



Cad. Bras. Ens. Fís. UFSC, Florianópolis, SC, Brasil - eISSN 2175-7941 - está licenciada sob [Licença Creative Commons](#).

Cad. Bras. Ens. Fís. UFSC, Florianópolis, SC, Brasil - eISSN 2175-7941 - is licensed under Creative Commons License.

Fonte: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2013v30n2p323/24929>. Acesso em: 31 jul. 2014.

REFERÊNCIA

POLITO, Antony Marco Mota; SILVA FILHO, Olavo Leopoldino da. A filosofia da natureza dos pré-socráticos. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 30, n. 2, p. 323-361, ago. 2013. Disponível em: < <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2013v30n2p323/24929>>. Acesso em: 31 jul. 2014.

A FILOSOFIA DA NATUREZA DOS PRÉ-SOCRÁTICOS⁺*

Antony Marco Mota Polito
Olavo Leopoldino da Silva Filho
Instituto de Física – Universidade de Brasília
Brasília – DF

Resumo

Este artigo faz uma revisão conceitual dos principais elementos relacionados com as filosofias naturais dos chamados filósofos Pré-Socráticos, as quais prosperaram no período compreendido entre os séculos VII a.C. e V a.C. Esse período corresponde ao do surgimento das primeiras investigações do que serão posteriormente as “ciências físicas”, tendo igualmente lançado as sementes, na filosofia, para as grandes construções realizadas no período seguinte por Platão e Aristóteles. O primeiro foco dessa revisão consiste em salientar a íntima conexão existente entre concepções propriamente científicas e concepções filosóficas de caráter mais geral, vigentes durante esse período, quando os campos da filosofia e da ciência eram, de fato, indiscerníveis. O segundo foco consiste em tornar evidente que, do ponto de vista da evolução conceitual da física na Idade Moderna, as elaborações e aquisições dos filósofos Pré-Socráticos não figuraram como meras relíquias, relegáveis a um papel de dispensável curiosidade histórica.

Palavras-chave: *Filósofos Pré-Socráticos. Filosofia da Física. História da Física.*

⁺ The Philosophy of nature of Pre-socratics

^{*} *Recebido: novembro de 2012.*
Aceito: abril de 2013.

Abstract

This article is a conceptual review of the main elements related with the natural philosophies of the so-called Pre-Socratic philosophers, which thrived in the period between the 7th and 5th centuries BC. This period corresponds to the emergence of the first systematizations of which will then be the "Physical Sciences" and also launched the seeds, in Philosophy, to the large constructions carried out in the following period by Plato and Aristotle. The first focus of this review is to highlight the intimate connection between properly scientific conceptions and philosophical conceptions of more general character, in force during that period, when the fields of Science and Philosophy were indeed indiscernible. The second focus consists in to make clear that, from the point of view of the conceptual evolution of the Physics in Modern Age, the elaborations and acquisitions of Pre-Socratic philosophers did not present themselves as mere historical relics deserved to a role of discard able historical curiosity.

Keywords: *Pre-socratic philosophers. Philosophy of Physics. History of Physics.*

I. Apresentação

O presente texto é direcionado prioritariamente a professores e alunos, de tal modo que possa ser utilizado como literatura auxiliar, ou mesmo principal, em disciplinas de história da física cujo objetivo privilegie também temas ligados interdisciplinarmente à filosofia.

Abrimos essa revisão com uma breve seção introdutória de caráter histórico. Nela, a pretensão é adotar um ponto de vista pedagógico específico, segundo o qual uma boa estratégia para o ensino de história da física consiste em considerar, logo de início, o período correspondente ao da Revolução Científica do séc. XVII como um divisor de águas explícito¹. Essa motivação se deve ao fato de serem as

¹ O termo "Revolução Científica" foi cunhado pelo historiador da ciência do séc. XX Alexandre Koyré. Embora não haja unanimidade em torno da crença de que o séc. XVII proporcionou uma mudança revolucionária nos "paradigmas" (para usar um termo de Thomas Kuhn (KUHN, 1962)) da ciência herdada da Idade Média (SHAPIN, 1996), há um grande

etapas inicial e final da Revolução Científica aquelas que assentaram, em termos praticamente definitivos, o que foram a *visão cosmológica* (heliocentrismo) e a *visão mecânica* (física newtoniana) da ciência por todo o período subsequente, até o advento das “revoluções” do séc. XX (KOYRÉ, 2008). Consideramos, portanto, interessante manter constantemente um contraponto entre o período histórico em discussão e o período correspondente ao da Revolução Científica.

Ainda na seção introdutória, deixamos clara a conexão íntima entre filosofia e ciência que vigorou durante todo o período prévio à Revolução Científica. Na seção 3, apresentamos as principais contribuições dos filósofos Pré-Socráticos e sua conexão com o nascimento da filosofia natural. O objetivo não é fazer uma apresentação exaustiva, motivo pelo qual focamos atenção apenas sobre aqueles pensadores cujas concepções têm ligação conceitual direta com a ciência ou com a filosofia da ciência. Inicialmente, discute-se a fundação do problema da natureza com os filósofos jônicos de Mileto. Em seguida, tratamos do desdobramento desses primeiros problemas naturalísticos com a identificação do problema do Ser e do movimento nas filosofias de Heráclito, dos Pitagóricos, dos Eleatas, de Empédocles e de Anaxágoras. Essa exposição termina com a primeira solução completa proposta para esse problema, por parte dos Atomistas gregos. Na seção final, tecemos comentários gerais sobre a contribuição dos Pré-Socráticos para os sistemas de Platão e Aristóteles, bem como sobre a sua influência na contestação do sistema vigente no período prévio à Revolução Científica. Procuramos deixar claro que foi principalmente por intermédio das filosofias de Platão e Aristóteles que os conceitos desenvolvidos pelos Pré-Socráticos foram transmitidos para os filósofos e cientistas da Idade Moderna.

Por fim, ao longo de toda a exposição, procuramos mostrar que, em vários sentidos, as especulações dos filósofos Pré-Socráticos tinham um grau de modernidade maior do que normalmente se costuma conferir a elas. Queremos, entretanto, chamar a devida atenção para o fato de que não é o caso de se *subordinar* as aquisições do período pré-socrático aos desenvolvimentos realizados em períodos posteriores. As ideias e conceitos por eles desenvolvidos têm, certamente, valor intrínseco, sobretudo quando se considera que suas especulações buscavam responder a questionamentos cuja dimensão – como, de resto, em todos os demais períodos – não só não pode escapar completamente aos condicionantes de sua

consenso sobre o fato de que a ciência contemporânea guarda ligações muito mais estreitas com a ciência realizada durante esse período do que com o período imediatamente anterior (BURTT, 1984; HALL, 1994; GODFREY-SMITH, 2003; TORRETI, 1999; CUSHING, 1998).

própria época, como é exclusivamente *voltada* para o seu próprio presente. Nesse sentido, uma perspectiva subordinadora contribuiria – sobretudo do ponto de vista didático-pedagógico – para uma imagem deformada do empreendimento científico [GIL PÉREZ et al, 2001], fazendo parecer, de modo simplista, que a história da ciência não passaria de uma acumulação contínua de conhecimentos cujo fim já estaria, por assim dizer, predeterminado a alcançar o estágio da ciência moderna. Por outro lado, é preciso ter em mente que os diversos períodos históricos não ignoram jamais (quando podem fazê-lo) as aquisições dos períodos anteriores, mesmo que seja no sentido de, por vezes, negá-los. Assim, muito embora o *empreendimento científico* seja contextualizado no tempo, no espaço e na sociedade em que é produzido, ele certamente não é um eterno reconstruir-se a partir do nada.

II. Introdução

II.1 O período anterior à Revolução Científica

O desenvolvimento das concepções científicas² da Antiguidade e da Idade Média corresponde ao período que vai de aproximadamente o final do séc. VII a.C. à metade do séc. XVI d.C. Trata-se de um período extenso, durante o qual uma enorme quantidade de pensadores e filósofos da natureza desenvolveu uma ampla variedade de concepções sobre a constituição do mundo e suas leis de funcionamento. Contudo, é bastante certo que esse largo período não chegou a ver desenvolvimentos tão profundos (e dramáticos) quanto os que tiveram lugar nos cento e

² Chamamos a atenção para o fato de que, por *ciência* ou *concepções científicas*, conotaremos genericamente, ao longo de todo o texto, os diversos modos de se construir explicações sobre os fenômenos naturais que se sucederam ao longo da história, ainda que eles sejam prévios à Revolução Científica e, portanto, à criação das ciências particulares propriamente ditas. A essa conotação genérica é sempre possível contrapor uma conotação estrita, que especifica aqueles modos típicos que costumamos associar à ciência moderna e/ou contemporânea. Evitaremos, quando não for o caso de confusão, empregar diferentes terminologias para fazer distinção entre as conotações genérica e estrita. De qualquer modo, o sentido geral da conotação genérica empregada no texto é sempre afim ao sentido associado ao termo *filosofia natural*, do qual tratamos na sequência. (Ainda a esse respeito, cf. nota 4, a seguir.) Acrescente-se que não é o caso de se fazer qualquer *subordinação* histórica entre as conotações genérica e estrita. Acreditamos que essa opção terminológica faz justiça ao entendimento dos historiadores de ciência que veem nos gregos antigos verdadeiros precursores da ciência moderna, o que, como já salientamos, não lhes retira a especificidade histórica, nem o valor intrínseco de suas concepções teóricas.

cinquenta anos seguintes. Esse período, denominado de Revolução Científica³, corresponde essencialmente ao da criação da ciência moderna (REALE; ANTISERI, 1990; WESTFALL, 1977; BURTT, 1984). Seu caráter revolucionário se deve menos ao rápido aumento do conjunto factual do conhecimento do que ao fato da ciência ter adquirido uma *forma* totalmente nova (GODFREY-SMITH, 2003; BURTT, 1984). Contudo, é difícil imaginar como tais mudanças teriam sido possíveis se condições prévias não tivessem sido gestadas, longa e definitivamente, nos períodos anteriores.

Entre as diferenças marcantes existentes entre o período anterior e o período posterior à Revolução Científica, algumas merecem ser destacadas. Em primeiro lugar, não havia, antes da Revolução, ciências naturais constituídas propriamente como ciências particulares, tais como física, biologia ou química. Em particular, nos períodos imediatamente anteriores à Revolução Científica, as investigações sobre a natureza se faziam sob o escopo do que era conhecido por *filosofia natural*, um nome que denuncia sua filiação, bem como sua origem remota⁴.

A segunda diferença diz respeito ao caráter preponderantemente contemplativo da investigação natural, a qual frequentemente se pautava por simples observação, sem nenhum ou pouco uso de instrumentos, seguida de teorização de caráter eminentemente especulativo. A ideia de manipulação e controle das condições físicas para a observação de fenômenos e o teste de hipóteses – que define o

³ A Revolução Científica tem como marco inicial o advento do heliocentrismo (metade do séc. XVI) e como marco final o surgimento da física newtoniana, no fim do séc. XVII (REALE; ANTISERI, 1990).

⁴ O termo *filosofia natural* foi utilizado até bastante tarde (final do séc. XIX/início do séc. XX) e sequer pode-se dizer que tenha sido completamente deixado em desuso, ainda que soe obsoleto no contexto científico contemporâneo. Em conotação mais restrita, *filosofia natural* continuou sendo compreendida como uma das partes da filosofia geral, aquela que se ocupava do estudo das leis fundamentais do universo, buscando estabelecer suas *causas primeiras* ou princípios necessários. A denominação acabou por se associar, na Idade Moderna, as ciências de caráter mais básico, como a física e a química. Era ramo complementar da outra parte, chamada *história natural*, cujo âmbito era definido pelo que era da ordem do contingente na natureza, e que, por sua vez, cederia lugar àquelas ciências particulares de caráter mais descritivo ou aplicado, tais como a zoologia, a botânica, a geologia, etc. (GODFREY-SMITH, 2003; BURTT, 1984).

que se entende modernamente por *experimento científico* –, só se tornou um componente sistemático da investigação natural após a Revolução Científica⁵.

Em terceiro lugar, a substancial alteração nas condições políticas, sociais e econômicas da Europa da Baixa Idade Média, que viu não só o restabelecimento de rotas e atividades comerciais, como também o processo de reurbanização e fortalecimento das cidades. Com isso, deu-se início ao processo de formação e enriquecimento de uma classe burguesa, a qual viria promover uma mudança profunda no modo de produção e na estrutura relativamente petrificada da sociedade medieval⁶. A exuberância das cidades e a formação de uma classe detentora de capital permitiram uma crescente disponibilização e mobilização de recursos materiais e humanos capazes de fomentar e valorizar as mais diversas atividades liberais. Dentre elas, atividades artísticas, técnicas e intelectuais, as quais puderam, pela primeira vez desde a dominação da cultura europeia pelo cristianismo, verem-se potencialmente livres do controle da Igreja Católica. Isso permitiu às nascentes ciências iniciarem o processo de desafio ao dogma religioso, culminando, por fim, em sua suplantação (HALL, 1994; BURTT, 1994).

II.2 A origem filosófica da ciência moderna

Não se pode compreender a origem dos conceitos da física, ou de quaisquer das demais ciências particulares, sem discutir sua filiação filosófica. E, em particular, não se pode entender como era a física na Antiguidade – ou mesmo a física na Idade Média – fora do contexto do desenvolvimento da própria filosofia. A filosofia foi uma das grandes invenções dos gregos antigos. Ela se caracterizou por uma abordagem completamente original, que procurava substituir o pensamento mitológico (*mithos*) pelo racional (*logos*) como estratégia principal para conceber a realidade. Dentre os elementos característicos da nova visão da natureza e do

⁵ Isso não quer dizer que atividades de cunho experimental não tenham sido por vezes ensaiadas – dentro de perspectivas conceituais e condições materiais mais limitadas – por alguns cientistas e filósofos antes desse período (LLOYD, 1970, 1973; GRANT, 1977).

⁶ Em geral, os modos de produção nas Idades Antiga e Medieval eram, respectivamente, o escravismo e o servilismo, ambos caracterizados pelo imobilismo social e pela existência de uma aristocracia que detinha o poder político e econômico, a nobreza. Esse recorte é apenas esquemático. Tais caracterizações não são nem homogêneas, nem constantes, ao longo da história, apresentando nuances a depender da época e do lugar. Durante todos esses períodos, o papel representado pelo plebeu livre foi importante, principalmente em épocas de maior urbanização, como nos auge das civilizações grega e romana, bem como nas florescentes cidades mercantis da Baixa Idade Média (ROBERTS, 2003).

homem que emergiu desse processo criativo, estavam noções que se tornariam muito caras à ciência moderna, tais como as de *unidade, uniformidade, constância, regularidade e causalidade* (REALE; ANTISERI, 1990; GODFREY-SMITH, 2003; LLOYD, 1970).

Enquanto o pensamento mítico se caracterizava *grosso modo* pela intervenção constante de divindades nos desígnios humanos e naturais, o pensamento racional procurava identificar elementos estruturais que subjazessem aos fenômenos e os regulassem de forma independente de entidades personificadas (ou antropomorfizadas). As divindades mitológicas podiam ter personalidade⁷, mas não estavam submetidas a regras fixas de comportamento ou leis. Em termos do conceito de causalidade, isso equivale a dizer que os mesmos efeitos podiam ter, em princípio, causas *eventualmente* diferentes. Assim, parte da explicação dos fenômenos observados na natureza (e, principalmente, na sociedade) era vedada ao conhecimento humano, pois era fruto exclusivo da vontade divina.

A substituição do pensamento mitológico pelo pensamento racional representa o fim dessa proibição, pois a vontade divina como causa de processos naturais foi (quase) completamente eliminada⁸. Novamente, em termos do conceito de causalidade, a consequência imediata foi o começo da busca por regras que permitissem descrever a conexão constante entre *tipos* de efeitos e *tipos* de causas. Nesse contexto, a substituição da mitologia pela razão permitiu a fundação do pensamento *teórico* – em contraposição ao pensamento *prático* –, caracterizado pela construção de sistemas de explicação que, indo além da mera compilação de conhecimentos e técnicas úteis para os mais diversos fins, procurava submeter o todo da natureza a princípios gerais de funcionamento (REALE; ANTISERI, 1990).

Esse espírito seminal viria a se transformar no elemento mais característico da ciência moderna, passando a constituir a essência não só da física, mas de todas as demais ciências particulares. Seu surgimento teve lugar e época específicos e, segundo opinião geral dos historiadores da ciência, deu-se por volta do final do séc. VII a.C., entre os gregos jônicos, na cidade de Mileto, atual Turquia (LLOYD, 1970).

⁷ No sentido de que cada divindade possuía um padrão geral de comportamento característico.

⁸ A possibilidade da eliminação da vontade divina no contexto do homem e da sociedade levaria muito mais tempo para acontecer, e o início desse processo deu-se durante a Revolução Científica (WESTFALL, 1977; BURTT, 1984; HALL, 1994; KOYRÉ, 2008). Entretanto, pode-se dizer que essa possibilidade só pôde ser plenamente alcançada na segunda metade do séc. XIX, com o surgimento do Darwinismo (COLEMAN, 1977).

Acompanhando as necessidades de rigor e objetividade, regras para a elaboração do discurso, para a correção do raciocínio e para a articulação conceitual dos elementos concretos da realidade sensível⁹ foram formuladas. Assim é que a lógica e a matemática foram criadas como disciplinas propriamente ditas, ambas passando por um desenvolvimento único entre os gregos. A primeira, como uma disciplina puramente linguística e conceitual, teve sua formulação plena nas obras de Aristóteles e da escola estoica¹⁰. Já a matemática grega – a qual era constituída quase que inteiramente pela geometria (euclidiana) e pela aritmética –, foi concebida como paradigma de correção de pensamento e demonstração de verdades. A formulação que lhes deram os gregos é hoje praticamente a mesma, embora o entendimento que hoje tenhamos a seu respeito, sobretudo da geometria, seja radicalmente diferente (BOYER, 1974).

Entretanto, apesar da lógica e da matemática terem atingido níveis muito elevados de desenvolvimento entre os gregos, ambas permaneceram, durante a maior parte do tempo, como disciplinas propedêuticas da filosofia, uma vez que eram consideradas meros instrumentos para a elaboração ulterior do pensamento filosófico¹¹. Ainda assim, dois são os motivos pelos quais não se pode subestimar essas aquisições. Primeiro, porque na sua base está o pressuposto de que a filosofia natural (ou seja, a ciência) versa sobre o *universal* e o *necessário*, não sobre o casual e o contingente¹². Isso significa que, para além de mera compilação de fatos,

⁹ Ou seja, da realidade como acessada por meio dos sentidos. O termo *sensível*, aqui, é empregado exclusivamente com essa conotação.

¹⁰ Foi somente no séc. XIX, com a invenção da lógica matemática, que a lógica recebeu acréscimos substanciais que, contudo, nada modificaram seus elementos anteriores (SILVA, 2007).

¹¹ O que vale tanto para os Pré-Socráticos quanto para Platão e Aristóteles. A história da matemática no período antigo é bem mais complexa, entretanto. O período helenístico (323 a.C.-146 a.C.), por exemplo, foi caracterizado por uma autonomia muito grande, tanto da física quanto da matemática, tendo esta se desenvolvido enormemente nas mãos de Euclides de Alexandria (c. 330-277 a.C.), Eudócio de Cnido (c. 400-c. 350 a.C.), Arquimedes de Siracusa (c. 287-c. 212 a.C.) e Apolônio de Perga (c. 262-190 a.C.). No período correspondente à Alta Idade Média e início da Baixa Idade Média, a matemática ficou estagnada no Ocidente, tendo sido desenvolvida, para além da aritmética e da geometria gregas, muito mais pelos indianos e árabes (estes, com a criação da álgebra) (BOYER, 1974).

¹² Só bastante mais tarde, durante a Revolução Científica, sobretudo com Girolamo Cardano (1501-1576), Blaise Pascal (1623-1662) e Pierre de Fermat (1601-1665), o acaso passou a ser considerado digno de ser objeto de estudo da ciência (BOYER, 1974). O contingente,

sua busca é pelo que é *essencial* na natureza. Seu objeto são *categorias* de fenômenos, não fenômenos isolados. Em segundo lugar, porque o debate e a discussão racionais – e não o dogma ou a revelação religiosa – passaram a ser a “marca registrada” do novo “método” inventado pelos gregos. Esse espírito crítico seria indelevelmente impresso na ciência moderna como uma de suas características mais fundamentais¹³.

Assim, a maior parte da investigação sobre a constituição da natureza e seus modos de funcionamento foi considerada parte da filosofia. Essa “submissão”¹⁴ teve alguns períodos de relaxamento, o mais longo e promissor deles no período conhecido como helenístico (323 a.C.-146 a.C.) (LLOYD, 1973), mas no

por outro lado, sempre fora objeto de estudo da chamada *história natural* (cf. nota 4) e portanto, *stricto sensu*, era do escopo da ciência. Entretanto, é preciso entender a afirmação do texto no sentido de que sempre houve uma hierarquia entre o necessário e o contingente, sendo este presumivelmente redutível àquele, seja metodologicamente (ex.: nas classificações botânicas, zoológicas, etc., pela subsunção dos exemplares a espécies, e essas a gêneros), seja metafisicamente (ex.: Empedócles, Anaxágoras e os Atomistas, pela redução das coisas particulares a raízes elementares ou a átomos).

¹³ A filosofia e a ciência antigas não se pautavam, é claro, pelo revisionismo e, nesse sentido, ainda eram dogmáticas, ou seja, procuravam estabelecer o conhecimento em bases definitivas, e não hipoteticamente. Essa última característica, entretanto, só veio a se estabelecer indiscutivelmente na ciência moderna a partir do séc. XIX (POPPER, 1963). Mas o ponto fundamental aqui é outro: a novidade da filosofia estava na obrigação da *justificação racional* e na certeza de que uma teoria só sobrepujaria uma teoria rival se pudesse derrotá-la *nesses* termos.

¹⁴ Embora não se possa falar propriamente de submissão, não só porque não havia realmente ciências diferenciadas do tronco geral da filosofia para serem submetidas, mas, sobretudo, porque era atribuição da própria filosofia investigar a natureza. Cabe salientar, entretanto, que já havia *dentro* da filosofia uma diferença não só entre filosofia geral ou *metafísica* – preocupada com questões concernentes à estrutura última e essencial do mundo – e *teoria do conhecimento* (ou epistemologia) – preocupada com questões concernentes ao modo de acesso à verdade e à sua justificação – como também entre essas e a *physica*, que era o conjunto de todas as teorias que versavam sobre o mundo *natural* ou *fenomênico* (ARISTÓTELES, 2008a, 2008b). Como elementos cruciais para a posterior diferenciação, cumpre citar principalmente dois: o processo de sofisticação da investigação, que viu crescer enormemente o conjunto factual a ser subsumido sob um só escopo, e a invenção da ideia de *experiência*. É, sobretudo, essa última criação que marcará, definitivamente, a separação entre filosofia e ciência (REALE; ANTISERI, 1990).

geral permaneceu firme, até sofrer um desafio sério com o advento da Revolução Científica¹⁵, que lhe aplicou um golpe definitivo.

Na primeira metade do período medieval (no período que vai aproximadamente até o início do séc. XII), o pensamento cristão se viu herdeiro da tradição helenística e adquiriu conotações neoplatônicas (REALE; ANTISERI, 1990). O período seguinte, entretanto, foi paulatinamente dominado pela assimilação e, em larga medida, reestruturação dos ensinamentos de Aristóteles, tendo como ponto de partida suas traduções e interpretações árabes. O objetivo era sua utilização como base racional para a articulação de um pensamento cristão sofisticado em um mundo ocidental que, embora mergulhado no período de franco retrocesso que se seguiu à queda do Império Romano do Ocidente, era culturalmente herdeiro de um legado intelectual nitidamente superior aos dos europeus do alto medievo¹⁶.

Embora seja precisamente o pensamento e a física de Aristóteles – como constituídas no início da Idade Moderna – que fornecerão o pano de fundo para a Revolução Científica, o período medieval não se relegou ao único fim de transmitir a ciência antiga. De fato, fez algumas contribuições originalíssimas e, mais ainda, testemunhou o aparecimento de alguns profundos contestadores da física aristotélica, em parte ou mesmo no todo¹⁷, e que antecederam os grandes desenvolvimentos de Copérnico (1473-1543), Kepler (1571-1630) e Galileu (1564-1642).

III. A cosmologia e a física dos Pré-Socráticos

III.1 Os fundadores: os naturalistas milesianos

Como dissemos, é consenso entre os especialistas que a aventura intelectual vivida pela ciência moderna teve como seus precursores mais remotos os gre-

¹⁵ No período medieval mais tardio, que do ponto de vista da evolução do pensamento ocidental viu prosperar o casamento da filosofia grega com a teologia do cristianismo, conhecido como período escolástico (início do séc. IX até o final do séc. XVI), essas amarras se tornaram ainda mais fortes. Agora, poderosas razões políticas e religiosas faziam com que fosse sumamente importante controlar o conhecimento e o pensamento teóricos, mantendo-os dentro do escopo do pensamento religioso (REALE; ANTISERI, 1990).

¹⁶ Esse legado correspondia ao patrimônio intelectual dos gregos antigos, herdado por via romana, árabe e bizantina, mas também àquele patrimônio de contribuições originais dos próprios árabes (matemática, astronomia, medicina, mas também leis e filosofia) (REALE; ANTISERI, 1990).

¹⁷ O mais notável dentre eles tendo sido João Philoponus (490-570 d.C.) (GRANT, 1977).

gos conhecidos em seu conjunto como filósofos Pré-Socráticos (LLOYD, 1970; KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007; REALE; ANTISERI, 1990; JAMMER, 1993,1999).

Sócrates foi um filósofo que viveu (ou teria vivido) por volta dos anos 469-399 a.C., em Atenas, Grécia, e seu legado se tornou universalmente conhecido por meio de seu discípulo mais famoso, o também ateniense **Platão** (c. 428-347 a.C.). Platão foi o criador de uma escola de pensamento amplamente bem sucedida, a Academia, cujos reflexos se fizeram sentir por séculos, sendo influente na filosofia até os dias de hoje. Do ponto de vista da física, entretanto, grande parte da filosofia socrático-platônica é tributária de seus predecessores. Esta não é, obviamente, a única razão pela qual esses acabaram merecendo a denominação conjunta de Pré-Socráticos. Muito embora eles tenham vivido ao longo de um período de aproximadamente um século e meio, há uma continuidade e uma conexão estreita, não só conceituais, mas históricas, entre os problemas nos quais todos estavam interessados e, mais ainda, entre as formas que inventaram para resolvê-los. Assim, é sumamente importante notar que a filosofia socrático-platônica, ao mesmo tempo em que representou um ponto de virada que havia colocado as preocupações com o homem (sua natureza e condição) em primeiro lugar, o fez não tanto em negação, mas, sobretudo em diálogo com uma tradição filosófica que tinha na *natureza* seu objeto principal de reflexão. Um diálogo da mesma natureza foi também o ponto de partida para a construção do sistema de pensamento e da física de **Aristóteles** (c. 384-322 a.C.).

O movimento filosófico grego, portanto, não se iniciou, e nem apenas continuou, com uma busca por respostas a questões sobre a natureza do espírito (*logos*) ou da alma (*psyché*), mas por respostas a questões relativas à constituição da natureza (*physis*). Esse movimento teve seu começo oficial por volta do final do séc. VII a.C., com os filósofos jônicos, o primeiro deles tendo sido **Tales de Mileto** (c. 624-546 a.C.), seguido por **Anaximandro** (c. 610-545 a.C.) e por **Anaxímenes** (c. 585-526 a.C.), ambos também de Mileto (Ásia Menor, atual Turquia).

Sua originalidade com relação a tudo o mais que havia sido alcançado até então em termos de conhecimentos práticos (nas áreas da medicina, metalurgia, agricultura, produção têxtil e cerâmica), bem como em conhecimentos teóricos de matemática e astronomia¹⁸, residiu no fato de ter representado a primeira tentativa

¹⁸ A matemática e a astronomia egípcias e, principalmente, mesopotâmicas, encontravam-se relativamente adiantadas. Na matemática, em particular, o sistema de numeração posicional (sexagesimal, na Babilônia), as manipulações aritméticas, com o uso de frações, e algébricas, com o tratamento (não sistemático) de equações de até terceiro grau, demonstram que o

documentada de procurar por *princípios únicos* a partir dos quais a natureza como um todo poderia ser constituída e/ou gerada, bem como seus diversos fenômenos explicados.

Embora todos eles tenham sido filósofos naturalistas, não é estritamente verdade que fossem materialistas, pelo menos não no sentido que atualmente costumamos dar ao termo¹⁹. Assim é que Tales afirmaria que o *princípio originário*²⁰

legado oriental não pode ser subestimado. Da mesma forma, a astronomia babilônica foi responsável por extensa compilação de dados, embora nenhum sistema astronômico tenha sido criado. Os egípcios, por seu lado, proveram o primeiro calendário minimamente acurado, com 365 dias, permitindo assim um razoável acordo com o ano solar médio (BOYER, 1974; LLOYD, 1970).

¹⁹ Isso significa que, embora não houvesse, nesse período inicial, uma nítida separação conceitual entre matéria inanimada e *espírito* (ou, mais propriamente, alma (*psyché*), a essência do que é *vivo* e que possui *autonomia* de movimento), não havia tampouco nenhuma *redução* do espírito à matéria. Nesse sentido, a famosa afirmação de Tales, “*tudo está pleno de deuses*” pode ser conjecturalmente interpretada como um *panvitalismo* ou *hilozoísmo*, que, no mínimo, concebia matéria e espírito vital como igualmente relevantes (KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007). Embora o hilozoísmo fosse um traço característico do pensamento pré-filosófico, ele não era completamente destituído de justificativas naturalísticas, pois, não apenas o mundo vivo, mas também o inanimado apresentava fenômenos que careciam de explicações em termos conceitualmente mais adequados, tais como os da atração e repulsão de origem magnética e eletrostática (cf. nota 53, abaixo). O caráter animista, característico da filosofia de Tales foi, em maior ou em menor medida, compartilhado por muitos (mas não todos) Pré-Socráticos, por Platão e por Aristóteles. Após o período dominado pela escolástica medieval – que sublimou esse aspecto da metafísica aristotélica, tornando-o altamente abstrato – ele retornou com força na figura do *Naturalismo Renascentista* (cf. seção 3.2 e nota 42). Durante a Revolução Científica, ele foi duramente combatido pelo mecanicismo cartesiano (WESTFALL, 1977), mas sua eliminação completa do cenário científico só pôde ser alcançada no século XIX, quando as bases para uma explicação exclusivamente científica (agora, em sentido estrito, cf. nota 2) da vida foram por fim alcançadas (COLEMAN, 1977).

²⁰ Aqui, é preciso um pouco de cautela, pois *originário* deve ser interpretado, muito provavelmente, no sentido cosmogônico – ou seja, como *primitivo* (*arché*) – de uma *matriz* a partir da qual todas as coisas existentes foram *geradas*. (Tales não especificou qualquer modo como essa geração possa ter acontecido.) Esse sentido deve ser contrastado com o sentido *constitutivo*, segundo o qual a água seria um constituinte elementar (*stoicheon*) material básico das coisas. Coube ao Pré-Socrático Empédocles (tratado mais abaixo) conferir relevância maior ao segundo caráter. Contudo, não parece ser esse último sentido o adotado por Tales, embora Aristóteles o interprete em ambos os termos (ARISTÓTELES, 2008a). Quase certamente, Aristóteles distorceu o pensamento de Tales (e, eventualmente, dos demais Pré-Socráticos), pois, além de lidar com fontes já naquela época precárias e duvidosas, também tentou interpretá-lo em *seus* próprios termos. Para Aristóteles, por

de todas as coisas é a *água* – não o que identificamos modernamente como o composto químico *água* (H₂O), mas um *princípio de umidade* universalmente presente em cada coisa, do qual a água comum seria o representante mais perfeito –, que Anaximandro elaboraria uma noção altamente abstrata de um princípio geral material, mas ilimitado e indeterminado, que ele chamou de *apeíron* (literalmente: “sem limites”²¹), e que Anaxímenes elegeu a *Ar Infinito*, qualitativamente material e determinado, mas espacial e temporalmente ilimitado, como seu elemento constitutivo universal (KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007; LLOYD, 1970).

Em todos eles, a noção de *physis* está associada a alguma coisa que é *fundamental e radical* (constitui a base e a raiz) e que, possuindo o atributo da permanência, subjaz ao que é mutável e transitório. Esse princípio é, portanto, constitutivo, mas é também, dentro do pensamento milesiano, principalmente *originário e formativo* (gerativo). O *apeíron* de Anaximandro, por exemplo, gerava todas as coisas existentes através de processos de *determinação* (qualitativa) e *limitação* (quantitativa)²², cujo modelo era estruturalmente similar aos processos de geração e crescimento dos seres vivos (KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007; LLOYD, 1970). Assim, enquanto Tales se limitou a fornecer um elemento originário para o universo, Anaximandro e Anaxímenes procuraram também estabelecer o *modo*

exemplo, *arché* era menos *origem* do que *substrato permanente* ou, ainda, *princípio material* (REALE; ANTISERI, 1990).

²¹ É importante observar que *ilimitado* não significava, necessariamente, infinito, mas “espacialmente indefinido”, ou seja, sem nenhuma forma definida que o limitasse externamente. Embora seja normalmente assumido que Anaximandro concebia seu princípio originário como sendo também de *extensão* (e duração) ilimitada, Kirk (2007) chama a atenção para o fato de que o conceito de infinito só seria claramente articulado com os Eleatas Zenão de Eléia e Melisso de Samos (seção 3.3). O atributo de *indeterminado* deve ser interpretado como se referindo a um “substrato” não identificado com nenhuma das “substâncias” comumente conhecidas. Não é certo, contudo, se Anaximandro concebia o *apeíron* como significando primariamente “de *tipo* indefinido”, tendo derivado o atributo “com extensão indefinida” a partir daí, ou o contrário. Da mesma forma, não existe consenso sobre o motivo que levou Anaximandro a eleger um princípio qualitativamente indefinido (se para solucionar um presumível problema de balanço quantitativo entre as substâncias definidas, ou se para prover uma fonte inesgotável para estas).

²² Os termos *determinação* e *limitação* são de uso filosófico frequente. De acordo com o exposto na nota 21, “determinar” significa dotar algo genérico de propriedades que façam dele algo específico, o que possibilita a sua diferenciação com relação a todos os demais tipos de coisas. “Limitar” deve ser entendido de forma análoga, mas, quantitativamente (seja numérica, espacial, ou temporalmente).

como as diversas partes do universo foram criadas e, para isso, formularam engenhosas concepções de *mudança* e de *transformação*, com base em princípios que, embora fossem parcialmente mesclados com ideias de natureza ética, em Anaximandro, já eram claramente de teor mecanicista, em Anaxímenes.

A cosmogonia naturalística²³ de Anaximandro consistia na geração de *pa-res* de *substâncias contrárias*²⁴ – “substancializações” ou “concretizações” de qualidades contrárias tais como “quente” e “frio”, “seco” e “úmido”, “pesado” e “leve”, etc. – a partir do *apeiron* indiferenciado. Anaximandro não especificou como o processo todo teve início, mas, uma vez iniciado, ele era dirigido por uma “lei de justiça e retribuição” que, literalmente, implicava um equilíbrio dinâmico entre as substâncias contrárias. Assim, a prevalência de uma substância sobre a sua contrária implicava necessariamente uma “penalização” a qual, por sua vez, desencadeava o processo de prevalência oposta em um movimento pendular que se sucedia eternamente. Apesar dessa atribuição ao mundo natural de motivações tipicamente pertencentes ao mundo humano, é importante observar que o que está por trás dessa concepção é a racionalidade de uma “lei” que, independentemente da intervenção de quaisquer vontades, estabelece uma regularidade necessária no comportamento da natureza. Presumivelmente, Anaximandro estava se baseando naquelas que são as mudanças regulares mais perspicuas da natureza: os ciclos anuais das estações (em que o “quente” e o “seco” do verão dão lugar alternadamente ao “frio” e ao “úmido” do inverno) e o ciclo diário da alternância da noite e do dia (em que o “frio” e o “escuro” da noite sucedem o “quente” e “luminoso” do dia).

Em termos de simplicidade e abrangência, Anaxímenes foi um passo adiante e concebeu um sistema que explicava a formação dos objetos materiais através de processos de *rarefação* e *condensação* do *Ar Infinito*. Assim é que, quando o ar se torna sutil, faz-se fogo, mas, quando se condensa, produz água e, em segui-

²³ Cf. nota 25, abaixo.

²⁴ Os mecanismos associados aos processos de formação das substâncias contrárias na cosmogonia de Anaximandro permanecem obscuros. Os especialistas divergem, por exemplo, sobre se Anaximandro teria lançado mão de uma explicação de inspiração mitológica e órfica, concebendo a criação da diversidade em analogia com um processo “embriogênico”, ou se teria concebido uma explicação de cunho “mecanicista”, empregando o artifício de um vórtice que, similarmente aos vórtices observados na natureza, causaria a separação primordial. Entretanto, é preciso atentar para o fato de que o *apeiron*, por sua própria natureza, não podia já conter as substâncias contrárias “misturadas” (KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007).

da, terra, em um processo que pode ter sido imaginado em analogia com as mudanças de estado físico já então conhecidas por observação direta da liquefação e solidificação de diversas substâncias. Contudo, não é certo que os primeiros jônicos já tivessem clara a noção de uma *substância universal* que permanecesse sempre a mesma ao longo dessas cadeias de transformações ou se a substância originária se perdia no processo de formação das demais substâncias (LLOYD, 1970).

Esses primeiros filósofos jônicos podem ser considerados também os fundadores das primeiras cosmologias naturalistas²⁵. Todos propuseram, com base em suas filosofias, de um modo mais ou menos sofisticado, um ordenamento espacial específico para o universo como um todo, e para a Terra em particular. Para Tales, a Terra boiaria sobre a água (presumivelmente, um oceano infinito). Já para Anaximandro, a Terra seria um cilindro plano que, permanecendo coeso pela “distância igual de todas as partes em relação ao centro”, não carecia de sustentáculo e, portanto, “flutuaria” no espaço infinito. Anaximandro é talvez o primeiro filósofo-cientista a propor um *modelo* para o universo dentro do escopo da nascente astronomia grega. Supondo a Terra no centro, ele concebeu os corpos celestes como anéis de fogo que a circundariam concentricamente. Tais anéis, entretanto, estariam quase totalmente velados pela presença de uma “névoa” compacta. Os próprios objetos celestes (o Sol, a Lua e as estrelas) não seriam mais que a visão parcial, a partir da Terra, desses anéis, permitida pela existência de orifícios circulares na “névoa”²⁶.

De um ponto de vista conceitual mais geral, os filósofos jônicos estavam tentando fornecer respostas a indagações cuja profundidade nada deixava a dever às do nosso próprio tempo. Eles procuravam por respostas de validade geral e irrestrita a questões sobre a composição e o funcionamento do universo, sobre a forma como acontecem os fenômenos e o motivo pelo qual acontecem. Devemos, entretanto, estar atentos às conotações que essas questões possuem modernamente,

²⁵ Em contraposição às cosmologias e às cosmogonias míticas que, via de regra, priorizavam o lugar dos deuses e a descrição de sua geração (sendo, assim, propriamente, *teogonias*, ou genealogias das divindades).

²⁶ Esse *modelo* é, modernamente, bastante inverossímil, e muitas das especulações dos Pré-Socráticos foram criticadas já por Aristóteles exatamente nesses termos (ARISTÓTELES, 2008a). Contudo, parte da atividade da ciência moderna é concebida exatamente como “fabricação de modelos” (GODFREY-SMITH, 2003). Sua *inverossimilhança* é menos uma questão epistêmica do que sociológica, ou seja, resultado do modo como se articula dentro do contexto geral da cultura vigente e de suas respectivas *imagens de natureza* (ABRANTES, 1998).

para não correremos o risco de incorrer em anacronismo e imputar aos antigos entendimentos e motivações que eles não tinham. A originalidade dos jônicos e dos demais Pré-Socráticos, com relação à tradição mítica até então prevalecente, não estava tanto na forma das perguntas, mas na forma das *respostas* que eles engendraram e que estavam dispostos a aceitar. Assim é que toda referência a vontades divinas encontra-se suprimida. Não são os deuses que são suprimidos, mas sim a onipotência de suas vontades sobre a natureza e seus fenômenos. Os deuses, limitados em sua extensão espacial e temporal, bem como em seu poder, tornaram-se eles mesmos membros de um universo natural e, como tais, igualmente submetidos a suas “leis” e por elas, virtualmente, explicados²⁷.

Outro elemento sumamente importante a ser destacado nas especulações dos filósofos jônicos é o papel conferido à observação. Ao procurar pelos princípios originários, eles optaram claramente por dar um peso fundamental à evidência dos sentidos, razão pela qual seus *elementos* foram substancializados/exemplificados por meio de substâncias materiais cuja presença era comum. A evidência observacional também desempenhou papel relevante na escolha dos *tipos* de substâncias elementares. Não parece ser coincidência o fato de os estados ordinários de agregação da matéria (sólido, líquido, gasoso) apresentarem nítido paralelismo com as *substâncias elementares terra, água e ar*²⁸ (LLOYD, 1970). Tudo isso contribuiu para conferir um até então inédito grau de *objetividade* a suas especulações.

De um ponto de vista mais especificamente filosófico, esse peso conferido à observação é uma das características nitidamente inovadoras com relação à tradição mítica anterior. Ela viria a se consolidar, juntamente com a busca pelos fundamentos, como elemento *metodológico* das investigações de todo o período subsequente²⁹. Mesmo nos períodos mais especulativos da filosofia e da ciência gregas,

²⁷ Isso, é claro, apenas em princípio. Não consta, das resumidas fontes a partir das quais se depreende o pensamento pré-socrático, que nenhuma tentativa tenha sido feita de construir um *sistema de leis* que regulasse o universo dos fenômenos físicos (nem, obviamente, o comportamento de divindades). Esse importante passo seria dado, pela primeira vez, por Aristóteles (ARISTÓTELES, 2008). Cf. também nota 81.

²⁸ O elemento *fogo* seria, logo em seguida, introduzido nesse rol, por Heráclito. O elemento *terra* foi introduzido pelo Pré-Socrático Xenófanes de Cólofon (c. 570 a.C-c. 475 a.C.), o qual defendia que *terra* e *água* constituíam os elementos primordiais (KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007).

²⁹ Esse novo elemento metodológico não engendrou, no período pré-socrático, uma postura predominantemente ativa de investigação da natureza, nem foi por eles utilizado de maneira

momento durante a hegemonia da Academia de Platão, o elemento observacional passou a constituir um contraponto essencial para a filosofia³⁰. Mas seria com a construção do sistema aristotélico que esse elemento ganharia força. Ainda que a física aristotélica tenha sido completamente condicionada pela sua metafísica, era no *fenômeno*, ou seja, na natureza como ela *se mostra à observação*, que Aristóteles estava realmente interessado. Esse fato torna-se evidente quando se considera as amplas sistematizações e classificações do mundo natural – principalmente de tipos biológicos e geológicos – em que se empenharam não só Aristóteles, como também muitos dos demais membros da escola fundada por ele, o Liceu (LLOYD, 1973)³¹.

Os filósofos jônicos foram, portanto, os iniciadores do processo de especulação sobre os alicerces do mundo natural que seguiu, literalmente, até nossos dias. Eles não foram, entretanto, os únicos.

III.2 Os precursores da metafísica: Heráclito e os Pitagóricos

completamente sistemática. Em termos bastante simplificados, pode-se dizer que os desdobramentos das ciências aristotélica e medieval contribuíram bastante para acrescentar, além de objetividade, sistematicidade à observação, mas contribuíram menos no sentido de modificar a postura predominantemente passiva. É a partir da Revolução Científica que o papel preponderante da observação passou a ser articulado em termos do conceito moderno de *experiência*, que, além da objetividade, procurou englobar tanto o caráter sistemático, quanto o aspecto ativo (WESTFALL, 1977; GODFREY-SMITH, 2003; TORRETI, 1999). Voltamos, entretanto, a alertar que as diferentes características associadas com o elemento observacional são resultado do modo como o próprio conhecimento científico (em sentido genérico) era concebido e perseguido nas suas respectivas épocas. Nesse sentido, a própria *definição* de ciência – e do que constituem os seus métodos característicos – encontra-se sempre condicionada por determinantes históricos e culturais, apresentando variações no tempo e no espaço.

³⁰ Ainda que a metafísica de fundo interpretasse essa evidência de forma completamente diferente, ela não deixou de fornecer razões para aprofundar as investigações. Foi Platão, por exemplo, que cunhou a expressão “salvar os fenômenos”, ao solicitar a Eudóxio de Cnido (c. 400-350 a.C.), membro de sua Academia, que formulasse um modelo matemático que permitisse reproduzir o desconcertante movimento retrógrado dos planetas (LLOYD, 1970; REALE; ANTISERI, 1990).

³¹ O mais importante dentre eles tendo sido Teofrasto (c. 371-287 a.C.), sucessor de Aristóteles no comando do Liceu, e que se interessou profundamente pelo estudo das plantas e das rochas (LLOYD, 1970).

Enquanto os primeiros jônicos iniciaram questionamentos de ordem quase que estritamente naturalista, não tardou para que outros procurassem dirigir seus esforços em sentido cada vez mais *metafísico e epistemológico*³². Metafisicamente, concebendo princípios originários que satisfizessem tanto os requisitos do provimento de uma substância universal como, simultaneamente, os da possibilidade de sua própria inteligibilidade racional. Epistemologicamente, pela crescente preocupação com a natureza do discurso, com as noções de conhecimento verdadeiro (*epistême*) e de mera opinião (*doxa*), e com a real possibilidade de, avançando para além da evidência dos sentidos, atingir o conhecimento da realidade íntima (e última) das coisas (REALE; ANTISERI, 1990; KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007).

Heráclito de Éfeso³³ (c. 544-484 a.C.) foi talvez o primeiro deles, ao procurar plasmar a noção metafísica de *logos* por meio de um elemento material: o *fogo*. Essa concepção deve ser entendida tanto literal quanto “analogicamente”, uma vez que o *fogo/logos* heraclitiano fora concebido tanto como um elemento fundamental, gerador de todas as coisas naturais – em um sentido que dava continuidade ao pensamento naturalista inaugurado pelos filósofos jônicos –, quanto como a instanciação da *inteligibilidade* da própria natureza³⁴. A alma humana (ou mais precisamente, sua faculdade racional), tendo sido concebida por Heráclito como afim ou semelhante ao fogo, seria naturalmente dotada do poder de compreender o universo, em virtude de sua potencial homogeneidade mútua.

Algo bastante similar estava sendo concebido por **Pitágoras de mos**³⁵ (c. 570-496 a.C.) e os demais membros da escola pitagórica (sediada em

³² Os ramos da epistemologia e da ontologia não estavam, entretanto, completamente separados antes de Platão. Por isso, devemos ter em mente que esses termos estão sendo usados em um sentido pós-socrático, que não encontram, portanto, referentes distintos no âmbito do pensamento pré-socrático. Cf. também nota 42.

³³ Éfeso ficava na costa ocidental da atual Turquia, próxima a Mileto.

³⁴ O termo “analogicamente” pode ser enganoso. Heráclito é conhecido por ser o mais enigmático dos Pré-Socráticos e não é fácil interpretar seus fragmentos. Não havendo, contudo, uma clara distinção, no pensamento de Heráclito, entre o elemento fogo e a própria constituição material da alma humana, é preciso cautela com o uso do termo “analogicamente”, ao qual demos preferência apenas para facilitar a compreensão de uma concepção cuja comensurabilidade com o entendimento moderno é, no fundo, questionável (KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007).

³⁵ Samos é uma ilha localizada na região jônica, atualmente próxima à costa ocidental da Turquia.

Crotona, cidade da Calábria, sul da Itália). Eles sustentaram, entretanto, a crença de que o elemento constitutivo das coisas materiais e que era, ao mesmo tempo, fator de inteligibilidade da natureza consistia no conceito de *número/logos*. Para os pitagóricos, o *número* era o princípio fundamental de todas as coisas, mas em dois sentidos: um naturalístico e outro metafísico. No primeiro sentido, idêntico ao concebido pelos filósofos jônicos, os números – unidades concretas, dotadas de grandeza espacial –, eram os blocos de construção do mundo material. Suas limitações e determinações davam origem a todas as coisas concretas e individuais que compunham o universo. No segundo sentido, bastante similar ao concebido por Heráclito, o número era uma manifestação da *ordem* e da *harmonia* do universo, o que acabou por engendrar, no seio da escola pitagórica, a noção de *cosmos* (KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007; LLOYD, 1970).

As analogias numérico-musicais, sustentadas com base na noção de harmonia, foram essenciais para a articulação dessas concepções pitagóricas. Eles foram os responsáveis pela descoberta das relações numéricas existentes entre os intervalos musicais³⁶, tendo inclusive chegado a fazer alguns experimentos em acústica. Mais importante, entretanto, para a história do pensamento científico, foram suas tentativas de estender tais analogias com o objetivo de estabelecer relações matemáticas entre, literalmente, todos os fenômenos da natureza, acreditando que nelas residia sua estrutura íntima. Foi com base nessas concepções que os pitagóricos imaginaram as órbitas dos astros (do Sol, da Lua, das estrelas fixas e também dos planetas) como sendo dirigidas por *esferas cristalinas* invisíveis, associadas às tonalidades musicais.

A harmonia celeste pitagórica era, portanto, realmente uma harmonia musical, mas era, ainda mais essencialmente, uma *harmonia numérica*. Essa é provavelmente a origem da concepção astronômica associada às esferas concêntricas (ou homocêntricas), que se consolidaria a partir de Eudóxio de Cnido³⁷, e que seria

³⁶ Eles criaram a escala harmônica chamada diatônica, em que as relações entre as frequências das notas musicais são baseadas na razão 3:2, denominada de quinta perfeita, que, juntamente com o intervalo de oitava, fornecem os intervalos mais consonantes.

³⁷ Eudóxio de Cnido (cf. nota 30) foi matemático e astrônomo de primeira grandeza, responsável pelo primeiro modelo astronômico que reproduzia, ainda que de forma aproximada, os movimentos retrógrados dos planetas. Seu sistema de esferas homocêntricas permaneceu como o sistema astronômico mais sofisticado até a introdução dos epiciclos, no período helenístico (BOYER, 1974; LLOYD, 1970).

adotada por Aristóteles como modelo astronômico definitivo³⁸. Contudo, as relações numéricas imaginadas pelos pitagóricos não sustentavam somente as harmonias celeste e musical, mas todas as demais “leis” que regiam as determinações do *tempo cronológico*, seja pelo transcurso periódico das estações do ano e dos movimentos cíclicos observados nos astros, seja pelos ciclos biológicos observados nos comportamentos dos animais e das plantas (LLOYD, 1970).

O pensamento desenvolvido pela escola pitagórica teve papel fundamental no desenvolvimento da mentalidade filosófica ocidental, e seus reflexos e desdobramentos ulteriores contribuíram decisivamente para o desenvolvimento da visão científica do mundo moderno (BURTT, 1984; HALL, 1994). Essa visão conferiu à matemática um papel privilegiado como instrumento de acesso ao mundo natural, tendo dado suporte a mais de uma filosofia que só reconheceriam como genuíno o conhecimento de caráter matemático/relacional³⁹. Contudo, as ideias lançadas pelos pitagóricos tiveram que aguardar até o Renascimento (séc. XV e XVI) para que pudessem ser novamente resgatadas e se desenvolvessem plenamente (HALL, 1994).

Antes disso, entretanto, o pitagorismo fora completamente assimilado por Platão, tendo exercido uma influência direta tanto em suas concepções epistemológicas quanto nas metafísicas⁴⁰. Essa influência é mais fortemente visível na sua (única) obra de filosofia natural, o *Timeu*, na qual Platão desenvolveu um sofisticado (e altamente especulativo) *atomismo geométrico* (KALKAVAGE, 2001). A despeito de um relativo afastamento das concepções pitagóricas originais, foi exatamente por via platônica que o pitagorismo pôde ser resgatado pelos renascentistas, o que permitiu aos homens da Revolução Científica, como Galileu e Kepler, fundarem a ciência moderna em bases matemáticas (BURTT, 1984; HALL,

³⁸ De fato, com raras exceções (como no caso do modelo de Aristarco de Samos (c. 310-c. 230 a.C.)), até o advento do heliocentrismo, marco inicial da Revolução Científica.

³⁹ Boa parte da tradição do pensamento racionalista ocidental moderno aderiu a essa tese, algumas vezes mais fracamente, outras mais fortemente. Galileu Galilei (1564-1642), René Descartes (1596-1650) e Immanuel Kant (1724-1804) são alguns representantes dessa epistemologia de viés mais fortemente matematizante (WESTFALL, 1977; REALE; ANTISERI, 1990).

⁴⁰ Para Platão, os números e formas geométricas constituíam uma categoria de objetos ideais (*formas* ou *ideias*) cujo grau de perfeição era superior ao das formas correspondentes aos objetos concretos (embora fosse inferior ao das demais ideias) (REALE; ANTISERI, 1990).

1994)⁴¹. Por isso, é costume referir-se a essa tradição resgatada pelo *Naturalismo Renascentista* por meio do adjetivo “pitagórico-platônica”.

Embora mesclado de platonismo, o pitagorismo abraçado pelos cientistas e filósofos do fim da Idade Média e início da Idade Moderna compartilhava com a tradição original um variado conjunto de teses (REALE; ANTISERI, 1990): (i) *animismo*: crença em poderes invisíveis ou forças ocultas na natureza, responsáveis pela atividade da matéria; (ii) *vitalismo*: crença de que a matéria jamais é encontrada sem “vida” ou percepção; (iii) *empirismo*: crença de que os mistérios da natureza só podem ser revelados pela atividade “empírica”; (iv) *caráter místico-mágico* das manifestações naturais: crença em conexões invisíveis (*simpatias* e *antipatias*) passíveis de manipulação pelo mago-cientista; (v) *irracionalismo*: crença na opacidade da natureza à razão do tipo lógico-discursivo (lógica aristotélica); e (vi) *intuicionismo*: crença de que, no lugar da razão discursiva, o único instrumento capaz de fornecer conhecimento é uma espécie de *intuição imediata* da verdade das coisas⁴².

⁴¹ O que não significa que a articulação da física com a matemática tenha-se realizado apenas após a Revolução Científica. Já comentamos como isso havia acontecido no período helenístico, principalmente com as obras de Arquimedes (cf. nota 11). Entretanto, mesmo antes do Renascimento (sécs. XV e XVI), o desenvolvimento da matemática na Idade Média ocidental apresentou, sobretudo a partir do séc. XIII, algumas contribuições caracterizadas por grande originalidade, muitas delas associadas à física. Ainda durante o século XIII, por exemplo, viveu Jordanus de Nemore (data incerta), considerado o fundador da escola medieval de mecânica, tendo escrito ainda sobre aritmética, geometria e astronomia. O séc. XIII foi marcado pela recuperação da filosofia e da ciência aristotélicas, mas também pela redescoberta das obras de mecânica e matemática de Arquimedes. A partir do séc. XIV, essas redescobertas propiciaram o florescimento dos estudos sobre dinâmica e cinemática, tendo como centros principais as universidades de Oxford (Merton College) e Paris. Em Oxford, Thomas Bradwardine (c. 1290-1349) propôs algumas alternativas matemáticas para a formulação aristotélica dos movimentos naturais, com o objetivo de suplantar as múltiplas inconsistências que resultavam da concepção aristotélica de que para haver movimento era necessária a ação de uma força. Em Paris, Nicolau Oresme (c. 1323-1382) antecipou algumas ideias fundamentais da cinemática de Galileu e da geometria analítica de Descartes ao propor, pela primeira vez, uma representação gráfica para a variação contínua de grandezas físicas e, com isso, obter uma formulação geométrica do teorema da velocidade média, já conhecido no âmbito do Merton College (BOYER, 1974; GRANT, 1977).

⁴² Chamamos fortemente a atenção para o fato de que as características do *irracionalismo* e do *intuicionismo* são típicas do *Naturalismo Renascentista*, e não do pensamento pré-socrático, pelo menos não se deixarmos de acrescentar algumas explicações. Note que ambas caracterizavam uma *reação* ao aristotelismo e, portanto, não podiam ser um traço dos Pré-Socráticos. No contexto do pensamento pré-socrático, *racionalidade e intuição não eram conceitos contraditórios*, pois ainda não havia se processado no seio da filosofia –

A harmonia do mundo como concebida pelos Pitagóricos era, em certo sentido uma harmonia estática, pois as relações matemáticas que a sustentavam tinham um caráter eterno, excluído ao tempo. Em nítido contraste com isso, e mais similarmente aos primeiros jônicos, Heráclito concebia uma harmonia dinâmica, que privilegiava o papel e a ubiquidade da mudança e da transformação, pelo jogo de tensões opostas. Esse movimento de privilégio ora do componente estático, ora do dinâmico, será uma tônica de toda a filosofia grega pré e pós-socrática, e acabará por adquirir conotações não só metafísicas, mas também epistemológicas⁴³ (REALE; ANTISERI, 1990).

Em consonância com a orientação dinamicista de sua concepção de natureza, coube a Heráclito inaugurar, do ponto de vista epistêmico, o problema em torno da *verdade* e da *mera opinião*. Para Heráclito, o mundo da aparência, da natureza fenomênica, em constante atividade de transformação, apontava para um elemento de realidade mais fundamental e, portanto, devia corresponder à *verdade*. Heráclito não negou a existência de algo na natureza que fosse o *substrato* eterno das mutações (seu fogo/*logos*), mas acreditava que a essência disso que ele concebia como *natureza* residia essencialmente na *atividade*, não no substrato. O problema epistêmico, portanto, apresentava também uma faceta metafísica, pois a concepção de natureza de Heráclito instaurava uma hierarquia ontológica cuja prioridade conferida à transformação era totalmente legitimada pela afinidade existente entre a alma e o fogo/*logos* (KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007). Apesar do caráter eminentemente ontológico da questão envolvida, é possível ver em Heráclito – como de resto nos demais filósofos naturalistas jônicos – os primeiros elementos do debate envolvendo concepções claramente ligadas às ideias de *conservação* e de *transformação* na natureza. Essa discussão será um tema central do pensamento pré-socrático, e a ela retornaremos na seção 4, quando tratarmos de seu legado de forma conjunta.

pelo menos não de forma completa – a separação entre *logos* (razão discursiva) e *nous* (intuição racional). Esse passo definitivo coube a Platão, e representou o nascimento de fato da epistemologia como empreendimento filosófico distinto da ontologia (metafísica) (REALE; ANTISERI, 1990).

⁴³ Tal contraposição também pode ser encontrada, por exemplo, entre os trabalhos de Newton e Descartes – o dinamismo (caracterizado pela predominância da noção de força), pelo lado de Newton, e o caráter estático (caracterizado pela predominância do princípio de conservação do movimento), em Descartes (ABRANTES, 1998).

III.3 O problema da realidade do movimento: os Eleatas e seus contestadores

O problema relacionado com o status de realidade do movimento encontrou sua elaboração e solução mais radicais entre aqueles que negavam qualquer realidade a mudança e as transformações na natureza. Entre esses filósofos estavam **Parmênides de Eléia**⁴⁴ (c. 530-470 a.C.) e os membros de sua escola eleática: **Zenão de Eléia**⁴⁵ (c. 490-430 a.C.) e **Melisso de Samos** (c. 470 a.C.). Para os Eleatas, a mudança e o movimento eram considerados exclusivamente da ordem da aparência e, portanto, eram dignos apenas de opinião plausível – ainda que útil –, mas jamais de conhecimento verdadeiro. A *verdade*, para os filósofos Eleatas, estava, necessariamente, em um *Ser* que, sendo a uma só vez uno, indivisível, eterno, estático, uniforme e imutável, concentrava em si mesmo toda primazia metafísica, constituindo o “estofo” real do mundo. A expressão mais elaborada dessa noção foi dada na obra de Parmênides em termos do que ficou conhecido como a *esfera parmenidiana*⁴⁶.

A principal contribuição dos Eleatas não foi de ordem propriamente científica, mas filosófica. Entretanto, essa contribuição foi bastante importante, na medida em que suas concepções guardavam estreita semelhança com o *modo* como a própria ciência se estruturaria mais tarde, na época moderna. Os Eleatas levaram às últimas conseqüências a postura epistêmica que assumia uma racionalidade profunda inerente à própria realidade. Uma vez que todo real era assumido como sendo racional, o conhecimento do real só podia ser alcançado, exclusivamente,

⁴⁴ Eléia ficava na costa ocidental da península italiana, onde hoje é Velia, próxima a Nápoles. Fazia parte da Magna Grécia, ou seja, era uma colônia grega.

⁴⁵ Zenão foi o famoso criador dos paradoxos que passaram para a história, o mais notório dentre eles sendo o de Aquiles e da tartaruga: dada a necessidade de infinitos passos finitos para alcançar a tartaruga, o argumento conclui que Aquiles de fato jamais a alcança, se ela tiver uma vantagem inicial sobre ele, qualquer que esta seja. Tais paradoxos são sofisticados, mas expressavam a deficiência da matemática grega para lidar com o problema do contínuo e do infinito. Tais deficiências só seriam definitivamente sanadas com o advento do cálculo infinitesimal. Entretanto, os paradoxos de Zenão cumpriram um papel importante ao fomentar a discussão sobre o problema do movimento (ARISTÓTELES, 2008a; BOYER, 1974).

⁴⁶ É difícil discorrer sobre esse tema sem correr o risco de incorrer em concepções errôneas. A *esfera parmenidiana* não é, como poderia parecer, uma metáfora. Para Parmênides, o *Ser* verdadeiro só poderia assumir a forma de uma esfera, com as características citadas. Entretanto, não seria possível sua visualização, apenas sua intelecção (*nous*) (REALE; ANTISE-RI, 1990).

pelo exercício da faculdade da *intuição racional (nous)* (REALE; ANTISERI, 1990; KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007). Desse modo, os membros da escola eleática foram os primeiros de uma longa tradição racionalista que, desde Platão até os nossos dias (passando por Descartes, Kant e Hegel), não só negaria status de conhecimento (ou, no mínimo, segurança irrestrita) aos dados brutos obtidos por via sensorial, como também sustentaria a tese de que *conhecer* consiste em revelar as estruturas profundas que se encontram veladas pelas aparências fenomênicas. Essa tese é bastante moderna, e integra o que se conhece hoje como *realismo científico*⁴⁷.

Um aspecto essencial do pensamento eleático deve ser enfatizado. Uma vez assumido que toda mudança é ilusória, o universo não pode ter sido *criado* e, portanto, ele sempre existiu e sempre existirá⁴⁸. A concepção do tempo como se estendendo infinitamente, sem começo nem fim, não é, contudo, uma novidade eleática. Essa concepção já fora adotada por Anaximandro e, em geral, pelos naturalistas jônicos. A novidade aqui consiste no modo como essa infinidade é estabelecida: não “dogmaticamente”, mas com base em argumentação lógica⁴⁹.

Posicionando-se contra as radicais conclusões epistemológicas e metafísicas dos Eleatas, um dos mais importantes filósofos Pré-Socráticos, **Empédocles de Agrigento**⁵⁰ (c. 495-435 a.C.), voltou a defender não apenas a completa legitimidade do testemunho dos sentidos no caminho para alcançar o conhecimento verdadeiro, mas também a *realidade* do movimento. Embora sua contribuição filosófica

⁴⁷ Em contraposição ao *instrumentalismo científico*, versão moderna do empirismo que evoluiu a partir do *empirismo lógico*, em vigor na primeira metade do séc. XX. Cumpre citar, ainda, que o debate entre instrumentalismo e realismo encontra-se plenamente aberto, no âmbito da filosofia da ciência (GODFREY-SMITH, 2003), tendo ele dimensão tanto epistemológica quanto ontológica. O instrumentalismo na física ganhou proeminência nas primeiras décadas do século XX, acompanhando, em larga medida, o sucesso das aplicações da mecânica quântica e o maior interesse da comunidade científica no seu formalismo. A partir da década de 1970, entretanto, o realismo voltou a ganhar força, acompanhando a crescente preocupação da comunidade com aspectos envolvendo *interpretação* das teorias físicas (CUSHING, 1998; TORRETI, 1999).

⁴⁸ Segundo a argumentação de Parmênides, em seu poema filosófico *Sobre a Natureza*, do *Não-Ser* não pode surgir o *Ser*, donde se conclui que o *Ser*, que é, sempre existiu.

⁴⁹ Cf. nota 13 acima.

⁵⁰ Agrigento também ficava na Magna Grécia, mas na Sicília, ilha atualmente pertencente à Itália.

seja inequívoca, é no âmbito da física que Empédocles deu suas principais contribuições. Diferentemente dos demais filósofos naturalistas (que haviam buscado um princípio unário), Empédocles multiplicou as substâncias fundamentais e fundou a longeva doutrina dos *quatro elementos*, ou *raízes*, segundo a qual todas as coisas na natureza seriam formadas por misturas dos elementos primordiais *terra*, *água*, *ar* e *fogo*, em proporções específicas para cada ser particular (LLOYD, 1970).

Mais importante, entretanto, é constatar que o *caráter* realmente distintivo que Empédocles emprestou a essas raízes fundamentais foi o de serem “*substâncias simples*” (*stoicheon*), e não apenas princípios originários⁵¹. Esse passo representou uma clara diferenciação com relação ao pensamento milesiano, pois os primeiros naturalistas jônicos concebiam seus princípios materiais como sendo principalmente fundamentos explicativos para a *geração* da natureza (e de sua diversidade fenomênica) a partir de uma *matriz* única. Empédocles, por outro lado, apontou claramente para a investigação da *estrutura da matéria*, assumindo – ainda que especulativamente – que, em última instância, a explicação da diversidade da natureza podia ser *reduzida* à explicação de sua composição em termos de elementos mais simples (LLOYD, 1970; KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007).

Da mesma forma que para Anaximandro, e concordando, nesse aspecto, com os Eleatas, ele concebeu suas raízes elementares como sendo eternas, de tal modo que elas não haviam sido criadas e também não podiam ser destruídas. Contudo, as raízes ainda assim podiam participar do processo geral de transformações do universo, por meio de mudanças na *proporção* com que compareciam na composição dos diversos corpos. Essa foi a primeira resposta concebida para resolver os paradoxos apresentado pelos Eleatas (KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007). Além disso, para explicar as causas por trás dos processos de transformação, Empédocles concebeu a existência de dois *princípios* ou *poderes ativos*, responsáveis por conferir um caráter dinâmico à sua cosmologia, e assim combater a tese eleática da irrealidade do movimento. Tais poderes ativos eram o “*amor*” (*philia*, princípio de convergência) e o “*ódio*” (*neikos*, princípio de divergência), os quais, embora agindo sobre a matéria de forma absolutamente casual⁵², eram os responsáveis pela estruturação de um *cosmos* em eterno equilíbrio dinâmico que guardava semelhanças com aquele defendido por Heráclito (LLOYD, 1970).

Neste ponto, nota-se novamente uma clara modificação do pensamento pré-socrático, quando comparado com as concepções dos primeiros naturalistas e,

⁵¹ Cf. nota 20 acima.

⁵² Com relação ao status do acaso, cf. nota 12 acima.

em particular, com a teoria de Anaxímenes. Para Empédocles, os processos físicos se manifestavam em uma matéria já *diferenciada*, permitindo assim grande riqueza explicativa. Quanto ao problema eleático original, entretanto, as diferentes *qualidades* apresentadas pelas raízes parecem tê-lo deixado sem uma resposta completa, pois, do ponto de vista das objeções sustentadas por Parmênides, múltiplas raízes colocavam o problema do porque o *Ser* – cujas características necessárias incluem sua total uniformidade – apresentaria diferenciações em seu seio. Contudo, o caminho da *composicionalidade* trilhado por Empédocles já apontava a solução que seria, logo em seguida, fornecida pelos Atomistas (LLOYD, 1970).

Novamente, é impossível subestimar o alcance das especulações da física de Empédocles. Ainda que suas raízes nada tivessem a ver com os elementos químicos modernos, ou com as partículas elementares da atual física da estrutura da matéria, a ideia de explicar uma infinidade de corpos qualitativamente diferentes por meio da simples composição de uns poucos *tipos* de elementos constituintes estabeleceu, pela primeira vez, uma metodologia que não seria mais abandonada. A doutrina das quatro raízes foi assimilada por Platão e, em seguida, por Aristóteles, e vigorou durante toda a Idade Média até ser, finalmente, suplantada pelo atomismo, de moldes democritianos, com o advento da Revolução Científica (BURTT, 1984).

Estritamente em termos de analogia conceitual, é interessante observar que a ideia de que cada raiz devia comparecer em proporções fixas para cada tipo de substância em particular sugere uma antecipação da *lei de proporções fixas* da química moderna, a qual só veio a ser descoberta – por John Dalton – no início do séc. XIX (LLOYD, 1970). Por fim, seus princípios de “amor” e de “ódio” apresentam outra interessante analogia com as forças de atração e repulsão da eletricidade e do magnetismo⁵³, embora aqui a distância conceitual que as separa seja bem maior. Isso mostra que, do ponto de vista da *estrutura* conceitual subjacente, as

⁵³ Vale notar, entretanto, que os fenômenos de atração eletrostática (*electron* é a palavra grega para âmbar) e de atração magnética (Magnésia é uma região na Ásia Menor, rica em um minério de ferro que denominamos magnetita) já eram conhecidos dos gregos, desde pelo menos a época de Tales, que explicitamente os mencionou (ao dizer que “*tudo está pleno de deuses*”) (LLOYD, 1970; KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007). (Cf. nota 19 acima.) Não consta, entretanto, que Empédocles tenha feito qualquer relação entre seus *poderes ativos* e tais fenômenos, sobretudo porque aqueles sempre permaneceram altamente especulativos.

concepções de Empédocles e dos modernos apresentam um grau de similaridade que não se pode desprezar⁵⁴.

Respeitado, portanto, o distanciamento histórico, é digno de nota que a proposição de tais princípios ativos tenha constituído uma intuição bastante nítida com relação à necessidade de se postular a existência de *entes* cuja natureza fosse intrinsecamente distinta da natureza puramente *material* das raízes elementares que constituíam os corpos. O intuito de Empédocles era explicar não somente os processos envolvidos em transformações qualitativas⁵⁵, mas também em transformações quantitativas⁵⁶ da matéria. Uma concepção explícita dessa intuição original só viria a ser novamente proposta séculos mais tarde, por Newton (1642-1727), não apenas com a formulação do conceito de *força* – como desenvolvido no *Principia* – mas, também, com as especulações de sua *Optica*, já no período final da Revolução Científica⁵⁷.

Aproximadamente na mesma época, mas trabalhando em ambiente bastante diverso, outro pensador de extração jônica, **Anaxágoras de Clazômenas**⁵⁸ (c. 500-428 a.C.) forneceu uma resposta ao problema eleático que guardava semelhança geral com aquela elaborada por Empédocles, embora diferisse radicalmente nos detalhes. Anaxágoras negou a existência de apenas quatro elementos, e defen-

⁵⁴ Voltamos a salientar que aqui se trata apenas de comparação de estruturas conceituais. Não é o caso de se incorrer em anacronismo, pois não estamos afirmando que as concepções de Empédocles eram as mesmas dos químicos e físicos da Idade Moderna, ou mesmo que estas constituam balizas históricas para a avaliação de suas concepções. Em particular, as raízes elementares de Empédocles sequer poderiam corresponder a substâncias químicas puras.

⁵⁵ Por exemplo, quando as substâncias alteravam (em termos modernos) sua composição química ou quando mudavam de estado físico. Embora tais fenômenos não fossem, obviamente, interpretados nesses termos por Empédocles, sua observação fazia parte da experiência cotidiana (LLOYD, 1970; KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007).

⁵⁶ Como os fenômenos de coesão e fragmentação, que também faziam parte da experiência cotidiana (LLOYD, 1970; KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007).

⁵⁷ Embora Kepler e outros cientistas e filósofos de inspiração neoplatônica tenham imaginado “forças” desse tipo, elas estavam longe do grau de generalidade assumido por Newton, uma vez que ou estavam restritas aos fenômenos astronômicos ou ainda apresentavam caráter animista demasiadamente pronunciado (JAMMER, 1999).

⁵⁸ Clazômenas ficava na costa ocidental da atual Turquia, próxima a Mileto.

deu a ideia de que as raízes, ou sementes⁵⁹, como ele as designou, eram em número infinito. Diferentemente do caso de Empédocles, Anaxágoras não estabeleceu um princípio de “proporções fixas”, mas tão somente de “*elementaridade universal*”: havia sementes específicas para cada uma das infinitas substâncias naturais (ex.: leite, folha, ouro, sangue, etc.). Ao contrário do que se possa pensar, entretanto, o leite propriamente dito, por exemplo, não era formado apenas por sementes da “substância leite”, mas por todas as demais sementes: apenas acontecia que o leite possuía muito mais sementes da “substância leite” do que de todas as demais substâncias⁶⁰. Ele prosseguiu ainda no sentido de reduzir também as *qualidades opostas* (“quente” e “frio”, “úmido” e “seco”, etc.) a *substâncias materiais*, imaginando sementes também para elas. Lembremos que também Anaximandro havia proposto que as qualidades possuíam caráter substancial.

Esses passos *parecem* sugerir algo na direção do materialismo radical dos Atomistas (e também do mecanicismo de René Descartes (1596-1650), outro dos personagens centrais da Revolução Científica). Mas, nesse caso, trata-se, em larga medida, de mera aparência. Pois, de forma completamente distinta dos Atomistas (e de Empédocles), que fundavam suas teorias de formação dos objetos concretos no puro e simples acaso, para Anaxágoras a geração originária de todas as coisas materiais se dava pelo processo de paulatina *separação* – em um movimento vagamente similar ao centrífugo – do *Uno* (unidade de todas as coisas), guiada por uma *Inteligência Divina (nous)*. Há, portanto, um aspecto *teleológico* nas especulações de Anaxágoras sobre a natureza que já prenunciavam aqueles das filosofias

⁵⁹ Também chamadas de *homeomerias*, ou seja, “divisíveis em partes sempre iguais”. Isso implicava uma divisibilidade infinita de qualquer substância, contrariamente ao que, mais tarde, iriam propor os Atomistas.

⁶⁰ Estranho como isso possa parecer, Anaxágoras buscava resolver um problema um pouco mais “biológico” do que físico propriamente dito. Ele se perguntava como poderiam surgir coisas como cabelo, sangue, carne, casca, folha, flores, etc., nos organismos vivos. Assumindo o postulado de Parmênides de que o *Ser* não pode vir do *Não-Ser*, ele imaginou que as sementes de cada uma dessas substâncias já estariam presentes, por exemplo, nos alimentos ou na terra. É a sua separação, e posterior concentração em partes específicas dos organismos, que resolveria, por assim dizer, o problema. Seu princípio geral era: “em tudo existe sempre uma porção de tudo” (LLOYD, 1970; KIRK, RAVEN, SCHOFIELD, 2007).

naturais de Platão (com o seu Demiurgo, no *Timeu*) e, principalmente, de Aristóteles⁶¹.

III.4 A primeira solução completa do problema do Ser e do movimento: os Atomistas

De todas as contribuições à história da física dadas pelo pensamento antigo, talvez nenhuma seja mais facilmente reconhecível do que o atomismo de **Leucipo de Mileto** (c. 475 a.C.) e **Demócrito de Abdera**⁶² (c. 460-370 a.C.). Eles foram os responsáveis pela construção de uma concepção completamente mecanicista do universo, baseada inteiramente na existência de *átomos* e do *vazio*.

Até mais importante historicamente do que a ideia de átomo, a ideia de *vazio* surgiu, pela primeira vez no ambiente filosófico e científico, como uma brilhante inovação conceitual. Já tivemos a oportunidade de mencionar que o atomismo foi elaborado como uma tentativa de resolver o problema da realidade do movimento, proposto originalmente pelos filósofos eleatas. O problema original, entretanto, já havia se desdobrado, com Platão⁶³, no problema representado pelo antagonismo entre a *unidade* do *Ser* – representado pela *esfera parmenidiana* – e a *pluralidade* dos entes, defendida pelos demais filósofos. Com a criação do conceito de *vazio*, os Atomistas abriram a dupla possibilidade de preservar a constância e a imutabilidade do *Ser* (substanciado na matéria indiferenciada que compunha os átomos) e de, concomitantemente, conceder ao *movimento* status de realidade, pois os átomos democritianos podiam manter inalteradas suas características geométricas e materiais e, ainda assim, moverem-se pelo espaço *vazio*. Desse modo, o status exclusivamente *ontológico* de realidade sustentado pelos Eleatas pôde ser conjugado a uma noção de realidade *fenomênica*. Essa aquisição – que será essencialmente aquela da física moderna – permitiu que o fenômeno passasse a ser também *fonte* de realidade, ainda que, em determinada medida, a escondesse. Acima de tudo, a inovação conceitual do *vazio* representou a primeira concepção clara de

⁶¹ É exatamente contra esse aspecto teleológico que Galileu iria se insurgir, expurgando-o da física moderna (BURTT, 1984). Como já salientamos, as noções que influenciaram a história da física por contraposição também são de grande importância.

⁶² Abdera ficava na Trácia, região onde hoje é o nordeste da Grécia.

⁶³ Foi no diálogo *Parmênides* (PLATÃO, 2010) que Platão discorreu mais profundamente sobre o problema da unidade e da pluralidade e sobre sua possível solução através da teoria das formas.

espaço físico – que surgiu como instanciação do conceito de espaço geométrico, já então do domínio da matemática grega (JAMMER, 1993).

Os átomos de Leucipo e Demócrito, entretanto, não eram nada parecidos com os átomos concebidos modernamente⁶⁴. Eram objetos de fato *indivisíveis*, ínfimos (por isso, invisíveis), formados por uma matéria indiferenciada, infinitamente duros e incompressíveis, e podiam assumir qualquer forma geométrica. Vagavam no vazio, com movimentos puramente aleatórios, e interagiam por meio de colisões mútuas. Nesse processo, podiam eventualmente formar corpos (macroscópicos), uma vez que seu formato infinitamente variado propiciava um mecanismo puramente geométrico de conexão, como ganchos que se prendem uns aos outros (LLOYD, 1970).

A cosmologia atomista era também extremamente inovadora, pois previa a formação de uma infinidade de mundos, num processo puramente mecânico que não deixava de guardar certa semelhança com aquele da teoria de Anaxágoras, embora não apresentasse nenhum traço de uma *Inteligência Divina*⁶⁵. Essa cosmologia de infinitos mundos foi reproposta séculos mais tarde, por Giordano Bruno (1548-1600), filósofo renascentista e defensor de um ideal mágico-hermético de nítida extração pitagórico-platônica (REALE; ANTISERI, 1990; HALL, 1994). Era, além disso, de um ponto de vista conceitual, semelhante à teoria dos vórtices que seria desenvolvida por Descartes (1596-1650), quase vinte séculos depois, durante a Revolução Científica, dentro do escopo de um vasto movimento inaugurado por ele e que passou a ser conhecido como *filosofia mecânica* – a qual dominaria não só o séc. XVII, mas estenderia sua influência até o final do séc. XIX. A “teoria dos vórtices” cartesianos, entretanto, não admitia o vazio em hipótese alguma (WESTFALL, 1977).

A similaridade metafísica entre o atomismo grego e a filosofia mecânica cartesiana não foi a única. Epistemologicamente, dentro do contexto da discussão da realidade e da aparência, os atomistas forneceram uma solução que seria retomada, de forma praticamente idêntica, por Descartes e por Galileu (BURTT, 1984). Os Atomistas negaram realidade ao que se convencionou chamar de *qualidades secundárias* dos objetos, tais como a cor, o brilho, o cheiro e a textura (ou seja, todas aquelas reconhecidas como dependentes de uma estrutura sensorial),

⁶⁴ Também não eram parecidos com os “átomos geométricos” de Platão que, aliás, não concebia o vazio dentro de sua cosmologia.

⁶⁵ Sem *télos*, portanto. Entre um e outro está um conceito que só mais tarde irá aparecer: o conceito de *lei*.

por serem *propriedades subjetivas* e, portanto, passíveis apenas de mera opinião (variando de indivíduo para indivíduo). Desse modo, os Atomistas só reconheciam como *reais* as *qualidades* ditas *primárias*: a forma, o ordenamento e a posição espacial dos átomos, as quais, sendo *objetivas*, eram as únicas que poderiam prover o conhecimento verdadeiro⁶⁶.

Inquestionavelmente, a principal contribuição dos Atomistas foi a criação do conceito de vazio. Com exceção do caso da física epicurista⁶⁷, o atomismo não prosperou na Antiguidade, ou mesmo na Idade Média. Sua rejeição por ninguém menos que Aristóteles permaneceu como decreto de banimento, pois a concepção da física aristotélica não podia permitir de modo algum o vazio. Essa interdição foi adotada por quase toda a física antiga e medieval⁶⁸. O extremismo dessa interdição pode ser sentido no termo *horror vacui*, uma epítome latina da noção segundo a

⁶⁶ Note-se a estreita conexão existente entre os três atributos conferidos à realidade: (i) ser qualidade primária, (ii) ser objetiva e (iii) ser *passível de formulação matemática*. Esse último atributo está implícito nas concepções dos Atomistas gregos, mas só seria explicitamente articulado, pela primeira vez, durante a Revolução Científica, tanto por Descartes quanto por Galileu. Seria Galileu, entretanto, quem daria o passo mais importante, ao acrescentar, por fim, um último atributo a essa cadeia de conexões: (iv) ser *mensurável*. Isso revela a estreita relação entre matemática e experiência. A descoberta dessa relação contribuiu para a transformação da perspectiva *contemplativa* da ciência antiga e medieval (majoritariamente baseada na *experienciação*) em uma perspectiva *ativa* (baseada na *experimentação*), característica da ciência moderna. (Embora a conexão entre matemática e experiência não fosse a única a expressar uma perspectiva desse tipo. O ideal mágico-místico do Renascimento incluía um aspecto ativo que era menosprezado pela filosofia tradicional. Entretanto, esse aspecto era também muito mais prático do que teórico, o que o afastava da concepção moderna de ciência (HALL, 1994). A conexão entre matemática e experiência era capaz, por sua vez, de agregar também esse caráter teórico.)

⁶⁷ O epicurismo foi uma escola filosófica do período helenístico, fundada por Epicuro (341-270 a.C.). Seu atomismo era um pouco mais sofisticado do que o de Demócrito, na medida em que incluía, além das propriedades primárias citadas, o tamanho e o peso dos átomos. Esta última propriedade era, presumivelmente, a responsável pelo movimento retilíneo vertical dos átomos, de cima para baixo, que lhes atribuía Epicuro. A diferença mais notável, entretanto, advinha da postulação de um segundo tipo de movimento, o *clinamen* (declinação ou desvio), segundo o qual os átomos podiam desviar-se aleatória e, portanto, imprevisivelmente, de sua trajetória retilínea, dependendo do seu tipo. Este movimento havia sido introduzido com o objetivo de dar lugar ao livre-arbítrio, embora com sucesso questionável. Seu último representante mais ilustre foi o poeta e filósofo romano Lucrécio (c. 99 a.C.-55 a.C.).

⁶⁸ Exceções importantes foram o cristão neoplatônico João Philoponus (490-570 d.C.) e, em certa medida, o filósofo árabe Avicena (980-1037 d.C.).

qual a natureza abomina o vazio. Segundo essa concepção, dada qualquer tendência de se fazer o vazio numa certa porção do espaço, a matéria automaticamente se moveria no sentido de jamais permiti-lo. Essa noção perdurou até meados do séc. XVII, quando foi contestada por cientistas como Evangelista Torricelli (1608-1647) e Blaise Pascal (1623-1662), dois outros grandes personagens da Revolução Científica, mas igualmente, nessa mesma época, pelo filósofo Pierre Gassendi (1592-1655), que voltou a defender o atomismo e o vazio em moldes bastante semelhantes ao do atomismo democritiano, opondo-se frontalmente a Descartes (WESTFALL, 1977).

O atomismo de moldes democritianos foi abraçado por Galileu (ainda que de forma não sistemática) e, em seguida, por Newton, com quem a legitimidade do conceito de vazio seria definitivamente alcançada (GALILEI, 1991; NEWTON, 1999). Mas a ideia de que todo o universo podia ser exclusivamente formado por átomos e vazio teve que esperar até o final do séc. XIX para ser novamente proposta, mas, dessa vez, em bases conceituais profundamente modificadas (PURINGTON, 1997).

IV. O legado dos filósofos Pré-Socráticos

A fertilidade e a riqueza do pensamento pré-socrático puderam ser conhecidas e reconhecidas de três formas. A primeira delas consistiu nos fragmentos remanescentes de textos originalmente compostos (ou presumivelmente compostos) por eles. Esses fragmentos têm extensões variadas. Enquanto apenas algumas frases são conhecidas de Tales, por exemplo, quase toda a obra de Parmênides sobreviveu. Mas, no geral, são poucas as fontes originais. Elas aparecem principalmente dispersas em citações feitas nas obras de Platão e de Aristóteles e em citações feitas pelo filósofo neoplatônico Simplicio (c. 490-c. 560) – um brilhante comentador da obra de Aristóteles –, pelo historiador platônico Plutarco (c. 46 – c. 120) e pelo biógrafo Diógenes Laércio (c. séc. III, d.C.) (DIÓGENES LAËRTIUS, 1987)⁶⁹. A compilação moderna mais completa dos textos dos Pré-Socráticos foi realizada por H. Diels (publicada em 1879, sob o nome de *Doxographi Graeci*), tendo sido revisada por W. Kranz (DIELS, 1879; DIELS; KRANZ, 1974)⁷⁰.

⁶⁹ Outras fontes originais incluem Sexto Empírico, Clemente de Alexandria, Hipólito e João Stobaeus (KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007).

⁷⁰ A literatura sobre os Pré-Socráticos modernamente disponível é bastante extensa e pode ser encontrada tanto em livros como em artigos de revistas científicas especializadas. Ela

A segunda forma consistiu na doxografia, ou conjunto de comentários feitos por autores posteriores, os quais citam, comentam e, muitas vezes, também distorcem suas doutrinas e teorias. Dentre eles incluem-se Platão e Teofrasto⁷¹, mas talvez o mais importante de todos os doxógrafos dos Pré-Socráticos tenha sido Aristóteles (KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007).

A terceira forma é, do ponto de vista das ideias aqui desenvolvidas, talvez a mais interessante, pois ultrapassa o valor meramente histórico e consiste na sobrevivência de suas ideias e concepções, as quais foram incorporadas e transformadas ao longo de diversas gerações de pensadores, passando muitas vezes por assimilações tão profundas que não traem mais tão facilmente sua origem remota. Isso, entretanto, é fato corriqueiro na história do pensamento, e deve ser visto menos com estranheza do que com familiaridade.

As influências mais imediatas, no entanto, são hoje bastante conhecidas, como, por exemplo, na filosofia socrático-platônica. Platão foi o responsável por efetuar uma verdadeira reviravolta na perspectiva dos filósofos anteriores a ele, pois sua filosofia voltou-se, antes de tudo, para o homem, não para a natureza. Mas, quando o fez, ele já não podia ignorar as especulações dos filósofos da natureza, e acabou por assimilá-los de modo bastante eclético. Assim é que não somente os ingredientes fundamentais do problema eleático (o *Ser* e o *Não-Ser* de Parmênides), como também aqueles que constituíram as soluções de Empédocles (doutrina dos quatro elementos) e Anaxágoras (Inteligência ordenadora/Demiurgo) passaram a ser vistos, posteriormente, como parte da filosofia de Platão⁷². Mais importante ainda, no caso de Platão, foi sua assimilação praticamente completa da filosofia pitagórica. Tanto que a importância que Platão daria à matemática pôde fazer-se sentir séculos mais tarde, quando os pensadores do Renascimento redes-

cobre desde temas exclusivamente filosóficos até temas relacionados com a evolução histórica dos conceitos da física (e da ciência em geral). Da mesma forma, existem estudos eruditos que versam tanto sobre o conjunto da obra dos Pré-Socráticos quanto sobre as obras individuais. Uma excelente compilação dessa bibliografia encontra-se disponível no endereço eletrônico <<http://plato.stanford.edu/entries/presocratics>>.

⁷¹ Cf. nota 31 acima.

⁷² Platão, de modo consistente com sua abordagem, muito voltada à *epistème*, relacionou o *Não-Ser* ao “engano” (entre formas e formado – *O Sofista*), relacionou a *Inteligência Divina* de Anaxágoras à alma imortal (*Fédon*), em caráter particular, e ao Demiurgo, em caráter geral, e assimilou a doutrina dos quatro elementos em sua atomística de caráter geométrico-material (*Timeu*) (PLATÃO, 1997, 2010; KALKAVAGE, 2001).

cobriram a filosofia da natureza e a revestiram de pitagorismo e platonismo. Apesar do acentuado teor místico e mágico que marcou essa redescoberta, à matemática estaria destinado um papel de primeira grandeza, ao longo da Revolução Científica, e é difícil imaginar essa história sem a contribuição dos pitagóricos (BURTT, 1984; HALL, 1994).

A outra influência imediata foi sobre Aristóteles⁷³. O sistema da física (e da metafísica) aristotélica é uma monumental construção que o próprio Aristóteles só considerou passível de edificação após combater, uma a uma, as doutrinas dos pensadores Pré-Socráticos que o antecederam. Ainda assim, uma parcela considerável da filosofia de seu mestre Platão foi absorvida (após profunda modificação) e, com ela, também algumas ideias pré-socráticas, sendo a doutrina das quatro raízes de Empédocles a mais evidente delas (ARISTÓTELES, 2008).

Mas algumas ideias muito mais profundas acabaram por ser compartilhadas. Quando Aristóteles construiu o seu sistema, ele o fez segundo princípios “orgânicos”, transferindo para a natureza inanimada aspectos característicos da natureza viva. Com maior ou menor ênfase, tais princípios orgânicos (*hilozoísmo*, do grego *hyle*, matéria, e *zoe*, vida⁷⁴) foram defendidos por boa parte dos Pré-Socráticos, exceção feita talvez apenas aos Eleatas e aos Atomistas (cujas doutrinas, aliás, Aristóteles rejeitava em bloco). Quando Tales, por exemplo, falava do elemento água, a ideia de fundo era a de um princípio que participa de processos como geração, crescimento e nutrição. O mesmo se dava com Anaximandro, quando descreveu a geração das coisas concretas, a partir do seu *apeiron*, como um processo de crescimento que reflete intimamente o modo como ele se dá na natureza viva. E considerações similares podem ser tecidas com respeito a Anaxímenes, Heráclito, Empédocles e Anaxágoras (ARISTÓTELES, 2008).

Do ponto de vista do advento da modernidade, é importante notar que a Revolução Científica se deu em contraposição à visão de mundo aristotélico-ptolemaica, e que o Renascimento, que a antecedeu, havia operado um profundo resgate das concepções platônicas. As teses pré-socráticas, que haviam sido consideradas e contestadas minuciosamente por Aristóteles, se constituíram, assim, em

⁷³ A importância de Aristóteles com relação ao conhecimento do pensamento pré-socrático é, talvez, muito maior do que pode parecer à primeira vista. Como sua apresentação do pensamento pré-socrático visava estabelecer-se em termos polêmicos, é praticamente certo que o modo como Aristóteles os interpreta distorceu suas concepções para que elas se adequassem ao modo como ele próprio concebia o problema da natureza.

⁷⁴ Cf. nota 19 acima.

pontos de apoio naturais para os contestadores modernos do sistema aristotélico. Dois dos exemplos que citamos evidenciam claramente esse ponto: o atomismo democritiano, abraçado por Galileu (ainda que não sistematicamente) e por Newton; e o pitagorismo, abraçado pelos renascentistas, que permitiu a homens como Galileu e Kepler fundarem a ciência moderna em bases matemáticas.

Outra contribuição para a história da ciência que merece ser destacada diz respeito ao fato de que os Pré-Socráticos foram os primeiros a articular, objetivamente, noções claramente ligadas às ideias de *conservação* e de *transformação* na natureza ao conceberem, ainda que em caráter especulativo, princípios materiais que subjazessem à pluralidade dos fenômenos mutáveis – permanecendo estes mesmos princípios imutáveis ao longo da cadeia de transformações. Esse problema guarda íntimas relações com o (sempre presente) problema filosófico da contraposição entre *realidade* e *aparência*, mas remete, ainda que de forma vaga e indireta, também ao problema moderno da relação entre conservação e transformação de *grandezas físicas* no transcurso do tempo. Contudo, é preciso salientar que um considerável esforço teve que ser realizado, a partir do advento da física como disciplina autônoma, para: (i) definir *precisamente* o conceito de conservação, (ii) definir o que é uma *grandeza física*, (iii) identificar quais dentre elas eram conservadas e, por fim, (iv) determinar sob que condições eram de fato conservadas. Tudo isso só foi realmente possível dentro contexto de teorias *matematicamente* construídas, o que esteve fora do alcance dos Pré-Socráticos.

A ausência de formulação matemática não invalida, entretanto, o fato de que o *tema* ligado à conservação foi articulado pelos Pré-Socráticos em termos *conceitual* e *qualitativamente* similares aos da física moderna⁷⁵. Uma evidência bastante luminosa de tal correspondência encontra-se na asserção de Demócrito do princípio segundo o qual “*do nada, nada provém, e nada se torna nada*”. Essa asserção é, na verdade, uma reelaboração do princípio eleático que afirma a eternidade e a indestrutibilidade do *Ser*⁷⁶, e que fora adotado não somente por outros Pré-Socráticos, como Empédocles, mas também por Aristóteles e por Lucrécio⁷⁷,

⁷⁵ Ou seja, da física construída durante e após a Revolução Científica.

⁷⁶ Cf. Parmênides, *Sobre a Natureza* (KIRK; RAVEN; SCHOFIELD, 2007).

⁷⁷ Em sua obra de *De Rerum Natura* (*Sobre a natureza das coisas*), Lucrécio apresenta-se como defensor do atomismo de moldes democritianos, e afirma categoricamente que “*nada pode jamais ser criado do nada*” e “*a natureza resolve tudo nos seus átomos componentes e jamais reduz qualquer coisa a nada*”. Cf. também nota 67.

passando então para a filosofia escolástica e para a física medieval⁷⁸. Portanto, a despeito do fato de que os antigos não tivessem uma noção claramente definida de *quantidade de matéria*⁷⁹, não é verdade que não tivessem claramente articulada uma noção relacionada com *matéria* e, da mesma forma, com um *princípio geral de sua conservação* (JAMMER, 1997)⁸⁰.

Por fim, ao problematizarem a concessão de status de *realidade* ao movimento e ao universo dos *fenômenos* naturais em geral – cuja *aparência* revela sempre a mudança, o movimento, a geração e a dissolução – os Pré-Socráticos inauguraram uma tradição de investigação filosófica e naturalística que, tendo sido retomada com bastante vigor séculos mais tarde, se desdobraria no *racionalismo* e no *mecanicismo* modernos – os quais tornaram-se, respectivamente, as “imagens” de ciência e de natureza majoritárias do início do séc. XVII até o final do séc. XIX (ABRANTES, 1998).

Contudo, apesar da ampla correspondência que fizemos – em termos de analogia conceitual – entre as ideias dos filósofos Pré-Socráticos e as ideias que viriam mais tarde a fazer parte da história da física, já como disciplina autônoma (após a Revolução Científica), é importante termos em mente que, aos Pré-Socráticos, faltaram, sem dúvida, muitos elementos conceituais de fundamental importância.

⁷⁸ “*Ex nihilo nihil fit*” – essa é a fórmula latina que será exaustivamente empregada para expressar a ideia de que o *nada* não tem poder para gerar coisa alguma. Na Idade Moderna, acabou sendo articulada em termos de um princípio metafísico, chamado *princípio de razão suficiente* (assim denominado pelos filósofos racionalistas Espinoza (1632-1677) e Leibniz (1646-1716)), e que, não coincidentemente, foi também a base para a argumentação a favor de quantidades conservadas, em particular, a energia (mais precisamente, a *vis viva* de Huygens (1629-1695) e Leibniz) (JAMMER, 1993, 1997, 1999; WESTFALL, 1977; DUGAS, 1988).

⁷⁹ Segundo Jammer (1997), foi Simplicio quem forneceu a primeira solução (errônea, por fim) para o problema (conceitual) da *quantificação* da matéria (ou seja, da associação de uma medida ou número à matéria). Para Aristóteles, *matéria* era um conceito ao qual não estava relacionado a noção de *corpo* (e, portanto, de magnitude). Ao introduzir a ideia de *forma material*, Simplicio acabou por definir quantidade de matéria como *extensão* (magnitude espacial), no que foi seguido pelos neoplatônicos e, em larga medida, também por Descartes.

⁸⁰ De um ponto de vista mais geral, o problema envolvendo conservação e transformação condicionou o desenvolvimento da física durante toda a sua história. O destino desse par dicotômico foi a sua surpreendente união, no séc. XX, com o desenvolvimento das modernas concepções de simetria e invariância da física fundamental.

Do ponto de vista teórico, nenhum deles chegou a construir um verdadeiro *sistema de leis* que constituísse uma *teoria física* como a entendemos modernamente⁸¹. Isso se deve, em parte, ao fato de terem muitas de suas especulações ficado adstritas a aspectos puramente qualitativos. O caso dos Pitagóricos é, sem dúvida, uma exceção, mas, suas especulações matemáticas não foram muito além do estabelecimento de algumas relações estáticas no campo da astronomia e da acústica, o que é pouco para uma teoria física moderna. Aos Pré-Socráticos faltaram também ferramentas linguístico-conceituais, que só foram criadas algum tempo depois, grande parte delas pelo próprio Aristóteles. Porém, a ausência mais importante foi, sem dúvida, a ideia de *experimento*. Tivessem eles – e outros, após eles – superado completamente a perspectiva majoritariamente *contemplativa* que pautava suas especulações sobre a natureza, é bastante possível que a Revolução Científica tivesse sido antecipada em vários séculos.

Referências

- ABRANTES, P. C. **Imagens de Natureza, Imagens de Ciência**. Campinas (SP): Editora Papirus, 1998.
- ARISTÓTELES. **Physics**. Tradução para o inglês: R. Waterfield. Oxford: Oxford University Press, 2008.
- ARISTÓTELES. **Metaphysics**. Tradução para o inglês: J. Sachs. Oxford: Oxford University Press, 2008.
- BOYER, C. B. **História da Matemática**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher LTDA., 1974.
- BURTT, E. A. **As bases metafísicas da Ciência Moderna**. Brasília: Editora UnB, 1984.
- COLEMAN, W. **Biology in the Nineteenth Century**: problems of form, function and transformation. Cambridge: Cambridge University Press, 1977.

⁸¹ O primeiro a fazê-lo foi, sem dúvida, Aristóteles. Entretanto, o seu sistema não é ainda exatamente parecido com uma teoria física *moderna*, pois lhe falta a matemática. Se adotássemos, entretanto, critérios demasiado estreitos, deveríamos concluir que foi apenas com os *Principia* de Newton que surgiu a primeira teoria física propriamente dita, o que claramente parece ser bastante injusto não só para com muitos dos seus predecessores (e contemporâneos), mas também para com o próprio Newton! (Em sua *Óptica*, por exemplo.)

CUSHING, J. T. **Philosophical Concepts in Physics**: the historical relations between Philosophy and scientific theories. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

DIELS, H. **Doxographi Graeci**. Berlim: de Gruyter, 1965.

DIELS, H.; KRANZ, W. **Die Fragmente der Vorsokratiker**. Berlim: Weidmann, 1974.

DIÔGENES LAËRTIUS. **Vidas e Doutrinas dos Filósofos Ilustres**. Brasília: Editora UnB, 1987.

DUGAS, R. A. **History of Mechanics**. New York: Dover Publications, 1988.

GALILEI, G. **Dialogues Concerning Two New Sciences**. New York: Prometheus Book, 1991.

GIL PÉREZ et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GODFREY-SMITH, P. **Theory and Reality**: an introduction to the philosophy of science. Chicago: The University of Chicago Press, 2003.

GRANT, E. **Physical Science in the Middle Ages**. Cambridge: Cambridge University Press, 1977.

HALL, M. B. **The Scientific Renaissance (1450-1630)**. New York: Dover Publications, 1994.

JAMMER, M. **Concepts of Space**: the history of theory of spaces in physics. 3. ed. New York: Dover Publications, 1993.

JAMMER, M. **Concepts of mass in Classical and Modern Physics**. New York: Dover Publications, 1997.

JAMMER, M. **Concepts of Force**: a study in the foundations of dynamics. New York: Dover Publications, 1999.

KALKAVAGE, P. **Plato's Timaeus**. Newburyport: Focus Publishing, 2001.

KIRK, G. S.; RAVEN, J. E.; SCHOFIELD, M. **The Presocratic Philosophers**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

- KOYRÉ, A. **From the Closed World to the Infinite Universe**. Radford: Wilder Publications, 2008.
- KUHN, T. **The structure of scientific revolutions**. Chicago: University of Chicago Press, 1962.
- LLOYD, G. E. R. **Early Greek Science: Thales to Aristotle**. New York: W.W. Norton & Company, 1970.
- LLOYD, G. E. R. **Greek Science: after Aristotle**. New York: W.W. Norton & Company, 1973.
- MCKEON, R. **The basic works of Aristotle**. New York: The Modern Library, 2001.
- NEWTON, I.; COHEN, I. B.; WHITMAN, A. **The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy**. Berkeley: University of California Press, 1999.
- PLATÃO, COOPER, J. M. (ed.), HUTCHINSON, D. S. (ed.). **Plato: Complete Works**. Indianapolis: Hackett Publishing Company, 1997.
- PLATÃO. **Plato: Parmenides**. New York: Classical Books International, 2010.
- POPPER, K. **Conjectures and refutations: the growth of scientific knowledge**. London: Routledge, 1963.
- PURRINGTON, R. D. **Physics in the nineteenth century**. New York: Rutgers University Press, 1997.
- REALE, G.; ANTISERI, D. **História da Filosofia**. São Paulo: Ed. Paulus, 1990.
- ROBERTS, J. M. **The New History of the World**. Oxford: Oxford University Press, 2003.
- SHAPIN, S. **The Scientific Revolution**. Chicago: University of Chicago Press, 1996.
- SILVA, J. J. **Filosofias da Matemática**. São Paulo: Editora UNESP, 2007.
- TORRETTI, R. **The Philosophy of Physics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- WESTFALL, R. S. **The Construction of Modern Science: mechanisms and mechanics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1977.