

A física de Aristóteles: uma construção ingênua?

(*Aristotle's physics: a naive construct?*)

C.M. Porto¹

Departamento de Física, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brasil

Recebido em 15/7/2009; Aceito em 29/7/2009; Publicado em 18/2/2010

Neste trabalho fazemos uma apresentação resumida da física de Aristóteles. Mostramos como a ciência aristotélica constitui um esforço complexo de compreensão racional da realidade material, perfeitamente integrada a um sistema de pensamento orgânico e abrangente. Procuramos mostrar, sobretudo, como os elementos da física e da cosmologia aristotélica decorrem tanto de pressupostos de caráter filosófico quanto de observações empíricas, próprias da vivência humana correspondente àquele momento histórico-cultural.

Palavras-chave: física aristotélica, história da ciência, ciência aristotélica.

In this work we make a brief exposition on Aristotle's physics. We show how aristotelic science constitutes a complex effort towards a rational understanding of material reality, completely integrated to an organic and comprehensive thought. We intended to show, above all, how physical and cosmological aristotelic elements come from philosophical tenets as much as from empirical observations characteristic of human experience belonging to that historic-cultural moment.

Keywords: Aristotelic physics, Aristotelic science, history of science.

1. Introdução

Alguns cursos de Licenciatura em Física têm adotado em suas grades curriculares disciplinas versando sobre história da física. Por vezes, o conteúdo programático dessas disciplinas de caráter histórico remonta às origens do pensamento científico, identificado preponderantemente na civilização grega, quando o esforço humano de compreensão dos fenômenos naturais se desviou das explicações de natureza mítica, para uma análise puramente racional desses fenômenos [1].

Consideramos que o estudo da história da física é, de fato, relevante na formação de professores desta ciência, na medida em que revela, através da análise da experiência histórica concreta, as diversas etapas do processo de articulação intelectual necessária à formação dos conceitos científicos. Essa consciência da complexidade do processo de elaboração dos conceitos científicos, físicos em particular, nos ajuda a compreender os obstáculos cognitivos frequentemente enfrentados pelos estudantes em seu processo de aprendizagem.

No entanto, a adoção de abordagens evolutivas da física esbarra, em certa medida, na escassez de bibliografias nacionais que contenham esta perspectiva histórica, sobretudo no que se refere às etapas de desenvolvimento do conhecimento anteriores ao nascimento da ciência moderna, muitas vezes negativamente valo-

radas por interpretações reducionistas da história da ciência, que nelas tendem a ver tão somente manifestações primitivas do entendimento humano.

Pelo contrário, a física de Aristóteles foi uma construção teórica complexa, profundamente integrada a um pensamento filosófico extremamente abrangente e elaborada a partir dos elementos empíricos fornecidos pela vivência humana mais imediata. A força intelectual desse pensamento, assentada sobretudo nessa abrangência e em um caráter fortemente orgânico, garantiu-lhe a primazia como forma sistemática de conhecimento científico por cerca de dezoito séculos.

Esse trabalho visa, pois, exatamente, a fazer uma apresentação resumida deste sistema racional de compreensão do nosso mundo. Buscamos salientar principalmente sua articulação lógica com os demais aspectos do pensamento de seu autor. Nesse sentido, iniciamos o trabalho por uma breve exposição da metafísica de Aristóteles, com o propósito, sobretudo, de mostrar como os elementos de sua visão de mundo estão ancorados na unidade sistêmica de seu pensamento. Analisamos nas seções dois e três o problema filosófico primordial da ontologia do ser, passando ao problema do movimento e da causalidade, os quais estão intimamente associados ao primeiro. Passamos na seção quatro à apresentação da cosmologia aristotélica, en-

¹E-mail: claudio@ufrj.br.

fatizando como o Cosmos grego derivava sua estrutura tanto de pressupostos filosóficos abstratos quanto de concepções diretamente extraídas de percepções empíricas, em alguns casos muito próximas do senso comum. Nas seções cinco e seis passamos do problema cosmológico à física do chamado mundo terrestre, com o conceito teleológico dos movimentos naturais e a dinâmica dos movimentos forçados. Por fim, na seção sete, fazemos uma síntese sumária das críticas objetadas à Mecânica de Aristóteles, até que, após muitos séculos de prevalência, a visão de mundo aristotélica fosse substituída por uma nova ciência, em um processo de transformação vertiginoso, desencadeado pela revolução astronômica do copernicanismo.

2. Os elementos da metafísica de Aristóteles

Os gregos legaram à civilização ocidental uma reflexão a respeito dos aspectos essenciais do pensamento. A filosofia grega, inicialmente dirigida à realidade material a nossa volta, evoluiu para uma análise do próprio ato do pensamento e de seu objeto. Todo pensamento, antes de mais nada, se refere a alguma coisa. Essa coisa possui suas características, ou seja, é de uma determinada maneira. Porém, acima das diferenças que as coisas apresentam está a idéia de que elas são algo, isto é, está o conceito de ser. Assim, na medida em que tudo o que é pensado antes de mais nada é, dizemos que o objeto primordial do pensamento é o ser, em sua generalidade.

Colocados então diante da problemática do ser, os gregos defrontaram-se com uma dúvida estrutural: como algo que é pode deixar de ser? Em outras palavras, como explicar o movimento, entendido aqui, de forma mais ampla do que o simples deslocamento físico, como mudança e transformação? Para este conflito entre a estabilidade e a permanência inerentes ao conceito de ser e a constatação empírica da abrangente mutabilidade a nossa volta, os gregos conceberam inicialmente duas respostas fundamentais para o problema: a da escola heraclitiana, que afirmava a natureza perpetuamente mutável da realidade, e, por conseguinte, a inexistência do ser dotado de atributos de fixidez, e a eleática, para quem o ser permanece sempre idêntico a si mesmo e, portanto, de forma ousada, negava a realidade do movimento, em sua impossibilidade lógica, reduzindo-o a pura ilusão.

Aristóteles formulou uma outra solução para este conflito entre a estabilidade do conceito do ser, necessária a sua inteligibilidade, e o dado empírico da existência do movimento, através das noções de *ser em potência* e *ser em ato*. Uma semente de um determinado vegetal não irá se transformar aleatoriamente em qualquer outra espécie de vegetal, mas exatamente naquela da qual é semente. Diremos, pois, que na semente não temos atualmente o vegetal plena-

mente desenvolvido, mas uma forma latente dele, que Aristóteles denominou um modo de ser em potência. Sua evolução (movimento) será caracterizada, então, pela passagem do modo de ser em potência ao ser realizado, ou seja, ao que ele chamou de ser em ato. Em outras palavras, existe na semente um elemento de causalidade, definido por sua essência, que determinará sua evolução. Podemos, portanto, identificar durante toda a evolução (movimento) que se dá uma identidade subjacente que permanece. Assim sendo, as noções de ser em potência e ser em ato conferem ao conceito de ser uma natureza dinâmica, que, no entanto, ao preservar uma identidade ontológica, permanece inteligível. As mudanças que ocorrem no mundo a nossa volta, e são percebidas pelos nossos sentidos, são, por conseguinte, conciliáveis com o conceito de ser.

Segundo Aristóteles, todo ser perceptível através dos sentidos é constituído de alguma matéria. No entanto, somente a noção de que é constituído por algo não define este ser. Cada ser possui determinadas características, é desta ou daquela maneira, possui uma forma, que é também um princípio determinante desse ser. Logo, para Aristóteles, todos os seres sensíveis são formados pela composição de matéria e forma.

A matéria é, em princípio, indefinida, podendo assumir diferentes formas. Devido a esta completa “disponibilidade” a adquirir a forma que seja, para Aristóteles a matéria será puro estado de potência, e, onde ela estiver presente, introduzirá um elemento de potência, isto é, uma mutabilidade intrínseca ao ser em cuja composição entra:

Não há nada que seja corruptível por acidente. O acidente, na verdade, é aquilo que pode não ser; a corruptibilidade, ao contrário, resulta das propriedades que pertencem necessariamente às coisas onde esta corruptibilidade existe; senão, uma mesma coisa poderia ser tanto corruptível, quanto incorruptível, desde que aquilo pelo qual ela seja corruptível acontecesse não existir nela. É preciso que em cada uma das coisas corruptíveis, a substância mesmo seja corruptível, ou que a corruptibilidade exista na substância. [2]

Esta corruptibilidade é um elemento verificável em todas as coisas que pertencem ao nosso mundo terrestre. No entanto, o pensamento aristotélico considerava os corpos celestes imutáveis em sua natureza. Considerava que apenas sofressem deslocamentos físicos, que em nada alteravam sua essência. Tal consideração tinha sua origem na própria vivência dos homens, que sempre viram o céu da mesma maneira. Deste modo, nada mais natural do que lhe atribuir um caráter de imutabilidade, radicalmente oposta ao fluxo incessante de transformações a que estão submetidos os objetos no domínio terrestre.

(...) o primeiro corpo de todos (isto é, a matéria celeste) é eterno, não sofre aumentos nem diminuições, mas é eterno, inalterável e impassível. Também penso que a tese confirma a experiência e é confirmada por ela.(..) A verdade disso é também evidente na prova dos sentidos, pelo menos o suficiente para garantir o assentimento da fé humana; pois ao longo do tempo passado, de acordo com os registros transmitidos de geração para geração, não encontramos vestígios de mudança nem no conjunto do céu nem em nenhuma de suas partes. [3]

Assim sendo, se, para Aristóteles, a matéria era a fonte intrínseca da mutabilidade (potencialidade) presente na realidade sensível terrestre, a matéria de que seriam feitos os corpos celestes não poderia ser a mesma, dado que estes corpos, embora perceptíveis pelos sentidos, não possuíam em sua natureza esse elemento de mutabilidade. Aristóteles afirmou, portanto, que, enquanto o mundo terrestre era composto dos quatro elementos: terra, água, ar e fogo, o mundo celeste era composto de um outro tipo de matéria, um elemento denominado éter ou quintessência. Havia, portanto, dois tipos de substâncias sensíveis: as celestes, formadas por matéria incorruptível, e as terrestres, sujeitas a processos de geração, transformação e corrupção. O Cosmos aristotélico será marcado por essa dicotomia metafísica radical entre um mundo terrestre (sublunar) e um mundo celeste (supralunar). No dizer de Pierre Duhem:

Constituindo os céus com essa substância eterna, a física peripatética² se separa da física dos pitagóricos e de Platão; para esses, na verdade, existiam apenas os quatro elementos corporais; compostos de um fogo muito puro, o Céu e os astros não eram separados dos corpos sublunares pela barreira intransponível que Aristóteles eleva entre eles. Quantos esforços serão necessários para derrubar esta barreira! [4]

3. A física aristotélica e o problema do movimento

Em sua obra denominada *Física*, Aristóteles dedica-se detalhadamente à análise do conceito de movimento. Para ele, movimento tem significado de mudança; na sua terminologia, representa a passagem daquilo que está em “potência” para o “ato” (realidade). Aristóteles identifica quatro modalidades destas mudanças: nascimento (geração) e destruição (corrupção), mudanças de qualidades (alteração), mu-

danças de tamanho (crescimento ou diminuição) e deslocamentos (que Aristóteles denominou de movimentos locais).

Para Aristóteles, todo movimento (mudança) possui uma causa. Em sua *Metafísica*, o filósofo analisou a idéia de causa e identificou novamente a existência de quatro tipos. Cumpre enfatizar que sua concepção de causa não corresponde ao conceito moderno de o agente que produz a coisa; esta é, para Aristóteles, apenas um dos tipos de causa, denominada causa eficiente. Assim, quando diz que todo movimento tem uma causa, não se trata de um sistema mecanicista, tal qual o que será construído pela física moderna, a partir da Revolução Científica. Em seu pensamento, causa também tem o significado de princípio que determina ou que estrutura a coisa [5]. Assim, por exemplo, na coisa que muda há um princípio, pelo qual dizemos que ela é de uma maneira agora e não será mais dessa maneira depois; este princípio é a forma da coisa. Existe, pois, uma modalidade de causa chamada formal. Também a coisa que muda é constituída de algo. Essa matéria de que a coisa se constitui é chamada por Aristóteles de causa material. Se não houvesse o movimento (mudança) e o ser fosse estático, o elenco das causas se reduziria às formais e às materiais: a forma (imutável) da coisa e o material de que é feita. No entanto, em face do movimento, surge a pergunta: quem ou o que o provoca e com que finalidade? Desta forma, para Aristóteles, além dos dois tipos de causas anteriores, se fazem necessárias as idéias de causas eficientes e finais. A causa eficiente é, como já dissemos, o agente que produz o resultado; a causa final corresponde à finalidade da mudança, a realidade para a qual a coisa tende. Todos esses tipos de causas estão envolvidos na determinação do ser e de sua evolução. Em especial, a idéia de finalidade está no cerne da solução aristotélica para o suposto absurdo lógico envolvido na caracterização da mudança como passagem do ser ao não-ser. De fato, para Aristóteles, a mudança ocorre, não como a transição do ser ao não ser, mas com uma finalidade primordial, a da passagem de um modo de ser ainda latente à plena realização da essência desse ser ou como a realização das possibilidades nele contidas. Essa concepção finalística dos movimentos desempenha um papel fundamental na cosmologia e na física aristotélicas.

As formas de movimento identificadas por Aristóteles apresentam níveis hierárquicos distintos. Por exemplo, as mudanças de qualidade e de tamanho que uma coisa sofre pressupõem, antes de mais nada, a existência dessa coisa, que se principia em sua geração. Deste modo, esta modalidade de movimento, a geração, possui um caráter de anterioridade em relação às de qualidade e de tamanho. Entretanto, como qualquer movimento, também a geração de algo não pode se constituir em um fenômeno aleatório, sem causalização. Pelo contrário, deve possuir sua razão de ser. Para ex-

²Aristotélica

plicar esses processos de geração, Aristóteles estabeleceu neste ponto um elemento marcadamente mecânico de causação: como a geração representa uma transformação que ocorre em certo lugar, esta transformação só pode ser provocada pela aproximação ou afastamento de algum agente causador, ou seja, pelo deslocamento deste agente. [6]

Nós dizemos, além disso, que o movimento local é a causa da geração e da corrupção. [7]

Em suma, através desse elemento mecanicista, o chamado movimento local adquire um grau de primazia sobre os demais [8]. Estes vínculos causais entre esta modalidade de movimento e as demais, observadas no mundo a nossa volta, desempenharão um papel importantíssimo na concepção da estrutura do cosmos aristotélico, através do modelo (do qual falaremos logo a seguir) das esferas cristalinas homocêntricas e de seus movimentos.

4. O cosmos Aristotélico

A cosmologia de Aristóteles tem um duplo fundamento: é impossível analisá-la sem compreender suas articulações lógicas primordiais com a Metafísica aristotélica; ao mesmo tempo, o Cosmos aristotélico constitui uma síntese das percepções empíricas acumuladas até então pela vivência humana.

Tendo em mente estes dois alicerces, sobre os quais se constrói a estrutura do Cosmos aristotélico, analisemos, primeiramente, a questão de sua constituição. Para Aristóteles, a idéia de vácuo, como a existência do nada, ou seja, do não ser, era contraditória em si, e, portanto, absurda. Desta maneira, seu Universo era completamente preenchido pela matéria.

(...) não existe tal coisa como uma entidade dimensional, exceto a das substâncias materiais. [9]

Ressalte-se que esta impossibilidade lógica era, para Aristóteles, corroborada pela (suposta) constatação empírica da inexistência do vazio. De fato, a base experimental dessa constatação não poderia ser desmentida sem a ajuda de aparatos de que os gregos não dispunham e que só passaram a estar à disposição da humanidade muitos séculos mais tarde [10]. Assim, esta afirmação da inexistência do vazio ganhou status de princípio, chamado de “horror do vácuo”: a Natureza sempre agia no sentido de evitar a formação de vácuo. Muitos fenômenos da vida cotidiana foram explicados com base nesse princípio e constituíram a base fenomênica dessa assertiva.

Por outro lado, o pensamento aristotélico também rejeitava como absurdo lógico a idéia de um infinito, não em potencial, mas atualmente existente. Logo, para

Aristóteles não era possível a idéia de uma extensão material infinita. O Cosmos aristotélico era, portanto, necessariamente finito. Fortemente influenciado pelo paradigma, recorrente entre os gregos, das formas perfeitas, Aristóteles concebeu-o como um espaço finito, plenamente preenchido, limitado por uma esfera, à qual estavam ligadas as estrelas e centrada na Terra.

Esse Cosmos era, como já antecipamos, dividido em dois mundos: o mundo terrestre e o mundo celeste. No mundo terrestre, feito de matéria corruptível, os fenômenos de geração e destruição ocorrem continuamente. De acordo com Aristóteles, fenômenos deste gênero são causados por movimentos locais. Então, especificamente nesse caso, que movimentos locais os produzem?

Para responder a essa pergunta, Aristóteles adotou o chamado modelo das esferas cristalinas. O também grego Eudoxo já havia proposto um modelo matemático capaz de descrever as trajetórias dos planetas em torno da Terra. Para tanto, Eudoxo imaginou esferas concêntricas com a Terra e dotadas de movimentos uniformes de rotação, porém com velocidades distintas, às quais os planetas estariam atrelados. A combinação desses movimentos de rotação produziria as trajetórias observadas dos planetas. Aristóteles transformou então as construções matemáticas de Eudoxo em esferas reais. Assim como no modelo de Eudoxo, os corpos celestes eram presos a essas esferas e as rotações combinadas dessas esferas produziam os movimentos observados dos planetas. Porém, possuindo uma realidade material, essas esferas, ao se movimentarem, provocavam, por arraste mecânico, os movimentos de transformação observados no mundo terrestre.

5. O mundo terrestre e a teoria dos movimentos naturais

No modelo cosmológico das esferas cristalinas, duas delas desempenhavam um papel especial: a esfera das estrelas, como já vimos, limitava o Universo, enquanto a esfera da Lua representava os limites do mundo terrestre, que compreendia a região envolvida por esta esfera. Nesse mundo sublunar ou terrestre os elementos se dispunham segundo uma ordenação hierárquica, formando camadas concêntricas, da mais interior delas, composta pelo elemento mais pesado, a terra, à mais externa, composta pelo mais leve, o fogo.

Esse ordenamento rígido é a base da teoria aristotélica dos “movimentos naturais”. Segundo Aristóteles, uma vez deslocados de seu local natural, os elementos tendem espontaneamente a retornar a ele, realizando movimentos chamados de naturais, no sentido de conformes a sua natureza:

É razoável que todo corpo seja levado a seu lugar próprio; (...) Não é, tampouco, sem razão que cada corpo permaneça por

natureza em seu lugar próprio; um corpo possui, com o conjunto do lugar que lhe é próprio, uma afinidade análoga àquela que uma parte, destacada de seu todo, guarda com seu todo. [11]

e ainda

O em cima não é qualquer coisa, mas o lugar para onde se dirigem o fogo e o que é leve; e, igualmente, o embaixo não é qualquer coisa, mas o lugar para onde vão as coisas pesadas e feitas de terra. [12]

O espaço aristotélico é, portanto, formado de partes (lugares) qualitativamente diferenciadas. É, por conseguinte, radicalmente distinto do espaço neutro que será característico da ciência moderna, este último completamente abstraído da variedade das existências concretas e, assim, concebido como uma homogeneidade abstrata, representável por conceitos geométricos. No dizer do filósofo Ernst Cassirer, no Universo aristotélico

Os lugares têm sua natureza e sua singularidade da mesma forma que os corpos as têm, ou de modo análogo. E entre essas duas naturezas existe uma relação absolutamente determinada de comunhão ou repulsão, de simpatia ou antipatia. De forma alguma o corpo é indiferente ao lugar em que se encontra e no qual está contido; ao contrário: o corpo guarda com o lugar uma relação de causalidade real. Cada elemento físico procura o “seu”, lugar, o lugar que lhe pertence e que lhe corresponde, e foge de um outro lugar que se lhe opõe. Assim o lugar - relativamente a certos elementos - parece dotado de forças, mas não daquelas forças que poderíamos definir como de atração ou de repulsão no sentido da mecânica moderna. [13]

A queda dos corpos sólidos nas proximidades da superfície da Terra é então explicada em termos dessa tendência inerente ao corpo de retornar à posição que lhe é própria. De acordo com Aristóteles, quanto maior o peso do corpo, maior seria esta tendência e, conseqüentemente, maior a velocidade de sua queda em direção à Terra.

No entanto, é preciso que se esclareça que, segundo Aristóteles, o movimento natural do corpo sólido se dirige, não exatamente ao centro da Terra, mas ao centro do Universo. É somente na medida em que este coincide com o centro da Terra que os corpos vão em direção ao centro do Planeta. Aristóteles o afirma no tratado *Dos Céus*:

Se a Terra fosse deslocada para onde a Lua está agora, partes separadas dela não

se deslocariam para o todo, mas para onde agora o todo está. [14]

O movimento de um corpo não é determinado, portanto, pelas relações de posição entre esse e outros corpos, mas pela estrutura geométrica intrínseca de um espaço absoluto.

Essa tendência dos corpos pesados em direção ao centro do Universo é fundamental para o modelo cosmológico aristotélico. Dela, Aristóteles extrai, por dedução simples, a conclusão da imobilidade da Terra:

Dessas considerações depreende-se claramente que a Terra não se move, nem se localiza em mais nenhum lado a não ser no centro. Além disso, devido às nossas discussões a razão de sua imobilidade fica clara. Se é inerente à natureza da Terra deslocar-se de todos os lados para o centro (como mostram as observações), e do fogo afastar-se do centro para as extremidades, é impossível para qualquer parte da Terra afastar-se do centro a não ser compulsivamente... Se então qualquer porção específica for incapaz de se afastar do centro, é evidente que a própria Terra como um todo ainda é mais incapaz, uma vez que é natural que o todo esteja no local para onde as partes têm um movimento natural. [15]

De resto, a esse argumento em favor da imobilidade, fundado sobre um aspecto estrutural da constituição do Universo, Aristóteles acrescenta um outro, onde intervém um elemento empírico. Se não é, como se disse, em direção à Terra que os corpos pesados se movem, mas sim em direção ao centro do Universo, caso este Planeta se movesse, qualquer objeto que não estivesse solidário a ele pareceria, a quem estivesse sobre a sua superfície, se mover em sentido exatamente contrário. Assim, uma pedra lançada para cima a uma altura suficientemente grande cairia, não sobre a mesma vertical, mas em um ponto afastado de seu ponto de lançamento. Como não é isso que mostram as experiências, a hipótese do movimento é errada. Ressalte-se que este argumento conservou-se intacto por muitos séculos e foi utilizado por vários estudiosos contra a hipótese heliocêntrica da astronomia copernicana. Foi somente pela elaboração da lei da Inércia que a observação empírica pôde ser devidamente interpretada, superando a conclusão aristotélica [16, 17].

Da tendência em direção ao centro do universo Aristóteles também deduz o caráter esférico da Terra:

É evidente, primeiro, que se as partículas se movem igualmente em todos os lados para o centro, a massa resultante deve ser semelhante em todos os lados; porque se uma quantidade igual for acrescentada a

sua volta, a extremidade deve estar a uma distância constante do centro. Tal forma é uma esfera. [15]

6. O Problema do lançamento de projéteis

Para Aristóteles, paralelamente aos movimentos cuja explicação residia na própria natureza dos seres, existiam movimentos que não eram conformes a essa natureza. Segundo ele, esses movimentos jamais ocorriam espontaneamente, mas exigiam a ação de uma força, exercida por algum outro corpo. Por este motivo, eram chamados de forçados ou violentos; uma vez que cessasse essa força, esses movimentos cessavam imediatamente.

A existência desses movimentos fazia com que a organização do Cosmos aristotélico não fosse completamente estática. Tomemos, por exemplo, o caso da esfera lunar que, ao se mover, arrastava a camada do mundo terrestre subjacente a ela, formada pelo fogo. Segundo Aristóteles, o movimento natural deste elemento é o movimento radial de subida em direção à esfera lunar. No entanto, ao ser arrastado por essa esfera, o fogo realizava movimentos circulares, que não correspondiam a sua tendência natural. Aristóteles explicava desta forma a origem dos cometas e meteoros. [6]

Assim como neste exemplo, no mundo sublunar ocorriam permanentemente fenômenos físicos em que os quatro elementos eram deslocados de seus lugares naturais, através de movimentos violentos. Contudo, uma vez desaparecida a causa destes movimentos violentos, os corpos, deixados por si mesmos, passavam a realizar movimentos (agora naturais) espontâneos em direção ao lugar que lhes cabia na estrutura ordenada do Universo. O exemplo mais característico dessa situação era fornecido pelo lançamento para cima de um objeto sólido. Sendo feito de matéria pesada (terra), o movimento natural desse objeto seria o de cair em direção ao centro do Universo, e, por conseguinte, em direção à superfície da Terra. Portanto, o movimento de subida, ou seja, de afastamento da Terra, era um movimento anti-natural; sua causa não poderia ser encontrada na essência do próprio ser, mas lhe era exterior.

O problema com que Aristóteles se defrontava era o de como explicar a persistência do movimento de subida (contrário à tendência natural e, portanto, violento) dos objetos lançados. Este objeto só poderia realizar esse movimento violento pela ação de alguma força. Que força seria essa?

Para Aristóteles, qualquer causa eficiente atuante sobre um objeto teria necessariamente de ser contígua a ele; era inadmissível a idéia de uma ação exercida a distância. Deste modo, para ele o movimento violento realizado sobre o objeto sólido lançado para cima só poderia ser explicado por uma força exercida pelo ar. Na realidade, o ar, ou qualquer que fosse o meio através

do qual o objeto se movimentasse, realizava dois tipos de ação sobre o móvel: a primeira delas favorável ao movimento, empurrando-o; a segunda, uma ação de resistência, tão menor quanto maior fosse a *sutileza* do meio (em nossas palavras, quanto menor fosse a densidade desse meio). Segundo Aristóteles, a velocidade com que o objeto se moveria seria tão maior quanto menor fosse a resistência que o meio oferecesse ao movimento. Ora, se o movimento ocorresse no vazio, não haveria resistência alguma oferecida a ele e a sua velocidade seria então infinita, fazendo com que os deslocamentos se realizassem instantaneamente. Como a ocorrência desse infinito, não só jamais havia sido observada, como, para o filósofo, era absurda do ponto-de-vista lógico, isto representava para ele mais um argumento em favor da impossibilidade de existência do vácuo.

6.1. A crítica à física aristotélica e o nascimento da ciência moderna

O problema do chamado lançamento de projéteis constituiu um ponto de ataque à Mecânica aristotélica. As explicações da questão da persistência do movimento violento propostas por Aristóteles foram objeto de refutação por parte de vários estudiosos, ao longo dos séculos que lhe sucederam. Desta crítica nasceu a idéia que seria chamada de teoria do impetus, inicialmente formulada por João Filoponos, no século VI D.C. [6], e retomada no século XIV, já no fim da Idade Média, pela escola nominalista de Paris, através de Jean Buridan. A idéia central desta teoria consistia em que, no ato do lançamento, o lançador imprime no objeto lançado uma tendência (“impetus”) de prosseguir no movimento. Esta tendência, no entanto, no decorrer do movimento, iria se enfraquecendo, até que esse movimento anti-natural se extinguisse por completo. Com essa abordagem, abandonava-se a exigência de que, para qualquer movimento anti-natural, fosse necessário a atuação permanente de uma força externa sobre o móvel; transferia-se a explicação do movimento violento de uma causa eficiente externa para uma “tendência”, comunicada ao próprio móvel pelo agente lançador, como consequência do ato de lançamento.

Apesar da crítica à dinâmica dos movimentos forçados, a ciência aristotélica prevaleceu durante muitos séculos como pensamento científico dominante, sobretudo por força de sua grande unidade lógico-filosófica. Foi somente com o surgimento da astronomia heliocêntrica de Copérnico que esta ciência teve seu coração mortalmente atingido, com o consequente abandono da antiga visão de mundo, que perdurara por tantos séculos, e a aquisição de uma nova.

No entanto, não é correto afirmar, como bem salientou Paul Feyerabend [16], que a física de Aristóteles tenha sido abandonada em face de uma refutação experimental, apontada pelos adeptos da nova ciência,

surgida do copernicanismo. A adoção vertiginosa da nova concepção de mundo se deveu antes à influência de elementos filosóficos, psicológicos e até mesmo estéticos, do que à necessidade de uma resposta a inconsistências irremediáveis do aristotelismo vigente à época. De fato, a vitória dos novos paradigmas sobre a ciência aristotélica não se obteve, desde o primeiro momento, através de um falseamento inquestionável do pensamento então vigente, mas através de uma reinterpretação dos elementos empíricos a partir de novos pressupostos [16]. O fato experimental de que uma pedra largada do alto de uma torre toca o solo em um ponto próximo à base desta torre e não em um ponto afastado dela foi, durante algum tempo, utilizado pelos partidários do aristotelismo como prova da imobilidade da Terra. Galileu reinterpretou este fato empírico acrescentando à explicação do fenômeno um conceito de inércia dos corpos, que faria com que a pedra, após lançada, compartilhasse do movimento da torre, com a qual antes era solidária, de tal modo que esse movimento seria para ela imperceptível e assim, para ela, a torre se comportaria como se estivesse em repouso [17]. Tínhamos, portanto, não a imposição de uma contradição insolúvel ao pensamento estabelecido e sim o confronto entre duas teorias alternativas, igualmente possíveis e internamente coerentes.

A nova concepção científica se impôs, porém, de maneira irresistível e teve como pontos fundamentais [18]:

1. a adoção da linguagem matemática como forma de expressão de mecanismos impessoais de causação dos fenômenos físicos. A nova física distinguia-se radicalmente da física de Aristóteles pelo seu caráter eminentemente quantitativo.

2. a substituição da idéia de um Cosmos ordenado segundo critérios metafísicos por um espaço completamente neutro e indiferenciado, representável por conceitos geométricos abstratos;

3. o abandono da concepção aristotélica abrangente de movimento como processo de mudança, muitas vezes decorrentes de tendências inerentes à própria natureza do objeto ou de uma finalidade a ser cumprida, substituído por um conceito mais restrito de movimento, entendido apenas como deslocamento físico. Abandonam-se, juntamente com isso, as idéias de causas formais e finais, em favor de uma concepção mecanicista, fundada exclusivamente na noção de causas eficientes, a determinarem o movimento so objeto a partir de uma ação exterior.

7. Conclusão

Um aspecto decisivo para a compreensão da física aristotélica é o de que ela constitui um elemento profundamente integrado a um sistema de pensamento marcado por sua abrangência e organicidade. Não é possível

compreendê-la de forma isolada, dissociando-a de suas articulações metafísicas e cosmológicas. Do mesmo modo, a estrutura do Cosmos aristotélico, sua finitude e seu geocentrismo são resultados duplamente fundamentados em sínteses de percepções empíricas e elementos filosóficos apriorísticos.

A teoria aristotélica dos movimentos, por sua vez, está fundamentalmente entrelaçada com a doutrina do ser, que encontra na idéia da passagem da potência ao ato a possibilidade de identificação de uma unidade substancial subjacente às transformações que se operam incessantemente a nossa volta. O movimento, entendido como mudança, deixa de representar o paradoxo da passagem do ser ao não ser, para significar a realização de potencialidades do ser já presentes em sua forma. Ele é, assim, em muitos casos, o processo através do qual o ser caminha em direção à realização de algo que lhe é ditado por sua essência ou por uma finalidade associada a critérios metafísicos de ordem, harmonia e valor. Toda a física dos movimentos naturais está associada a essa causalidade formal e final, que faz com que os elementos espontaneamente se dirijam aos lugares que lhe são próprios, conforme suas essências, em um Cosmos rigidamente ordenado. Explica-se, assim, o fenômeno da queda dos corpos como uma tendência, inerente a sua natureza, de se aproximarem do centro do universo.

A possibilidade ou não das substâncias sofrerem mudanças que lhe alterem a forma conduziu à idéia de dois mundos radicalmente separados (terrestre e celeste), formados por matérias distintas e sujeitos a princípios diferentes. A astronomia e a física terrestre constituíam conhecimentos de natureza profundamente diversa, em razão da diversidade de seus objetos. Essa separação metafísica constituirá um obstáculo epistemológico que levará séculos para ser transposto, quando então tanto os movimentos terrestres quanto os celestes serão explicados pelas mesmas leis dinâmicas, na unidade da ciência moderna.

Finalmente, podemos dizer que a vulnerabilidade da ciência aristotélica proveio, paradoxalmente, em grande medida, desta mesma unidade lógico-filosófica que contribuiu intensamente para o seu enorme prestígio. Dado o caráter profundamente orgânico do pensamento de Aristóteles, a rejeição ou abandono de um de seus elementos acarretava consequências determinantes sobre os demais. Deste modo, o abalo da concepção do Cosmos aristotélico pela astronomia copernicana se transmitiu também à física de Aristóteles [17–20]. A nova física, surgida nos alvares da revolução científica suscitada pelo copernicanismo, adquiriu uma feição completamente distinta da ciência aristotélica: pela adoção da linguagem matemática, passou a constituir uma forma quantitativa de conhecimento, caracterizada por uma concepção mecanicista, apoiada exclusivamente na idéia de causas eficientes e onde os conceitos de causas formais e finais deixam de desempenhar qualquer papel.

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Luis Elias Quintero Samaniego, do Departamento de Física da UFRRJ, pelas sugestões apresentadas.

Referências

- [1] G.E.R. Lloyd, *Early Greek Science: Thales to Aristotle* (W.W.Norton & Company, Inc, Nova York, 1970).
- [2] Aristóteles, *Metafísica*, livro IX, cap. X, in *Aristotelis Opera* (Firmin-Didot, Paris, 1850) tomo II, p. 184.
- [3] Aristóteles, *On the Heavens - The Loeb Classical Library* (Harvard University Press, Cambridge, 1939), p. 23-25.
- [4] P.M.M. Duhem, *Le Système du Monde: Histoire des Doctrines Cosmologiques de Platon a Copernic* (Hermann, Paris, 1997), v. 1, p. 173.
- [5] G. Reale, in *Metafísica* (Ed. Loyola, São Paulo, 2001), v. 1.
- [6] P.M.M. Duhem, *Le Système du Monde: Histoire des Doctrines Cosmologiques de Platon a Copernic* (Hermann, Paris, 1997), v. 1.
- [7] Aristóteles, in *Aristotelis Opera*, (Didot, Paris, 1850), tomo II, p. 464-465, citado por P.M.M. Duhem *Le Système du Monde: Histoire des Doctrines Cosmologiques de Platon a Copernic*, (Hermann, Paris, 1997), v. 1, p. 163.
- [8] P.M.M. Duhem, *Le Système du Monde: Histoire des Doctrines Cosmologiques de Platon a Copernic* (Hermann, Paris, 1997), v. 1, p. 161.
- [9] Aristoteles, in *The Works of Aristotle, I* (Clarendon Press, Oxford, 1929), p. 331.
- [10] T. Kuhn, *A Revolução Copernicana* (Edições 70, Lisboa, 2002).
- [11] Aristóteles, in *Aristotelis Opera* (Didot, Paris, 1850), t. II, cap. V, p. 291, citado por P.M.M. Duhem, *Le Système du Monde: Histoire des Doctrines Cosmologiques de Platon a Copernic* (Hermann, Paris, 1997), v. 1, p. 207.
- [12] Aristoteles, in *The Works of Aristotle, II* (Clarendon Press, Oxford, 1930), 208b p. 8-22.
- [13] E. Cassirer, *Indivíduo e Cosmos na Filosofia do Renascimento* (Martins Fontes, São Paulo, 2001).
- [14] Aristóteles, *On the Heavens, The Loeb Classical Library* (Harvard University Press, Cambridge, 1939), p. 345.
- [15] *Ibid.*, p. 188-189.
- [16] P. Feyerabend, *Contra o Método* (Editora da UNESP, São Paulo, 2003).
- [17] A. Koyré, *Estudos Galilaicos* (Publicações Dom Quixote, Lisboa, 1992); C.M.P. Porto e M.B.D.S.M. Porto, Revista Brasileira de Ensino de Física, aceito para publicação.
- [18] A. Koyré, *Études Newtoniennes* (Gallimard, Paris, 1968).
- [19] A. Koyré, *Études sur l'Histoire de la Pensée Scientifique* (Presses Universitaires de France, Paris, 1966).
- [20] C.M. Porto e M.B.D.S.M. Porto, Revista Brasileira de Ensino de Física **30**, 4601 (2008).