o universo copernicano é francamente finito: “[...] the world of Copernicus is finite. Moreover, it seems to be psychologically quite normal that the man who took the first step, that of arresting the motion of the sphere of the fixed stars, hesitated before taking the second, that of dissolving it in boundless space; it was enough for one man to move the earth and to enlarge the world so as to make it immeasurable - immensum; to ask him to make it infinite is obviously asking too much”. Mas o próprio Copérnico hesita em relação a essa questão. No primeiro capítulo de seu livro, Copérnico afirma que o Universo tende a ser delimitado por uma esfera (*ibid.*, p. 17). No entanto, no Livro I, Capítulo VIII, ele diz deixar aos físicos a tarefa de discutir se o mundo é finito ou infinito (COPERNICO, 1984, p. 40).



vimento terrestre. Dentre eles, destaca-se a tese ptolomaica (contida no *Almagesto*, I, 7) de que se a Terra se movesse com uma rotação diária, tal movimento teria de ser bastante veloz, de modo que os objetos terrestres dispersar-se-iam no espaço, ao invés de permanecerem em seus lugares. A rapidez com a qual a Terra deslocar-se-ia impediria que os corpos caíssem em linha reta em direção aos seus lugares naturais. Além disso, segundo Copérnico, “veríamos as nuvens e tudo o que está impresso no ar continuamente arrastados para Oeste” (*ibid.*, p. 38). Entretanto, o astrônomo lida com tais objeções supondo que “se alguém for de opinião que a Terra se move, dirá por certo que o movimento é natural e não violento” (*ibid.*, p. 39). Dessa forma, a rotação terrestre não precipitaria a desintegração do planeta, uma vez que tal movimento seria natural. A terminologia de Copérnico é evidentemente aristotélica:

*[...] as coisas que são segundo a Natureza têm efeitos contrários às que são provocadas pela violência.*

*Com efeito, os objectos a que a força ou o impulso são aplicados têm necessariamente de ser destruídos e não subsistirão durante muito tempo, mas as coisas que são feitas pela Natureza estão no seu estado<sup>27</sup> natural e continuam na sua forma perfeita. É, pois, em vão que Ptolomeu teme que a Terra venha a dissipar-se, assim como todos os objectos terrestres, devido a uma rotação produzida pela força da Natureza, que é muito diferente do que pode ser realizado pela arte e pelo engenho humanos (op.cit.).*

Em seguida, Copérnico volta a insistir na ideia de que o movimento é relativo, com a qual conseguia justificar porque não perceberíamos a rotação terrestre. Ele acreditava que os objetos terrestres eram partícipes do movimento da Terra, tese também defendida por Oresme. Para corroborar seu argumento, o astrônomo utilizou o exemplo de um navio em movimento, tal como fizera Oresme,

<sup>27</sup> Mantivemos a tradução “estado” da edição portuguesa, mas, como já dissemos acima – nota 4 -, evitamos esse termo. Concordamos com a edição inglesa, que traduz essa passagem da seguinte maneira: “[b]ut the things which are caused by nature are in a right condition and are kept in their best organization.” Grifo nosso (COPERNICUS, 1952).

<sup>28</sup> “E por que não havemos de admitir que a rotação diária é aparente no Céu, mas real na Terra? E é assim que as coisas se passam na realidade [...]. Na verdade, quando um navio navega com bonança, tudo o que está fora dele parece aos navegantes mover-se pelo reflexo daquele movimento e, por outro lado, pensam que estão imóveis com todos os objetos junto deles. Naturalmente, a mesma coisa acontece com o movimento da Terra de maneira



mas com as devidas modificações<sup>28</sup>. O astrônomo concluiu que as coisas, que de alguma forma estão ligadas à Terra, deslocam-se com ela quer porque o ar está “misturado com a matéria terrestre e aquosa, quer porque o movimento do ar é adquirido, pois partilha com a Terra da sua rotação incessante, devido à contiguidade e à ausência de resistência” (*ibid.*, p. 41).

A relação entre o movimento relativo e o problema da inércia em Copérnico é apresentado em um amálgama de concepções modernas e aristotélica. Para ele, os corpos terrestres são dotados de um duplo movimento: o movimento circular (ou horizontal), pelo fato de que acompanham o movimento da Terra, e o movimento retilíneo (vertical), que ocorre quando os objetos não estão em seus lugares naturais, seja quando se afastam de tais lugares devido a um movimento violento, seja quando buscam retornar ao seu estado natural de repouso:

*[...] o corpo simples permanece na sua posição natural e na sua unidade.*

*Quando está nesta posição não pode ter nenhum outro movimento excepto o circular, pois que o corpo simples permanece totalmente em si mesmo como um corpo em repouso. O movimento rectilíneo manifestar-se-á nos objectos que abandonam a sua posição natural ou são arrastados para fora dela ou de qualquer modo de lá saem. [...] o movimento rectilíneo só ocorre nos corpos que não se encontram no seu próprio estado nem em harmonia perfeita com a sua natureza (*ibid.*, p. 42).*

Tal ideia também fora sustentada por Oresme, conforme exposto no tópico anterior. Ambos ainda não tinham a noção de inércia, mas as considerações copernicanas a respeito das causas dos movimentos circular e retilíneo corroboram a interpretação de que ele pudesse ter admitido a manutenção do movimento circular (“inércia circular”), pois a causa de um movimento dessa ordem manter-se-ia constante na visão do astrônomo, o que não ocorreria com desloca-

que todo o Universo parece rodar” (*ibid.*, p. 40-41). Essas considerações serão próximas a Giordano Bruno, como veremos na segunda parte desse trabalho, a ser publicada. Consideramos que ambos prenunciam o princípio de relatividade clássico, enunciado posteriormente por Galileu e, em toda a sua generalidade, por Newton. Também como veremos, consideramos que Bruno tem teses menos aristotélicas, nesse aspecto, do que Copérnico. Talvez por sua visão de mundo antiaristotélica.

<sup>29</sup> O movimento circular processa-se sempre sem alteração porque a sua causa é constante. Pelo contrário, os objetos que se movem em linha reta perdem a causa que os acelera e os levou ao seu próprio lugar. Deixam então de ser leves ou pesados, cessando esse movimento (*ibid.*, p. 42).

mentos em linha reta<sup>29</sup>.

Veremos que parte das dificuldades de Copérnico sobre esse tema persistirá nos estudos de Galileu.

## Conclusão

Um dos sentidos de *mudança* na filosofia do Estagirita é o de *translação*, ou descolamento. Vimos que vários pensadores se dedicaram a esse complexo problema ao longo de quase vinte séculos, considerando o período que vai da *Física* de Aristóteles até a publicação do livro de Copérnico, em 1543. Os estudos desenvolvidos entre os séculos XIII e XVI irão aprofundar a crítica à física aristotélica em relação ao movimento, examinando, sobretudo, as concepções de movimento natural e movimento violento, ou forçado. As análises de Bradwardine, Oresme, Buridan e Copérnico preparam o cenário para o desenvolvimento posterior, que será feito por Gassendi, Descartes e Galileu, especialmente no que se refere aos estudos do movimento relativo. Essa noção permitirá o desenvolvimento dos trabalhos sobre o princípio de relatividade e do moderno conceito de inércia. Vale notar que, de

certa maneira, o próprio princípio de relatividade clássico foi intuído por alguns filósofos, como Buridan, quando realiza sua crítica à noção de *antiperistasis*, e posteriormente por Oresme, Bruno (como veremos no próximo trabalho) e Copérnico, nos estudos sobre o movimento da Terra e sobre o movimento relativo. Seguindo a terminologia proposta por Paulo Abrantes (2016), a *imagem de natureza* de Copérnico, ao lado das limitações próprias do desenvolvimento conceitual da Matemática, da Física e da Astronomia do final do século XVI, pode ter desempenhado um papel considerável nas dificuldades encontradas por esse astrônomo<sup>30</sup>. Com o princípio de relatividade e o uso implícito de causalidade - no contexto de uma revolucionária conceituação algébrica do movimento - Galileu irá suplantiar muitas das dificuldades de Copérnico.

<sup>30</sup> Foi necessário o desenvolvimento do cálculo infinitesimal e integral, por Leibniz e Newton, para uma adequada síntese entre astronomia e física, ou ainda, entre a física celeste e a física terrestre. Mas somente a dinâmica newtoniana fará a primeira síntese mais elaborada desse problema, onde as noções de massa e força tornam-se determinantes.

### Referências Bibliográficas

- ABRANTES, P. *Imagens de Natureza, Imagens de Ciência*. 2 edição-revista e ampliada. Rio de Janeiro: Editora da UERJ, 2016.
- APPLEBAUM, Wilbur. *Encyclopedia of the Scientific Revolution from Copernicus to Newton*. New York: Garland Publishing, Inc. 2000.
- ARISTOTLE. *The Complete Works of Aristotle*. The Revised Oxford Translation. Edited by J. BARNES. Vol. 1 and 2. Princeton UP, 1991.
- ARISTOTE. *Du ciel*. Texte établi et traduit par Paul MORAUX. Paris: Les Belles Lettres, 1965.
- BERTOLDO, Leandro. *Teoria do Ímpeto*. Rio de Janeiro: Litteris Editora, 2004.
- CLAGETT, Marshall. *The Science of Mechanics in the Middle Ages*. London: Oxford University Press, 1961.
- COPÉRNICO, Nicolau. *As Revoluções dos Orbes Celestes*. Tradução de A. Dias Gomes e Gabriel Domingues. Coimbra, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984.
- COPERNICUS, Nicolaus. *On the Revolutions of the Heavenly Spheres*. Chicago: University of Chicago, 1952.
- COHEN, Morris and DRABKIN, I. E. *A Source Book in Greek Science*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1948.
- CROMBIE, A.C. *Augustine To Galileo-The History of Science A.D. 400-1650*. Cambridge: Harvard University Press, 1953.
- CROWE, M.J. *Theories of the World from Antiquity to the Copernican Revolution*. New York: Dover, 1990.
- CUSTÓDIO, Márcio Augusto Damin. *Matemática e Filosofia da Natureza no Século XIV: Thomas Bradwardine*. Tese de Doutorado em Filosofia. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004.
- DUHEM, Pierre. *Le système du monde-histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*. Vol I-X, Paris : Librairie Scientific A. Herman et Fils, 1913-1959.
- ÉVORA, Fátima. *A revolução copernicano-galileana. Vol. I – Astronomia e cosmologia pré-galileana*. 2ª ed. Campinas: UNICAMP, 1993.
- \_\_\_\_\_. *A Origem do Conceito do Impetus* in: *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, Campinas, Série 3, v. 5, n. 1-2, p. 281-305, 1995a.
- \_\_\_\_\_. *Philoponos e Avempace: a origem do argumento galileano sobre o vazio* in: ÉVORA (Ed.) *Espaço e Tempo*. Campinas: UNICAMP, p. 69-89, 1995b.

- \_\_\_\_\_. *Natureza em Movimento: um estudo da física e da cosmologia aristotélicas* in: *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, Campinas, Série 3, v. 15, n. 1, p. 127-170, 2005.
- GILSON, Étienne. *A filosofia na Idade Média*. 2ª ed. Tradução de Eduardo Brandão. São Paulo: Martins Fontes, 2007.
- HOLTON, Gerald and BRUSH, Stephen. *Physics, the Human Adventure From Copernicus to Einstein and Beyond*. New Brunswick: Rutgers University Press, 2005.
- JAMMER, MAX. *Concepts of Force*. New York: Dover Publications, 1999.
- INFELD, Leopold. From Copernicus to Einstein, in: BIENKOWSKA, Barbara (ed.). *The Scientific Word of Copernicus. On the Occasion of the 500th Anniversary of his Birth 1473-1973*. Boston: D. Reidel Publishing Company, 1973.
- KOYRÉ, Alexandre. *From the Closed World to the Infinite Universe*. Baltimore: The Johns Hopkins Press, 1957.
- \_\_\_\_\_. *Études Galiléennes*. Paris: Herman, 1966.
- KUHN, Thomas Samuel. *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1985.
- PELLEGRIN, Pierre. *Vocabulário de Aristóteles*. 1ª ed. Tradução de Cláudia Berliner. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2010 (Coleção vocabulário dos filósofos).
- PETERS, F.E.. *Greek Philosophical Terms. A historical lexion*. New York: New York University Press, 1967.
- POLITO, Antony M. M. Galileu, Descartes e uma Breve História do Princípio de Inércia, *Physicae Organum*, vol.1, nº 1, 2015, p. 1-23.
- REICHENBACH, Hans. *From Copernicus to Einstein*. New York: Philosophical Library, 1942
- RONAN, Colin A. *The Cambridge Illustrated History of the World's Science*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- STEENBERGHEN, F. Van. *História da Filosofia (Período Cristão)*. Tradução de J. M. da Cruz Pontes. Lisboa, Portugal: Gradiva, 1984 (Coleção Trajectos).
- WALLIS, Charles Glenn. "Introduction, Symbols and Abbreviations, and a Short Bibliography to Copernicus and Kepler", p. 481-495, in: *Copernicus*, 1952.