

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL – UFFS**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO, *LATO SENSU* EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA**  
***CAMPUS ERECHIM***

**EVERTON FANTINELLI**

**O MICRO E O MACRO NA GRÉCIA ANTIGA**

Erechim, RS, março de 2013.

EVERTON FANTINELLI

**O MICRO E O MACRO NA GRÉCIA ANTIGA**

*A busca pela unificação na ciência helênica a partir do debate entre a teoria substancialista e os modelos atomista e heliocêntrico*

Monografia apresentada à UFFS, *Campus* Erechim, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em História da Ciência, sob a orientação do Professor Paulo José Sá Bittencourt.

Erechim, maio de 2013.

## RESUMO

A presente monografia analisa de que forma os gregos antigos concebiam dois importantes campos do saber: a composição da matéria e a visão da estrutura do cosmos. A visão sobre a constituição da matéria pode ser dividida em duas partes. A primeira se refere a uma visão substancialista da matéria, isto é, a matéria seria composta pelas quatro substâncias fundamentais: ar, água, terra e fogo, além do éter, que, para Aristóteles, era quem compunha os corpos celestes. Para os substancialistas, sobretudo Platão e Aristóteles, existiria uma separação entre o mundo sublunar (aquele no qual nós vivemos), onde a mudança era possível e natural; e o mundo supralunar (o céu, o cosmos), onde tudo era fixo e imutável, ou seja, eterno. A outra visão sobre a constituição da matéria foi a atomista, desenvolvida por Leucipo e Demócrito. Esta visão supunha que a matéria era composta de átomos, pequenos corpos indivisíveis. A união destes átomos daria origem a todos os tipos de materiais e organismos vivos, inclusive o homem. Portanto, para essa visão tanto o nosso mundo como o mundo supralunar dos aristotélicos era regido pelas mesmas leis: eram iguais e formados da mesma substância. Quanto à visão sobre a estrutura do cosmos divide-se, também, em duas partes. A primeira é a visão geocêntrica, a com maiores seguidores, que propunha que a Terra era o centro do universo. Já a segunda visão era a heliocêntrica, que postulava ser o Sol o centro do universo. Esta visão foi muito pouco acreditada em sua época devido, pelo menos em parte, ao sucesso da teoria geocêntrica.

Palavras-chave: Grécia antiga. Composição da matéria. Estrutura do cosmo.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>4</b>
<b>1 A VISÃO DO “MICRO” NA CIÊNCIA GREGA.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 Um pouco sobre a ciência grega.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2 A constituição da matéria segundo os gregos antigos.....</b>	<b>8</b>
<i>1.2.1 A visão substancialista da matéria.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.1.1 Os filósofos pré-socráticos.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.1.2 Os pitagóricos.....</i>	<i>12</i>
<i>1.2.1.3 Platão.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.1.4 Aristóteles.....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.2 Os atomistas gregos.....</i>	<i>18</i>
<b>2 AS TEORIAS ASTRONÔMICAS: O GEOCENTRISMO E O HELIOCENTRISMO.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1 A visão geocêntrica.....</b>	<b>22</b>
<i>2.1.1 Anaximandro e Anaxímenes.....</i>	<i>22</i>
<i>2.1.2 Os pitagóricos.....</i>	<i>23</i>
<i>2.1.3 Platão.....</i>	<i>26</i>
<i>2.1.4 Aristóteles.....</i>	<i>28</i>
<i>2.1.5 Ptolomeu.....</i>	<i>30</i>
<b>2.2 O heliocentrismo.....</b>	<b>34</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>37</b>
<b>Referências.....</b>	<b>40</b>

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho visa analisar como os gregos antigos viam a composição da matéria e a estrutura do cosmos, ou seja, o micro e o macro. Em ambos os casos existiram duas “correntes” principais de pensamento. Cada corrente pressupunha diferentes abordagens do mesmo assunto. Mais ainda, pode-se dizer que eram antagônicas.

Os principais motivos que levaram à escolha deste tema foram, além de meu apreço pelo mundo antigo, o lugar pioneiro ocupado pelos gregos na História da Ciência. A civilização helênica foi, no meu ponto de vista, uma das mais fascinantes que existiram no mundo antigo. O gosto dos gregos antigos pela descoberta e pela formulação de teorias (embora as ideias deles não fossem sempre corretas pelo nosso ponto de vista moderno) fez com que eles se interessassem pelos mais variados tipos de assuntos, desde a filosofia até a astronomia. Neste conjunto de ideias formuladas pelos pensadores gregos, destaquei uma questão basilar, a saber, a visão que eles tinham do *cosmos* em suas escalas observacionais do micro e do macro. Embora num primeiro momento pareça que as principais visões que enfrentaram o problema não tenham muito a ver uma com a outra, procurarei demonstrar que todas elas se relacionam, porquanto a formulação de determinado modelo explicativo para a constituição da matéria tinha implicações fundamentais sobre o caráter que muitos pensadores concediam aos céus, ao cosmos, ou, se se preferir, ao universo em sua estruturação total e em sua escala mais ampla de observação.

O principal objetivo deste trabalho foi demonstrar como era a concepção de micro e macro (universo e matéria) que os gregos antigos possuíam, demonstrando se, de alguma maneira, alguma concepção seria “unificadora”, que tratasse tanto a matéria presente em nosso planeta como o universo como feitos da mesma substância, ou de substâncias similares. Outro objetivo foi demonstrar se alguma teoria sobre composição

da matéria pressupunha um modelo de cosmos, um modelo que pudesse complementar e exemplificar a sua ideia. Por isso a ideia de trabalhar o micro e o macro.

A metodologia utilizada para este trabalho foi a pesquisa bibliográfica. A escolha por este tipo de metodologia está ligada ao tema do trabalho, pois, sendo uma pesquisa sobre o mundo antigo não existem muitos tipos de fontes disponíveis, sobretudo em nossa região. O material disponível não é, numericamente, muito grande, contudo, a qualidade dos autores suprime este fato. Além do mais, este não é tratado com muita frequência pelos autores e, quando é abordado, costuma ser de maneira mais superficial.

A importância deste trabalho reside no fato de tratar de um assunto que não abordado com profundidade na maioria dos trabalhos. Além do mais, trata de alguns assuntos que ultrapassaram os limites temporais da Grécia Antiga. Por exemplo, a visão geocêntrica do cosmos perdurou por muito tempo após o fim da Antiguidade (para ser mais específico, começou a ser questionada no século XVI).

Por fim cabe dizer que o trabalho foi dividido em duas partes. A primeira trata da constituição da matéria. Nela são abordados diversos pensadores que estudaram este assunto. Esta parte também se divide em duas: uma delas trata sobre a visão substancialista da matéria, a qual foi a predominante; a outra trata sobre os atomistas, um grupo minoritário de pensadores que tinha uma visão diferente dos substancialistas. A segunda parte trata da estrutura do cosmos e também tem duas divisões principais: uma trata sobre o modelo geocêntrico do cosmos, que era o mais aceito em sua época; já a outra trabalha sobre o modelo heliocêntrico do cosmos.

## 1. VISÃO DO “MICRO” NA CIÊNCIA GREGA

Antes de iniciar o estudo sobre a visão dos antigos gregos sobre o “micro” (ou seja, o pequeno, a constituição da matéria e dos objetos e seres em si) cabem algumas palavras sobre a “ciência grega”.

### *1.1. Um pouco sobre a ciência grega*

Foi na Grécia Antiga que se iniciou, se é que assim podemos afirmar, o surgimento da ciência. Claro, era uma ciência diferente da nossa, não poderia ser considerada ciência na acepção moderna do termo. Mas deixando de lado isto, o que a Grécia Antiga tem de mérito é o fato de ter desenvolvido os fundamentos básicos do que viria a constituir a ciência, que acabou influenciando muito o Ocidente, e por muito tempo.

Carl Sagan afirma que:

[...] nenhuma dessas civilizações [chinesa, indiana, asteca], afirma Cromer, desenvolveu o método da ciência, cético, investigador, experimental. Isso tudo veio da Grécia antiga [...]. Os antigos jônicos foram os primeiros pensadores de que temos conhecimento a afirmar sistematicamente que são as leis e forças da Natureza, e não os deuses, os responsáveis pela ordem e até pela existência do mundo. (SAGAN, 1996, p. 301).

Ao desvencilhar o mundo da influência dos deuses, os antigos gregos estavam criando a ciência. Embora esta não fosse como a ciência moderna (a ciência moderna tem como postulados básicos a observação, a teorização e experimentação dos fatos, enquanto a ciência grega baseava-se apenas na observação e especulação sobre os fatos, sem a prática da experimentação), era de fato um avanço em comparação às antigas explicações religiosas dadas por outros povos, inclusive os próprios gregos. Assim nascia a ciência grega: num intuito de explicar como surgiu e como funcionava o mundo (e também o universo). Era uma maneira de entender como funcionava a natureza.

Essa mesma visão sobre a ciência grega é dada por Colin A. Ronan:

Entre todos os povos da Antiguidade ocidental, foram os gregos que não apenas colecionaram e examinaram fatos, mas também os fundiram em um grande esquema; que racionalizaram o universo inteiro, sem recorrer à magia ou à superstição. Foram os primeiros filósofos da natureza que formaram ideias e criaram interpretações que podiam manter-se por si mesmas, sem invocar qualquer deus para apoiar fraquezas ou obscurantismos em suas explicações. (RONAN, 2001, p.64).

Mais uma vez percebe-se que foram os gregos antigos os primeiros a darem explicações racionais sobre a natureza, embora, como veremos mais adiante, muitas das suas explicações estavam incorretas. Mas o mérito deles é o de explicar sem se apoiar no divino, no sobrenatural, em alguma entidade que pudesse eliminar as lacunas que a sua teoria possuía, embora muitas explicações ainda utilizassem de alguma maneira os deuses (os deuses eram vistos, nestes casos, como uma variável necessária em termos de explicação racional do universo).

Apesar de seu avanço em relação às explicações com intervenções divinas e sobrenaturais, a ciência grega não estava correta em todos os seus aspectos. Pelo contrário possuía muitos erros, embora tivesse, também, inúmeros acertos. “A matemática grega foi um brilhante passo a frente. Por outro lado, a ciência grega – os seus primeiros passos rudimentares e frequentemente desassistidos pela experimentação – estava crivada de erros” (SAGAN, 1996, p.303). Ao se referir “a ciência grega” Carl Sagan menciona em especial algumas áreas do conhecimento, como a ótica, alguns princípios que hoje se encaixariam na genética, estudos sobre o movimento, a astronomia, etc.

Apesar de investigar mais a natureza sem recorrer a explicações de ordem sobrenatural, os saberes gregos da antiguidade apresentavam consideráveis lacunas quando considerados em relação à ciência moderna. A principal delas, salvo algumas exceções, foi seguramente a ausência da experimentação, fator sem o qual torna-se praticamente impossível falar de “ciência moderna”.

Essa ausência devia-se, principalmente, ao desprezo que os gregos antigos davam aos trabalhos manuais, adequados apenas aos escravos, pelo qual se prescindia da



realização de experimentos para provar suas teorizações, o que acarretava formulações fundamentadas tão somente em especulações.

Desprezando, assim qualquer tipo de experimento para provar as suas teorias, estas eram apenas especulações. Entre os poucos nomes da época que fizeram experimentos pode-se citar Eratóstenes (que determinou a circunferência da Terra através de um experimento, e que errou por alguns quilômetros) e de Empédocles, que fez experiências com o ar<sup>1</sup> (SAGAN, 1996, p.303). Também é válido recordar a experiência feita por Arquimedes, que determinou se a coroa do rei Hierão, de Siracusa, era composta de ouro puro ou continha prata. Para realizar esta experiência Arquimedes, primeiramente, mediu quanto líquido uma coroa idêntica feita de ouro puro deslocava em um recipiente. Depois, fez o mesmo com a coroa do rei, o que provou que ela não era feita de ouro puro. Apesar das experiências mencionadas acima, a ciência grega não era experimentadora, mas sim especuladora, sendo os casos descritos aqui como casos esporádicos e isolados.

Entre os diversos problemas com os quais os gregos se defrontaram, dois deles, por sua ampla envergadura e destacada importância, são, por sua própria essência, reveladores da tensão crucial entre “pensamento especulativo” e “investigação experimental”. Trata-se, pois, das principais formulações apresentadas ao problema da natureza em suas dimensões “micro” e “macro”. As inúmeras áreas de conhecimento a que os gregos se dedicaram poder-se-ia citar muitas, mas duas foram escolhidas para este trabalho: a visão sobre o micro e sobre o macro. É o que será visto a seguir.

### ***1.2. A constituição da matéria segundo os gregos antigos***

Para os gregos antigos a matéria era composta de inúmeras formas, cada “escola” de pensadores tinha uma ideia sobre de que a matéria era constituída. Podemos, talvez arbitrariamente, dizer que quanto à constituição da matéria existiam duas correntes

---

1

A experiência feita por Empédocles foi a utilização de uma clepsidra para determinar a natureza material do ar. Em outras palavras, foi demonstrar que o ar era composto de alguma substância material.

diferentes de pensar (sem que necessariamente os pensadores de uma mesma corrente tivessem alguma ligação): uma era a corrente substancialista – que propunha que a matéria era formada por “substancias”, como ar, água, fogo, terra, etc.; a outra era a atomista, que propunha que a matéria era formada por átomos (não confundindo com a teoria atômica moderna, que aparentemente possui algumas semelhanças com o atomismo grego, mas são teorias bem diferentes).

### ***1.2.1. A Visão substancialista da matéria***

#### ***1.2.1.1. Os filósofos pré-socráticos***

Uma das primeiras maneiras de pensar como era constituída a matéria nasceu com os filósofos gregos da escola de Mileto, conhecidos como filósofos jônicos. Um dos primeiros a propor que a matéria era composta por uma substancia foi Tales de Mileto (nascido por volta de 624 a.C.), que “[...] propôs que a água fosse a essência material do mundo, provavelmente pela sua habilidade de se transformar e de se adaptar sem jamais perder a sua identidade [...]” (GLEISER, 2010, p. 47). Essa é uma maneira essencialmente substancialista de ver como que a matéria seria formada, já que atribui à água o papel de substância formadora.

A escolha pela água deveria ser, pelo menos em parte, derivada da importância que esta tem para o mundo, e também para o universo, já que a água seria responsável também pelo universo, considerado por Tales como um organismo vivo (GLEISER, 1997, p.46). Portanto a substância formadora da matéria e do próprio cosmos era, para Tales de Mileto, a água, a mesma substancia seria responsável tanto pelo nosso mundo como pelo cosmos.

Outro filósofo que foi um substancialista é Anaximandro, foi um contemporâneo de Tales, ou teria vivido um pouco depois dele. Contudo para ele a ideia principal não era de que a água fosse o elemento fundamental.

Substituiu a ideia de Tales da água como elemento básico por uma substância indeterminada, ilimitada e possuindo movimento próprio, que ele chamou de *apeiron*: uma substância não gerada e imperecível que continha e dirigia todas as coisas. (PIRES, 2011, p.15-16).

O *apeiron* de Anaximandro era o responsável por todas as coisas do mundo, era ele quem formava as mais diversas substâncias e objetos do mundo. Contudo Anaximandro não explica a origem desta substância, apenas propõe que ela não foi gerada, o que nos leva a supor que sempre existiu, não sendo criada por ninguém.

A visão de Anaximandro ia também em direção ao cosmos. Para ele o universo era eterno e infinito em extensão, existindo um grande número de outros mundos (GLEISER, 1997, p. 47). A substância indeterminada de Anaximandro (o *apeiron*) também era responsável pela organização do universo, pelo seu funcionamento e pela sua dinâmica. Assim, para Anaximandro, o material que formava a Terra era o mesmo que formava o universo.

Anaximandro teve um discípulo, Anaxímenes. Contudo o discípulo divergia do mestre em pelo menos um ponto: “[...] sua opinião era de que o ar era a substância básica da qual se originavam todas as coisas [...]” (RONAN, 2001, p. 71). Talvez esta escolha tenha sido influenciada pelas características que o ar possuía, como por exemplo, estar em todos os lugares da Terra, ser invisível, etc., sendo que Anaxímenes teria feito observações sobre o ar.

Essa ideia de Anaxímenes é confirmada por Marcelo Gleiser:

[...] ele acreditava que o ar, à medida que sua densidade mudava, compunha todas as coisas. Quando rarefeito, o ar se tornava fogo; mais denso, o ar se tornava vento e subseqüentemente água, terra e pedra. (GLEISER, 1997, p. 47)

Este trecho melhor explica as características do pensamento de Anaxímenes sobre a substância fundamental que compunha todas as coisas. O ar, devido às suas propriedades, era o elemento fundamental, e através de mudanças em suas concentrações ele dava forma aos outros elementos.

Outro nome importante, também ligado aos filósofos jônicos, foi o de Heráclito, que postulava que o fogo era a substância fundamental, responsável pelas coisas e objetos. “O fogo assumia assim, o papel de elemento primordial: o elemento que

possibilitava a transformação, que expressava a lei que regia o universo” (ANDERY, 2007, p. 47). Assim o fogo assumia o papel de elemento principal, o que gerava e formava tudo. Isto provavelmente se deve ao fato de que ao observarmos o fogo e suas ações percebemos como ele “transforma” os materiais e objetos (como por exemplo, a combustão de um pedaço de madeira, a fervura de um pouco de água, etc.). Talvez por essa capacidade de “transformar” as outras substâncias é que o fogo foi escolhido como o elemento fundamental para Heráclito. Sendo assim o fogo poderia ser encarado como uma ideia de transformação.

Quanto ao universo, Heráclito concebia que “[...] era eterno: sem começo – não havia um momento no qual tivesse se originado – e sem fim – era fruto de perpétua transformação” (ANDERY, 2007, p.48). A ideia de transformação do universo de Heráclito ia de encontro com sua ideia de o fogo ser o elemento fundamental: já que o fogo era o responsável pelas transformações que ocorriam – e as transformações eram um dos principais pontos da filosofia de Heráclito – era natural que o universo permanecesse em eterna transformação, pois, se na essência tudo era transformação, era natural que o universo também se transformasse.

Outro filósofo a propor que havia elementos fundamentais no universo, e conseqüentemente na matéria, foi Empédocles que:

[...] ao propor quatro elementos constituintes do universo – a terra, o ar, a água e o fogo –, também afirmava a pluralidade. Esses elementos eram eternos, não continham início e nem fim, idênticos a si mesmos e, combinando-se, juntando-se ou separando-se, formavam a diversidade dos fenômenos do universo. (ANDERY, 2007, p.53).

Esta é a conhecida teoria dos quatro elementos que postula que as substâncias fundamentais são quatro (terra, água, ar e fogo). Estas substâncias são as responsáveis pelas coisas e objetos (e seres também) que existem no universo. Tal ideia é também explicitada por Claude Allègre ao afirmar que “os constituintes universais da matéria são: *o fogo, a água, o ar e a terra*; toda a matéria é uma combinação destes quatro elementos” (ALLÈGRE, 2000, p.59). Esses quatro elementos eram os responsáveis, mediante suas diferentes combinações, por todas as formas de matérias. Sendo assim, tanto o universo como a matéria em nossa volta seriam formados pelos quatro elementos.

Os elementos formadores não deveriam ser levados ao pé da letra, mas sim entendidos com as suas características, as atribuições que os seus aspectos lhe atribuíam. Sendo assim, um mesmo material seria composto de vários elementos, como a madeira que seria composta de terra (por ser pesada), de água (por possuir umidade), de ar (por fumegar) e de fogo (por emitir chamas) (RONAN, 2001, p.82).

As teorias que postulavam a existência de substâncias fundamentais foram muito diversas, geralmente cada filósofo tinha a sua ideia sobre qual elemento era o principal, o fundamental. Estas teorias derivam mais da observação (combinadas com especulações de ordem filosófica) do que da experimentação. Concluir que o mundo (e o cosmo) possuiu uma ou mais substâncias fundamentais era compreensível se levarmos em conta algum empirismo nessas teorias. Ao dizer que, por exemplo, a água é a substância fundamental, podemos deduzir isto de uma observação do mundo, onde a água tem grande papel e ocupa grande parte da superfície terrestre. O mesmo ocorre com os outros elementos, deduzia-se muitas formulações através de algumas observações, mas não se fazia experimentos, com raras exceções. Cabe ainda dizer que as ideias vistas até aqui não haviam ainda provocado uma cisão entre o micro e o macro, visto que para os filósofos deste período (conhecido na filosofia por “período pré-socrático”) postulavam que a substância fundamental era a mesma para a Terra e também para o universo (como exemplo, para Tales de Mileto a água formava tanto as coisas terrenas como o universo).

Dos filósofos acima mencionados todos, com exceção de Empédocles, são considerados filósofos jônicos, já que viveram na região que era conhecida como Jônia, na costa da Ásia Menor, onde hoje fica atualmente a Turquia. Já Empédocles viveu em Agrigento (atual Agrigento), na costa sul da Sicília, a atual Itália.

### ***1.2.1.2. Os pitagóricos***

Agora vamos fazer uma breve análise sobre a visão que os pitagóricos (os seguidores de Pitágoras, que viveu no século VI a.C.) tinham sobre o universo, e também sobre a constituição da matéria. A ideia principal deles era a de que tudo era formado por números, ou melhor dizendo, tudo são números (GLEISER, 1997, p.54). Apesar dos números não serem uma substância em si, neste trabalho a visão pitagórica foi incluída

como substancialista devido ao fato de que para estes filósofos os números eram quem realmente compunham as coisas (podendo por isso ser considerado como substância, embora, ao invés das outras substâncias, os números sejam imateriais).

De um modo geral a filosofia dos pitagóricos resumia-se da seguinte maneira:

Algumas décadas após Tales, Pitágoras, outro filósofo pré-socrático, combinou uma forma de misticismo matemático com a noção iônica [jônica] de unidade para criar uma visão de mundo que viria a influenciar profundamente o pensamento ocidental. É no legado pitagórico que encontramos a noção de que o mundo natural pode ser descrito através de relações matemáticas que traduzem, de forma racional, a sua perfeição e simetria. [...] Os pitagóricos acreditavam que, sob o aparente caos do mundo, existiam simetrias matemáticas que revelavam a simplicidade e beleza da Natureza: o código oculto da Natureza. (GLEISER, 2010, p.48).

Apesar de assemelhar-se com alguns conceitos modernos devemos ter em mente que a doutrina pitagórica era mística. Por isso acreditavam que os números expressavam a harmonia que existia na Natureza, expressões dadas por números poderiam desvendar o código da natureza. Quanto ao seu misticismo, o trecho a seguir expressa bem esta ideia: “Para eles os números eram sagrados e eternos, a ligação entre o homem e a divindade” (PIRES, 2011, p. 18). Sendo considerados sagrados os números tinham um papel muito importante na doutrina pitagórica, pois, representavam o divino. Apesar de suas semelhanças com algumas teorias modernas, a doutrina pitagórica ainda tinha grande influência da religiosidade, era mística.

Sendo assim, a doutrina de Pitágoras era a mistura de misticismo com a matemática (sem dúvida uma ciência muito importante para os gregos) na qual os números exerciam o papel de agentes principais da natureza, onde eles poderiam revelar os seus segredos escondidos.

Para finalizar esta parte sobre os pitagóricos cabe uma breve comparação de suas formulações com as dos jônicos. A relação do pensamento dos pitagóricos com os jônicos era de oposição, já que, “ao contrário dos jônicos, para os pitagóricos a essência da Natureza estava nos números e nas suas relações, e não na unificação da matéria” (GLEISER, 2010, p.49). Sendo assim, os pitagóricos estavam mais interessados em descobrir as relações da natureza com os números do que procurar unificar a composição da matéria, assim como os jônicos procuraram fazer, através dos seus elementos

fundamentais. É importante ressaltar que o núcleo dos pitagóricos se desenvolveu inicial e principalmente no Sul da Itália, enquanto os jônicos ficaram situados na Ásia Menor, onde hoje fica a atual Turquia, mas é provável que Pitágoras tivesse conhecimento da filosofia jônica e vice-versa.

### ***1.2.1.3. Platão***

Platão (nascido em Atenas no ano de 426 a.C., tendo falecido entre os anos de 348 ou 347 a.C.) foi discípulo de Sócrates (469-399 a.C.) e um dos mais importantes filósofos da Grécia antiga. Suas contribuições no campo da filosofia são das mais importantes. Contudo, sua área de atuação como pensador não se resumia exclusivamente à filosofia, abrangendo também os mais diversos ramos do conhecimento, como a cosmologia:

Para Platão, o mundo é dividido em duas partes, o mundo das ideias e o mundo dos sentidos. Apenas o mundo das ideias, composto de formas perfeitas e imutáveis, pode representar a essência da realidade. Segundo ele, qualquer representação concreta de uma ideia é necessariamente imprecisa. [...] Como consequência dessa doutrina, Platão tinha certo desprezo pelas ciências que dependiam de observações, já que observações são sempre artificiais. (GLEISER, 1997, p.67).

Pode-se concluir algumas ideias através deste trecho. A primeira é a de que o mundo é dividido em dois: o mundo das ideias e o mundo dos sentidos. No mundo das ideias, as coisas e objetos são perfeitos, imutáveis, o que leva à ideia de que são eternos. Já no mundo dos sentidos, o mundo em que vivemos, as representações eram imprecisas, ou seja, um círculo só seria perfeito no mundo das ideias. Por mais perfeito que um círculo parecesse no mundo dos sentidos, ele sempre seria impreciso em comparação com o mundo das ideias. Essa divisão entre perfeito/imperfeito vai acabar por influenciar a visão cosmológica de muitos pensadores. A terra vai ser o lugar onde ocorre a mudança, onde existem as imperfeições. Já o cosmos vai ser o lugar onde tudo é perfeito e imutável (vale lembrar que Platão assumia a ideia dos quatro elementos). Essa ideia vai ser utilizada por Aristóteles, discípulo de Platão. Outra observação importante que se nota na citação acima é de que Platão tinha desprezo pela experimentação. Isso é uma característica não só de Platão, mas também, guardados os diferentes graus, do pensamento grego de um modo geral.

A concepção de mundo dividido entre ideias e sentidos necessitava da presença de uma entidade superior, chamado de Demiurgo por Platão. Este era quem havia criado tanto as ideias dos objetos como sua representação no nosso mundo. Contudo, o homem não tinha o poder de alterar o mundo das ideias, sendo que:

O poder de transformação do homem, no entanto, restringia-se a apenas uma esfera da criação divina: o mundo das coisas sensíveis, esse mundo que não era imutável, que se transformava se decompunha. O homem não operava, portanto, sobre o mundo das ideias, do qual o mundo empírico era uma cópia imperfeita. [...] sobre o mundo das ideias podia-se obter conhecimento, porém sem jamais ser capaz de transformá-lo. (ANDERY, 2007, p. 70)

O mundo das ideias era um mundo que o homem só poderia conhecer através do estudo, especialmente da filosofia. Sua ação era restrita ao mundo dos sentidos, onde era possível mudar e transformar os objetos, e os seres também. Portanto, fica claro que o mundo dos sentidos era o nosso mundo, onde o homem poderia atuar e intervir, já o mundo das ideias era um lugar onde tudo era perfeito e eterno, imutável, onde o homem só tinha condições de conhecer, sem poder intervir ou mudar.

Com Platão temos o primeiro grande fator que ocasionou a cisão entre o micro e o macro na Grécia Antiga: a divisão entre o mundo das ideias e o mundo dos sentidos. Esta divisão em duas partes acabou se refletindo na cosmologia: o micro (a Terra, o mundo dos sentidos) seria um local onde a mudança era possível, necessária; o macro (o mundo das ideias, o cosmo) seria um lugar eterno e imutável, permanecendo sempre o mesmo.

Platão fundou uma escola em Atenas, a Academia. Por lá passaram diversos alunos, alguns deles bem conhecidos. Mas o mais conhecido deles é Aristóteles, que é o próximo a ser estudado.

#### ***1.2.1.4. Aristóteles***

Aristóteles nasceu em Estagira, na Grécia setentrional, no ano de 384 a.C., morrendo em Eubéia no ano de 322 a.C.



Aristóteles se dedicou aos mais diversos estudos, nas mais diversas áreas. Formular questões sobre a constituição da matéria também foi uma área em que Aristóteles se interessou, sendo que uma das suas ideias era a seguinte:

Ao contrário [de Platão], afirmava que forma e matéria eram igualmente importantes, ambas eternas, não podendo existir uma isolada da outra. Todos os objetos eram constituídos de forma e matéria. Ele aceitou a teoria originalmente proposta por Empédocles e subsequentemente adotada por Platão, de que toda a matéria era feita de várias combinações dos quatro elementos: terra, água, ar e fogo. [...] esses elementos enchem totalmente o cosmo, não deixando qualquer espaço vazio. (PIRES, 2011, p. 33-34).

Para Aristóteles, o mundo também era formado pelos quatro elementos, e de suas possíveis combinações (essa ideia também é reforçada por Marcelo Gleiser, 1997, p.74). Não existia o vazio, tudo no universo era preenchido por esses elementos, não existindo qualquer espaço que não fosse ocupado por algum deles (essa noção é uma oposição à ideia atomista de vazio, que será estudada logo adiante). Também se percebe que Aristóteles negava a teoria das ideias de Platão, de acordo com a qual o mundo era dividido entre o mundo das ideias e o mundo sensível. Com efeito, se para Platão o filósofo deveria basear-se tão somente na razão para conhecermos a verdade, Aristóteles, por sua vez, defendia o uso também dos sentidos. Ele considerava que Platão, ao querer encontrar o eterno e imutável subjacente a todas mudanças, estabeleceu simplesmente uma inversão da realidade. As ideias perfeitas, estando acima do mundo sensorial, seriam mais reais do que os fenômenos da natureza. Jostein Gaarder, nesse sentido, recorda que a ideia de cavalo, na teoria platônica das ideias, era mais real do que todos os cavalos no mundo dos sentidos, que trotavam como sombras de seu modelo na parede da caverna. Aristóteles concordava com seu mestre diante da ideia de que o exemplar do cavalo isolado “flui” e que nenhum cavalo vive para sempre. Aceitava também o fato de que a ideia de cavalo era eterna e imutável. Mas afastou-se radicalmente de Platão ao postular que essa forma não é de maneira alguma uma ideia que existe anteriormente a todos os cavalos. A ideia de cavalo não passa, neste caso, de um conceito criado pelos homens e para eles mesmos após simplesmente terem visto uma série determinada de cavalos individuais. A ideia de cavalo é posterior à experiência. A “forma” cavalo consiste nas características do cavalo e naquilo que chamamos de espécie, entendendo-se por forma tudo aquilo que os cavalos têm em comum.

Mas se as posições de Aristóteles a respeito das relações entre forma e coisas sensíveis distanciaram-se radicalmente do dualismo platônico, suas formulações tanto sobre a constituição básica da matéria quanto da estruturação do cosmos impuseram, paradoxalmente, um dualismo de outra ordem. Vejamos porquê. Apesar de o universo ser composto dos quatro elementos, Aristóteles “criou” mais um, o *éter*. Este elemento tinha uma função muito especial: era o formador dos corpos celestes, sendo que “Aristóteles, muito sensatamente, propôs que esses objetos fossem feitos de uma quinta substância, a quintessência, eterna e incorruptível, distinta dos quatro elementos (terra, água, ar e fogo) que compunham as substâncias encontradas na Terra” (GLEISER, 2010, p.53). Mais ainda, o éter “(...) jamais pode mudar, ser criado ou destruído, ou ter as qualidades comuns da matéria terrestre” (GLEISER, 1997, p.74). Assim, se percebe que o éter era uma substância especial, diferente de tudo o que existia na Terra. Não poderia ser criado nem destruído, nem transformado: em síntese, era algo quase como divino. Mas se na Terra se os elementos poderiam se associar, mudar e criar novas coisas e objetos e no céu tudo seria imutável, qual poderia ser a consequência disso para o pensamento de Aristóteles?

Ao postular a existência do éter, Aristóteles efetivamente dividiu o Universo em dois domínios, o sublunar, onde o movimento ‘natural’ era linear e os fenômenos naturais, que envolviam mudanças e transformações materiais, eram possíveis, ou seja, o domínio do devir, e o celeste [também chamado de supra-lunar], onde o movimento ‘natural’ era circular e nada podia mudar, o domínio imutável do ser. (GLEISER, 1997, p.74).

Essa divisão do universo em dois foi um ponto muito importante da teoria de Aristóteles. Ao dividir o universo em sublunar, onde a mudança é natural e o supralunar, onde tudo é eterno e imutável, Aristóteles criou quase que um dogma da astronomia, e também de certa maneira do pensamento religioso posterior, de que o céu sempre foi e sempre vai ser o mesmo, permanecendo eterno e inalterado. Afirmação essa que também é confirmada por Antonio S. T. Pires: “O Universo, segundo ele [Aristóteles], existe desde sempre e nunca deixará de existir” (2011, p.39). O universo era eterno, não sendo criado, nem teria um fim algum dia. Isso aconteceria devido à presença do éter, que era um elemento digamos assim “especial”, já que suas propriedades não se encontrariam em nenhum outro elemento presente na Terra.

Com Aristóteles temos o auge das teorias “substancialistas”, pois, segundo a visão deste grande filósofo e pensador, o mundo era composto das quatro substâncias fundamentais, a relembrar, terra, água, ar e fogo. Além disso, os corpos celestes eram formados de outra substância, o éter. Essa divisão entre o nosso mundo, o sublunar, e o “céu”, o supralunar, acabou por gerar a ideia de que o nosso mundo é diferente do restante do cosmo, não ocorrendo lá os fenômenos que aqui ocorrem. Com a teoria de Aristóteles, temos a divisão do universo em duas partes: uma onde ocorrem mudanças e a outra imutável e eterna, sendo assim o “céu” era diferente da Terra. Podendo concluir que as leis da física que aqui se aplicavam não se aplicavam para o mundo supralunar. É com Aristóteles que se dá a cisão definitiva entre as esferas do micro e do macro na Grécia Antiga. Essa visão é diferente da visão atomista, que considerava que tanto o universo como a Terra eram regidos pelas mesmas leis e fenômenos. É o que será visto agora.

### ***1.2.2. Os atomistas gregos***

Até aqui foi visto uma maneira substancialista de ver e entender como funcionava e de que era composta a matéria, segundo a visão dos gregos antigos. Contudo, esta não foi a única maneira de “ver” a composição da matéria que existiu entre os gregos antigos.

Outra visão importante que os gregos possuíam era a visão atomista. Esta visão foi proposta, inicialmente, por Leucipo de Mileto (século V a.C.) e por seu discípulo Demócrito de Abdera (460-370 a.C.).

Para Demócrito o universo era composto por um número infinito de partículas finitas de átomos. Os átomos – pontos materiais, corpúsculos indivisíveis – existiram sempre e eram indestrutíveis e imutáveis; idênticos uns aos outros quanto a sua natureza (substância), os átomos poderiam quanto ao tamanho, posição ordem e forma. O vazio, que era infinito, existia somente fora dos átomos, já que estes eram plenos [...]. Os átomos, movimentando-se no vazio, em toda e qualquer direção, entrecrocavam-se, juntavam-se e separavam-se ao acaso, dando origem a diferentes agrupamentos, constituindo os diferentes fenômenos do universo. O acaso significava, aqui, ausência de finalidade, recusa de qualquer concepção teleológica [...] (ANDERY, 2007, p.54).

A teoria atômica de Leucipo e Demócrito era algo bem diferente das ideias que atribuíam à constituição da matéria a alguma substância (como a água, para Tales de Mileto). Os atomistas concebiam os átomos como a causa dos fenômenos que se davam

tanto na Terra como no universo. Era a união dos átomos, constituídos da mesma substância (chamada de *protos*, que em grego significa primeiro), que dava origem a tudo que existia. Um ponto importante desta teoria era a ideia da existência de vazio, algo que era extremamente contrário às ideias aristotélicas, que pregavam a não existência do vazio, negavam-no. Outro ponto muito importante é a negação de finalidade: a união, ou desunião dos átomos não tinha um propósito, um fim preestabelecido, era aleatória, simplesmente ao acaso, sem nenhuma determinação.

A teoria atomista poderia explicar muitos fenômenos pela simples ideia da junção dos átomos:

[...] o fato de que algumas substâncias tinham uma densidade mais alta do que outras era explicado por elas conterem um maior número de átomos; e a resistência à fratura, pela distribuição de vazio entre os átomos dentro delas. A teoria explicava a maioria das propriedades da matéria, tais como compreensibilidade, rarefação, condensação, combustão, etc. Ela fornecia uma explicação racional para o fenômeno da mudança (PIRES, 2011, p.25).

A teoria atomista explicava muitos fenômenos físicos de uma maneira racional e lógica. Embora hoje possamos considerar estas explicações como erradas, elas merecem crédito, por terem tentado explicar o mundo e o universo através de um sistema racional e lógico. Por exemplo, o fato de explicar que uma maior densidade é causada por um maior número de átomos é um pensamento lógico e empírico, pois, se observarmos um cesto com pedras, quanto mais pedras ele possuir, mais pesado, mais “denso” ele vai ser.

As explicações atomistas também se referiam ao universo:

Quando um conjunto de átomos se separa, ocorre um vórtice e, como os átomos tendem a gravitar juntos, formam uma espécie de pele ao se prenderem um ao outro. Essa cobertura tem forma de esfera e é ela que contém todo o nosso universo. Contudo, essa bolha esférica não está só. Como não há limite à extensão do vácuo nem, como vimos, ao número de átomos, é possível que existam muitas outras bolhas esféricas, outros universos, além do nosso. Todos eles variam em tamanho e conteúdo – um não terá o Sol, outro não terá animais, e assim por diante –, e por outra, podem colidir e ser destruídos. (RONAN, 2001, p.84-85).

Vemos, assim, que os atomistas acreditavam na existência de vários universos possíveis. Esta é uma visão bastante “moderna”, pois, prevê a existência de inúmeros universos justamente como o fazem algumas teorias cosmológicas na atualidade. Prevê ainda que os universos que existem são diferentes em si, variando seu conteúdo, e

também podem se colidir e destruir, ou seja, o nosso universo, e os outros também, não são eternos, podendo portanto ter um fim, assim como um dia teve um começo, quando os átomos se juntaram e deram origem à “bolha esférica” que seria o nosso universo segundo a visão atomista.

Essa visão de infinitos mundos é lembrada também por Marcelo Gleiser: “Como existem infinitos átomos, e o Vazio por definição também era infinito, um numero infinitos de mundos é constantemente criado e destruído por todo o Universo, o nosso sendo apenas um deles, sem nenhuma importância maior” (GLEISER, 1997, p.62). Dito de outro modo, além de supor a existência de inúmeros mundos, os atomistas atribuem o mesmo grau de importância dos outros universos que poderiam existir.

A contribuição dos atomistas vai além, atingindo até mesmo o problema da estruturação antropológica, na época ainda fortemente subordinada a visões de inspiração mítico-religiosa:

Para Demócrito, essa constituição da matéria é universal. Segundo ele, ela é válida tanto no céu quanto na Terra, tanto para a matéria inerte quanto para a viva. Para Leucipo, como para Demócrito, a alma é igualmente feita de átomos, certos átomos ‘sutis’ mas apesar de tudo átomos, portanto, é feita de matéria, e como tal, ela é ‘corruptível’, e tem uma duração de vida finita: a alma como o corpo pode morrer [...] (ALLÈGRE, 2000, p. 58-59).

A visão atomista chegava até a alma. Esta era feita de átomos, assim como o restante da matéria que existia. Não tinha nada de especial, poderia morrer assim como todos os outros organismos vivos que existiam. Segundo Antonio S. T. Pires, os atomistas, com isso, “negavam a existência de um mundo espiritual” (PIRES, 2011, p. 25), sendo sua visão “física”, radicalmente materialista, não necessitando da existência de um mundo espiritual. Sendo assim, subentende-se que os deuses eram desnecessários para a teoria atomista.

O atomismo foi uma teoria bem diferente das teorias “substancialistas” que existiram. Suas ideias sobre os átomos foram bem interessantes e revolucionárias (para não dizer heréticas), se levarmos em conta que foram elaboradas aproximadamente 2500 anos atrás. Em relação à grande maioria das teorias substancialistas a teoria atomista pregava uma unificação entre a causa dos fenômenos terrestres e os fenômenos

cosmológicos. A causa destes fenômenos eram os átomos. Sendo assim, os átomos eram responsáveis tanto pelo que acontecia aqui na Terra como o que ocorria em qualquer lugar do nosso universo, ou até mesmo dos outros universos que poderiam existir, segundo esta visão. Para finalizar, deve-se ressaltar que, apesar de algumas semelhanças, o atomismo grego divergia em muitos pontos da teoria atômica moderna. Um dos principais pontos era a falta de observação “O atomismo, todavia, era uma filosofia da Natureza e não uma teoria científica baseada na observação” (PIRES, 2011, p.25). O atomismo era uma teoria, a meu ver, especulacionista, não baseada em observações de experimentos, e sim, baseada apenas na formulação de teorias desenvolvidas através da lógica e raciocínio dos fenômenos observados.

## **2. As teorias astronômicas: o geocentrismo e o heliocentrismo**

### ***2.1. A visão geocêntrica***

A astronomia grega foi muito diversificada, existiam diversas teorias sobre a estrutura do cosmos. Uma destas teorias foi a geocêntrica (que pode ser entendida como “a terra no centro do universo”). O geocentrismo foi defendido por diversos pensadores da Grécia Antiga. Não foi uma invenção, ou ideia, de uma pessoa apenas, sendo a teoria sobre a estrutura do cosmos mais difundida e aceita em toda a Grécia Antiga, e também no Ocidente, pelo menos até o século XVII. Claro, cada pensador tinha sua maneira peculiar de “postular” seu universo geocêntrico. Dos muitos pensadores adeptos desta teoria foram selecionados apenas alguns, pois, se fosse levado em conta todos os pensadores existentes o trabalho seria muito extenso, escapando do seu objetivo. A grande maioria dos pensadores que serão vistos já teve uma parte de sua contribuição estudada na parte referente à “composição da matéria”. Este é o caso de Anaximandro.

#### ***2.1.1. Anaximandro e Anaxímenes***

Como vimos, Anaximandro foi um filósofo jônico do século VI a.C., ele foi um dos primeiros a postular um universo mecânico:

[...] postulando que o universo era eterno e infinito em extensão e seu centro era ocupado pela Terra à qual atribuiu uma forma cilíndrica. Ele até declarou que a razão entre o diâmetro e a altura do cilindro era um terço. A Terra era circundada por uma grande roda cósmica, cheia de fogo, e o Sol, um furo na superfície desta roda, que deixava o fogo escapar. À medida que a roda girava, o Sol também girava, explicando o movimento do sol em torno da Terra. Eclipses se deviam ao bloqueio total ou parcial do furo. A mesma explicação era dada para as fases da Lua, que também era um furo em outra roda cósmica. Finalmente, as estrelas eram pequenos furos em uma terceira roda cósmica, que Anaximandro curiosamente colocou mais perto da terra do que a Lua ou o Sol. (GLEISER, 1997, p.46-47).

O universo de Anaximandro foi o primeiro sistema mecânico capaz de explicar o funcionamento do cosmos. Claro, era uma forma simples e um pouco bizarra, mas, era capaz de explicar como o Sol se movia sem a necessidade de algum deus ou entidade que

fosse responsável por este movimento. Importante também é que Anaximandro coloca a Terra como o centro do universo, e dá a ela forma cilíndrica. Sendo assim o universo de Anaximandro foi uma tentativa racional de explicar como funcionava o universo, sem a necessidade de intervenção de um ser sobrenatural. Era um universo onde a Terra era o principal “personagem” do universo.

O discípulo de Anaximandro, Anaxímenes, também postulou uma teoria sobre o cosmos. Esta era diferente da teoria do seu mestre, mas tinha em comum a ideia geocêntrica.

Aparentemente, deve-se também a Anaxímenes a ideia de que as estrelas são fixas, presas a uma esfera cristalina que gira em torno da terra. Sendo transparentes, as esferas cristalinas são uma explicação bem mais plausível para os movimentos celestes do que as rodas furadas de Anaximandro, que ninguém podia ver. [...] A ideia de esferas cristalinas reaparecerá, em várias reencarnações, durante os 2 mil anos seguintes da história da astronomia. (GLEISER, 1997, p.48).

Com Anaxímenes surge um dos elementos da astronomia grega que vai perdurar por muito tempo na astronomia: as esferas cristalinas. Estas foram usadas por muito tempo para explicar como ocorria o movimento dos astros (no caso de Anaxímenes era para explicar como as estrelas estavam presas no céu, mas, como veremos adiante, a ideia de esferas cristalinas vai ser usada para “dar” movimento a todos os corpos celestes). Importante salientar que as estrelas giravam ao redor da Terra, o que significa que Anaxímenes aceitava a ideia de que a Terra era o centro do universo, e que era fixa, não se movia. Contribuindo para que a visão geocêntrica afirmasse a divisão entre o micro e o macro, pois, a Terra no centro do universo postulava, mesmo que implicitamente, uma distinção entre ela e o restante do universo.

### **2.1.2. Os pitagóricos**

Outros filósofos gregos se interessaram pela estrutura do universo, entre eles estão os pitagóricos (discípulos e seguidores de Pitágoras). Para estes pensadores, os números eram a chave para o conhecimento, tinham um caráter especial. A sua astronomia era, pelo menos em parte, derivada da astronomia babilônica, considerando os planetas como divinos. Contudo, esta não era a única visão astronômica que possuíam.



[...] adotaram uma ordem de distância para eles [os planetas], baseada na velocidade com que se moviam em sua órbita aparente ao redor da Terra. Isso lhes deu a seguinte ordem: Terra, Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno, embora tenham, mais tarde, burilado esta ideia, colocando Mercúrio e Vênus depois do Sol [...] (RONAN, 2001, p.78).

Essa ordem de planetas é semelhante a ordem que os planetas descrevem ao redor do Sol (se considerarmos o Sol como ponto de partida ao invés da Terra e omitirmos a Lua). Ou seja, os pitagóricos foram bons observadores do céu, pois foram capazes de identificar e deduzir, através das velocidades dos planetas, a ordem deles no sistema solar.

Quanto às distâncias das órbitas dos planetas, os pitagóricos atribuíram uma ligação com as notas musicais: “Pitágoras e seus seguidores acreditavam que as mesmas proporções numéricas que definiam os sons harmônicos da escala musical definiam, também, as distâncias entre os planetas” (GLEISER, 2010, p.48). A visão dos pitagóricos sobre as distâncias dos planetas era mais mística do que física, pois atribuía uma relação com a música e, conseqüentemente, com os números, pois, estes tinham relação com as notas musicais. Sendo assim, a relação entre as órbitas dos planetas e as notas musicais derivava das formulação pitagórica de que os números são os constituintes da matéria, constituindo, portanto, uma aplicação de seu postulado fundamental ao campo da astronomia.

Ainda sobre a astronomia pitagórica existem mais algumas características importantes:

A primeira delas era de que os planetas deviam girar regularmente ao redor da Terra, na mais simples das curvas, isto é, em círculos [...]. A segunda, que o céu e a Terra eram esféricos [...] (RONAN, 2001, p.78).

O primeiro conceito acima citado se tornaria um verdadeiro dogma da astronomia por muito tempo: os planetas giravam em órbita circulares ao redor da Terra. Esta ideia, assim como as esferas cristalinas de Anaxímenes, perdurou por muitos anos. A ideia de que as órbitas eram circulares provinha do fato de que o círculo era considerado perfeito pelos gregos antigos. Sendo assim, para o céu ser perfeito, era necessário que as órbitas fossem um círculo, pois, só assim, existiria a perfeição no cosmos (quanto à palavra *cosmos*, de acordo com Antonio S. T. Pires [2011, p. 18], foi Pitágoras o primeiro a

utilizá-la). Já a segunda ideia poderia ter se originado das observações feita pelos pitagóricos de um navio desaparecendo no mar, pelo horizonte, ou talvez pela sombra da Terra projetada na Lua, ou no Sol, durante um eclipse.

Outro nome que merece ser lembrado, embora ele não fosse um pitagórico (mas foi um contemporâneo deste movimento, vivendo em Atenas, por volta do século V a.C.) é o de Anaxágoras, que tinha uma visão muito particular da formação do universo:

[...] no princípio, o universo era uma mistura uniforme, sem movimento. A 'mente' entrou então em ação e fez com que todo o sistema girasse; no vórtice resultante, a matéria fria, densa e escura ficou no centro, dando origem à Terra, em forma de disco, enquanto toda a matéria quente, seca e rarefeita era expulsa. O Sol, a Lua, as estrelas e os planetas foram, pensava ele, arrancados da Terra e aquecidos por fricção enquanto giravam no redemoinho de matérias. Ele julgava que o Sol nada mais era do que uma pedra aquecida [...] (RONAN, 2001, p.79).

Apesar de, como as outras visões estudadas até agora, conceber a Terra como centro do Universo, Anaxágoras inova ao dizer que a Terra, o Sol, a Lua, os planetas e as estrelas tiveram uma origem em comum e eram compostos do mesmo material (o que hoje é verdade, pois, os mesmos elementos encontrados na Terra podem ser encontrados nos corpos celestes). Por curiosidade vale ressaltar, que, mesmo sendo sua teoria puramente especulativa, Anaxágoras estava certo quanto à Lua, já que modernamente a teoria mais aceita afirma que a Lua foi formada por destroços arrancados da Terra devido a uma colisão. Contudo este foi apenas um golpe de sorte de Anaxágoras, não tendo ele nenhuma prova ou experiência (em relação à Lua) que comprovasse suas formulações. Apesar disso, Anaxágoras teria chegado a estas conclusões devido ao fato de após “[...] ter examinado um meteorito chegou a conclusão de que todos os corpos celestes eram feitos da mesma matéria que constituía a Terra” (PIRES, 2011, p.24). Se isso for verdade, o fato de possuir um “pedaço” de matéria que veio do espaço e que era semelhante a matéria encontrada aqui na Terra pode tê-lo levado a conclusão de que os corpos celestes eram feitos do mesmo tipo de matéria de que é feita a Terra.

Até agora foram vistos algumas explicações sobre a estrutura do universo. Elas variavam bastante, mas tinham em comum o fato da Terra estar no centro do universo. Contudo estas explicações eram mais gerais, não explicavam todos os fenômenos e movimentos que poderiam ser observados. A partir de agora serão vistas algumas teorias

mais abrangentes, que podiam explicar melhor (embora não estivessem condizentes com a real estrutura do sistema solar – que de modo geral era o universo que os gregos viam, juntamente com as estrelas “fixas” ao fundo) os fenômenos observáveis.

### 2.1.3. Platão

Outro filósofo grego que se interessou pela estrutura do cosmos foi Platão, um dos grandes nomes da filosofia grega, que se interessou por muitos assuntos e áreas de estudo. Nesta parte o que nos interessa veremos sua contribuição (ou teoria) sobre a estrutura do cosmos.

#### O cosmos para Platão poderia ser assim definido

A ideia de Platão sobre o universo deveu muito aos pitagóricos, mas não a Filolau, pois ele estava firmemente convencido de que a Terra, esférica, estava fixa no centro do universo, com o Sol, a Lua e os planetas movendo-se em torno dela em diferentes velocidades. Porém, ele aceitou a ordem em que Filolau arrumara esses corpos em relação à Terra. Só havia um universo – Platão rejeitou a ideia dos atomistas de que havia muitos universos –, e ele acreditava que os diferentes corpos eram todos formados pelos quatro elementos: fogo para os divinos corpos celestes, ar para as criaturas aladas, água para os que viviam na água e terra para os habitantes da terra. Os corpos celestes eram não só divinos, como também dotados de alma. (RONAN, 2001, p. 104).

Filolau foi um pitagórico que propôs que pelo menos alguns corpos celestes não giravam ao redor da Terra, no caso, Mercúrio e Vênus, que girariam ao redor do Sol (Filolau será mais bem estudado na parte referente ao heliocentrismo). Para Platão, a Terra seria esférica e ficaria no centro do universo, todos os outros corpos girariam ao seu redor, variando a sua velocidade. Outro ponto importante nas ideias de Platão era o fato de ele considerar os corpos celestes como contendo alma, eram divinos, como deuses. Essa concepção nos mostra que para esse filósofo grego o “céu” (aqui entendido como o cosmos) era diferente da Terra, ou seja, se os corpos celestes fossem divinos, eles deveriam ser perfeitos, eternos e imutáveis, enquanto a Terra assim não o era (pelo menos no sentido de perfeita e imutável). Esta ideia tem tudo a ver com o pensamento platônico de que existia o mundo das ideias (eterno, imutável e incorruptível) e o mundo dos sentidos (onde nós vivemos, onde a mudança é natural). Novamente o pensamento de

Platão reforça a ideia de cisão entre o micro e o macro. Suas ideias postulam que o micro seria composto por substâncias diferentes do que o macro.

Platão ainda deixou mais algumas contribuições para a astronomia. Segundo ele, além da Terra ser esférica, “[...] os corpos celestes eram esféricos e (...) movimento[,] (...) circular e uniforme, (...) eles giram sempre com a mesma velocidade angular” (GLEISER, 1997, p. 68.), ou seja, os planetas esféricos moviam-se sempre na mesma velocidade (embora a velocidade pudesse variar de um planeta para outro), em órbitas circulares. Era a representação da ideia de perfeição do círculo. O cosmos para ser perfeito deveria conter o círculo (ou aqui no caso o movimento circular uniforme), que representaria a perfeição e a divindade dos corpos celestes.

Outra concepção deste filósofo foi a seguinte:

[...] filósofos e astrônomos deveriam propor modelos geométricos do Universo que ‘salvassem as aparências’, isto é, que descrevessem matematicamente o que era observado, mas sem reivindicar que fossem uma representação da realidade subjacente. No modelo cosmológico de Platão, a Terra era uma esfera perfeita, e em torno dela havia uma envoltória esférica: a esfera celeste. Definiu vários círculos nessa esfera: o círculo do Sol, da Lua, e dos planetas. Todo movimento devia realizar-se em círculos perfeitos e com velocidade uniforme. (PIRES, 2011, p. 31).

Novamente se percebe que o movimento, na concepção de Platão, deveria ser circular e uniforme. Contudo, outros dois pontos importantes são percebidos. O primeiro é a ideia de “salvar as aparências”, também conhecida como salvar os fenômenos. Este princípio sugere que os filósofos e astrônomos encontraram um meio de descrever as observações a fim de que pudessem criar um modelo cosmológico. Em outras palavras, ao invés de propor um novo modelo de cosmos que fosse uma representação real, Platão propôs que se criassem modelos que pudessem unir a ideia de cosmos presente (geocêntrico, com movimentos circulares uniformes) com as observações que eram realizadas. O segundo é a ideia de esfera celeste. Esta ideia permaneceu por muitos séculos presente na astronomia ocidental. Na esfera celeste estariam contidos os corpos celestes, como as estrelas, além do Sol, da Lua e dos planetas. Este ideal de salvar os fenômenos foi muito duradouro na astronomia grega. Pode-se dizer que foi uma dos princípios que mais durou. Seu auge foi com Ptolomeu, que foi capaz de realizar um modelo que pudesse “salvar os fenômenos” de forma satisfatória.

Apesar de não apresentar muitas ideias novas, a astronomia platônica foi importante, pois legou algumas consequências fundamentais para as gerações posteriores. Uma das mais importantes, senão a mais, foi a ideia de “salvar os fenômenos”. Outra ideia que seguiu adiante foi a da esfera celeste. Muitos pensadores seguiram esta linha de pensamento. Entre eles encontram-se Aristóteles e Cláudio Ptolomeu, os construtores de dois dos mais famosos modelos cosmológicos da Grécia Antiga.

#### **2.1.4. Aristóteles**

Aristóteles, grande filósofo da Grécia Antiga, foi um dos pensadores que formularam uma visão de cosmo que mais perdurou e influenciou outros filósofos e astrônomos. Sua visão cosmológica poderia resumir-se da seguinte maneira;

Para Aristóteles, o universo era uma esfera com a Terra fixa no centro; era finito em tamanho porque, argumentava ele, se fosse infinito não teria centro. [...] Rejeitou a ideia [de a Terra mover-se], pois, em sua opinião, a Terra não experimentava os tipos de fenômenos – ventos impetuosos ou instabilidade – que poderiam aparecer caso ela se movesse [...]. Ele concordava que as estrelas e os corpos celestes se moviam em órbitas circulares [...]. (RONAN, 2001, p.110).

O universo aristotélico era geocêntrico, com todos os corpos celestes se movendo ao redor da Terra. Ao rejeitar o movimento da Terra, Aristóteles utilizou argumentos lógicos, como a ausência de ventos tempestuosos, que poderiam ser causados pelos movimentos da Terra (hoje se sabe que o movimento da Terra não gera esses ventos, sendo um acontecimento perfeitamente explicável pela física moderna. Contudo, na época do filósofo estagirita o que valia era a física aristotélica, que supunha que se a Terra se movesse aconteceriam ventos). Outra suposição, a do universo finito, faz sentido, pois, para possuir centro é necessário que seja finito, já que algo infinito (em tamanho) não tem centro, nem fim. Em síntese, o universo aristotélico era geocêntrico, em forma de esfera, e finito.

Aristóteles atribuiu também uma forma esférica à Terra e aos demais corpos celestes

A evidência dos nossos olhos mostra que a lua é esférica, ele escreve. Se um corpo celeste é esférico, os outros também devem ser, conclui. [...] A esfera é também a mais perfeita das formas, pois ela é totalmente simétrica. (PIRES, 2011, p.47).

Pela lógica, Aristóteles deduz que a os corpos celestes são esféricos, pois, a Lua também o é. Assim, todos os demais corpos celestes deveriam assim ser inclusive a Terra. Além do mais, o círculo é uma forma muito apreciada pelos gregos, e a esfera também, daí mais um fator para a atribuição da esfericidade aos corpos celestes: uma satisfação estética.

Quanto à forma do universo propriamente dita, ele era composto por esferas cristalinas (ideia proposta inicialmente por Anaxímenes). O modelo que Aristóteles utilizou (depois de fazer algumas adaptações) foi o de Eudoxo, outro discípulo de Platão. Esse modelo poderia ser assim descrito:

As estrelas estão fixas na esfera celeste, e ao longo de sua superfície movem-se o Sol, a Lua e os cinco planetas. A rotação diária da esfera celeste pelo nascimento e ocaso de todos os corpos celestes. De início o Sol, a Lua e os planetas se moviam em círculos ao logo da esfera celeste. O Sol completava um círculo em um ano, a Lua e um mês [...]. Mais tarde Eudoxo tratou cada movimento planetário irregular como uma composição de uma série de movimentos circulares uniformes. Para isso associou para cada planeta um conjunto de esferas concêntricas, transparentes e invisíveis, e a cada esfera um componente do movimento planetário complexo. Assim a Lua e o Sol tinham, cada um, duas esferas, e cada planeta três esferas. Contando com a esfera estelar temos ao todo 27 esferas. [...] Calipo, discípulo de Eudoxo, aumentou o número de esferas para 34. A função das esferas auxiliares era gerar os movimentos celestes observados. Colocando os eixos de rotação em ângulos diferentes uns com os outros e ajustando as velocidades de rotação das esferas, era possível gerar um movimento de um dado corpo celeste tal que um observador na Terra veria o corpo seguindo uma trajetória apropriada ao longo da eclíptica. Como nesse modelo as esferas se moviam independentemente uma das outras, Aristóteles introduziu esferas adicionais que se moviam como um todo, chegando a um total de 56 esferas acopladas. A última esfera, chamada de 'primeiro motor', fornecia o movimento de todas as outras. (PIRES, 2011, p.48-49).

Esse era um sistema engenhoso, que poderia reproduzir os movimentos observados no céu. Contudo, não podia explicar a variação do brilho dos planetas (que ocorre devido à variação da distância entre estes e o Sol). O sistema das esferas homocêntricas foi muito utilizado posteriormente, sendo que, na Idade Média, foi utilizado tanto por cristãos como por muçulmanos. O importante é que as esferas, na visão de Aristóteles, seriam reais, e não apenas constructos matemáticos capazes de demonstrar os fenômenos. Sendo transparentes e invisíveis, elas não poderiam ser vistas. Ao utilizar os movimentos combinados das esferas era possível explicar o movimento retrógrado que os planetas aparentam (ao observarmos um planeta no céu, ao longo de

vários dias, percebemos que em determinado momento ele parece que “anda para trás”, ou seja, aparentemente sua órbita parece regredir, para depois continuar no seu sentido normal). É importante ressaltar que este movimento é resultante da combinação dos movimentos da Terra com os dos planetas, sendo que o planeta não “anda para trás”. Como naquela época não se admitia que a Terra tivesse movimento, eram necessários alguns artifícios para que estes movimentos pudessem ser explicados. As esferas concêntricas eram um deles. Quanto ao “motor imóvel”, ele seria responsável pelo movimento de todo o sistema. A função dele seria equivalente a uma divindade, pois seria o responsável pelo funcionamento de todo o sistema.

Quanto às esferas,

(...) assim como os corpos celestes que nela estavam, eram compostas de uma substância invisível e indestrutível – o éter. O único movimento possível nessas esferas era o movimento circular [...]. No interior e centro desse sistema estava a Terra e nessa primeira esfera encontrava-se toda a chamada região sublunar. [...] No mundo sublunar todos os seres e a própria Terra não eram compostos de éter, mas sim de um [elemento] ou de combinações dos quatro elementos básicos – terra, ar, fogo e água. (ANDERY, 2007, p.85).

As esferas e os demais corpos celestes, sendo compostos de éter, eram imutáveis, indestrutíveis, eram a perfeição. Já a Terra e seus seres estavam no mundo sublunar, onde a mudança poderia acontecer. Daí provem a divisão entre o mundo sublunar, onde ocorrem mudanças, e o mundo supralunar, um local imutável e perfeito, e daí também a necessidade de utilização do círculo e dos movimentos circulares: estes eram considerados perfeitos.

O universo de Aristóteles “[...] não tem criador, sendo eterno [...]. Mais ainda, seu universo é contínuo, sem nenhum espaço vazio ou vácuos” (GLEISER, 1997, p.75). Ao negar tal noção, Aristóteles, se opunha à visão atomista de que o universo era vazio. Portanto, a visão geocêntrica aristotélica era incompatível com o atomismo de Demócrito. Ao dizer que o universo era eterno, afirmava que ele não tinha um começo, nem um fim, e por conseguinte não tinha um criador.

### **2.1.5. Ptolomeu**

Claudio Ptolomeu nasceu, provavelmente no Egito, por volta do ano 100 da Era Cristã. Seu ano de nascimento o coloca no período do pensamento grego conhecido como

período helenístico (mais precisamente era o período em que o Império Romano dominava o Egito). Sendo assim, Ptolomeu está temporalmente distante dos demais filósofos e astrônomos vistos até agora. “Foi ele o último dos grandes astrônomos e matemáticos da escola Alexandrina [...]” (PIRES, 2011, p.55). Ptolomeu, assim sendo, foi o último dos grandes pensadores gregos que existiu, pelo menos no quesito astronomia. Através de sua mente engenhosa foi capaz de criar um modelo de universo que influenciou até, pelo menos, o século XVI (quando Copérnico propôs o seu modelo heliocêntrico).

Ptolomeu começou a esboçar a sua teoria através dos dados observacionais de Hiparco (um brilhante filósofo grego do século II a.C.). Através destas observações pode apresentar uma descrição dos movimentos planetários do Sol e da Lua. Com este modelo era possível calcular as datas de eclipses lunares e solares. (RONAN, 2001, p.130). Contudo, as contribuições de Ptolomeu não se resumiram apenas aos movimentos do Sol e da Lua. Ele as aplicou também ao movimento dos planetas.

[...] o que Ptolomeu realmente conseguiu, de um ponto de vista moderno, foi dar aos planetas órbitas ligeiramente elípticas, centradas na Terra, junto com uma grande aproximação do movimento variável que eles apresentavam. No entanto, isso foi conseguido usando movimentos circulares-padrão, com uma velocidade regular e invariável, uma peça verdadeiramente magistral de talento artístico matemático. (RONAN, 2001, p.130).

Ptolomeu conseguiu, através de um arranjo engenhoso, descrever, com boa precisão, os movimentos reais que os planetas apresentavam no céu. Para fazer isto ele usou um sistema que envolvia círculos e movimentos circulares (lembrando que os gregos antigos tinham uma verdadeira adoração pelo círculo). Este sistema utilizava um arranjo que consistia em dois círculos. Este arranjo levou o nome de *epiciclos*. Contudo, o sistema de Ptolomeu não se resumia somente aos epiciclos. Ele era muito mais complexo.

Antes de iniciar uma análise mais detalhada do modelo de Ptolomeu, cabe dizer que ele era adepto da observação como validação de suas hipóteses, sendo que “Mais importante do que o sucesso de sua teoria foi a exigência feita por ele mesmo de que suas hipóteses fossem verificadas pelas observações dele e de outros astrônomos efetuadas durante anos” (PIRES, 2011, p. 55). Em outras palavras, para que Ptolomeu considerasse



uma teoria verdadeira, ela deveria ser confirmada pela observação. Devido ao sucesso do modelo ptolomaico, subentende-se que este foi confirmado pelas observações. De fato, pelo menos num sentido mais amplo, o modelo ptolomaico poderia explicar os fenômenos observáveis no céu.

Quanto ao modelo astronômico de Ptolomeu ele consistia em:

Usou círculos no lugar de esferas e introduziu vários dispositivos, alguns sugeridos por astrônomos anteriores a ele, outros criados por ele. Apesar de ter feito uso de vários esquemas manteve o movimento circular. [...] o movimento das estrelas era produzido pela rotação da esfera celeste em torno de dois eixos simultaneamente. [...] O movimento do Sol era mais complexo do que o das estrelas. Primeiro ele era levado em torno da Terra diariamente na rotação diurna da esfera celeste. Em segundo lugar girava, no sentido horário, em relação ao observador situado na Terra, em torno de um eixo que passa pelo polo norte da eclíptica com uma frequência de uma revolução em 365,25 dias. [...] Para explicar o movimento retrógrado dos planetas [...] ele usou dois círculos, um chamado de **deferente** [...] e o outro de **epiciclo** [...]. O planeta move-se ao longo do epiciclo com velocidade angular constante. O centro do epiciclo, por sua vez, revolve-se sobre a circunferência do deferente. Os planetas se movem nos epiciclos no mesmo sentido que os centros dos epiciclos se movem no deferente. O centro do deferente pode ser tanto o centro da terra quanto o excêntrico [um ponto fora do centro da Terra criado por Ptolomeu para poder explicar variações nas órbitas, como por exemplo, o Sol que, graças ao excêntrico, poderia se afastar e se aproximar da Terra, explicando as estações do ano]. [...] O plano do epiciclo estava inclinado em relação ao plano do deferente que, por sua vez, achava-se localizado no plano da eclíptica. [...] Ao todo, Ptolomeu chegou a 40 círculos, incluindo a roda das estrelas fixas [...]. Escolhendo uma relação adequada entre os diâmetros e as velocidades do epiciclo e do deferente, quase todo tipo de trajetória pode ser descrito pelo planeta. (PIRES, 2011, p.55-56-57).

Não obstante o modelo de Ptolomeu é um tanto complicado, ele é capaz de explicar muitos movimentos celestes (lembre-se da ideia de “salvar os fenômenos”). O conjunto epiciclo-deferente funcionaria como as órbitas do planeta. O deferente seria um círculo que funciona como uma órbita, ele ficaria envolta da Terra, sendo que o seu centro poderia ser a Terra ou o excêntrico. Quanto ao epiciclo, ele seria outro círculo que se moveria através do deferente, sendo esta combinação de dois movimentos, o do deferente ao redor da Terra, ou do excêntrico, e o do epiciclo sobre o deferente, responsáveis pelos movimentos observados no céu. Ptolomeu inovou ao propor círculos no lugar das esferas. Contudo manteve a esfera das estrelas. Apesar desta inovação, o movimento circular foi mantido (apesar das combinações dos movimentos gerarem, em

alguns casos, um aparente movimento elíptico, nada mais eram do que a combinação dos movimentos do epiciclo e do deferente).

Cabe dizer sobre Ptolomeu que “sua obra astronômica é a coroação do apelo de Platão para salvar os fenômenos, a descrição do Universo em termos de uma complicadíssima maquinaria de rodas e mais rodas, eternamente girando sob o controle do Movedor Imóvel” (GLEISER, 1997, p.83), o complexo sistema astronômico ptolomaico era uma maneira de “encaixar” os fenômenos observáveis dentro da ideia grega de movimento circular. Dito ainda de outro modo, ao contrário do que acontece hoje, quando ao fazermos uma observação de um fenômeno (inédito, preferencialmente) procuramos formular uma teoria que possa explicá-lo, os gregos antigos, e Ptolomeu aí se inclui, estavam preocupados em fazer os fenômenos se encaixarem nas ideias que já existiam, sobretudo as que pressupunham movimentos circulares.

A astronomia grega procurava explicações que pudessem condizer com sua realidade e suas convicções. A ideia geocêntrica foi a visão cosmológica mais difundida e aceita da Grécia antiga. O movimento circular também o foi, assim como o círculo. Assim diz Carl Sagan (1996, p. 303) “Enamorados da geometria simples, eles acreditavam que o círculo é ‘perfeito’; apesar do Homem na Lua e das manchas solares [...], sustentavam que os céus também são ‘perfeitos’; portanto, as órbitas planetárias tinham de ser circulares”. Em síntese, a ideia de perfeição que os gregos tinham deveria ser levada também para o céu. Apesar de ser um avanço em relação às explicações de cunho religioso, a astronomia grega, pelo menos numa parte considerável (para não dizer em quase tudo), era incorreta. Essas ideias incorretas, sobretudo geocentrismo e o movimento circular, perduraram ao longo da Idade Média, acabando por influenciar a astronomia até o século XVI. A ideia de um universo geocêntrico tem a ver com a cisão entre os domínios do micro e do macro, pois, a distinção entre a Terra, que estava no centro do universo, e as demais partes do universo deixava claro que os adeptos do geocentrismo acreditavam que a Terra era realmente diferente em sua composição do restante do universo, o qual seria composto de outro tipo de substância.

Cabe ressaltar que existia uma ligação muito forte entre o geocentrismo e a ideia substancialista. A existência de uma divisão entre a Terra (micro) e o universo (macro) implicava na aceitação de que o universo como um todo (incluindo a Terra) era formado por algum (ou alguns) tipo de substância, pois, somente a teoria substancialista pregava a diferenciação entre a Terra e o restante do universo. Lembrando que o atomismo postulava que tanto o universo como a Terra eram formados por átomos. Conclui-se, então, que a ideia geocêntrica é dependente de uma visão substancialista do mundo, pois somente esta visão propunha uma divisão entre micro e macro.

## **2.2. O heliocentrismo**

Apesar de o geocentrismo ser a teoria dominante na Grécia, houve quem propusesse uma visão diferente do universo. Essa visão foi o heliocentrismo, isto é, aquela que concebia o Sol como o centro do universo. A ideia do heliocentrismo não surgiu pronta, tendo sido elaborada aos poucos, e de vez em quando algum pensador propunha alguma ideia em que a Terra não era posta no centro.

Quem primeiro afirmou que a Terra não era o centro do universo foram os pitagóricos.

[...] o mais surpreendente de todos os pontos de vista de Pitágoras foi a sua afirmação de que a Terra era um planeta, em órbita como todos os outros. Esse ponto de vista é normalmente creditado a Filolau [...] que trabalhou na segunda metade do século V a.C. e é bem possível que a ideia tenha sido sua. [...] [havia] um ‘fogo central’, no centro do universo, com todos os outros corpos em órbita ao seu redor. Assim, havia o fogo central (estacionário), em torno do qual giravam a Terra, a Lua, o Sol, os cinco planetas e as esferas das estrelas, de movimento lento. (RONAN, 2001. P.78).

Esta não é precisamente uma ideia heliocêntrica, pois, o Sol não é o centro, e sim o “fogo central” (que não podia ser visto, já que estava voltado para o lado da Terra que não era habitado), sendo que o Sol refletiria a luz deste fogo central. Apesar de não ser heliocêntrica, esta ideia merece o mérito de “tirar” a Terra do centro do universo, embora este arranjo tenha sido feito com base no misticismo dos pitagóricos. Nas palavras de Marcelo Gleiser (1997, p.59) “[...] o que é importante para nós é que o universo de Filolau foi o primeiro passo sério na direção de um modelo heliocêntrico do cosmo”.

Depois de Filolau encontramos outro pensador que propôs um universo diferente daquele universo geocêntrico “tradicional”: Heraclides do Ponto, que viveu por volta 388-310 a.C. Este teria sido pupilo de Platão e contemporâneo de Aristóteles. Heraclides propôs algumas inovações:

A primeira das duas maiores inovações propostas por Heraclides foi a rotação da Terra em torno de seu eixo para explicar a rotação diária dos céus. [...] A segunda ideia importante atribuída a Heraclides vem do seu modelo do cosmo. Segundo ele, e contrariando todos os modelos até então, Mercúrio e Vênus orbitam em torno do Sol e não da Terra. De modo irônico, essa proposta irá abrir o caminho para dois desenvolvimentos completamente opostos em astronomia: o modelo heliocêntrico (com o Sol no centro do cosmo) de Aristarco e o modelo geocêntrico (com a Terra no centro do cosmo) de Ptolomeu, baseado em epiciclos. (GLEISER, 1997, p.77).

O modelo de Heraclides era um misto de geocentrismo com heliocentrismo. A Terra ficava no centro, com os demais corpos celestes girando ao seu redor. Porém havia exceções: Mercúrio e Vênus giravam ao redor do Sol. O que levou Heraclides a propor isso foram as observações de que estes dois planetas estavam sempre próximos ao Sol, logo, deveriam orbitar ao seu redor e não ao redor da Terra. Outra atribuição importante feita por Heraclides foi a ideia da rotação da Terra. Para ele a rotação explicaria alguns dos movimentos celestes observados. Essa ideia acabou sendo repudiada pelos aristotélicos, pois se a Terra se movesse deveria, pela concepção deles, ocorrer ventos e mudanças relacionadas aos movimentos de rotação. O modelo de Heraclides acabou abrindo caminho para dois modelos completamente diferentes: o modelo de Ptolomeu (que já foi visto) e o modelo de Aristarco de Samos, um modelo verdadeiramente heliocêntrico.

Aristarco nasceu em Samos (mesmo local onde Pitágoras nasceu) por volta do ano de 310 a.C. Em relação a sua teoria:

[...] era diferente da ideia de Filolau, anteriormente mencionada, na qual a Terra e o Sol descreviam órbitas em torno de um fogo central. Aristarco aceitou a teoria da rotação diária da Terra em torno de seu eixo [...] mas foi sua a ideia de colocar o Sol estacionário no centro do universo. Tal teoria fez surgir um problema de observação, isto é, se a Terra gira em torno do Sol, as estrelas deveriam aparecer alterando um pouco as suas posições relativas [este efeito é conhecido como paralaxe]. Não se observou tal modificação, e Aristarco justificou o fato com o imenso tamanho da esfera celeste que contém as estrelas [...]. Sabemos agora que essa variação realmente ocorre, mas é extremamente pequena [...]. (RONAN, 2001, p.126).

Ao propor que o Sol imóvel era o centro do universo, Aristarco inovou, pois deixou de lado o modelo geocêntrico e passou a adotar o modelo heliocêntrico. A ideia de rotação da Terra se fazia necessária, pois, sendo o Sol o centro do universo, seria necessário que a Terra se movesse, já que somente assim seria possível explicar os movimentos que aparentavam no céu, além da existência do dia e da noite. Apesar de estar certo no que se refere ao sistema solar (como foi descoberto mais tarde, o sol não é o centro do universo e sim do sistema solar), Aristarco não teve o seu reconhecimento. Ficou esquecido por quase dois mil anos, até que Copérnico, no século XVI, revivesse a sua ideia e “colocasse” o Sol novamente no centro.

A visão de um universo heliocêntrico implicava, mesmo que implicitamente, uma não aceitação da diferenciação entre o micro e o macro. Ao postular que a Terra era apenas mais um planeta em órbita ao redor do Sol, tirava-se o caráter que a diferenciava do restante do universo. Com isso, a teoria heliocêntrica pode ser considerada como “unificadora”, ou seja, ela tratava o micro e o macro da mesma maneira, sem distinção. Contudo, não parece que haja uma ligação entre o modelo heliocêntrico e a teoria atomista, ao contrário do modelo geocêntrico, que é francamente dependente de uma teoria substancialista.

Apesar de ser o modelo astronômico mais correto produzido na Grécia Antiga, o modelo heliocêntrico teve poucos pensadores que se dedicaram à sua elaboração. Basta uma simples olhada na quantidade de nomes que propuseram modelos geocêntricos e na quantidade de nomes que propuseram modelos heliocêntricos. Os adeptos do modelo geocêntrico eram a imensa maioria. Talvez por isso essa ideia tenha, infelizmente, perdurado por muitos séculos depois que a civilização da Grécia Antiga deixou de existir.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o presente trabalho foi possível observar, pelo menos em parte, como os antigos gregos viam e concebiam a matéria e o próprio cosmo. Sua maneira de ver o mundo, através de um pensamento racional, foi inovadora, pois deixou de lado uma visão em que os deuses desempenhavam papéis importantes, seja na criação ou no funcionamento do cosmo e da própria vida no planeta. O funcionamento do universo passou a ser mecânico, natural, sem a presença de um deus, em alguns casos, ou com uma presença reduzida.

Este trabalho pretendia demonstrar se existia alguma teoria unificadora, isto é, se ela tratasse da mesma maneira tanto o micro (a constituição fundamental da matéria) quanto o macro (o cosmo, o universo) e também demonstrar que a teoria substancialista (aliada ao geocentrismo) foi a grande responsável pela cisão entre o micro e o macro. Existiram duas correntes na Grécia Antiga que tentavam explicar estes fatos: a corrente substancialista e a corrente atomista.

A corrente substancialista não era homogênea. Pelo contrário, era composta por pensadores que, muitas vezes, tinham vários pontos de divergência. Contudo, possuíam em comum o fato de acreditar que a “essência” da matéria fosse algum dos quatro elementos (água, ar, fogo e terra). O elemento variava, poderia ser a água para Tales de Mileto, o ar para Anaxímenes, o fogo para Heráclito ou os quatro elementos seriam fundamentais, como para Empédocles. Essa teoria, contudo, tratava o micro e o macro de maneira diferente. Sobretudo com Platão e, depois, com Aristóteles, firmou-se a ideia de distinção entre o mundo supralunar e o mundo sublunar. O mundo supralunar (o mundo que ficaria “depois” da Lua, isto é, o sistema solar com exceção da Terra) seria composto, na visão de Aristóteles, do elemento éter, que seria eterno e imutável. Portanto, o mundo supralunar não mudaria, pois era perfeito, eterno e imutável. Já no mundo sublunar, composto pelos quatro elementos, a mudança seria algo natural, normal e perfeitamente concebível. Sendo assim, os substancialistas, de um modo geral, não eram “unificadores”, pois, tratavam as duas “partes” de maneira diferente.

Ainda sobre os substancialistas, cabe dizer que a teoria geocêntrica está ligada diretamente a esta ideia. Sendo que o universo era composto de éter e a Terra dos quatro elementos, ficaria esta no centro do universo, pois cada elemento teria o seu lugar no universo. O elemento terra, por exemplo, por ser o mais pesado ficaria no centro; por isto a tendência, segundo Aristóteles, dos objetos caírem: eles estavam retornando ao seu lugar ideal. Além do mais, a ideia de universo geocêntrico satisfazia o gosto pela estética que os gregos possuíam: era um universo com movimento uniformes e circulares, com planetas e demais corpos celestes esféricos. Tudo isto agradava o gosto estético grego.

O modelo geocêntrico estava intimamente ligado à teoria substancialista, sendo por isso um dos responsáveis pela divisão entre o micro e o macro. Com a ideia de que a Terra, no centro do universo, era formada de materiais distintos do restante do universo, e de que as leis que regiam a Terra não regiam o universo, esta teoria acentuou e fez predominar por longo tempo a cisão entre micro e macro.

Quanto à outra corrente que existia, o atomismo, parece que era unificadora. Esta teoria pregava que o mundo, os seres nele existentes e tudo o que existia no universo era formado pela junção dos átomos. Na visão atomista grega, nosso corpo era formado de átomos, assim como uma estrela, uma pedra e uma vaca. Parece plausível afirmar que o atomismo era uma teoria unificadora das duas escalas fundamentais de observação de tudo o que existia, isto é, que tratava da mesma maneira a composição da matéria e a composição do cosmos. Quanto a um modelo de universo, o atomismo parece não ter um que lhe seja próprio. O modelo heliocêntrico, aparentemente, não possui nenhuma ligação com o atomismo, apesar de também ser unificador, pois, concebia os fenômenos e a constituição material na Terra e no universo da mesma maneira, sem distinção especial.

Vimos assim que, ao contrário dos substancialistas, os atomistas “unificaram” o micro e o macro, ou seja, trataram os dois da mesma maneira, pelo menos no que se refere à sua composição. Com isso o atomismo pode ser considerada uma primeira tentativa de unificar teoricamente a explicação de fenômenos naturais que ocorriam em duas escalas de observação do universo. O mesmo pode-se dizer do heliocentrismo: unificou, a seu modo, o micro e o macro, pois, ao dizer que a Terra era apenas mais um

planeta tirava dela o caráter especial de “centro” dado pelo geocentrismo, com sua física distinta do que ocorria além da esfera lunar.

Parece no mínimo curioso que atualmente grande parte da comunidade científica busque com afinco, certamente inspirada pelos antigos empreendimentos gregos, a tão desejada teoria que unifique as duas formulações mais revolucionárias da História da Ciência, a saber, a Mecânica Quântica e a Teoria da Relatividade, justamente os modelos explicativos que poderosamente explicitam os fenômenos do mundo infinitamente pequeno (o micro) e do infinitamente grande (o macro), teorias, que não obstante, são radicalmente incompatíveis. Apesar dos modelos heliocêntrico de Aristarco e atomista de Leucipo e Demócrito terem sido suplantados pela teoria substancialista no período helenista e sobretudo na Idade Média, considerados ambos praticamente como heréticos, a ciência inaugurada pelo Renascimento retomou-os, consagrando-os definitivamente, então em novos postulados, como decorrência da sistematização do método experimental, em dois momentos distintos, o modelo heliocêntrico no século XVII e o atomismo no século XIX e XX. No dizer de Marcelo Gleiser, na busca pela unificação em nossos tempos muitas expectativas da comunidade científica revelam a permanência do apreço grego, que não deixa de ser também nosso, pela harmonia, a beleza e a simetria das explicações unificadoras, muito embora os processos históricos das descobertas em ciência nos advertem que a evolução de nosso conhecimento do universo dependeu mais de observá-lo desinteressadamente do que ajustar sua descrição àquilo que desejamos, por mais belo e harmonioso que seja.



## Referências

ALLÈGRE, Claude. **Deus e a ciência**. Tradução de Dulce O. Amarante dos Santos. Bauru: EDUSC, 2000.

ANDERY, Maria A. P. A. et al. **Para compreender a ciência: uma perspectiva histórica**. 14.ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2007.

DIAS, Penha Maria Cardoso; PILLING, Diana Paula Andrade. A hipótese heliocêntrica na Antiguidade. **Revista brasileira de ensino de física**. v. 29. n. 4. 2007.

GLEISER, Marcelo. **A dança do universo: dos mitos de criação ao Big-Bang**. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

GLEISER, Marcelo. **Criação imperfeita: cosmo, vida e o código oculto da natureza**. 3.ed. Rio de Janeiro: Record, 2010.

PIRES, Antonio S. T. **Evolução da ideias da física**. 2.ed. São Paulo: editora Livraria da Física, 2011.

RONAN, Colin A. **História ilustrada da ciência da Universidade de Cambridge**. Volume 1: das origens à Grécia. Tradução de Jorge Enéas Forte. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2001.

SAGAN, Carl. **O mundo assombrado pelos demônios: a ciência vista como uma vela no escuro**. Tradução de Rosaura Eichemberg. São Paulo: Companhia da Letras, 1996.