



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA

JARBAS ANTÔNIO SOARES JÚNIOR

**Revolução copernicana-galileana: aspectos históricos e  
epistemológicos**

João Pessoa  
Novembro/2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA

JARBAS ANTÔNIO SOARES JÚNIOR

**Revolução copernicana-galileana: aspectos históricos e  
epistemológicos**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Universidade Federal da Paraíba - UFPB - como requisito para a obtenção do título de mestre em Filosofia, na linha de pesquisa Lógica e Epistemologia.

Orientador: Prof. Dr. Anderson D’Arc  
Ferreira

João Pessoa  
Novembro/2023

S676r Soares Junior, Jarbas Antônio.

Revolução copernicana-galileana : aspectos históricos e epistemológicos / Jarbas Antônio Soares Junior. - João Pessoa, 2023.

203 f.

Orientação: Anderson D'arc Ferreira.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCHLA.

1. Copérnico, Nicolau, 1473-1543. 2. Galileu, 1564-1642. 3. Cosmologia. 4. Revolução científica. 5. Movimento dos corpos. I. Ferreira, Anderson D'arc. II. Título.

UFPB/BC

CDU 113/119(043)

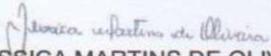


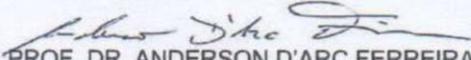
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA

**ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM FILOSOFIA DO(A) CANDIDATO(A) JARBAS ANTONIO SOARES JUNIOR.**

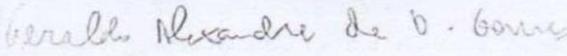
Aos trinta dias do mês de agosto de dois mil e vinte e três, às 09h:30min, por videoconferência da Plataforma Google Meet, reuniram-se os membros da Comissão Examinadora constituída para examinar a Dissertação de Mestrado do mestrando **Jarbas Antonio Soares Junior**, candidato ao grau de Mestre em Filosofia. A Banca foi constituída pelos professores: Dr. Anderson D'Arc Ferreira (Presidente – UFPB), Dr. Cristiano Bonneau (Examinador Interno – UFPB), Dr. Geraldo Alexandre de Oliveira Gomes (Examinador Externo ao Programa – UFPB) e Dr. Edson Adriano Moreira (Examinador Externo – UFCG). Dando início à sessão, o Professor Dr. Anderson D'Arc Ferreira, na qualidade de Presidente da Banca Examinadora e orientador do candidato, fez a apresentação dos demais membros e, em seguida, passou a palavra ao mestrando **Jarbas Antonio Soares Junior** para que fizesse oralmente a exposição de sua Dissertação, intitulada: **"A REVOLUÇÃO COPERNICANA GALILEANA: ASPECTOS HISTÓRICOS E EPISTEMOLÓGICOS"**. Após a exposição do candidato, ele foi sucessivamente arguido por cada um dos membros da Banca. Terminadas as arguições, a Banca retirou-se para deliberar acerca da defesa da Dissertação apresentada. Após um breve intervalo, o Presidente, Professor Dr. Anderson D'Arc Ferreira, de comum acordo com os demais membros da banca, proclamou **APROVADA** a dissertação **A REVOLUÇÃO COPERNICANA GALILEANA: ASPECTOS HISTÓRICOS E EPISTEMOLÓGICOS**, tendo declarado que seu autor **Jarbas Antonio Soares Junior** faz jus ao grau de Mestre em Filosofia, devendo a Universidade Federal da Paraíba, de acordo com Regimento Geral da Pós-Graduação, pronunciar-se no sentido da expedição do Diploma de Mestre em Filosofia. O candidato deverá, no entanto, realizar as modificações sugeridas pela banca, no corpo do texto. Nada mais havendo a tratar, foi encerrada a Sessão de Defesa, e eu, Jessica Martins de Oliveira Secretária do PPGF lavrei a presente Ata, que será assinada por mim e pelos demais membros da Banca.

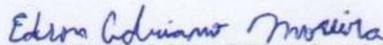
João Pessoa, 30 de agosto de 2023.

  
JESSICA MARTINS DE OLIVEIRA  
SECRETÁRIA DO PPGF

  
PROF. DR. ANDERSON D'ARC FERREIRA  
PRESIDENTE/UFPB

  
PROF. DR. CRISTIANO BONNEAU  
MEMBRO INTERNO/UFPB

  
PROF. DR. GERALDO ALEXANDRE DE  
OLIVEIRA GOMES  
MEMBRO EXTERNO AO PROGRAMA/UFPB

  
PROF. DR. EDSON ADRIANO MOREIRA  
MEMBRO EXTERNO À INSTITUIÇÃO/UFCG



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA

JARBAS ANTÔNIO SOARES JÚNIOR

**Revolução copernicana-galileana: aspectos históricos e  
epistemológicos**

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Anderson D'Arc Ferreira (Orientador)

---

Prof. Dr. Cristiano Bonneau (Examinador Interno ao Programa)

---

Prof. Dr. Edson Adriano Moreira (Examinador Externo ao Programa)

## **EPIGRAFE**

A filosofia está escrita neste grandíssimo livro que aí está aberto continuamente diante dos olhos (isto é, o universo), mas não se pode entendê-lo se primeiro não se aprende a entender a língua e conhecer os caracteres nos quais está escrito. Ele está escrito em língua matemática, e os caracteres são triângulos, círculos e outras figuras geométricas, meios sem os quais é humanamente impossível entender-lhe sequer uma palavra; sem estes trata-se de um inútil vaguear por um obscuro labirinto.

Galileu Galilei (carta ao Ilustríssimo e Reverendíssimo senhor Dom Virginio Cesarini, 1623).

## **DEDICATÓRIA**

Dedico essa dissertação ao curso de Filosofia, que tanto me proporcionou, desde aprendizado até experiências intensas, daquelas que levam à mudanças radicais. Este contato, no entanto, nem sempre foi direto, tendo muitas vezes sido mediado por professores que, de forma instigante, despertaram neste que vos fala a inquietação necessária à prática filosófica.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, aos meus pais, Nadjane de Macêdo Soares e Jarbas Antônio Soares, pela oportunidade que sempre me deram de poder continuar os meus estudos, e a minha esposa, Alexandra Silveira Santos, que sempre me deu forças para continuar, principalmente naqueles momentos mais difíceis, nos quais pensamos em desistir.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Anderson D'Arc Ferreira, pela orientação recebida no desenvolvimento desta dissertação.

Agradeço ao Prof. Dr. Cristiano Bonneau, por aceitar o convite para participar da banca examinadora deste trabalho, e também pela instigante convivência e abertura ao diálogo, duas condições necessárias e inerente à atividade filosófica.

Agradeço em especial ao Prof. Dr. Edson Adriano Moreira, por também aceitar prontamente fazer parte da banca examinadora, e a presteza com que sempre me atendeu quando solicitado. Não posso deixar de mencionar que foi graças às aulas que tive no período da graduação na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), as quais me proporcionaram um maior entendimento sobre a filosofia, com especial destaque para a física e cosmologia do filósofo grego Aristóteles, que me despertou um grande interesse para o estudo da filosofia natural antiga e daquela desenvolvida no período moderno, particularmente do copernicanismo e da física de Galileu Galilei, o que tornou possível a realização desta dissertação de mestrado.

Agradeço a todos os professores do programa de Pós-graduação em Filosofia (PPGF) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), pelas valiosas aulas, nas quais a abertura ao debate me proporcionou um aperfeiçoamento do senso crítico mais apurado, em especial ao Prof. Dr. Sérgio Luiz Persch por toda a assistência prestada na realização desta dissertação, e também agradeço a Jéssica Martins de Oliveira, secretária do curso de Pós-graduação em Filosofia, que sempre me atendeu com presteza e atenção necessária para solucionar os problemas de cunho burocrático.

Por fim, agradeço ao Dr. em Filosofia Marcelo Moschetti que se prontificou em analisar o projeto inicial dessa dissertação e, graças às suas observações pontuais, tornou possível a aprovação e a realização desse trabalho.

## RESUMO

A revolução copernicana galileana envolveu mais do que a adoção de uma nova configuração astronômica, baseada no movimento da Terra e da imobilidade e centralidade do Sol. Com a sua nova astronomia, Copérnico proporcionou uma mudança significativa na forma como apreendemos o mundo. Antes, a razão, a exemplo do Sol, orbitava o mundo das aparências e procurava com isso ilumina-lo, conferindo-lhe um sentido racional. Com o copernicanismo, a razão foi mantida imóvel e o mundo das aparências passou a orbita-la. Essa dissertação tem a pretensão de mostrar que essa inversão representou uma maior atuação do sujeito do conhecimento, que agora passou a não mais aceitar passivamente a realidade do que via reinterpretando ativamente os dados da experiência sensível, e isso à luz de uma racionalidade matemática. Isso levou a uma transformação da experiência científica, que deixou de ser pautada por uma fenomenologia ingênua, isto é, por uma percepção direta da realidade sensível e passou a ser condicionada ativamente por dois princípios, um epistemológico, que atua no sujeito no ato da observação, e outro mecânico, que confere a racionalidade física necessária à experiência sensível, de tal forma que ambos os princípios tornam a experiência sensível do observador terrestre compatível com um Terra em movimento. Ambos os princípios dependem de uma nova concepção de movimento, a qual leva em consideração o estado e a posição do observador e da coisa observada. Para tanto, analisaremos a partir de uma perspectiva epistemológica as duas principais obras que proporcionaram a revolução científica moderna: *De Revolutionibus* de Nicolau Copérnico e o *Diálogo sobre os dois Máximos Sistemas do mundo Copernicano e Ptolomaico* de Galileu Galilei.

**Palavras-chave:** Copernicana; Galileu; Movimento.

## ABSTRACT

The Galilean Copernican revolution involved more than the adoption of a new astronomical configuration based on the movement of the Earth and the immobility and centrality of the Sun. With his new astronomy, Copernicus provided a significant change in the way we perceive the world. Before, reason, like the Sun, orbited the world of appearances and sought to illuminate it, giving it a rational meaning. With Copernicanism, reason was kept immobile and the world of appearances began to orbit it. This dissertation aims to show that this inversion represented a greater action by the subject of knowledge, who now no longer passively accepts the reality of what he saw by actively reinterpreting the data of sensitive experience, and this in the light of mathematical rationality. This led to a transformation of scientific experience, which was no longer guided by a naive phenomenology, that is, by a direct perception of sensitive reality and began to be actively conditioned by two principles, an epistemological one that acts on the subject in the act of observation, and another mechanical one, which confers the necessary physical rationality to the sensitive experience in such a way that both principles the earthly observer's sensitive experience compatible With a moving Earth. to sensitive experience. Both principles depend on a new conception of movement, which takes into account the state and position of the observer and the thing observed. Therefore, we will analyze from an epistemological perspective the two main works that led to the modern scientific revolution: *De Revolutionibus* by Nicolaus Copernicus and the *Dialogue on Two Maximum Systems of the Copernican and Ptolemaic world* by Galileo Galilei.

**Keywords:** Copernican; Galileo; Movement.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 OS PRIMEIROS FILÓSOFOS .....</b>	<b>16</b>
2.1 O sentido de Physis, Arkhé e os primeiros mobilistas .....	17
2.2 Parmênides, Heráclito e as aporias do movimento .....	18
2.3 Zenão e os argumentos dialéticos contra o movimento .....	22
2.4 Empédocles e a doutrina dos quatro elementos .....	24
2.4.1 O amor e o ódio.....	26
2.4.2 A esfera e o cosmo.....	27
2.5 Os pitagóricos .....	27
2.5.1 Nova concepção do princípio .....	28
2.5.2 Passagem do número às coisas .....	32
2.6 Os atomistas .....	32
2.6.1 Os átomos e a mecânica do movimento .....	34
<b>3 ARISTÓTELES E SUA FÍSICA .....</b>	<b>36</b>
3.1 Cosmologia aristotélica .....	37
3.2 Movimento e Natureza .....	41
3.3 Natureza e técnica.....	43
3.4 Forma e matéria .....	44
3.5 Lançamento de projéteis.....	45
3.6 Movimento e mudança .....	46
<b>4 A TRADIÇÃO.....</b>	<b>52</b>
4.1 O sistema geocêntrico de Claudio Ptolomeu .....	53
4.2 Salvando as aparências .....	55

<b>5 FILOSOFIA NATURAL E MATEMÁTICA .....</b>	<b>57</b>
<b>6 A TRADIÇÃO EM CRISE .....</b>	<b>61</b>
6.1 Nicole Oresme e sua defesa do movimento da Terra.....	65
<b>7 COPÉRNICO, O ESTOPIM DA CRISE E O INÍCIO DE UMA NOVA ASTRONOMIA .....</b>	<b>68</b>
<b>8 O PROBLEMA DA NOVA ASTRONOMIA.....</b>	<b>70</b>
<b>9 O AMBIENTE INTELECTUAL DO COPÉRNICO.....</b>	<b>73</b>
<b>10 COMMENTARIOLUS .....</b>	<b>78</b>
<b>11 DE REVOLUTIONIBUS .....</b>	<b>82</b>
<b>12 O PRINCÍPIO DE RELATIVIDADE ÓPTICA.....</b>	<b>85</b>
<b>13 IMPLICAÇÕES METAFÍSICAS DO COPERNICANISMO .....</b>	<b>91</b>
<b>14 GALILEU E AS PRIMEIRAS OBSERVAÇÕES TELESCÓPICAS .....</b>	<b>94</b>
<b>15 O TELESCÓPIO E A EXPERIÊNCIA CIENTÍFICA MODERNA.....</b>	<b>100</b>
<b>16 UMA POLÊMICA BRILHANTE.....</b>	<b>103</b>
<b>17 A CONDENAÇÃO DO SISTEMA COPERNICANO .....</b>	<b>105</b>
<b>18 AUTONOMIA DA CIÊNCIA E A AUTORIDADE DA TRADIÇÃO .....</b>	<b>108</b>
<b>19 A FÍSICA DE GALILEU .....</b>	<b>112</b>
<b>20 O MÉTODO DE GALILEU .....</b>	<b>115</b>
<b>21 QUALIDADES PRIMÁRIAS E SECUNDÁRIAS DA MATÉRIA .....</b>	<b>120</b>

<b>22 GALILEU E O MOVIMENTO.....</b>	<b>126</b>
<b>23 O PRINCÍPIO DE RELATIVIADE E AS OBJEÇÕES AO MOVIMENTO DA TERRA .....</b>	<b>131</b>
<b>24 CONSEQUÊNCIAS DO PRINCÍPIO DE RELATIVIDADE.....</b>	<b>137</b>
<b>25 GALLEU E O SEU “DIÁLOGO”.....</b>	<b>139</b>
<b>26 A SEGUNDA JORNADA E AS OBJEÇÕES MECÂNICAS AO MOVIMENTO DA TERRA: ANÁLISE E CONSIDERAÇÕES .....</b>	<b>144</b>
<b>26.1 Segunda jornada.....</b>	<b>145</b>
<b>27 CONSIDERAÇÕES ACERDA DA SEGUNDA JORNADA DO <i>DIÁLOGO</i> .....</b>	<b>185</b>
<b>28 CONCLUSÃO.....</b>	<b>197</b>
<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>201</b>

## 1 INTRODUÇÃO

É ponto passivo entre os historiadores da ciência que o processo de que a revolução científica ocorrida entre os séculos XVI e XVII só foi possível quando se deu a substituição do antigo modelo cosmológico, o qual estava assentado na ideia aristotélica de uma Terra estacionária no centro do Universo, por um outro que operava segundo uma nova configuração astronômica, a qual estabelecia um novo centro astronômico para as revoluções planetária, baseada justamente na ideia oposta da tradicional, isto é, de uma Terra móvel em torno de um Sol imóvel e estacionário no centro do Universo. Tal processo de mudança recebeu o nome de revolução copernicana e teve como marco oficial a publicação em 1543 do *De Revolutionibus*, obra na qual o seu autor, Nicolau Copérnico [1473 – 1543], não só removeu a Terra de seu centro, dando a ela um caráter planetário, mas também mudou a maneira pela qual concebemos a experiência científica.

Antes de Copérnico, a experiência sensível podia ser considerada como ingênua, pois baseava-se em uma apreensão direta da realidade, sem que houvesse qualquer questionamento por parte do observador sobre a verdade do que via. Contudo, com o *Commentariolus* e principalmente como o *De Revolutionibus*, a experiência perde seu caráter ingênuo e passa a ser vista como experiência científica, pois o sujeito da observação, o observador, passa a refletir ativamente sobre o que vê, dado que a experiência do copernicanismo é totalmente contra intuitiva e necessita de uma intervenção ativa da razão sobre os dados da observação.

Isso só foi possível graças à introdução de um princípio epistemológico de relatividade óptica do movimento que, ao atuar sobre observador no ato da observação, modifica a forma pela qual o sujeito da observação experiencia o mundo. Assim, de uma fenomenologia direta da realidade centrada em observações geocêntricas em que o observador aceitava passivamente a verdade daquilo que via, passamos agora a uma fenomenologia mais sofisticada, em que o sujeito da observação conduz racionalmente a experiência. E, mesmo que as nossas observações ainda continuassem a ser geocêntricas, agora com a experiência sensível sendo guiada pelo intelecto, podemos nos colocar de forma abstrata na perspectiva da terceira pessoa reinterpretando assim as aparências.

Nesse processo revolucionário de implementação de um novo sistema de mundo que conduziu a uma nova forma de experienciar a natureza, chama a atenção o lugar ocupado pela Matemática. Desde o século XVI, passou-se a vigorar uma controvérsia entre filósofos e

matemáticos a respeito da relação da Matemática com a Filosofia Natural e seus respectivos objetos de estudo, demonstrações e posições na hierarquia das ciências especulativas. É importante ressaltar, desde a antiguidade a Matemática ocupava um lugar intermediário entre a Física e a Metafísica, cujo objeto de natureza abstrata representa um obstáculo à sua implantação no estudo da Filosofia Natural. Isso porque, enquanto a matéria para a física era concebida como algo de caráter fluante ligada ao devir, os números, as figuras e suas relações geométricas, no entanto, apresentavam um caráter de imutabilidade e necessidade, representando assim um entrave no estudo dos corpos físicos. Mas graças ao seu extraordinário desenvolvimento ao longo do século XVI, com especial destaque para o método da redução, em que figuras geométricas complexas eram reduzidas a figuras mais simples cuja resolução se dava aritmeticamente, houve uma necessidade cada vez maior de repensar o lugar ocupado pela Matemática no mapa conceitual do conhecimento humano tornou-se cada vez mais urgente.

Controvérsia à parte sobre o lugar da Matemática, a posição de igreja católica acerca dessa disciplina era categórica. Segundo os jesuítas, não cabia à Matemática explicar o mundo propondo as causas dos fenômenos, mas unicamente elaborar hipóteses que melhor conseguisse, dar conta das aparências. Trata-se, portanto, de uma função essencialmente instrumental, o que reforçava o lugar intermediário ocupado por essa disciplina. A Matemática não servia para revelar a realidade subjacente aos fenômenos, o que fazia dela muito mais um tipo de tecnologia que se prestava muito bem ao cálculo. Desse modo, no caso da astronomia, as teorias matemáticas não deveriam ser vistas nem como verdadeiras e nem como falsas, mas apenas como úteis ou não em salvar as aparências.

Essa visão instrumental voltada unicamente ao cálculo das órbitas planetárias fica no sentido de encontrar os melhores meios para se salvar as aparências, fica reforçada na carta do cardeal Roberto Belarmino [1542 – 1621] à Paulo Antônio Foscarini em 12 de abril de 1615, na qual o clérigo expõe que se tratarmos o copernicanismo meramente “por suposição”, e não de modo absoluto, como ele mesmo tinha crido que o próprio Copérnico o fez, salvam-se todas as aparências melhor do que propondo excêntricos e epiciclos, sem que com isso incorra-se em heresia perante às Escrituras Sagradas. E, conclui Belarmino, isso basta ao matemático e as matemáticas, isto é, ao astrônomo e a astronomia, respectivamente<sup>1</sup>.

Com isso, as magnitudes, as figuras, as formas e os movimentos utilizados, por exemplo, pelos astrônomos não servem como causa para os fenômenos celestes. A função desse e outros

---

<sup>1</sup> Conferir “Ciência e fé: carta sobre Galileu sobre o acordo do sistema copernicano com a Bíblia” Tradução Carlos Arthur R. Nascimento. – 2º ed. Revisada e ampliada – São Paulo: Editora UNESP, 2009, p. 131.

elementos matemáticos eram voltados simplesmente para “salvar as aparências”, conferindo a essas aparências um sentido mais racional. Um bom exemplo disso, são os epiciclos utilizados pela astronomia de Cláudio Ptolomeu [cerca de 130 d.C.]. Tais entidades nada mais eram do que meros artifícios matemáticos cuja utilidade estava voltada para explicar o trânsito planetário, em especial daqueles astros que em sua trajetória ao longo do ano aparentemente deixavam suas órbitas originais e assumiam órbitas contrárias, com o posterior regresso a trajetória original. O que se queria com a introdução de tais artifícios era conferir uma explicação que fosse compatível como a teoria geostática de Ptolomeu. Há uma certa controvérsia se o próprio Ptolomeu considerava esses artifícios estruturas reais ou não. Seja como for, o certo é que os jesuítas do tempo de Galileu de modo algum tomavam os epiciclos e outras entidades matemáticas como estruturas reais e representativas do Universo.

Mas a adoção do copernicanismo como ficou expresso na carta de Belarmino requeria que se olhasse para tal doutrina apenas como mera suposição que melhor salvava as aparências sem ter que recorrer aos excêntricos e epiciclos da astronomia ptolomaica. Contudo, ao propor o movimento da Terra em torno de si e em torno do Sol. Copérnico, mais do que projetando um modelo simplificado do sistema astronômico, que reduzia significativamente o uso de epiciclos, estava na verdade propondo uma teoria que pretendia ser não só descritiva, mas também realista de como as coisas são de fato no Universo. Contra essa nova astronomia, o astrônomo polonês tinha não só o peso da Tradição, a qual estava assentada na Filosofia Natural de Aristóteles [384 a.C. – 321 a.C.] e na geometria de Ptolomeu, como também a ausência de evidências empíricas a favor de seu sistema. E essa é uma questão de uma importância capital para a aceitação dessa nova perspectiva acerca da dinâmica do Universo, dado que a astronomia é uma ciência essencialmente observacional.

De todos os intelectuais que mais atuaram na defesa dessa nova astronomia, destaca-se Galileu Galilei [1564 – 1642], que se dedicou ao longo de sua vida a encontrar evidências empíricas a favor do copernicanismo, como também dar combate as objeções ao movimento de rotação da Terra. Para tanto, o autor teve que construir toda uma física cujo fundamento não vinha mais de uma visão de mundo qualitativa, típica da Física de Aristóteles, mas sim de uma visão quantitativa, que procurava encontrar nas matemáticas toda a fundamentação necessária. Não à toa, Alexandre Koyré [1892 – 1964], um dos maiores intérpretes da história da ciência, caracterizou a revolução científica do século XVII como sendo marcada por dois traços complementares. O primeiro, a dissolução do cosmo aristotélico com conseqüente desaparecimento na ciência de todas as considerações teóricas decorrentes da concepção de um mundo concreto, qualitativo e hierarquicamente ordenado; e segundo, a substituição desse

universo por um outro abstrato, quantitativo e geometricamente ordenado cuja coesão é dada pela identidade de seus componentes e leis fundamentais, e no qual todos os seus componentes são colocados no mesmo nível do ser<sup>2</sup>.

Essa dissertação terá como objetivo geral revelar os aspectos históricos e epistemológicos que caracterizaram a revolução copernicana-galileana e terá como fio condutor a mudança paradigmática que proporcionou às matemáticas, isto é, a aritmética e a geometria, saírem da condição de ciências meramente instrumentais e passarem a ser a forma pela qual a própria natureza se estrutura. Nesse processo, veremos como essa mudança levou a uma transformação da experiência científica. Nossa trajetória começa como os primeiros filósofos naturais e as suas investigações acerca do ser e do movimento. Tais investigações conduziram a uma série de aporias que levaram Aristóteles a desenvolver uma Filosofia Natural, isto é, uma Física que pudesse justificar o movimento. Essa justificativa dará à Terra uma centralidade e uma imobilidade natural no Universo, apoiada inclusive por evidências empíricas. Tudo isso levará a uma Tradição geocêntrica, que será adotada e defendida pelos jesuítas, os quais considerarão o movimento terrestre não só fisicamente impossível, como também errôneo na fé, uma vez contraria as Sagradas Escrituras. Assim, para fazer da Terra um astro errante será preciso não só uma física que possa justificar o movimento terrestre, de tal modo que esse movimento seja compatível com a experiência sensível do observador terrestre, como também desenvolver uma teoria astronômica que não contrarie as Sagradas Escrituras. Essa parte ficará a cargo de Galilei que defenderá a tese de que Deus é o autor de dois grandes livros, a Bíblia e a Natureza. Enquanto o primeiro foi escrito em linguagem comum, o segundo foi escrito em caracteres matemáticos, e, portanto, só pode ser compreendido por aqueles que sabem ler esses caracteres.

Ademais, pretendemos mostrar que o copernicanismo envolveu a adoção de dois princípios que lhe conferiam uma maior plausibilidade racional à luz da experiência sensível, que culminaram em um processo de transformação da própria experiência sensível, que agora passa a ser científica. Um desses princípios será desenvolvido por Copérnico e opera sobre o observador no ato da observação, mostrando que a posição e o estado do movimento ou de repouso do observador e da coisa observada influenciam na apreensão do fenômeno; o outro é um princípio mecânico desenvolvido por Galileu e diz respeito à dinâmica do movimento, que será utilizado pelo matemático no combate às objeções mecânicas ao movimento terrestre,

---

<sup>2</sup> KOYRÉ, Alexandre. **Do mundo fechado ao universo infinito**. p. 6, 2006.

mostrando que os dados obtidos por um observador terrestre tem valor nulo quanto a provar ou refutar o movimento da Terra.

Desse modo, analisaremos as obras *Commentariolus* e *De Revolutionibus*, ambas cuja autoria se atribui a Copérnico e na qual o astrônomo polonês expõe a sua nova astronomia baseada na mobilidade da Terra e imobilidade do Sol. Tendo em vista uma maior compreensão do processo de transformação da experiência científica, analisaremos também o *Sidereus Nuncius*, o *Ensaaiador*, e principalmente o *Diálogo sobre os dois Máximos Sistemas de Mundo ptolomaico e copernicano*<sup>3</sup>. Mais especificamente, realizaremos uma análise detida e acurada da segunda jornada do Diálogo.

Antes, contudo, nossa caminhada começa com os primeiros filósofos naturais, os quais iniciaram suas investigações filosóficas por três temas que, de certa forma, serviram de eixo condutor dessa dissertação, a saber: o problema da *Physis*, do ser e do movimento. Trata-se, no entanto, de uma exposição breve onde mostraremos o sentido conferidos por estes primeiros filósofos à palavra grega *Physis*, às questões entorno da natureza do ser e as principais aporias envolvendo o movimento. Essas questões serviram de ponto de partida para a Filosofia Natural de Aristóteles, a qual pode ser entendida como sendo uma grande justificação para o movimento. Mas, não pretendemos fazer uma exposição exaustiva da Física do Aristóteles. A nossa intenção é mostrar que, por meio de uma física do lugar natural, o grande mestre grego justifica a posição central e imóvel da Terra no Universo.

A dissertação segue definindo o que se passou a entender para a palavra “Tradição”, mostrando que esta se configurou na defesa de um modelo astronômico físico e matemático que preconizava a existência de uma distinção ontológica entre Céu e Terra, e como esse modelo astronômico cosmológico começou a entrar em crise. A essa fase de crise, uma exposição mais detida se seguirá a partir dos trabalhos realizados por Nicolau Copérnico e Galileu Galilei nas obras já citadas nessa introdução, com destaque para uma análise da Segunda Jornada do *Diálogo* de Galileu, onde mostraremos como o matemático toscano realiza a defesa do copernicanismo por meio do combate as objeções mecânicas ao movimento terrestre.

---

<sup>3</sup> A partir desse ponto, vamos nos referir a essa obra unicamente por *Diálogo*.

## 2 OS PRIMEIROS FILÓSOFOS

Boa parte dos escritos originais desses primeiros filósofos estão perdidos para nós hoje. Tudo o que temos são fragmentos de textos com algumas informações esparsas. Contudo, o legado destes que foram os primeiros pensadores ocidentais que, em uma época de mitos e lendas, ousaram olhar para a natureza de maneira diferente do que até tinham feito seus antepassados, nos foi transmitido pelo filósofo grego Aristóteles. E, praticamente tudo o que sabemos hoje sobre esses primeiros filósofos da natureza, sabemos através do olhar filosófico de Aristóteles que organizou e interpretou os trabalhos desses primeiros pensadores a partir da perspectiva a sua própria Filosofia Natural. Assim, de acordo com tal recorte, as principais questões filosóficas desse período datam do século VI a.C. quando esses primeiros pensadores iniciaram suas discussões acerca da totalidade do real. Tal totalidade foi denominada por esses filósofos da natureza de *Physis*. Mais especificamente, Aristóteles dirá que as questões filosóficas abordadas por esses pensadores giravam em torno do problema do *Ser* e do *Movimento*<sup>4</sup>.

Desse modo, tendo por problemática as questões levantadas por Aristóteles, podemos dividir esses primeiros filósofos em dois grandes grupos: de um lado, os filósofos jônicos que afirmavam a mobilidade e pluralidade do ser; e do outro, os filósofos itálicos que defendiam a imobilidade e unicidade do ser. Grosso modo, essa problemática em torno do ser e do movimento, é o resultado da forma como os primeiros filósofos viam a realidade. Para eles, tudo que há está compreendido no plano da *Physis*, não havendo, portanto, nenhuma outra realidade transcendente a está. Isso levou a diversas situações de aporias que só puderam ser melhor equacionadas, quando Aristóteles em sua Física propôs a existência de dois planos: um terrestre, no qual toda a pluralidade de mobilidade era possível; e outro celeste, em que a unicidade e imobilidade davam o norte.

Vejamos agora como a filosofia dita pré-socrática foi organizada e a forma como esses primeiros filósofos entenderam a *Physis* e o sentido ao termos compreendido como *arkhé*. Começaremos pelos filósofos mobilistas.

---

<sup>4</sup> Hoje sabemos que as discussões envolvendo a filosofia pré-socrática são bem amplas, e envolvem questões em torno da alma, do divino e especulações a respeito da ética. Contudo, iremos manter o enfoque dado por Aristóteles, pois são as questões ligadas à física naturalista que irão motivar o grego Aristóteles a elaborar e sistematizar todo um arcabouço teórico envolvendo o Ser e a possibilidade do Devir, e que está na base de sua cosmologia.

## 2.1 O sentido de *Physis*, *Arkhé* e os primeiros mobilistas

Uma boa forma de iniciarmos essa discussão é com a noção que os filósofos naturalistas tinham acerca da palavra *Physis*. Inicialmente, o termo *Physis* passou a designar *kósmos*, isto é, o todo organizado. Consequentemente, o primeiro problema filosófico enfrentado por esses naturalistas surge como um problema de ordem cosmológica, representado pela pergunta: como surgiu o *kósmos*?

Para esses primeiros filósofos, o *kósmos* não constituía um bloco monolítico, mas sim um conjunto de coisas distintas entre si, que, apesar de distintas, encontravam-se orgânica e estreitamente ligadas por um princípio unificador, um *arkhé*. Para Tales de Mileto [600 a.C.] esse princípio era a água: “tudo é água”, diz Tales. Não se trata aqui de entender a água como causa de tudo. “Tudo é água” é melhor entendido como tudo se manifesta segundo o modo como a água atua no mundo, isto é, alterando a sua forma e mudando de estágio. Assim, o modo como o *Kósmos* funciona segue a mesma fluidez da água. Esse é o princípio, uma vez que “tudo é água”.

Anaximandro [580 a.C.] foi discípulo de Tales e discordou de seu mestre. Para Anaximandro, o princípio unificador e regente do cosmo deveria ser algo menos determinado que a água. Mas se deve ser menos determinado, então o princípio é a indeterminação, *apeíron*. Contudo, Anaxímenes [550 a.C.], outro filósofo naturalista dessa época, discordou de Anaximandro. Retomando a ideia de Tales, Anaxímenes escolheu como princípio regente do cosmo um elemento determinado, só que bem mais maleável que a água, o ar. Mas como não podia ser diferente, o discípulo de Anaxímenes, Anaxágoras [460 a.C.] discordou de seu mestre quanto ao princípio regente. Para Anaxágoras, a *Arkhé* não poderia ser algo que pudesse ser reconhecido como algum elemento, mas também não deveria ser algo da ordem da indeterminação como queria Anaximandro. Anaxágoras elegeu como princípio “partículas infinitamente indivisíveis”, que ele as nomeou de *Nous*. O *Nous*, que pode ser traduzido por “inteligência” ou mesmo “espírito”, seria algo ilimitado que organizaria e daria forma ao cosmo, fazendo deste um todo organizado.

Aristóteles assimilou esses primeiros filósofos a partir da sua própria filosofia. Para ele, conhecer alguma coisa era dar a suas causas, *Aitía*. Assim, o estagirita tomou os primeiros filósofos não como aqueles que estavam procurando um princípio unificador, uma *Arkhé*, mas sim como aqueles que estavam atrás de causas no mesmo sentido que ele, Aristóteles. Desse modo, o Filósofo viu na sua física uma espécie de continuidade da física dos pré-socráticos.

Assim, pelo recorte de Aristóteles, Tales, Anaximandro, Anaxímenes e Anaxágoras seriam os primeiros “*phisiologoi*”, ou físicos, vindos das colônias gregas da Jônia, que investigaram a *physis* (natureza) em busca de causas materiais para os mais variados fenômenos.

## 2.2 Parmênides, Heráclito e as aporias do movimento

Contudo, nem todos os pré-socráticos podem ser considerados como pensadores que investigavam a “natureza” em busca de um princípio, ou causa, como entendeu Aristóteles. Dois dos grandes filósofos dessa época, Parmênides de Eleia [530 – 460 a.C.] e Heráclito de Éfeso [535 – 475 a. C.], concentraram-se muito mais em questões de ordem ontológica, isto é, a respeito do *Ser* e de sua possibilidade de movimento, do que de ordem cosmológica, no sentido de determinar uma *Arkhé* a partir de algum elemento natural regente do Universo. Assim, não poderiam ser tomados como filósofos naturais, pelo menos não no sentido estrito do termo “natureza”, que remeter aos processos de gênese e corrupção. Todavia, “natureza” também pode ser utilizada para designar algo que se desenrola e subsiste através desses processos de mudança. Desse modo, “natureza” seria algo próximo de substância ou substrato (*hupokeimenon*), o que faz de Parmênides e Heráclito muito mais filósofos *metafísicos* do que *fisiólogos* propriamente ditos.

De Parmênides o que se tem é uma pequena parte de seu poema intitulado, segundo o testemunho dos antigos, *Da natureza*. Trata-se de um poema cujo foi condutor é o ser. Mas especificamente, sobre as vias possíveis para o pensamento. Por meio da voz da deusa, Parmênides especifica que a via correta é a do que “é”. A via do que “não é”, não é uma via possível para o pensamento, pois o que “não é” não pode ser falado e nem pensado. O que nada é, se pudesse ser falado ou pensado, já seria alguma coisa.

Ademais, falar ou pensar que alguma coisa “é” e “não é” é uma atividade típica dos mortais, e, como tal, um grave engano, uma vez que, afirmar o que “não é”, o nada, seria uma contradição. Portanto, o saber divino só tem acesso pela via do que “é”, ou seja, a via do ser.

Didaticamente, podemos expor o pensamento de Parmênides do seguinte modo:

1. Qualquer coisa que se possa falar ou pensar deve ser;
2. O nada não pode ser, e, portanto, não pode ser falado ou pensado;
3. Igualmente, o que não é, não pode ser falado ou pensado;
4. Aquilo que é, não é o nada.

Assim, não podemos falar ou pensar a mudança, pois o que muda deixa de ser o que é. Para falar ou pensar a mudança teríamos que falar ou pensar sobre o que não é, o que, como vimos, não é logicamente possível. Portanto, Parmênides e os seus seguidores, conhecidos como eleatas, negam a mudança e o movimento dado que, com base em sua tese de fundo, o devir suporia a existência do que não é, o não ser – o que advém passa de um estado a outro, e cada um desses estados não é o antecedente e não é o conseqüente – enquanto que aquilo que não é, o não ser, não pode logicamente existir de modo algum.

Como consequência, o movimento e a mudança nada mais seriam do que pura *aparência*. Na *realidade*, o trânsito do que “é” para o que “não é”, e vice versa, que no limite é movimento, fica assim impedido como uma impossibilidade lógica.

Mas no poema existia uma terceira via pela qual Parmênides tentou salvar as aparências. Além da via do que “é”, que pode ser afirmado e pensado, e da via do que “não é”, que não pode ser afirmado ou pensado, sem que com isso se entre-se em contradição, havia a via da “plausabilidade”, na qual o filósofo tentava conferir uma explicação plausível aos fenômenos físicos, conferindo assim certa validade aos sentidos. É importante lembrar que Parmênides mesmo que por meio de especulações de cunho muito mais metafísico do que físico, ele pretendia falar sobre a realidade física de modo que não poderia simplesmente negar tal realidade como sendo uma mera aparência ilusória (pelo menos não sem ter uma boa razão para isso).

No final do prologo do poema intitulado *Da natureza*, a deusa diz que além da via da verdade e da opinião, Parmênides deveria entender também “que é necessário admitir a existência das aparências quem tudo indaga em todos os sentidos” (PARMÊNIDES, *apud* Giovanni Reali. p. 113, 2012).

De acordo com Parmênides, o erro dos mortais estaria em admitir o ser e o não ser concomitantemente. De maneira mais específica, o erro estaria nas formas de linguagem utilizada para se referir a certos fenômenos. Assim, quando entendemos, por exemplo, o dia a noite como extremos *contraditórios*, erramos, pois, ao concebe-los desse modo, estaríamos conferindo uma ontologia, isto é, uma existência, ao que “não é”, ao puro nada. Isso porque, ao “contraditório” está associado tudo aquilo que se encontra na via do que “não é”, isto é, na via daquilo que não pode ser nomeado e nem pensado. Para Parmênides, tanto o dia quanto a noite pertencem à categoria das coisas que são, sendo, portanto, extremos *contrários*. E o mesmo valeria também para o movimento e a mudança. Ambos, deixariam de serem vistos como mera *aparência* ilusória dos sentidos, e passariam a ter, dentro do campo da plausabilidade, certa *realidade*.

Procedendo dessa maneira, o princípio que presa pela afirmação do que “é”, isto é, afirmação do ser, e pela negação do que “não é”, o nada, estariam assegurados. Todavia, está tentativa de salvar os fenômenos estaria destinada, fatalmente, a esvaziar-se. Isso porque, uma vez reconhecidas como o que “é”, isto é, o ser, o dia e a noite, para ficarmos nesse exemplo, deveria perder qualquer nota diferenciadora e tornarem-se estados idênticos, dado que o ser é sempre e somente idêntico a si mesmo, não admitindo diferenças, sejam elas qualitativas ou quantitativas. Assim, toda a diversidade do âmbito empírico seria absorvida e se perderia na igualdade do ser.

Indo na contramão desse pensamento, Heráclito propôs que a única coisa da qual podemos afirmar ou pensar é justamente o movimento e a mudança. Sem dúvida alguma, Heráclito foi o pré-socrático responsável pela apologia do devir. É dele a famosa frase “não podemos nos banhar duas vezes no mesmo rio”. Isso por uma razão muito simples: apesar do rio ser *aparentemente* o mesmo, na *realidade* ele é feito de águas que se renovam constantemente, se acrescentando e se dispersando em um fluir constante; por isso a mesma água do rio não pode nos banhar duas vezes. Além do mais, nós também passamos por um processo de mudança, de modo que não somos mais os mesmos de antes. Assim, além das águas que se renovam, nós também nos renovamos de tal forma que não é possível nos banharmos duas vezes no mesmo rio.

Com isso, Heráclito assinala que a única imutabilidade e permanência que há no mundo é, na verdade, a da constante mudança, ou seja, o fluxo perpétuo no qual todas as coisas estão inseridas. É como se houvesse uma lei natural subjacente aos fenômenos que operasse no sentido de evitar a mesmidade das coisas. Essa lei pode ser fixada na fórmula “tudo flui”.

Porém, a filosofia de Heráclito está bem longe de se resumir a uma simples formulação. O “tudo flui” é, com efeito, um ponto de partida para uma inferência muito mais aguda e profunda, e não um mero ponto de chegada. Heráclito caracteriza o devir como um contínuo fluir das coisas que vai de um contrário ao outro. Nesse processo de transição entre contrários, temos que: as coisas frias se aquecem e as quentes se resfriam; as úmidas secam e as secas umedecem; o jovem envelhece, o vivo morre; e assim sucessivamente.

Dessa forma, o devir assume a forma de um contínuo conflito de contrários que se alternam; uma constante luta de um contra o outro. Uma verdadeira guerra entre contrário que, no limite, assume a forma de fundamento de todas as coisas. Mas trata-se de uma guerra que ao mesmo tempo também é paz. Isso porque, o fluir perene das coisas revela-se, ao final, como harmonia, ou melhor, como síntese de contrários.

No fragmento 8, do *Sobre a Natureza*, Heráclito nos brinda com uma passagem que, a princípio, pode parecer meio enigmática, mas à luz dessa nossa interpretação, o fragmento torna-se mais esclarecedor. Diz ele: “O que é oposição se concilia e, das coisas diferentes, nasce a harmonia mais bela, e tudo se gera por via de contraste” (HERÁCLITO. *Apud* Giovanni Reale, p. 66, 2012).

Assim, fica claro que em Heráclito as coisas só adquirem realidade na exata medida em que participam do fluxo, isto é, que se manifesta como uma luta entre opostos; opostos esses que se contrastam e, contrastando-se, pacificam-se em harmonia. Desse modo, o princípio que explica toda a realidade encontra-se justamente na síntese dos opostos. Esse princípio, o filósofo milesiano associa ao fogo. O fogo, portanto, é o elemento fundamental, dado que, em essência, todas as coisas nada mais são que transformações advindas do elemento ígneo.

Contudo, Heráclito também chama esse princípio de *Logos*, que não deve ser entendido como *razão* ou *inteligência*, mas sim como *regra*. Regra essa segundo a qual todas as coisas encontram a sua realização, isto é, a sua efetividade. Retomando o sentido original de *Physis*, essa regra funciona como uma espécie de *Arkhé* que a tudo governa e que determina o sentido das transformações. Desse modo, é função do filósofo que investiga a *Physis* entender e exprimir esse *Logos* que é uma regra que comanda as transformações, isto é, os movimentos e as mudanças, de todas as coisas. Para tanto, não devemos nos fixar unicamente nos *sentidos*, pois estes apenas capitam a aparência das coisas. É preciso enquanto estudioso da natureza encontrar por meio do intelecto a lei universal expressa pelo *Logos*.

Não há como deixar de notar que o pensamento de Heráclito antecipa muita coisa da dialética hegeliana. O próprio Hegel [1770 – 1831] reconheceu esse alinhamento entre ele e o pré-socrático de Éfeso. Sobre isso, Hegel escreveu: “Não há proposição de Heráclito que eu não tenha acolhido na minha lógica” (HEGEL, G.W.F. *apud* Giovanni Reale, p. 67, 2012). Todavia, se o pensamento Heráclito encontra ressonância no de Hegel, o mesmo não pode ser dito em relação a sua lógica ou mesmo dialética, pois não há no filósofo de Éfeso propriamente uma lógica ou dialética em sentido moderno. O filósofo milesiano não é um dialético, mas um pesquisador da *physis* e se chega a proclamar uma identidade na diversidade, tal identidade é a da substância primordial em todas as suas manifestações, assumindo, portanto, um sentido puramente físico e não lógico.

Muito mais próximo de Heráclito está Aristóteles, que viu em sua física dos contrários do pré-socrático uma forma de superar a aporia eleata sobre a possibilidade do devir. O movimento é para Aristóteles um dado de fato originário e, como tal, não pode ser negado. Vimos por meio da física de Heráclito que as coisas se fazem na realidade enquanto luta entre

contrários. Ora, será justamente do par *ser-em-potência* e *ser-em-ato* que Aristóteles irá propor que o *ser-em-potência* passe a ser visto como o *não-ser-em-ato*, e vice versa, isto é, o *ser-em-ato* como o *não-ser-em-potência*.

Com isso, o caráter nadificante da questão de fundo defendida da filosofia eleática perde o seu sentido, pois na *physis* o *não-ser* não pode ser tomado em termos absolutos, mas sim em termos relativos. Em outras palavras, não se trata de um *não-ser* como puro nada, mas de um *não-ser* que é substancialmente algo. E é esse algo, esse substrato, que adentra os processos de devir. Assim, o movimento e a mudança não supõem absolutamente o *não-ser* parmenidiano, porque estes se desenvolvem no álveo do ser, sendo expresso como passagem de um ser potencial a um ser atual. Desse modo, o devir, isto é, o vir-a-ser das coisas, fica perfeitamente fundamentado, não podendo mais, portanto, ser negado como mera aparência ilusória.

### 2.3 Zenão e os argumentos dialéticos contra o movimento

A negação dos dados da experiência e, conseqüentemente, do devir e do movimento, não ficou restrita à Parmênides. Zenão de Eleia [490 – 430 a.C.], discípulo do filósofo Eleata, defendeu as ideias de seu mestre em uma obra que reunia de maneira direta uma série de argumentos contra a mobilidade. Indiretamente, tais argumentos também atacavam a pluralidade e foram responsáveis por nos apresentar um método surpreendentemente novo: o método da demonstração. Para tanto, Zenão pretendia mostrar de forma dialética e por meio de paradoxos que a aceitação de uma determinada tese conduzia a conclusões absurdas.

Essa maneira de argumentar passou a ser conhecida como *reductio ad absurdum*, e consistia basicamente, como o próprio nome atesta, em reduzir ao absurdo uma determinada hipótese. Caso essa hipótese fosse aceita como verdadeira, ela nos levaria a um resultado absurdo e nada razoável. Assim, a melhor maneira de se evitar o absurdo seria rejeita a hipótese de partida, a qual nos conduziu a esse resultado. Dentre os argumentos Zenão, destaco três deles: o argumento denominado de *Da dicotomia*, o argumento que convencionou-se chamar *De Aquiles* e o argumento conhecido como *Da flexa*.

No argumento *Da dicotomia*, que significa literalmente cortar ao meio, o autor sustenta que o movimento é absurdo e impossível, porque um corpo, para alcançar um determinado alvo deveria primeiro percorrer metade do caminho, porém para alcançar essa metade, ele deveria, antes de tudo, percorrer a metade da metade, e antes ainda, a metade da metade da metade, e

assim sucessivamente. Dessa forma, um corpo em movimento jamais poderia atingir o alvo, porque haveria sempre a metade da metade a ser percorrida.

Para ilustrar melhor o argumento, suponhamos que um corredor saia do ponto A e queira chegar no ponto B. Para realizar esse feito, ele teria que primeiro atingir a metade do caminho entre esses dois pontos. Porém, para atingir a metade do caminho ele terá que percorrer a metade da metade, e assim sucessivamente *ad infinitum*. Desse modo, se admitíssemos a tese do movimento defendida por Heráclito e outros mobilistas, estaríamos admitindo também e ao mesmo tempo a sua impossibilidade, o que é claramente um absurdo.

No argumento conhecido como *De Aquiles*, se sustenta que o movimento é de tal modo absurdo que, se por hipótese, puséssemos Aquiles, que era conhecido como “o de pés veloz”, em uma corrida contra uma tartaruga, ele jamais seria capaz de vencer a corrida contra o lento animal, dado que as mesmas dificuldades encontradas no argumento anterior, seriam aqui também verificadas. É dito que, se concedêssemos uma certa vantagem a tartaruga na largada, Aquiles não conseguiria ultrapassá-la, perdendo assim a corrida. Isso porque, para que pudesse primeiro alcançá-la em seu ponto de partida, ele teria que primeiro percorrer a metade do percurso que o separa da tartaruga, e antes disso, a metade da metade, e assim novamente *ad infinitum*. Desse modo, haveria sempre um espaço a ser percorrido antes que o nosso corredor de pés veloz pudesse alcançar a sua colega motoramente prejudicada.

Isso se continuará indefinidamente, pois Aquiles sempre precisará de algum tempo para cobrir a distância que o separa da tartaruga, e, por mais lento que seja o animal, esse também avançara, percorrendo parte do caminho nesse mesmo intervalo do tempo, de modo que, não mais estará no ponto anterior; mas sim em algum ponto à frente. Tal raciocínio nos levará a conclusão de que, não importa o quanto delonguemos a corrida, Aquiles nunca alcançará, e muito menos ultrapassará a tartaruga, que certamente estará na dianteira quando a corrida enfim acabar.

No argumento que é chamado de *Da flexa*, pretende-se mostrar que uma flexa disparada jamais atinge o alvo, uma vez que a flexa que se acredita está em movimento, na realidade está parada. A ideia aqui é a mesma dos outros dois argumentos. A diferença é que agora não é mais o espaço que passa por uma divisão infinita, mas sim o tempo. Como o tempo pode ser dividido em instante, é dito que uma flexa disparada vai ocupar um espaço idêntico a ela mesma, em cada instante que durar o seu voo. Porém, tudo aquilo que ocupa um espaço idêntico a si mesmo encontra-se na verdade em repouso, e não em movimento. E tudo aquilo que está em repouso em cada instante, também estará em sua totalidade. Portanto, o movimento que vemos da flexa é aparente. Na realidade, o seu real estado é de repouso.

É interessante notar como Aristóteles desmonta esse argumento. Em uma passagem da Física, o Filósofo faz notar que Zenão comete um paralogismo. Diz ele:

Se de fato toda coisa está, sempre, ou em repouso ou em movimento, e nada se move quando ocupa um espaço igual a si mesmo, e o que se move ocupa sempre em todo instante um espaço igual a si, a flexa que se move está imóvel<sup>5</sup>.

Com efeito, o argumento parece destacar que, uma vez em movimento, a flexa a cada instante ocupa um espaço igual a si mesma, e assim se comporta durante todo o tempo de seu movimento. Contudo, o que em um instante ocupa um espaço igual a si mesmo não se move, dado que nada se move no instante. Desse modo, a flexa em movimento, enquanto estiver em movimento, não se move por todo o tempo que durar o seu movimento.

A conclusão desses argumentos parecem absurdas, e esse é justamente parte do objetivo. Se não pudermos aceitar a conclusão, por ser absurda e nada razoável, teremos então de rejeitar alguma outra coisa, como, por exemplo, uma das suposições que conduzem à conclusão, ou que o movimento é impossível ou que a divisão do espaço é que é impossível. Mas qual das duas rejeitar? Possivelmente, Zenão tinha um alvo específico quando formulou os argumentos. Historicamente, podemos dizer que ele segue Parmênides e nega explicitamente o movimento e a mudança. Contudo, é possível que dizer também que Zenão estava na verdade querendo condenar a possibilidade de divisão infinita do espaço, o que no limite depõe contra a pluralidade do ser. O ser então seria uno e não múltiplo.

Seja como for, em Zenão o modelo matemático de interpretação da realidade já se anuncia, senão como uma realidade, pelo menos como uma possibilidade. Fica claro que, para tal pensador, o real não é algo que se mostra aos nossos sentidos, mas sim algo que está escondido, e que só se revela quando as nossas impressões sensíveis são organizadas e reestruturadas pela razão. Enquanto os sentidos nos mostram um mundo de aparente mobilidade e pluralidade, a razão nos assegura que tal mundo não passa de uma visão distorcida do real. A realidade, naquilo que há de mais essencial, é repouso e unicidade.

## 2.4 Empédocles e a doutrina dos quatro elementos

Empédocles [495 – 430 a.C.] foi o primeiro filósofo naturalista a tentar resolver as aporias advinda do eleatismo, tentando salvar, de um lado, a ideia de permanência do ser (o que

---

<sup>5</sup> ARISTÓTELES. *FÍSICA*, Z 9, 239 b 14ss *Apud* Giovanni Reale. p. 120, 2012.

é não pode deixar de ser e o que não é não pode vir a ser), e do outro, os fenômenos atestados pela experiência, os quais mostram que as coisas nascem e perecem.

Para ele, o “nascer” e o “perecer” são impossíveis, se entendidos como um vir a ser e um deixar de ser, respectivamente, a partir do nada. E isso por uma razão muito simples: o ser é e não pode deixar de ser. Desse modo, de acordo com Empédocles, o nascimento e o perecimento são fenômenos que só teriam a sua plausibilidade e realidade assegurada, se compreendidos como processos cujo vir a ser e o deixar de ser, respectivamente, ocorressem a partir de uma realidade preexistente, isto é, de coisas que são e que não podem deixar de ser<sup>6</sup>.

Até aqui, o que temos da física empédocliana não é outra coisa senão uma tentativa de conciliar duas doutrinas radicalmente antagônicas: o imobilismo eleático e o mobilismo heraclítico. Mas é justamente no entendimento dos fenômenos empiricamente verificáveis que envolvem o “nascer” e o “morrer” que reside a grande contribuição da física de Empédocles. Segundo ele, tanto o nascimento quanto a morte são fenômenos que ocorrem mediante *mistura* e *dissolução*, respectivamente, de determinadas substâncias *ingênicas* e *indestrutíveis*. Isto é, substância que permanecem eternamente iguais. Tais substâncias são precisamente quatro: fogo, água, éter ou ar e terra. Essas substâncias são denominadas por Empédocles como as “raízes de todas as coisas”, mas tradicionalmente vão ficar mais conhecidas como “os quatro elementos”.

Como é possível perceber, a escolha de Empédocles reflete uma tentativa de unificar em uma só física os quatro elementos dos primeiros filósofos naturais jônicos: a água de Tales, o ar de Anaxímenes, o fogo de Heráclito e a terra de Xenófanes<sup>7</sup>. Contudo, há em Empédocles uma mudança substancial na concepção dos princípios. Se para os jônicos o princípio devia ser algo com o poder de transformar-se qualitativamente, dando origem a todas as coisas, em

---

<sup>6</sup> Caso contrário, isto é, se admitíssemos que as coisas pudessem vir do *nada* e para o *nada* seguissem, estaríamos conferindo a não existência uma potência capaz de iniciar e finalizar os processos de devir no mundo. Apesar de isso indicar a necessidade de um substrato perene que adentre os processos de devir, não há em Empédocles a ideia propriamente dita de uma substância no sentido aristotélico do termo.

<sup>7</sup> Na história da filosofia, Xenófanes [570 a.C. - 475] se destacou mais pela crítica teológica dirigida a tradição que vinha de Homero e Hesíodo, a qual, segundo ele, era antropomórfica, atribuído qualidades humanas, tais como a inveja, a ira, o adultério e o autoengano, os Deuses. De acordo como Xenófanes, os Deuses não têm e não podem ter semelhança humana e nem tão pouco costumes humanos. No campo da física, Xenófanes elaborou algumas considerações que, no entanto, não chega a compor uma física no sentido da dos jônicos, ou mesmo uma crítica as aparências no sentido parmenidiano. Em um momento, Xenófanes chega a propor a terra como princípio: “Tudo nasce da terra, e tudo na terra termina; em outro ele diz que o princípio é composto por terra e água: “Terra e água são todas as coisas que nascem e crescem”. Ou ainda, “Todas [as coisas] nascem da terra e da água”. Ao que parece, Xenófanes como a terra (ou como a terra e a água) pretendia explicar *somente os seres terrestres*, e não os celestes, o que faz de seu princípio, um princípio diferente daquele atribuído aos jônios, que pretendia explicar todas as coisas terrestres e todo o cosmo. Contudo, ao deixar de lado o cosmo do ciclo de nascimento e perecimento, isto é, de mudança, não negou tais processos as coisas individuais, portanto a sua física não pode ser comparada a física das aparências de Parmênides (REALI, Giovanni. **Pré-socráticos e orfismo: história da filosofia grega e romana**, vol. 1, p. 97 – 103, 2012).

Empédocles o fogo, a água, o ar e a terra permanecem qualitativamente *inalteráveis* e “*intransformáveis*”.

É precisamente na física de Empédocles que surge a ideia de “elemento” como algo *originário* e *qualitativamente imutável*, e como capacidade de unir-se e separa-se espacial e mecanicamente a outros elementos. Sem dúvida, essa noção de elemento originário e imutável presente na física empedocliana deve muito ao eleatas e as tentativas de supera-los. Mas a superação se dá não só como relação ao eleatismo. A noção monista dos filósofos jônicos, em Empédocles é substituída por uma noção pluralista: a raiz, ou o princípio, de todas as coisas não é única, mas sim estruturalmente múltipla.

#### 2.4.1 O amor e o ódio

Mencionamos que os fenômenos de nascimento e morte eram explicados a partir da ideia de mistura e dissolução dos quatro elementos. Mas, precisamente, o que levaria a essa união e separação? Em outras palavras, qual é a *causa* para o movimento, que leva a agregação e/ou desagregação mútua dos elementos? A resposta de Empédocles para justificar o movimento dos elementos é o amor e o ódio. Estes são concebidos como forças cósmicas naturais com poder de união e separação. O amor que uni e o ódio que separa são coeterno com os elementos. Mas se essas duas forças cósmicas são coeternas e igualmente poderosas, elas acabariam se anulando mutuamente e, conseqüentemente, tudo ficaria em suspensão. Com isso, os elementos não se moveriam nem para um lado e nem para o outro e acabariam imóveis no espaço. Desse modo, os processos de geração e corrupção não poderiam ser mais explicados por meio da agregação e desagregação dos elementos fundamentais.

Evidentemente que Empédocles estava ciente de todos esses problemas envolvendo a sua física e sugeriu que haveria uma alternância de forças entre o amor e o ódio em um ciclo constante fixado pelo destino. Dessa forma, quando a predominância da força envolvida for a do amor, os elementos tenderiam a se agregar formando unidades, mas, por outro lado, quando a predominância for do ódio, ocorreria uma tendência a desagregação dessas unidades. Com isso, o nascer e o morrer seriam explicados a partir do entrelaçamento de forças contrárias, envolvendo tanto o poder agregador do amor quanto o poder desagregador do ódio.

### 2.4.2 A esfera e o cosmo

Ao contrário do que pode pensar a nossa intuição, na cosmologia empedoclediana a força agregadora do amor não é a força responsável pela formação do cosmo. Segundo Empédocles, o cosmo é formado pela força desagregadora do ódio. Em um fragmento de um poema atribuído a esse autor, lê-se o seguinte:

Em turnos prevalecem [amor e ódio] no recorrente ciclo, e entre si se fundem e se somam nas vicissitudes do destino. São, pois, estes que são [os elementos], e passando uns através dos outros, tornam-se homens e outras estirpes ferinas, ora por amizade convergindo em unidade de harmonia, ora, ao invés, separadamente, cada um é levado pela inimizade da contenta, até que depois de terem crescido na unidade do todo, de novo se abismam<sup>8</sup>.

E a respeito do universo, Empédocles afirma:

Assim, como o Uno surge de muitas coisas e distinguindo-se o Uno, muitas coisas resultam, deste modo estas se tornam e não é estável a sua vida; e enquanto não cessam nunca de se transformar por isso são sempre imóveis no ciclo [do universo]<sup>9</sup>.

Quando a prevalência for da força do amor, não há distinção entre os elementos de modo que todos são recolhidos juntos e pacificados, formando uma unidade compacta denominada de *Uno* ou *Esfera*. Por outro lado, quando prevalece a força do ódio, os elementos são separados uns dos outros. Mas ainda não é aqui que se dá a formação do cosmo e das coisas individuais. O *kósmos* e as coisas que o compõem nascem nos dois períodos de passagem, que vão do domínio do amor ao domínio do ódio e, depois, do domínio do ódio ao domínio do amor. Em cada um desses dois períodos há o nascer e o destruir do *Kósmos*, o que sugere haver na cosmologia de Empédocles uma ação conjunta de ambas as forças.

## 2.5 Os pitagóricos

Por pitagóricos entendemos aqueles que seguiam o pensamento de seu mestre, Pitágoras de Samos [532 - 531 a.C.]. Segundo a historiografia, Pitágoras é quase uma figura lendária. Não escreveu nada e pouca coisa pode ser atestada com precisão. Além disso, muito do que se

<sup>8</sup> Diels-Kranz, 31 B 17, vv. 27-35 *apud* Giovanni Reale in: **Pré-socráticos e orfismo**, p. 136, 2012.

<sup>9</sup> Idem, *Ibidem*.

lê em *Vida de Pitágoras* não passa de pura fantasia. É dito que pouco tempo depois de sua morte, Pitágoras perde muito das características humanas e passa a ser representado pelos seus seguidores como uma divindade.

É dito também que Pitágoras fundou uma escola na cidade de Crotona, cujo principal objetivo não era se dedicar a pesquisa científica, mas sim a de promover a realização de um determinado tipo de vida, com relação a qual a pesquisa científica funcionaria antes como *meio* do que como um *fim*. E como a ciência era um meio para um fim, ela era um *bem comum* que todos os adeptos aspiravam e procuravam incrementar realizando pesquisas em conjunto, o que, ao final, acabou criando um anonimato das contribuições individuais dos seus adeptos, os quais passaram a ser conhecidos genericamente como pitagóricos.

O próprio Aristóteles nada sabe sobre pitagóricos individuais, e, ao se referir a esse grupo em sua *Metafísica*, utiliza a célebre fórmula “os assim chamados pitagóricos”<sup>10</sup>. Tal forma de se referir aos pitagóricos deve-se ao fato de que Aristóteles está diante de um fenômeno novo, singular: apesar de possuírem seguidores e discípulos, os outros filósofos antes nomeados costumavam representar a si mesmo, sem ligações com escolas particulares. Os pitagóricos, por outro lado, estudam e trabalham em *equipe* e sua denominação designa justamente um programa de pesquisa, no sentido de promover uma orientação metodológica de uma certa visão da realidade, e sobre a qual seus integrantes compartilham e concordam.

### 2.5.1 Nova concepção do princípio

De acordo como Aristóteles, o *princípio*, que antes era atribuído a algum elemento do âmbito natural como, por exemplo, a água, o ar ou o fogo, para pitagóricos foi de atribuir ao *número e aos elementos constitutivos do número*. É justamente na *Metafísica* de Aristóteles que encontramos uma célebre passagem, na qual é mostrada a relação dos pitagóricos com os números. Eis a passagem:

Os pitagóricos por primeiro aplicaram-se às matemáticas e fizeram-na progredir, e, nutridos por ela, acreditaram que os princípios delas fossem os princípios de todos os seres. E, posto que nas matemáticas os números são, por sua natureza, os primeiros princípios e justamente nos números eles afirmavam ver, mas que no fogo, na terra e na água, muitas semelhanças com as coisas que são e geram [...]; e ademais, posto que viam que as notas e os acordes musicais

<sup>10</sup> Conferir Aristóteles, *Metafísica*, A 5, 985 b 23.

consistiam em números, e, enfim, porque todas as outras coisas, em toda a realidade, pareciam-lhes ter sido feitas à imagem dos números e que os números o que é primeiro em toda a realidade, pensaram que os elementos do número fossem elementos de todas as coisas, e que todo o universo fosse harmonia e número<sup>11</sup>.

Como é possível notar nessa passagem, os pitagóricos estabelecem uma relação matemática entre os fenômenos naturais e os números. Tudo que existe pode ser traduzido harmoniosamente por meio de relações numéricas, ganhando assim uma representação matemática. Primeiramente, perceberam que a música podia ser facilmente traduzível por meio de relações numéricas; notaram que os sons produzidos por um martelo ao bater em uma bigorna dependia do *peso* do martelo, e que a variedade de sons emitidos por um instrumento de cordas dependia da diferença de tamanho dessas cordas. Ademais, foram os pitagóricos que descobriram as relações harmônicas de oitavas, de quintas e de quartas bem como as leis matemáticas que as governam.

Ao estudar o cosmo, os pitagóricos tiveram a perspicácia de notar que determinados fenômenos obedeciam a leis numéricas, as quais regulavam as estações do ano, os dias, as noites etc. Notaram também que são as leis numéricas que regulavam o tempo de incubação dos fetos, os ciclos de desenvolvimento e uma série de outros diferentes fenômenos que controlam e regulam a vida.

Para entendermos melhor a relação dos pitagóricos com os números, precisamos nos libertar da noção moderna de conceber a matemática e suas relações numéricas. Modernamente, costumamos conceber os números fruto de uma operação mental. Os números são fenômenos da razão, e, como tal, são entidades abstratas. Para os pitagóricos, no entanto, os números são entidades *reais*, cuja existência não depende da mente de um sujeito que pensa, sendo, portanto, entidades *objetivas*. Na verdade, para o pitagorismo, os números representam as entidades mais reais que existem, e, por conta disso, são tomados como *princípio de todas as coisas*.

Por isso, perguntar, como faz Aristóteles na leitura de seus antecessores, se o número constitui um princípio *material* ou *formal* das coisas, é, antes de tudo, introduzir categorias ulteriores (matéria e forma) à doutrina pitagórica e, por conseguinte, acabar falseando a questão. O número é princípio das coisas da mesma forma que a água, o ar ou o fogo são princípios para jônicos<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> Idem, ibidem.

<sup>12</sup> Nesse sentido, o número, para usar uma nomenclatura aristotélica, constituiria um princípio tanto em termos materiais quanto em termos formais. Em outras palavras, o número concebido pitagoricamente seria uma espécie de amálgama de matéria e forma.

Em uma leitura mais acura da passagem da *Metafísica* de Aristóteles mencionada acima, notamos que não é bem o número que é princípio de todas as coisas. Mais especificamente, o texto nos diz que “os elementos dos números são os elementos de todas as coisas. Isso significa que a algo mais fundamental que os números: os *elementos* dos números. Esses elementos é que são o princípio de todas as coisas. Mas, então, o que seriam esses elementos, dos quais nos fala o texto?

A resposta para essa questão vem de um pitagórico que se destacou como o primeiro a ter as suas ideias publicadas e conhecidas do grande público: Filolau de Crotona [470/480 a.C. – 385 a.C.]. De acordo com Diógenes Laércio [180 d.C. – 240 d.C.], Filolau foi o autor de um livro intitulado *Da natureza das coisas*, no qual o autor estabelece uma relação entre princípios opostos, o ilimitado (*apeíron*) e o limitante (*peras*), como condição necessária para a natureza das coisas. Assim, segundo Filolau:

A natureza na ordem do mundo foi unida harmoniosamente a partir das coisas ilimitadas e também das coisas limitantes, a ordem do mundo como um todo e todas as coisas nele (Diógenes Laércio, VIII, 85)<sup>13</sup>.

Como é possível notar, para que o ilimitado (ou indeterminado ou infinito) e o limitante (ou determinante) possam atuar satisfatoriamente como princípios unificadores da ordem natural, há a necessidade da introdução de um terceiro elemento ou princípio: a harmonia. Ainda segundo Filolau, todas as coisas são necessariamente constituídas ou pelo ilimitado ou pelo limitante ou ainda por ambos, isto é, constituídas ao mesmo tempo pelo ilimitado e pelo limitante.

Mas para que o universo e todas as coisas nele constituídas possam existir, é necessário haver um acordo entre esses dois princípios opostos. Esse acordo entre elementos ilimitados e elementos limitantes é justamente o *número*. Portanto, os elementos últimos dos quais resultam os números são o *ilimitado* e o *limitante*. E dado que todas as coisas são constituídas pelo número, este atua tanto como princípio indeterminado quanto como princípio determinante de todas as coisas.

No que diz respeito ao estudo desenvolvido pela escola pitagórica, este se diversificou em dois caminhos: o da teoria matemática e o da metafísica. A teoria matemática estava a serviço de duas das suas tecnologias: a astronomia e a música. As investigações matemáticas alcançaram um grande sucesso, como, por exemplo, no famoso Teorema de Pitágoras, e nas contribuições no campo da música, que se refletiu na verificação de que os intervalos musicais se davam de tal modo que permitiam expressá-los através de proporções aritméticas.

---

<sup>13</sup> Texto traduzido por C. Kahn In: KAHN, C. H. OP. p. 42 *apud* Guilherme Magalhães Oliveira, p. 37, 2010.

Sobre esse assunto, Saboya, citando Guthrie, pontua que os pitagóricos verificaram que o som produzido pela lira variava de acordo com o comprimento da corda, de modo que havia uma dependência do som em relação à extensão da corda. Com isso, descobriu-se que os intervalos da escala musical poderiam ser expressos aritmeticamente por meio das razões entre os números 1,2,3 e 4. Por exemplo, uma oitava pode ser reduzida à razão de 2:1, uma quinta à razão de 3:2 e uma quarta à razão de 4:3<sup>14</sup>.

Essa descoberta fez com que os pitagóricos acreditassem na existência de uma ordem subjacente ao fenômeno do som, uma espécie de organização numérica, que se manifestou a esse movimento filosófico como uma revelação a respeito da natureza do próprio universo. Com isso, os pitagóricos elaboraram o conceito de harmonia, que nada tem a ver com a ideia de um agrupamento de vários sons agradáveis aos ouvidos, mas sim como a ideia de um *ajustamento ordenado das partes* que compõem o som. Com isso, as propriedades qualitativas dos diversos tipos de sons podem ser reduzidas a uma ordem matemática quantitativa, que permite ser expressa na forma de uma razão numérica.

‘Esse sistema era aplicável não só aos sons instrumentais, mas a cada coisa em particular, que deixa de ser designada em última instância a partir de seus elementos naturais, e passava a ser concebida a partir da proporção em que esses elementos naturais se combinavam. Assim, é a diferença na proporção dos elementos presentes em cada coisa que as diferencia uma das outras, e não o tipo de matéria que a compõem. Essa diferença na proporção dos elementos era expressa numericamente em termos quantitativos, o que permitia aos pitagóricos afirmarem o número como a *arché*, isto é, como o *princípio de todas as coisas*.

No campo da astronomia, a observação cuidadosa do deslocamento dos astros pela abóbada celeste fez surgir nos pitagóricos a ideia de que o universo é regido por uma ordem. As evidências que sustentavam a existência dessa suposta ordem na natureza eram claras: a sucessão dos dias e das noites, a alternância das estações e o movimento circular e perfeito das estrelas<sup>15</sup>. Com relação a movimentação das estrelas no céu noturno, foram os pitagóricos os primeiros a falarem em harmonia das esferas para descrever a perfeição das órbitas celestes.

---

<sup>14</sup> Cf. Maria Clara Lopes Saboya in: **Pitágoras: todas as coisas são números**. p. 9, 2015.

<sup>15</sup> Foi em razão dessa suposta ordenação na natureza que fez com que os gregos antigos passassem a chamar o mundo de *kósmos*, palavra que para os gregos evocava não só a ideia de ordem, como também a ideia de beleza.

### 2.5.2 Passagem do número às coisas

Para nós leitores modernos pode parecer bastante complicado como que dos números, uma entidade abstrata fruto de uma operação mental, e, portanto, um ente da razão, passamos a derivação das coisas concretas? Mas essa complicação é apenas nossa ao tentar interpretar o pitagorismo. Para os gregos antigos, em especial os pitagóricos, os números representam uma coisa real, a mais real entre todas as coisas, cuja existência na depende a mente de um sujeito que pensa, e, como tal, pode ser princípio constituinte de todas as coisas<sup>16</sup>.

Essa maneira de conceber os números estava diretamente ligada a forma como os pitagóricos os representavam. O número era representado como um conjunto de pedrinhas, ou desenhado como um conjunto pontos geometricamente dispostos. Em outras palavras, os números eram *vistos* como figuras geométricas. E à medida que eram concebidos como pontos ocupando espaço, tendo assim massa, os números também eram vistos como figuras sólidas. Desse modo, concebido como figura espacialmente extensa, vislumbrar a passagem do número às coisas era algo perfeitamente natural.

Assim, por essa concepção, os pitagóricos viram o um como o ponto, o dois como a linha, o três como a superfície e o quatro como o sólido. Analogamente e tendo por base essa concepção, os quatro elementos, terra, água, ar e fogo, foram associados aos quatro sólidos geométricos, cubo, icosaedro, octaedro e pirâmide, da seguinte forma: a terra foi associada ao cubo, a água ao icosaedro, o ar ao octaedro e o fogo à pirâmide.

## 2.6 Os atomistas

Entre os pré-socráticos, ninguém mais personificou a tentativa de “salvar as aparências”, principalmente aquelas concernentes ao movimento e a mudança, e a geração e corrupção, do que os atomistas. Nesse sentido, a doutrina atomista representou, dentro do âmbito dos filósofos naturalistas, a última tentativa de conciliar a questão de fundo defendida pelo eleatismo, isto é, a impossibilidade lógica do movimento e da mudança, sem negar os fenômenos. Dentre esses

---

<sup>16</sup> Para Zeller-Mondolfo, esse modo de conceber os números pode-nos parecer algo muito estranho. Contudo, se refletirmos sobre como a primeira descoberta de uma regularidade matemática presente nos fenômenos pode ter causado em espíritos sensíveis a essas coisas, então poderemos entender o porquê de o número ter sido não só venerado como princípio de toda ordem e determinação presente no mundo, como também hipostasiado como substância de todas as coisas (Zeller-Mondolfo, I, 2, p. 443 *apud* Giovanni Reale, p. 81, 2012).

primeiros filósofos, dois nomes se destacam: Leucipo [480 a.C. – 475 a.C.] e seu discípulo Demócrito [460 a.C. – 370 a.C.]. Esses são os principais representantes da escola de Abdera.

Boa parte dos escritos de Leucipo e Demócrito se perderam. Contudo, é possível entender no que se tratava a filosofia atomista, a partir de uma passagem nos escritos aristotélicos, no qual o Filósofo disserta sobre as possibilidades de movimento e de mudança no mundo físico, particularmente da geração e da corrupção, relacionando a doutrina atomista a tese de fundo do eleatismo. A citação é longa, mas é importante para entendermos a física atomista. Assim, segundo Aristóteles, Leucipo e Demócrito

recorrendo ao princípio natural, que exprimiram de maneira especialmente metódica uma explicação que toca todos [os corpos]. Com efeito, alguns dos antigos opinaram que o ser é necessariamente uno e imóvel; de fato, conceberam a inexistência do vazio, porém a inexistência separada de um vazio conduz à impossibilidade de ser transmitido o movimento ao ser; tampouco seria possível a multiplicidade das coisas na ausência e algo que as mantivesse separadas; pensam, ademais, que a suposição de que o universo não é contínuo, mas dividido em partes em contato, corresponde a sustenta a multiplicidade, e não a unidade, e a existência do vazio [...]

E continua

Leucipo, contudo, pensou estar de posse de argumentos em harmonia com a percepção sensorial e, ademais, que não suprimem nem a geração (vir a ser) nem a corrupção (cessação de ser), nem o movimento ou a multiplicidades dos seres. Ao fazer paralelamente concessões às aparências e aos que postulam a unidade no sentido de que a existência do movimento seria impossível sem um vazio, diz ele que o vazio em não ser, e que nada do ser é não ser, pois o que é soberanamente é um pleno total; este, porém, não é uno, mas a multiplicidade de coisas infinitas cuja pequena massa determina sua invisibilidade. Essas coisas são carregadas no vazio (pois existe vazio) e uma vez associadas produzem geração (vir a ser), se dissociadas, corrupção (cessar de ser). Onde eventualmente entram em contato (uma vez que nessa situação não apresentam unidade) exercem e sofrem ação, e quando associadas e entrosadas são geradoras; uma multiplicidade, porém, não pode vir a ser a partir do que é verdadeiramente uno, nem tampouco o que é uno a partir do que é verdadeiramente múltiplo, sendo isso impossível. Mas como Empédocles e alguns outros dizem que é através de suas passagens (poros) que as coisas são submetidas à ação, conclui-se que é desse modo que ocorre toda alteração e toda paixão, acontecendo a dissolução e a corrupção (cessar de ser) mediante o vazio e igualmente o crescimento, com o ingresso dos sólidos<sup>17</sup>

É interessante notar que a física atomista é composta por duas coisas: os átomos e o vazio. E é justamente a existência do vazio, entendido como “não ser”, que torna possível a existência do movimento. Isso porque, são os espaços vazios existentes entre os átomos que torna possível a matéria transitar de um lugar ao outro. Assim, o vazio passa a ser um elemento

<sup>17</sup> ARISTÓTELES, *Da Geração e Corrupção*. 1, 8, 325<sup>a</sup>1 – 325b.

necessário ao movimento, capaz não só de explicar o devir, como também a multiplicidade e pluralidade no mundo.

Antes de prosseguirmos, é importante esclarecer uma questão: o real significado da palavra “átomo” para os antigos gregos. Por “átomo” os antigos gregos não estavam se referindo a algo materialmente sensível, mas sim a algo inteligível. Átomo, portanto, designa uma ideia. Mais especificamente, o vocábulo refere-se a algo eideticamente pensado e representado: a materialidade pura individuada e quantitativamente diferenciada; sendo que tal diferenciação ocorre mediante três coisas: figura, ordem e posição.

Mas ideia aqui não deve ser entendida como algo invisível. Segundo Reali, a fase histórica da língua grega na qual Demócrito está inserido, ideia quer dizer algo de natureza visível, porém não se trata de ser visível aos olhos dos sentidos. Pela sua pequenez e indivisibilidade, propriedades estas mencionadas por Aristóteles na passagem anteriormente citada, a natureza visível do átomo deve ser entendida como uma visibilidade que se dá aos “olhos” do intelecto. E se levarmos em conta que os átomos se diferenciam uns dos outros por meio da figura, então temos que o átomo aponta para a uma realidade que é visível não só intelectualmente, como também geometricamente<sup>18</sup>.

Contudo, é importante dizer que, apesar de haver uma distinção entre visível sensível e visível inteligível, não há no atomismo uma distinção entre dois planos da realidade, um material e outro imaterial. Aliás, é bom lembrar que o único imaterial defendido por Demócrito e Leucipo é o vazio; vazio este entendido como “não ser”. No atomismo dos atomistas, o material e o imaterial estão os dois no mesmo plano. São o ser e o não ser representam dois termos inseparáveis, admitidos para poder dar conta das aparências. Assim, partindo do visível corpóreo, o intelecto transcende ao um ponto onde os sentidos não mais conseguem alcançar, indo até um mundo totalmente desmaterializado e despotencializado, que é o contraponto análogo do visível materialmente e potencialmente corporificado.

### 2.6.1 Os átomos e a mecânica do movimento

Todas as coisas que são na natureza derivam sua origem dos átomos, os quais são qualitativamente iguais, mas quantitativamente e figurativamente diferenciados. Todas as afecções, qualidades e estados também derivam sua existência dos átomos. Com isso, os

---

<sup>18</sup> REALE, Giovanni. In: **Pré-socráticos e orfismo**, p. 155, 2012.

atomistas explicavam a geração e a corrupção a partir da agregação e da desagregação ou dissociação dos compostos átomos, respectivamente, sem que tais processos derivem do nada ou terminem no nada. As alterações e particularidades dos corpos sensíveis são devido as diferenciações geométricas e de posição dos átomos. São essas diferenças que darão origem na moderna física as “qualidades primárias” e “qualidades secundárias” manifestadas pelos corpos físicos: as primeiras são as propriedades geométrico-mecânicas que diferenciam os átomos; as segundas são as manifestações fenomênicas que derivam do encontro dos átomos como os nossos órgãos dos sentidos, e que são interpretadas como qualidades tais como cor, odor, sabor e textura.

Mas como se daria essa movimentação dos átomos? Reali citando Zeller, cuja interpretação se tornou canônica<sup>19</sup>, afirma que esse autor descrevia a física dos atomistas a partir de três etapas: originalmente os átomos teriam um movimento de queda devido ao seu peso, que se seguiria a um movimento em vórtice, e deste movimento vorticoso, o mundo como todas as suas manifestações fenomênicas teriam sua origem. Contudo, estudiosos posteriores<sup>20</sup> mostraram que essa explicação sobre a origem dos corpos físicos e do mundo, não era unânime. Essa explicação encontrava adeptos entre os atomistas epicuristas, mas não entre os atomistas originais abderianos, dentre eles, Demócrito.

Segundo Demócrito, originalmente os átomos apresentariam uma movimentação aleatória, com deslocamento e giro para todas as direções, exatamente como a poeira que vemos em suspensão no ar quando esta é atingida pelos raios solares. Esse seria o movimento pré-cósmico. O movimento que levaria a criação do mundo era de um tipo diferente, vorticoso, e ocorria devido a diferença de peso e figura dos átomos no vazio, de tal forma que, nesse movimento turbilhonar, os elementos que fossem mais pesados se disporem no centro do vórtice e os mais leves em sua periferia. Uma vez separados pelo peso, os átomos agora sofriam atração e repulsão mútua conforme a lei da semelhança: semelhante atrai semelhante. E desse modo era formado o cosmo. Uma vez formado o cosmo, era comum ainda a ocorrência de mais um tipo de movimento, que se dava quando os átomos conseguiam se libertar dos agregados, dando origem aos eflúvios, como, por exemplo, as emanções que se desprendem sutilmente dos perfumes.

O entendimento que os atomistas tinham a respeito do mundo pode mesmo ser considerada como revolucionária para a época. Partindo do pressuposto de que os átomos eram infinitos, também eram infinitos os mundos por eles constituídos. Esses mundos poderiam

<sup>19</sup> REALE, Giovanni. In: **Pré-socráticos e orfismo**, p. 156, 2012.

<sup>20</sup> Conferir Alfieri, **Átomo Ideia**, *apud* Giovanni Reali p. 157, 2012.

assumir uma configuração completamente diferente da que conhecemos, como também podiam ter uma configuração igual a nossa: mundos que nascem, desenvolvem-se, e, por fim, corrompem-se, sem termo.

Os atomistas explicavam o cosmo e todas as coisas que o constitui unicamente a partir dos átomos e do movimento e, portanto, tudo se explicaria de um modo rigorosamente mecânico e necessário. Para Demócrito, tudo seria o resultado de uma causa que se daria segundo uma rigorosa necessidade. Leucipo, por seu turno, fala de uma necessidade universal: “nada se produz sem motivo, mas tudo com uma razão e necessidade”<sup>21</sup>. Porém, não há no atomismo de Demócrito ou mesmo de Leucipo a ideia de causa final ou de finalidade. Como mencionado anteriormente, os mundos nascem, desenvolvem-se e corrompem-se sem a presença de um *telos* ou uma *meta* os guiando.

Contudo, Reali chama a atenção para o fato de não existir causa final entre os abderianos simplesmente porque tal causa ainda não tinha sido descoberta e explicada. Assim, a noção de causa final não poderia ter sido conscientemente negada porque os atomistas ainda não tinham chegado a desenvolver esse tema em nível especulativo. Seja como for, o sistema atomista de Demócrito e Leucipo representou ao pensamento grego uma lúcida e rígida tentativa de explicar todas as coisas por meio de dois princípios visíveis aos olhos do intelecto, o átomo e o vazio, e por meio destes dar conta das aparências, isto é, de tonar o movimento e a mudança fenômenos inteligíveis.

### 3 ARISTÓTELES E SUA FÍSICA

A física do Aristóteles é a segunda ciência teórica que tem por objeto a pesquisa da realidade *sensível*, intrinsecamente caracterizada pelo *movimento*. Em contra partida, a metafísica constitui a sua ciência primeira, e tem como objeto a pesquisa da realidade *suprassensível*, caracterizada pela total *ausência de movimento*. Essa distinção é importante, dado que os filósofos que antecederam Aristóteles tratavam a realidade de uma maneira única, sem distinção entre os planos sensível e suprassensível. Como vimos, isso acabou resultando em uma série de aporias envolvendo o Ser e a impossibilidade lógica deste sofrer os efeitos do movimento e da mudança.

---

<sup>21</sup> Diels-Kranz, 67<sup>a</sup>, *apud* Giovanni Reali, p. 158, 2012.

Em Aristóteles, esses problemas foram melhor equacionados com a criação de duas ciências, uma denominada de *física* e outra de que estava para além de tudo aquilo que era físico, sendo tal ciência caracterizada de *metafísica*. À ciência física caberia o estudo do devir, isto é o movimento e a mudança, pertencente ao domínio do sensível; enquanto à metafísica caberia o estudo do Ser, pertencente ao domínio do suprassensível, caracterizado pela total imobilidade e imutabilidade, Tal distinção representará a completa superação do horizonte posto pelos *Pré-socráticos* e de uma radical mudança do antigo sentido do *Physis* que, em vez de representar a *totalidade do real*, passa agora com Aristóteles a designar unicamente a *realidade sensível*. A partir de agora, revisaremos os principais elementos que compõe a cosmologia e a física do filósofo grego Aristóteles.

### 3.1 Cosmologia aristotélica

O Universo de Aristóteles é conhecido como o universo das duas esferas: uma menor e imóvel esfera da Terra; e outra vasta, porém, finita esfera celeste em rotação. É no *De Caelo*, ou tratado sobre o céu, que o filósofo irá defender a ideia de que a Terra ocupa uma posição central e imóvel em um Universo finito. Estruturalmente, essas duas esferas dividem o cosmo em duas regiões distintas: a região terrestre, ou sub lunar, representada pela Terra; e a região celeste, ou supra lunar, onde estão a Lua, o Sol e os demais astros e estrelas. Cada um desses corpos celestes estão fixados em esferas que giram em períodos diferentes<sup>22</sup>, sendo essa a forma que Aristóteles utiliza para representar em seu Universo o movimento planetário observado diário e anualmente em torno da Terra.

Em sua cosmologia existem uma série de razões de cunho mais teórico que fazem com que a Terra ocupe uma posição central e imóvel no Universo. Contudo, a razão mais forte é dada pela experiência sensível. É ela que comanda a física e a cosmologia aristotélica. Sempre vemos os corpos pesados caírem em linha reta em direção ao centro da Terra, sem nunca sofrer qualquer desvio em sua trajetória; o voo dos pássaros nunca é afetado independente de qual direção eles voem; vemos claramente o Sol, a Lua, os planetas e estrelas circundarem a Terra cotidianamente; não há ventos que sopram mais forte de um lado do que de outro regularmente;

---

<sup>22</sup> Entre cada uma dessas esferas que giram, há outras que são conhecidas como esferas compensadoras. A função delas é justamente compensar o movimento de uma esfera sobre a outra, de modo que cada esfera girasse em um intervalo de tempo distinto. Com isso, Aristóteles garantia que o seu modelo de esferas giratórias estivessem em acordo com as aparências.

etc. Sem dúvida, essas são evidências fortes que corroboram a ideia de uma Terra imóvel e no centro do Universo, principalmente quando se parte de uma percepção imediata do real.

É a partir de uma série de fatos e dados do cotidiano que Aristóteles elaborará toda uma fundamentação teórica para justificar a sua física do “senso comum”, que apesar de partir de uma fenomenologia direta da realidade sensível, não deixa de ser uma física bem elaborada que dava conta de explicar a maioria dos fenômenos presenciados e que possuía um forte apelo sensorial: assim como Aristóteles, achamos normal que corpos considerados pesados, como uma pedra, por exemplo, caíam naturalmente em linha reta. Como não temos a experiência contrária, acharíamos estranho que, ao invés de cair, a pedra subisse em direção aos céus; ou mesmo se a chama de uma vela em vez de subir, se afastando do centro da Terra, fosse em direção a ele.

Assim, tendo como base os sentidos, Aristóteles elabora uma física do *lugar natural*, que estabelece um lugar próprio, no sentido de estar em conformidade com a natureza do movente, para o qual o móvel tende a ir naturalmente sempre que desse lugar for afastado por meio de alguma força. Desse modo, o movimento pode ser concebido de duas maneiras: como *natural* ou *violento*. Como movimento natural, o móvel se locomove em virtude de sua natureza. E como movimento violento, o móvel se locomove em virtude não mais de sua natureza, mas sim de uma força que atua sobre ele contra naturalmente. Com isso, haveria no Universo uma ordem cósmica tal, que determinaria o lugar no qual cada coisa deveria estar. Uma vez nesse lugar, o móvel não teria razões para de lá sair, a não ser mediante violência. Dessa maneira, a Física aristotélica conseguia dar conta da maior dos fenômenos, principalmente daqueles mais cotidianos, envolvendo a queda de uma pedra ou a chama de uma vela, por exemplo.

Chama a atenção o termo *natural* usado aqui por Aristóteles. Ele revela a *essência* do móvel, cuja principal característica vai ser dada pelo *peso* ou pela *leveza* do corpo. O peso e a leveza são *qualidades* definidas pelo elemento que for mais representativo na constituição do móvel. São quatro os elementos: terra, água, ar e fogo. Esses são as bases essenciais de todos os corpos que habitam e compõem a esfera terrestre. A terra e o fogo são os elementos cujo peso e a leveza, respectivamente, são dados de modo absoluto. Os demais, vão ter os respectivos pesos e levezas dados de modo relativo, dependendo do lugar que estejam ocupando. Então, por ser absolutamente pesada, a terra localiza-se na região central da esfera da Terra, e esta, por sua vez, ocupa o centro do Universo, como já mencionado. No extremo oposto, o fogo, por ser absolutamente leve, vai localizar-se nas camadas mais elevadas da esfera terrestre. Entre esses dois extremos, vamos encontrar a água, cuja localização vai ser imediatamente acima da terra

e imediatamente abaixo do ar. Nesse lugar, a água é considerada como um elemento pesado. Porém, se for deslocada de seu lugar para baixo da terra, a água será considerada leve e tenderá naturalmente a subir. E por último o ar. Esse terá como localização a região imediatamente acima da água e imediatamente abaixo do fogo, sendo considerado nesse lugar como leve. No entanto, caso esteja acidentalmente ocupando uma região acima do fogo, situação essa fisicamente improvável, mas teoricamente possível, caso contrário sua leveza teria que ser considerada de modo absoluto e não relativo, o ar será considerado pesado e tenderá naturalmente a descer.

Mas, além desses elementos, Aristóteles ainda concebe um quinto, cujas características diferem substancialmente daquelas dos elementais terrestres. Trata-se do éter, um elemento eterno, imóvel e imutável, que constituinte materialmente não só os corpos celestes, mas também as esferas que os contém e de todo o espaço cósmico que preenche o Universo. Tal elemento é o mais nobre entre todos, não apresentando nem peso e nem leveza, o tornando ontologicamente diferenciado dos demais.

Mas, além de ser definidor da natureza do móvel, o elemento também é definidor do tipo de movimento que o corpo é capaz de realizar naturalmente, isto é, conforme a sua natureza leve ou pesada. São três os tipos de movimento que a Física aristotélica estabelece para os móveis: o movimento em linha reta; o circular e o misto. Tendo como referência o centro da Terra, o movimento em linha reta pode ser tanto “para cima” quanto “para baixo”, isto é, pode se dar tanto no sentido de se distanciar quanto no sentido de se aproximar do centro da esfera da Terra. Já o movimento circular será aquele que se realizará em torno de um centro, e esse centro é o terrestre. Quanto ao movimento misto, Aristóteles pontua que ele seria aquele que nasce da associação dos dois primeiros. Porém, tal movimento não ocorreria simultaneamente, mas sim um e depois o outro. Os dois movimentos acontecendo simultaneamente no mesmo corpo não é algo permitido pela física aristotélica, dado que haveria uma tendência de um anular o outro, e o móvel não se moveria nem de forma reta e nem de forma circular<sup>23</sup>.

Essas são as formas de movimento simples e únicas que um móvel é capaz de realizar em sua locomoção pelo espaço. A razão disso é que, de acordo Aristóteles, só são três as dimensões espaciais existentes no Universo: a linha, a superfície e o corpo. Segundo ele próprio, isso nos é revelado em nossa própria linguagem: “ao nos referirmos a duas coisas, dizemos ambas (as duas) e não todas. O primeiro número ao qual o termo *todos* (*todas*) é dirigido é o

---

<sup>23</sup> Aristóteles não trabalha com a ideia de composição de movimentos. Tal pensamento só será introduzido na física por Galileu ao estudar a queda livre dos corpos em associação com o movimento de rotação da Terra.

três”<sup>24</sup>. Assim, um móvel pode realizar um movimento ascendente (*centrífugo*) afastando-se do centro da Terra; pode realizar um movimento descendente (*centrípeto*) em direção ao centro; o movimento circular em torno do centro e, por fim, o movimento misto, que não é outra coisa senão a associação dos dois primeiros<sup>25</sup>. Ao fazê-lo, um móvel estaria realizando todas as formas de movimento, a qual chamamos de locomoção, que a um corpo é dada a possibilidade de se realizar.

Assim, de acordo com o peso e a leveza, Aristóteles determina o lugar natural da Terra e dos astros. A Terra, ou melhor, a esfera da Terra, está localizada no centro do Universo em virtude de seu peso, pois é principalmente constituída pelo elemento terra, que é qualitativamente pesado. A esfera da Terra é habitada também pelos demais elementos, cuja localização obedece a mesma regra do peso e da leveza. Os elementos mais pesados localizam-se mais próximos do centro, enquanto que os mais leves ficam alocados mais afastados do centro, obedecendo a seguinte configuração: terra, água, ar e fogo. Seus movimentos naturais são em linha reta (para baixo ou para cima), sempre respeitando a ordem estabelecida pelos seus respectivos pesos ou levezas. Já os astros e estrelas, que são formados pelo elemento éter, habitam as porções mais elevadas do Céu. E como não possuem nem peso e nem leveza, dado que são feitos de éter, apresentam como movimento natural o movimento circular, que não é nem se afastando do centro e nem se aproximando do centro, mas sim ao redor do centro, que nesse caso é a região central da esfera terrestre.

O ponto que nos interessa nessa cosmologia é que ao colar a Terra imóvel no centro geométrico do Universo, Aristóteles estava fornecendo uma boa justificativa para o porquê de as coisas reconhecidamente pesadas caírem em direção ao centro da esfera terrestre que, por sua vez, coincidia com o centro geométrico do Universo. Nesse sentido, a cosmologia aristotélica é muito intuitiva, se preocupando unicamente em fornecer uma explicação para os fenômenos diretamente observados, o que, ao fim e ao cabo, servia para “salvar as aparências”. Ademais, ao apelar para os sentidos, Aristóteles estava justamente se utilizando daquele poder de convencimento que nos é dado pela intuição mais imediata da realidade.

Por outro lado, Copérnico, ao tirar a Terra do seu centro conferindo-a um caráter planetário, além de não possuir uma teoria da gravitação que pudesse se contrapor a aristotélica, o que dificultou sobremaneira a adesão inicial a tal sistema, não contava com o poder de

---

<sup>24</sup> ARISTÓTELES. *Do Céu*. 1, 268<sup>a</sup> 15 a 20.

<sup>25</sup> Como é possível de perceber, em Aristóteles os termos *centrífugo* e *centrípeto* não fazem referência ao movimento circular, como acontece na física moderna, mas sim ao movimento de afastamento e de aproximação, respectivamente, do centro da Terra, que um móvel pode realizar.

convencimento vinda da intuição. Pelo contrário, a tese copernicana de duplo movimento da Terra é muito contra intuitiva. Nós não conseguimos vivenciar a experiência de uma Terra em movimento pelo cosmo. Porém a experiência de uma Terra imóvel, é vivenciada cotidianamente. A física que explicará o porquê disso, só virá com Galileu Galilei nos *Diálogos*. Assim, ao contrário do que se imagina, o novo sistema de mundo que Copérnico estava propondo enfrentava problemas não com questões de caráter teológico, mas também, e principalmente, com questões de caráter técnico envolvendo a física do movimento da Terra. Ademais, a teoria física gravitacional só será retomada e melhor desenvolvida com Isaac Newton no seu *De Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, publicado em 1687, obra na qual encontramos não só a lei da gravitação universal, mas também as três leis do movimento.

### 3.2 Movimento e Natureza

Como vimos, a cosmologia aristotélica trabalha com a ideia de lugar natural, em que cada coisa no cosmo possui o seu lugar próprio no sentido de estar em conformidade com a sua natureza. Uma vez nesse lugar, não haveria razões para de lá o móvel sair. Seu deslocamento para fora de seu lugar natural só se daria mediante a ação de uma força que atui no sentido contrário à natureza do móvel. Essa ordem cósmica leva Aristóteles a conceber dois tipos de movimento: um natural e outro violento. O movimento natural nada mais seria senão aquele que o móvel realiza por se só e em virtude de estar deslocado de seu lugar natural, o que só pode se dar por meio de uma ação externa sobre o móvel.

Assim, o movimento natural é aquele que o corpo realiza por si só, em virtude de sua natureza, e no sentido de restituir a ordem cósmica rompida, enquanto que o movimento violento é aquele que rompe a ordem estabelecida mediante a atuação de uma força aplicada externamente sobre o corpo. Por exemplo, quando atiramos uma pedra verticalmente para cima, duas coisas acontecem nesse ato: primeira, a aplicação de uma força, que remove a pedra de seu lugar natural a projetando para cima, e segundo, o movimento natural de queda a qual restitui a pedra ao seu lugar natural, que se estabelece assim que a força que a deslocou violentamente de seu lugar encontrar seu fim. Por esse exemplo, podemos perceber que, se todas as coisas estivessem em seu devido lugar, nada no Universo aristotélico se moveria.

Posto dessa forma, movimento e repouso representam na física aristotélica conceitos contrários mutualmente excludentes, como também condições ontológicas distintas, visto que

o repouso é uma condição na qual conforma-se à natureza intrínseca do móvel. Consequentemente, um corpo ou está em movimento ou está em repouso, mas nunca pode apresentar as duas condições ao mesmo tempo. Mas sempre que o corpo estiver em repouso, ele estará de maneira absoluta. O que deixa claro que o movimento é um processo que procura levar os corpos a atualização. E uma vez que essa atualização esteja completa, os corpos não teriam mais nenhuma razão para se mover, permanecendo assim em repouso. Essa noção de movimento enquanto processo está intimamente vinculada à constituição interna dos corpos, o que faz do movimento uma causa ou princípio intrínseco de mudança do móvel.

Essa relação do movimento com a natureza interna dos corpos fica mais clara, quando analisamos a definição aristotélica de Natureza presente no livro II da Física. Nesse livro, Aristóteles diz que a Natureza é “certo princípio ou causa pela qual aquilo em que primariamente se encontra se move ou repousa em si mesmo e não por concomitância”<sup>26</sup>. Em outras palavras, a natureza é a causa ou o princípio responsável tanto pelo movimento quanto pelo repouso nos corpos que são dotados desse princípio de modo natural, e não de modo accidental. Há uma ênfase no aspecto essencial desse princípio, e isso por uma razão simples: segundo Aristóteles, alguém que fosse médico poderia ser a causa de sua própria saúde, mas não é por ser essencialmente curável que ele detém a arte da medicina, mas apenas sucede de modo accidental o mesmo homem ser médico e está sendo curado<sup>27</sup>.

Esse é um ponto importante, porque Aristóteles irá reconhecer a existência de dois princípios que podem atuar nos corpos. O primeiro é justamente o natural que atua intrinsecamente nos corpos; o outro é o artificial que surge em decorrência da técnica, e atua de modo extrínseco nos corpos. Desse modo, natureza e técnica são os dois princípios, ou causas, de movimento e de repouso. Veremos a seguir como Aristóteles trabalha com utiliza esse princípio extrínseco como uma forma de distinguir os corpos que são por natureza daqueles que são em decorrência de outras causas.

Antes, porém, é importante salientar que essa relação do movimento e do repouso com a natureza do ser movente será um dos principais pontos de distanciamento entre a física antiga de Aristóteles e a moderna física de Galileu. Na verdade, podemos dizer que é mais a uma ruptura, do que um distanciamento. Tal ruptura vai marcar a grande mudança paradigmática no campo da física, que deixará de possuir uma base qualitativa e passará a ter uma base quantitativa, se tornando assim uma física cujos princípios serão dados pelas relações matemáticas e geométricas. Voltaremos a analisar essa questão em um momento mais oportuno,

---

<sup>26</sup> ARISTÓTELES, Física, II, 1, 192b 8-32.

<sup>27</sup> ARISTÓTELES, Física II, 192b 21 – 25.

quando estivermos abordando a física dos corpos graves de Galileu. Por hora, vamos agora analisar mais detidamente a relação entre natureza e técnica e como esses dois princípios são trados pela física de Aristóteles.

### 3.3 Natureza e técnica

Na dinâmica aristotélica o movimento e a mudança exigem a ação contínua de uma causa. Quando a causa cessa, cessa-se também o movimento. Essa causa resulta de uma potência motriz pode ser de dois tipos: ou interna, ou externa. A potência interna diz respeito a própria natureza dos corpos. Trata-se de um princípio intrínseco de movimento e/ou repouso. Já a potência externa faz referência a uma força cuja origem é exterior ao corpo e, quando aplicado sobre ele, o põem em movimento. Esse movimento, que se faz de modo mecânico, muitas vezes se opõe à natureza do ser movimente. No primeiro caso, estamos diante de uma situação clássica de movimento natural, no qual os corpos movem-se por si só. Já no segundo, trata-se de um movimento violento e, como tal, exige sempre a atuação de uma força externa ao corpo.

No livro II da Física, Aristóteles utiliza a noção de potência motriz interna e externa para distinguir os corpos. Segundo ele, uns são por natureza enquanto que outros são por outras causas. Os que são por natureza apresentam um princípio interno, ou intrínseco, de movimento e/ou repouso; e os que não são por natureza, vão apresentar como princípio de movimento e mudança outras causas que não as causas naturais – causas artificiais. Desse modo, temos dois tipos de seres: os naturais e os artificiais. Os seres naturais serão constituídos por um dos quatro elementos, terra, água, ar e fogo, ou por uma combinação deles, que serão os responsáveis por fornecer a potência motriz necessária para o movimento e para a mudança, e isso porque a natureza é certo princípio ou causa pela qual aquilo que se move o faz por si mesmo e por outro; já os corpos artificiais vão encontrar no artífice que os engendrou a razão principal tanto para o movimento quanto para a mudança, dado que possuem como causa não a natureza, mas sim a técnica<sup>28</sup>.

---

<sup>28</sup> Idem, Ibidem.

### 3.4 Forma e matéria

Mas os corpos não possuem só a natureza ou a técnica como causa. Eles são, antes de tudo, enquanto entidades empíricas, um misto de matéria e forma, e é desse modo que devem ser vistos e estudados. Enquanto um misto de matéria e forma, os corpos são detentores tanto da matéria quanto da forma como princípios de movimento e mudança, o que faz da matéria e da forma também princípios naturais. Porém, tratam-se de princípios que exercem funções distintas no movimento e na mudança. A matéria da qual os corpos são constituídos é natureza e princípio de movimento e mudança na medida em que é a responsável por fornecer a potência motriz necessária aos processos de devir. Já a forma, que definem os corpos enquanto tais, é natureza e princípio do movimento e mudança na medida em que representa o “freio” motor necessário para pôr fim às transformações pelas quais a matéria sofre em seu processo de atualização.

Desse modo, matéria e forma são princípios de movimento e mudança à medida que são natureza. Todavia, entre esses dois princípios, a primazia está na forma e não na matéria. Para justificar essa primazia, Aristóteles recorre de forma sucinta a uma análise do que seria considerado “natureza”. Segundo ele, “natureza” seria a primeira matéria que subjaz a cada um dos entes que possuem em si mesmos princípio de movimento ou mudança. Por outro lado, “natureza” é também a configuração e a forma segundo a definição. De fato, atesta Aristóteles, assim como se denomina “técnica” aquilo que é conforme à técnica e artificial, do mesmo modo, continua ele, também se denomina “natureza” aquilo que é natural e conforme à natureza. Desse modo, conclui o estagirita, quando algo é cama apenas em potência, mas ainda não tem a forma da cama, ainda não pode ser dito que se tem conforme à técnica; do mesmo modo, os que se constituem por natureza, como, por exemplo, a carne e o osso em potência, não tem ainda a sua natureza própria, e nem são por natureza, antes de assumir a forma. Assim, a forma é mais do que a matéria, pois cada coisa encontra a sua definição quando é efetivamente, do que quando é potencialmente<sup>29</sup>.

E mais, concebida enquanto função e efetividade, a forma exige que a matéria que vier lhe servir de substrato apresente um determinado conjunto de propriedades articuladas entre si, de tal forma que, um leme, por exemplo, para poder cumprir melhor com a sua função, se efetivando assim como leme, exige que seja feito de madeira, e não de outro material qualquer. Analogamente, um ente natural, como um cavalo, exigirá da matéria um conjunto de qualidades

---

<sup>29</sup> ARISTÓTELES, Física II, 1, 193<sup>a</sup> 28.

articulas de tal modo que, a forma ao se efetivar, possa ser reconhecido como um ser vivo pertencente à espécie dos equídeos, e não dos bovinos ou dos caninos, por exemplo.

### 3.5 Lançamento de projéteis

Como vimos, na dinâmica aristotélica todo movimento ou mudança requer necessariamente a atuação contínua e direta de uma força motriz, de tal modo que, assim que for cessada a força que pôs o móvel em movimento, o movimento enquanto movimento também encontra o seu fim. Em outras palavras, para que o movimento se mantenha é necessário que o corpo mantenha contato direto com o motor que o projetou.

Mas, se esse é o caso, então como explicar o movimento violento, daqueles casos em que um projétil é lançado, como, por exemplo, o lançamento de uma flexa, se logo após o lançamento o corpo lançado já não tem mais contato direto com a potência motriz que o lançou? Para dar conta de situações como essa, Aristóteles desenvolveu a ideia de que a natureza abomina o vácuo (“*natura horror vacui*”).

Na física aristotélica do *horror vacui*, presente no livro III da Física, tudo que há no Universo encontra-se plenamente preenchido por matéria, não havendo, portanto, “lugar” para o vazio, isto é, para a não existência. Por essa lógica, na natureza sempre que surge algum tipo de vácuo, o ar, ou outra matéria qualquer, toma o lugar deixado pela ausência de alguma coisa. É o caso de uma flexa lançada, ou de uma pedra arremessada, em que o motor move, ao mesmo tempo, algo mais que o projétil; ele move também, nesses dois casos específicos, o ar. E esse ar ao ser movimento, passa a funcionar como um motor sobre o projétil. Essa mecânica do ar empurrando o projétil, vai se manter enquanto houver força suficiente no motor para poder transmiti-la ao meio no qual o projétil está inserido<sup>30</sup>.

No livro IV da Física, Aristóteles volta a discutir o assunto, só que agora o nosso filósofo propõe duas hipóteses para explicar a permanência de um corpo lançado mesmo após a perda de contato com o motor inicial que o projetou. Trata-se de duas hipóteses complementares. A primeira é a antiperistasis e fala que um móvel se manteria em movimento em virtude da substituição recíproca de acordo com a qual o ar empurrado adiante pelo projétil volta a tomar o lugar do projétil, empurrando-o adiante. Essa primeira hipótese nada mais é do que aquela que Aristóteles já tinha apresentado no livro II da Física só que sem dar nome a ela. A segunda

---

<sup>30</sup> ARISTÓTELES, Física, III, 266b 30 – 267 a 15.

possibilidade aponta para o fato de que o ar, que foi empurrado no momento do disparo inicial do projétil, move-se com um movimento mais rápido do que aquele da locomoção natural, para baixo do projétil, o empurrando. Como é possível verificar, o que difere a segunda da primeira hipótese, é agora ao invés do ar ser deslocado para traz do projétil, o ar é deslocado para baixo dele<sup>31</sup>. Seja como for, a ideia que subjaz nos dois casos é que o meio funcionaria como um motor, cuja potência lhe foi transmitida pelo motor inicial que deu partida ao movimento. Esse motor inicial pode vir tanto da mão de quem arremessa, como no caso de uma pedra lançada verticalmente para cima, quanto pelo formato do arco quando este for esticado, como no caso de um flexa projetada em direção ao alvo.

### 3.6 Movimento e mudança

Afirmamos anteriormente que a natureza em Aristóteles designa um princípio ou causa intrínseca de movimento nos seres que a possuem essencialmente, e não acidentalmente. Em muitos momentos da Física aristotélica os termos movimento e mudança são usados indiscriminadamente sem qualquer tipo de distinção, sendo inclusive tratados algumas vezes como sinônimos. Contudo, sabemos pela própria Física que ambos os termos denotam na verdade conceitos distintos. O movimento é algo bem específico, que diz respeito a um processo de atualização entre um *ser* e outro. A mudança, por sua vez, faz referência ao mesmo processo de atualização, só que ocorrendo em um sentido muito mais amplo, o qual envolve o *ser* e o *não ser*.

Dentre esses dois processos de atualização, a mudança é a que mais necessita de uma justificação. Isso porque, no início do livro III da Física, Aristóteles afirma, na forma de um axioma, que “não há movimento para além das coisas”<sup>32</sup>. Mas se a mudança é um processo amplo que abarca não só o *ser*, mas também o *não ser*, então como é possível conciliar o conceito de mudança com a afirmação de que não pode haver movimento para além daquilo que estar posto? E mais, qual é a relação do conceito de mudança com a tese da imutabilidade dos Céus? A pergunta tem uma importância significativa na cosmologia aristotélica, pois é público e notório a um observador terrestre que os planetas e estrelas movimentam-se pelo céu, percorrendo a abóbada celeste diária e anualmente.

<sup>31</sup> ARISTÓTELES. Física, IV, 8, 215<sup>a</sup> 15 – 20.

<sup>32</sup> ARISTÓTELES. Física, III, 200b 32.

Essa seção tratará dos conceitos aristotélicos de movimento e mudança, bem como do significado defendido pelo nosso filósofo acerca de imutabilidade dos Céus. Para tanto, continuaremos analisando e discutindo os aspectos dinâmicos em torno da física qualitativa de Aristóteles presentes nos livros da Física.

É ponto passivo entre os estudiosos da Física de Aristóteles, dentre eles Fátima Évora, a tese que afirma o movimento (*kinesis*) como um conceito de importância central para o estudo da dinâmica antiga, tanto quanto é o moderno conceito de movimento para a física dos corpos graves de Galileu. De acordo com física aristotélica, o movimento não corresponde a um estado, como é concebido pela física moderna, mas sim a um processo de atualização, de mudança. Trata-se de um processo no qual o móvel nunca se encontra no mesmo estado, ou seja, um corpo em movimento não só muda externamente em relação a outros corpos, mas, ao mesmo tempo, ele próprio também é submetido a um processo interno de mudança, que atualiza a sua natureza. Dessa forma, os corpos na dinâmica aristotélica se movimentam em vista de uma atualização.

Na Física III, Aristóteles pontua que, como toda mudança (*metabolé*), o movimento é uma atualização daquilo que há em potência, na exata medida em que ainda existir uma potência a ser atualizada. Em outras palavras, como o movimento diz respeito a um processo de atualização, em cada etapa o corpo atualizado ainda guardará uma certa potência, isto é, uma certa força motriz, que o impelirá à atualização seguinte. Dessa forma, é lícito dizer que o movimento na dinâmica aristotélica é um processo de atualização incompleto. A completa atualização só ocorrerá, quando for exaurida toda a potência (*a força motriz*), que mantém e dá vida ao movimento<sup>33</sup>.

Mas o movimento é algo específico, isto é, é um tipo particular de mudança, e como vimos, ocorre de forma gradual em etapas em que o corpo ainda guarda força motriz suficiente para continuar sua atualização. No caso do movimento, essas etapas de atualização envolvem certas categorias do ser. São elas: a quantidade, a qualidade e a locomoção. Desse modo, existem três formas básicas de movimento: o quantitativo, o qualitativo e o locomotor. Esse último, por sinal, representa a categoria segundo a qual dizemos reconhecidamente que o que muda, muda. Todavia, como o movimento é um processo que se dá em etapas, e não de forma instantânea, a categoria do tempo se faz importante para a completa compreensão da dinâmica do movimento.

---

<sup>33</sup> ARISTÓTELES. Física, III, 1, 201<sup>a</sup> 9.

Contudo, na física aristotélica a temporalidade não chega a caracterizar um tipo específico de movimento. O tempo é entendido por Aristóteles como uma afecção que acomete os corpos terrestres. Com relação à mudança, dissemos que, diferentemente do movimento, ela designava algo mais amplo, pois albergava não só o *ser* e suas categorias, mas também o *não ser*. Contudo, é importante esclarecermos aqui que o *não ser* tratado pela Física de Aristóteles não é o ao *não ser* parmenídeo. O *não ser* parmenídeo diz respeito a um *puro nada*; é uma ausência em *absoluto*. Em Aristóteles, no entanto, o *não ser* diz respeito a uma ausência *relativa*, pois refere-se a um tipo específico de não ser, o *não-ser-em-ato*, e o *não-ser-em-potência*. Em outras palavras, ele não possui o mesmo caráter nadificante do não ser da filosofia eleática, uma vez que, em relação ao *ser-em-ato*, o *ser-em-potência* pode ser dito *não-ser*, e vice versa. Com isso, o recorte dado pela física aristotélica permite trabalhar com o *dever* de modo inteligível, sem que com isso incorra em uma contradição lógica. Desse modo, Aristóteles concede ao *não ser* a categoria da substância, nomeando os processos por ela sofridos de geração (*vir-a-ser*) e corrupção (*deixar-de-ser*).

No livro *Da Geração e Corrupção*, o nosso filósofo deixa bem claro em todo *vir-a-ser* e em todo *deixar-de-ser*, há a participação de um substrato, pois toda mudança é sempre de algo para outro algo, e não do nada para nada. Mas esse substrato só poderá ser chamado de substância, quando sobre ele atuar a geração. Antes disso, o que se tem é apenas um algo cuja a força motriz é totipotentes, isto é, uma pura potência desprovida de qualquer forma<sup>34</sup>. Assim, existem dois tipos básicos de mudança: a geração, que vai de um *não-ser-em-ato* à um *ser-em-ato*; e a corrupção, que vai de um *ser-em-ato* à um *não-ser-em-ato*. E, diferentemente do que ocorre como o movimento em que a temporalidade se faz presente, uma vez que a atualização de uma potência em uma forma se faz de modo lento e gradual, a mudança que é geração e corrupção, isto é, o *vir-a-ser* e o *deixar-de-ser* de algo, se faz abruptamente.

Reorganizando o pensamento, temos que a mudança compreende tanto o *ser* e as categorias da quantidade, da qualidade e do lugar, quanto o *não ser* e a categoria da substância. Essa última diz respeito tanto geração quanto da corrupção, isto é, diz respeito às mudanças substanciais de *vir-a-ser* e de *deixar-de-ser*. Ademais, com exceção do movimento, que é um processo dependente do tempo, pois se dá de forma gradual, os processos de geração de uma nova substância bem como os que envolvem a sua degenerescência ocorrem, de acordo com Aristóteles, independentes do tempo. Desse modo, é lícito dizer que na dinâmica aristotélica

---

<sup>34</sup> Mesmo que do ponto de vista físico isso seja algo que beira o impossível, pois a presença de um corpo físico já impõe a necessidade de alguma forma, do ponto de vista puramente teórico tal condição é perfeitamente concebível e, portanto, plausível.

existem dois tipos de “mudanças”: uma que é acidental, lenta e gradual, o que por sua vez envolve o tempo, que se faz no sentido de promover alterações quantitativa, qualitativas e de lugar, nas quais a distinção entre atual e potencial pode ser feita. Esses três tipos de alterações na física aristotélica recebe apropriadamente a denominação de *movimento*; e a outra que de forma mais abrangente envolve a mudança substancial e abrupta de uma determinada substância. Para essas duas últimas mudanças, Aristóteles reserva a denominação de *geração e corrupção*.

A escolha dessas categorias não se dá por acaso, mas segue uma determinação posta pelo próprio Aristóteles. Segundo ele, em todo processo de mudança três princípios estão envolvidos: o subjacente, a privação e a forma. O subjacente é o substrato ou matéria na qual existe uma determinada privação e sobre a qual vai recair uma forma específica. Nesse processo, que vai do subjacente à forma, pelo menos uma coisa está envolvida: a presença de formas intermediárias ou contrárias. Como vimos, o movimento é uma transição de um ser a outro ser que se faz em etapas. Nesse sentido, todo ser vai apresentar ou um contrário ou um intermediário. Se a tábua das categorias foi concebida como tendo no mínimo de dez categorias, substância, quantidade, qualidade, relação, ação, paixão, lugar, tempo, ter e fazer, então veremos que dessas somente as categorias da quantidade, da qualidade e do lugar vão apresentar intermediários: a alteração quantitativa pode apresentar aumento e/ou diminuição de matéria ou de volume; a alteração qualitativa pode ser percebida em termos de quente ou frio; e a locomoção dentro da física aristotélica pode se dar em termos de “em cima” e “em baixo”. É por essa razão que Aristóteles em sua física concebe apenas três formas básicas de movimento, o quantitativo, o qualitativo e o locomotor.

No que se refere a substância, esta não admite a existência de formas intermediárias e nem contrárias, pois nada se opõe a substância nesse sentido. A mudança substancial que chamamos de geração e corrupção é um processo em que um *não-ser-em-ato* dá origem a um *ser-em-ato*, e vice versa. E isso ocorre sem o envolvimento de formas intermediárias. Entretanto, como trata-se de uma mudança de um estado de *não ser* a um estado *ser*, e vice versa, é possível verificar, no processo que leva a criação de uma nova substância, bem como no seu oposto, a presença de uma contradição inerente a tal processo (*não ser/ser* e *ser/não ser*). Desse modo, as categorias envolvidas na mudança são todas aquelas que estão inclusas no movimento, com o acréscimo da categoria da substância, que corresponde especificamente à atualização de uma forma substancial em matéria e seu retorno à potencialidade da matéria. Isso tudo se dá, ao que parece segundo Aristóteles, instantaneamente, e não em graus.

Para finalizar, voltemos a questão em torno da imutabilidade dos Céus. O Universo para Aristóteles é estruturalmente dividido em duas esferas, um menor e imóvel que se encontra alojada no interior de em uma maior, vasta, porém, fininha, esfera em rotação. Com isso, o Kósmos aristotélico é dividido em duas regiões distintas, que são constituídas por elementos igualmente distintos e que segue leis também distintas: a região terrestre (esfera da Terra, menor e imóvel) e a região celeste (esfera das estrelas fixas, maior, vasta, porém finita). Enquanto a primeira, a região terrestre, representa o reino do *Devir* heraclitiano, em que há além das três formas básicas de movimento, também a geração e a corrupção de substâncias, a segunda, a região celeste, representa o reino da imutabilidade do *Ser* parmenídeo. A razão para essa imutabilidade dos Céus vem tanto do testemunho dos antigos, quanto de aspectos teóricos ligados a composição dos Céus, que inclui as esferas cristalinas (esfera celeste) e os seus astros.

Para Aristóteles, os Céus e seus astros são constituídos de éter, um elemento que não é nem leve ou nem pesado e apresenta a característica de ser imutável e eterno. Por essas características, o estagirita concebe a esse elemento o movimento circular, que é um movimento não qual o móvel não está sujeito a mudança no sentido da geração ou da corrupção. As esferas cristalinas, que compõem a esfera celestes, apresentam incrustados em seu interior o Sol, a Lua e os demais astros. Ao girar em torno da esfera central (esfera da Terra), as esferas cristalinas arrastam consigo os corpos celestes que estão presos a ela. Desse modo, os astros e estrelas vão prestar um movimento circular em torno do centro da Terra, a esfera terrestre.

Para dar um maior embasamento a sua teoria da imutabilidade dos Céus, Aristóteles se utiliza também, como já foi mencionado, do testemunho dos antigos para afirmar que nunca foram relatadas qualquer tipo de alterações nas esferas que circundam a Terra e nem em seus astros. A única ocorrência tem sido o movimento circular dos planetas e estrelas em torno do centro da esfera da Terra. E sempre que havia a ocorrência de algo considerado novo nas esferas ou no mais alto céu, esta era tomada como sendo o resultado de algum fenômeno atmosférico qualquer, precipitação de gases etc. Portanto, os Céus são imutáveis e eternos, tendo como único movimento o circular realizado em torno da esfera da Terra pelo conjunto de esferas cristalinas que compõe a grande esfera celeste.

Ademias, é importante ressaltar que, diferentemente do que ocorre como o movimento em linha reta, que pode se dá em dois sentidos, ou “para cima” ou “para baixo”, o movimento circular não envolve o “em cima” ou o “em baixo”. Pelo contrário, ele se dá em torno de um centro. Como consequência, não há no movimento circular a presença de contrários, cuja importância é central para que possa haver a transição entre a potência e o ato. Aristóteles havia estabelecido em sua Física que a mudança ocorria mediante a presença de dois contrários e um

elemento subjacente. No processo, um estado contrário dar lugar a o outro enquanto o substrato permanece. Os exemplos podem ser os mais corriqueiros, mas o mais utilizado é o da semente que muda para árvore. A semente, que não é a árvore, em seu processo de maturação passa por diversos estágios, isto é, atualizações, até atingir a condição plena de uma árvore, que não a semente a qual iniciou o processo. Durante todo esse trânsito que vai da semente, um estado de maior potencialidade, à árvore, um estado de maior atualidade, algo se mantém como substrato vivo dando suporte para que os estados contrários possam transitar.

Dos movimentos estipulados por Aristóteles como sendo naturais, o movimento em linha e o circular, o único que vai apresentar contrários é o movimento em linha reta, pois ele pode ser ou para cima ou para baixo, isto é, ou o movimento se dá no sentido de aproximação do centro terrestre, ou se dá no sentido de afastamento desse centro. No caso do movimento circular, é notório que tal condição de contrariedade não se verifica, o que faz com que tudo que se mova em círculo efetivamente não mude. Assim, em virtude do movimento natural que executam em torno da Terra, as esferas cristalinas com seus astros e estrelas não sofrem mudança. A única ocorrência que há para essa região do *Kósmos* é um eterno movimento circular, movimento esse que é natural para essa região e que se dá sem a ocorrência de geração ou corrupção. Desse modo, como o movimento em linha reta é natural somente para os corpos que habitam a Terra, e esse é um movimento em que há contrariedade – pois temos o “para cima” e o “para baixo” – então, o reino terrestre, como já mencionado em passagens anteriores, será reconhecidamente descrito como o reino do *Devir*, do *vir-a-ser*, no qual vamos encontrar as quatro formas básicas de transições, a quantitativa, a qualitativa, a de lugar e, principalmente, a mudança substancial, denominada de geração e corrupção.

## 4 A TRADIÇÃO

As discussões de Galileu em torno da defesa do sistema de mundo copernicano só podem ser bem compreendidas quando inseridas no contexto histórico da Tradição a qual tenta dar combate. Por tradição, devemos entender todo um arcabouço teórico que engloba a filosofia da natureza do filósofo grego Aristóteles, que perpassa toda a sua cosmologia, associada à astronomia do matemático grego Claudio Ptolomeu [90 d.C. - 168 d.C.]. Trata-se de uma união físico-matemático que vai fornecer, de um lado, todo o arcabouço teórico necessário para justificar os fenômenos, e, do outro, toda uma geometria de base euclidiana capaz de fornecer as previsões astronômicas com o máximo de exatidão. Tal modelo ficará conhecido pelo nome de aristotélico-ptolomaico, e entrará para a história como sendo aquele que separou o Céu da Terra em duas regiões ontologicamente distintas, tendo em seu centro uma Terra imóvel circundada por um Sol móvel. A posição da Terra imóvel e no centro do Universo é o resultado da forma como Aristóteles justificou o movimento, como sendo um processo de atualização que busca o repouso no lugar natural, isto é, no lugar que está em conformidade com a natureza da coisa movida. Assim, uma vez nesse lugar, não haveria razões para dele se mover. Como o lugar natural das coisas que são pesadas é o centro do Universo, a Terra, por ser absolutamente pesada, tem o centro do Universo como o lugar que lhe é próprio, não havendo por que se mover, seja para um lado, seja para o outro.

Essa configuração astronômica se tornará a visão de mundo dominante do continente europeu até meados do século XVII, quando começará, efetivamente, a sofrer duras críticas vindas de diversos opositores, que se basearam em uma configuração astronômica diferente com uma Terra móvel orbitando um Sol imóvel. Vejamos agora com mais detalhes como era o sistema geocêntrico de Ptolomeu e os seus excêntricos, epiciclos e equantes, cuja função na astronomia geocêntrica era “salvar as aparências”, que nada mais é do que reduzir os complexos movimentos planetários observados a simples movimento circulares, sem que haja nesse processo qualquer preocupação se tal resolução estaria contrariando esta ou aquela metafísica. O importante e o que cabia a astrônomo era encontrar os meios mais simples e úteis para o cálculo astronômico. A preocupação em encontrar as causas dos fenômenos cabia ao filósofo natural. Por fim, vale mencionar que muitas das informações que serão apresentadas a seguir já foram de certa forma abordadas no capítulo anterior referente à Física e a Cosmologia aristotélica como, por exemplo, a imutabilidade dos Céus muito em decorrência do tipo de movimento que os astros e estrelas realizam quando são tomados de arraste pelas esferas cristalinas.

#### 4.1 O sistema geocêntrico de Claudio Ptolomeu

No que concerne à teoria das esferas concêntricas, Claudio Ptolomeu foi, de todos os astrônomos gregos da antiguidade, o que mais decididamente se afastou de Aristóteles. Em lugar do sistema de esferas homocêntricas, Ptolomeu apresenta uma explicação puramente matemática do movimento dos planetas, que, de certa maneira, retoma e aperfeiçoa a proposta de Hiparco [190 a.C. – 120 a.C.].

Hiparco foi sem dúvida um dos maiores astrônomos gregos da Antiguidade, que realizou suas observações em Rodes e em Alexandria, entre os anos de 161 e 127 a.C. E além de descobrir a precessão dos equinócios, Hiparco foi quem mais contribuiu para a descrição dos movimentos irregulares dos planetas ao solucionar a questão do movimento do Sol. Para tanto, o famoso astrônomo grego se utilizou de um sistema de epiciclos fixos e excêntricos.

Foi Ptolomeu quem melhor transmitiu as ideias hiparquianas ao longo da antiguidade, em suas duas principais obras o *Almagesto* e *As hipóteses dos planetas*. Nessas obras, Ptolomeu explicou o Universo adotando três princípios básicos, que se tornaram os pilares de sua astronomia: o geocentrismo, isto é, a centralidade da Terra; o geostatismo, isto é, a ideia segundo a qual afirma que a Terra permanece imóvel; e, por fim, a esfericidade dos Céus e da Terra.

Segundo Rogério de Freitas Mourão em *Copérnico: pioneiro da revolução astronômica*, esses princípios, no entanto, não foram adotados por Ptolomeu de modo acrítico. Para aceita-los, ele os avaliou e testou, pautado tanto em fundamentos geométrico quanto em dados observacionais da experiência comum. A respeito da experiência comum, Ptolomeu nos informa:

[...] todas as coisas que não estivessem em repouso sobre a Terra pareceriam ter um movimento contrário a esse [ao movimento da Terra], e nunca se veria uma nuvem mover-se para leste, nem qualquer outra coisa que voasse ou que fosse atirada para o ar. Pois a Terra sempre ultrapassaria em seu movimento para leste, e assim todos os corpos pareceriam ser deixados para trás e mover-se para oeste (PTOLOMEU, *Almagesto*, 1952, 12 apud Roberto de Andrade Martins, p. 70, 1986).

Já no que diz respeito aos fundamentos geométrico, estes estão pautados em três princípios básicos e têm como finalidade “salvar as aparências”. São eles: 1) Princípios dos movimentos excêntricos; 2) Princípio dos epiciclos; e 3) Princípio do equantes. Uma breve explicação de cada um desses princípios, é fornecida a seguir.

### 1) Princípio dos movimentos excêntricos

Segundo esse princípio a Terra não está exatamente no centro das órbitas planetárias, mas, sim, em uma posição excêntrica em relação a essas órbitas. A adoção da excentricidade da Terra é um artifício matemático que tem por finalidade tanto explicar a varia de luminosidade e velocidade observada dos planetas no curso de um ano durante o trânsito zodiacal;

### 2) Princípio dos epiciclos

Esse princípio é utilizado para explicar o fenômeno das “estações” e “retrogradações” no movimento observado dos planetas. Segundo esse princípio, o movimento de cada planeta era considerado como o resultado de dois ou mais movimentos circulares. Nesse modelo, cada planeta gira sobre um ciclo denominado *epiciclo*, cujo centro, move-se sobre um círculo maior, o *deferente*. E conforme for a necessidade de melhor descrever os fenômenos observados, o centro do deferente pode, eventualmente, girar sobre um outro *deferente*, e assim seguir sucessivamente, com deferentes girando sobre outros deferentes. Como resultado, a trajetória de um planeta que faz uso desse sistema de epiciclos e deferentes, isto é, de ciclos girando em torno de outros ciclos, denominada de *epiciclóide*, vai conseguir dar conta das “estações” e retrogradações”, descrevendo da melhor forma possível o movimento do planeta verificado por um observador terrestre;

### 3) Princípio do equante

Com os dois primeiros princípios descritos anteriormente, Ptolomeu conseguia ter uma boa aproximação das aparências observadas. Contudo, restava ainda mais uma irregularidade a resolver: a velocidade angular do planeta. A introdução do princípio do equante, em um primeiro momento, parece contradizer o modelo tradicional para o movimento dos planetas resultante da combinação de movimentos circulares uniformes. Contudo, o princípio do equante, adicionado aos outros dois, permitiu a Ptolomeu a elaboração de tabelas da posição dos corpos celestes, de tal forma que essas posições previstas pela tabela, estavam em conformidade com os dados observacionais<sup>35</sup>.

---

<sup>35</sup> Consultar Annibale Fantoli, *Galileu – pelo copernicanismo e pela igreja*, Edições Loyola, 2008.

## 4.2 Salvando as aparências

Na cosmologia de Aristóteles vimos que a posição da Terra, formada quase que exclusivamente, mas não totalmente, pelo elemento terra, é o centro do Universo. Mas especificamente, a Terra encontra-se imóvel, em uma posição central, no interior de uma vasta, porém, finita, esfera em rotação, que, ao girar, leva consigo os planetas e estrelas, os quais estão encrustados no interior das esferas que compõem o sistema de esferas das estrelas fixas.

A centralidade da Terra e seu imobilismo são o resultado da teoria do movimento de Aristóteles a qual encontra-se submetida a uma lei cósmica subjacente que determina um lugar natural para cada coisa no Universo. Tudo que está abaixo da lua é provido qualitativamente ou de gravidade ou de leveza e, conseqüentemente, move-se naturalmente de maneira reta ou para baixo ou para cima, tendo como referência o centro do Universo; e tudo que está acima da lua é qualitativamente desprovido de gravidade ou leveza, o que resulta em um movimento natural circular em torno desse mesmo centro para as coisas que habitam essa região do cosmo.

O movimento circular das esferas das estrelas fixas é uma consequência direta do tipo de material que compõe os astros e estrelas. Esses corpos celestes não são constituídos nem de terra, nem de água, nem de ar ou mesmo fogo, mas de um quinto elemento denominado éter. Como vimos, o caráter único desse elemento é o responsável pelo seu movimento natural ser circular. Tal movimento é sem fim e no mesmo sentido, o que descarta a possibilidade de um movimento contrário, isto é, de uma “oposição”, que, como vimos, é a causa última de todas as mudanças. Por isso, os corpos celestes, diversamente do que acontece com os terrestres, são imutáveis, isto é, não geráveis e incorruptíveis. A imutabilidade dos Céus na cosmologia aristotélica não é só uma questão teórica, mas também empírica, pois encontra reforço no testemunho dos antigos, que nunca relataram ter havido, no passado, qualquer mudança no Céu.

Assim, todos os aparentes fenômenos que indicam de alguma forma mudança nos Céus, devem ser explicados com tendo origem “meteorológicas”, pertencentes à atmosfera terrestres. Contudo, Aristóteles não era astrônomo. Para estabelecer a disposição e o movimento que alguns corpos celestes realizavam em suas revoluções em torno da Terra, o Filósofo adotou a teoria das esferas concêntrica de Eudóxio [309 a.C. – 340 a.C.], que buscava fornecer uma explicação para os complexos movimentos planetários. No total, o sistema de esferas de Eudóxio contava com 27 esferas, três para o Sol, a mesma quantidade para a lua, quatro para cada um dos cinco planetas conhecidos na época de Aristóteles, a saber, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, e uma para a esfera das estrelas fixas.

Esse sistema de esferas foi proposto e adotado por Aristóteles para “salvar as aparências”, sobretudo as “retrogradações” e “estações” que alguns planetas apresentavam em seu trânsito anual pela abobado celeste. Por “salvar as aparências” entende-se reduzir os complicados movimentos observados pelos corpos celestes, à simples movimentos circulares. Para tanto, foi proposto um modelo centrado na geometria, que, resumidamente, funcionava do seguinte modo: considera um planeta com suas quatro esferas, cada uma delas podendo girar livremente tanto em sentido horário quanto em sentido anti-horário, e com qualquer velocidade. O movimento final, resultante desse planeta, vai ser determinado pela combinação do movimento dessas quatro esferas.

Assim, para reproduzir uma revolução de 24 horas de um planeta, a esfera mais externa, desse sistema de esferas homocêntricas, era a responsável por promover o trânsito diário desse planeta. A próxima esfera controla a rotação do planeta através do zodíaco e, como cada planeta tem seu próprio período de rotação, essa velocidade varia de planeta para planeta. Na sequência, vêm as outras duas esferas mais internas, que, apesar de girarem com a mesma velocidade, o faziam em sentidos opostos, e em torno de eixos distintos.

A combinação dos movimentos das duas esferas internas em sentidos opostos, foi a grande descoberta de Eudóxio. Ele mostrou que esses dois movimentos produziam uma figura em forma de 8, que, de forma aproximada, “descrevia” o movimento retrogrado anual de alguns planetas pela constelação zodiacal. E com a adição das duas esferas externas, Eudóxio obteve uma descrição bastante razoável do movimento dos planetas, do Sol, e da lua, vistos por um observador terrestre.

Eudóxio nunca tentou determinar a natureza dessas esferas. Contudo, Aristóteles como não admitia a existência do vácuo, o Filósofo lhes deu um significado físico, considerando-as como esferas materiais, feitas de éter. No entanto, para que esse sistema pudesse descrever o que era observado nos Céus, Aristóteles foi obrigado a introduzir várias outras esferas, nada menos que 56 esferas, que funcionavam como esferas compensadoras, neutralizando os efeitos perturbadores provocados pelos movimentos das esferas em contato imediato entre si. Com isso, o movimento dos corpos celestes era decorrente do contato direto entre as esferas.

Antes que tal modelo pudesse ser abandonado em favor de um mais amplo e complexo de Ptolomeu, usando todo um sistema de epiciclos, deferentes e equantes, o sistema de esferas homocêntricas de Eudóxio foi modificado por seu pupilo Cálipo [370 a.C. – 300 a.C.], que realizou a adição de mais sete esferas, com a finalidade de melhor descrever o movimento retrogrado. Contudo, seu modelo seguia o mesmo espírito do de seu mestre, dado que, assim como Eudóxio, Cálipo também ignorou a natureza das esferas, isto é, se eram reais ou meros

artifícios matemáticos, e também não tentou determinar de que maneira esse sistema de esferas transmitia movimento aos planetas.

## 5 FILOSOFIA NATURAL E MATEMÁTICA

Particularmente, o modelo de epiciclos revelou-se ser de enorme versatilidade. Bastava variar oportunamente o raio de um epiciclo, juntamente com a direção e a velocidade com que o planeta se movia dentro desse ciclo, para corrigir à vontade as irregularidades das órbitas. Se necessário fosse para reproduzir com o máximo de perfeição as órbitas observadas, bastava introduzir a esse sistema epiciclos suplementares para cada planeta. Com isso, o sistema ptolomaico conseguiu permanecer com um sistema válido por mais de 1.400 anos. E dado que o sistema de Ptolomeu era baseado no espaço abstrato da geometria euclidiana, o seu sucesso fez com que o distanciamento entre os filósofos da natureza e os astrônomos fosse se aprofundando cada vez mais ao longo do tempo.

Assim, enquanto os filósofos naturais, fundamentados pela física aristotélica, procuravam conhecer a estrutura do mundo físico e a causa dos movimentos planetários, os astrônomos, baseados no sistema matemático de Cláudio Ptolomeu, se limitavam a formular esquemas matemáticos úteis para o cálculo dos movimentos celestes, sem, no entanto, se preocupar em fornecer com tais esquemas, uma justificação realista.

É importante reportar aqui que o dogma do movimento circular para os corpos celestes antecede Ptolomeu e o próprio Aristóteles. O filósofo grego Platão [427 a.C. – 347 a.C.] irá recorrer a doutrina dos quatro elementos, terra, água, ar e fogo, inicialmente sugerida por Empédocles [495 a.C. – 430 a.C.], para fundamentar o seu sistema de mundo. Contudo, Platão, no *Timeu*, irá antepor a existência desses quatro elementos, como condição preliminar, a existência dos sólidos geométricos imateriais, em especial, os cinco poliedros regulares, a saber, tetraedro, cubo, octaedro e icosaedro, posteriormente designados como sólidos platônicos. Com isso, a criação do mundo teria sido, inicialmente, pelas ideias, seguida pelos números, e, finalmente, pelos sólidos geométricos, que, por sua vez, teriam originado os quatro elementos. Como resultado, Platão sugeria que os astrônomos deveriam adotar o movimento circular, perfeito e regular, como o único movimento apto para explicar os deslocamentos aparentes dos planetas observados no Céu<sup>36</sup>.

---

<sup>36</sup> Ver Marco Zingano, *Platão e Aristóteles – o fascínio da filosofia*, col. Imortais da Ciência, Odysseus, 2002.

A influência desse dogma será tamanha que ainda séculos depois de ter sido formulada, tal posição será defendida e instrumentalizada pelos intelectuais Igreja católica na forma de duas teses: 1) as hipóteses astronômicas não são verdadeiras e nem falsas, pois nada dizem a respeito da natureza dos movimentos celestes, isto é, não são explicativas de por que os corpos celestes se movem desta ou daquela maneira; e 2) as hipóteses matemáticas procuram apenas representar, isto é, descrever o que se observa no céu ou como os corpos celestes se movem; e, portanto, são produzidas para “salvar as aparências”<sup>37</sup>.

Como é possível notar, as hipóteses astronômicas não tem alcance real, no sentido de poder fornecer as causas dos movimentos celestes, devendo apenas fornecer os cálculos que melhor se adequem com as observações celestes. É importante observar que em pleno século XVII você poderia ser copernicano sem que com isso estivesse provocando os professores de filosofia natural e teólogos mais tradicionais das Universidades de medicina e teologia, cuja mentalidade fortemente solidificada na Tradição, não os permitia assumir uma postura *realista* diante da hipótese copernicana.

Nesse sentido, o prefácio do *De Revolutionibus* é bastante revelador e conforma que era possível sem copernicano no século XVII e não contrariar as autoridades eclesiásticas e nem os filósofos naturais. Segundo consta, o prefácio não foi escrito pelo Copérnico, mas pelos revisores do Santo Ofício e mostra a hipótese copernicana não devia ser encarada como sendo uma hipótese que revelasse a real configuração dos planetas.

Não duvido de que certos estudiosos – em consequência da divulgação da notícia sobre a novidade das hipóteses desta obra, que estipula<sup>1</sup> ser a Terra móvel e, ainda, o Sol imóvel no centro do universo – tenham-se fortemente chocado e julguem que não convém conturbar disciplinas liberais já há tanto tempo bem estabelecidas. Na verdade, se quisessem examinar o caso com exatidão, descobririam que o autor desta obra nada cometeu que mereça repreensão. Com efeito, é próprio do astrônomo compor, por meio de uma observação diligente e habilidosa, o registro<sup>4</sup> dos movimentos celestes. E, em seguida, inventar e imaginar<sup>5</sup> as causas dos mesmos, ou melhor, já que não se podem alcançar de modo algum as verdadeiras, quaisquer hipóteses que, uma vez supostas, permitam que esses mesmos movimentos sejam corretamente calculados, tanto no passado como no futuro, de acordo com os princípios da geometria. Ora, ambas as tarefas foram executadas com excelência pelo autor.

E Continua:

---

<sup>37</sup> Consultar Pablo Rubén Mariconda e Júlio Vasconcelos, *Galileu e a nova Física*, col. Imortais da Ciência, Odysseus, 2002.

Com efeito, não é necessário que essas hipóteses sejam verdadeiras e nem mesmo verossímeis, bastando apenas que forneçam cálculos que concordem com as observações: a não ser que se seja tão ignorante em geometria e em ótica a ponto de tomar por verossímil o epiciclo de Vênus ou de acreditar ser essa a causa pela qual Vênus ora precede o Sol ora a ele sucede por quarenta ou até mais partes [do círculo].<sup>38</sup>

Pode parecer que esse posicionamento instrumentalista tinha unicamente a função de proteger a Tradição geocêntrica da “novidade” trazida pelo copernicanismo, e que as pessoas que defendia tal posição eram na sua grande maioria intolerantes e ingênuas. Alguns diriam até mesmo mal intencionadas. Mas isso não é verdade. Havia uma séria de questão que o copernicanismo não conseguia explicar. Questões do tipo: Por que os corpos caem em direção à Terra? Por que não somos atirados para fora da Terra, em virtude de sua rotação? Existe alguma experiência terrestre que mostre que a Terra se move? Qual seria a teoria física para o movimento dos corpos terrestre em uma Terra em movimento? Mas, para além dessas questões de cunho mais teórico, faltava à tese copernicana aquilo que a Tradição geocêntrica possuía: a aparência de verdade.

Mesmo diante de todo esses problemas, a tese copernicana acabou despertando na intelectualidade europeia do século XVII um sentimento de inquietação que levou pensadores como Galileu a defender uma postura não instrumentalista, mas sim *realista* diante da possibilidade de uma Terra móvel em órbita em torno de um Sol imóvel e central no Universo. Para Galileu, os que afirmavam que Copérnico tenha considerado a mobilidade da Terra e a estabilidade do Sol apenas “por hipótese”, o faziam ou porque não tinham lido o seu livro, o *De Revolutionibus*, ou porque desconheciam as sutilezas envolvendo o raciocínio demonstrativo das matemáticas.

Galileu será conhecido justamente como o “primeiro filósofo e matemático” da Toscana, título esse que nos mostra o tipo de compromisso metodológico assumido por esse autor, que é o de unificar as leis da física sob a tutela da matemática. Tal compromisso fica evidente na forma como aborda a questão copernicana que, segundo ele, se a hipótese da mobilidade da Terra e da centralidade do Sol não fosse “de fato” verdadeira, isto é, se ela não correspondesse a uma real configuração dos astros e estrelas, não se poderia “salvar” tão bem

---

<sup>38</sup> OSIANDER, Andreas. **Prefácio ao “De Revolutionibus Orbium Coelestium”, de Copérnico**. Tradução e notas: Zeljko Loparic. Cad. Hist. Fil. Ci., Campinas, Série 3, v. 18, n. 1, p. 253 – 257, jan. – jun. 2008.

as aparências fazendo a Terra e os demais astros girarem em torno do Sol. Ademais, Galileu será o responsável por responder boa parte das questões problemáticas que Copérnico não conseguiu responder como a sua teoria, dando ao modelo heliocêntrico a plausibilidade física necessária para tal sistema. Mas, antes de entramos nessas questões referentes ao problema da nova astronomia e a física da Galileu, vejamos como se deu o processo de crise da Tradição seguida da defesa da mobilidade da Terra e da transformação que o copernicanismo promoveu na experiência científica, transformação essa que deu ao sistema de mundo copernicano a plausibilidade perceptiva necessária para tal sistema.

## 6 A TRADIÇÃO EM CRISE

O mundo dicotômico da cosmologia aristotélica ptolomaica que separava o céu da Terra em duas regiões radicalmente distintas, a sub lunar ou terrestre e a supra lunar ou celeste, tendo a Terra ocupando uma posição central e imóvel em um Universo finito e qualitativamente ordenado, já no século IV enfrentava duras críticas. O cristão neoplatônico João Filopono de Alexandria [490 d.C. – 570 d.C.] negou a principal característica desse cosmo aristotélico: a distinção essencial entre céu e Terra. Em polêmica contra um célebre comentador de Aristóteles, Simplicio, o alexandrino questiona a relação que o Filósofo fazia entre os movimentos e a natureza do corpo. Numa passagem do *Contra Aristóteles*, Filopono pontua:

[...] se [corpos] que são diferentes por natureza como a terra e a água podem se mover com o mesmo movimento, [então] convertendo [a sentença] em negação, dir-se-á: não há nada que impeça que corpos que se movem com movimentos diferentes sejam da mesma natureza. Portanto, mesmo que o céu se mova com movimento circular enquanto os [corpos] sublunares [movem-se] em [linha] reta, ainda assim nada há que impeça o céu de ser da mesma natureza e tão perecível quanto os corpos sublunares [...]<sup>39</sup>

Com efeito, a relação que Aristóteles estabelecia entre o tipo de movimento, se em linha reta ou se circular, e a natureza do ser movente, deduzindo esta segunda do primeiro, esbarra nessa grande questão: afinal, se a partir da diferença do movimento realizado por um corpo pudermos concluir a sua natureza, então corpos cujas naturezas tão distintas quanto a terra e a água, não poderiam apresentar o mesmo movimento em linha reta. Desse modo, o argumento, que conclui a existência de um quinto elemento para a região celeste, e que é qualitativamente diferente de todos os demais, deveria ser abandonado. Consequentemente, a ideia de que há uma distinção entre céu e Terra quanto à natureza dos seus constituintes perde sua força argumentativa. Com isso, está aberto a possibilidade para se defender a existência de uma mesma lei para esses dois domínios, o que, por sua vez, pode pôr fim a um dogma central do aristotelismo.

Filopono ainda fará críticas a impossibilidade do vazio e do lançamento de projéteis, temas relevantes para filosofia natural de Aristóteles e a sua concepção de movimento. Intérpretes importantes desse período como Fátima Évora, em um estudo sobre os antecedentes do conceito de inércia, estabelece uma possível conexão entre Filopono e a tradição árabe, particularmente, no que diz respeito à volta das teses do alexandrino ao mundo cristão pelas mãos do filósofo Avicena [980 d.C. – 1037 d.C.]. Segundo essa autora, as teses de Filopono

---

<sup>39</sup> Filopono, *Contra Aristóteles*; apud Marcelo Moschetti. **A Unificação do cosmo – o rompimento da Galileu com a distinção aristotélica entre céu e Terra** – Campinas, SP: [s.n.], 2002.

referentes ao vazio e ao movimento dos projéteis mencionadas acima, teriam influenciado Buridan [1301 – 1358] e Oresme [1310 – 1382] no século XIV na elaboração do conceito de *impetus*, o equivalente medieval mais próximo da moderna noção de inércia.

De acordo com a teoria do *impetus*, um projétil disparado e solto no ar continuaria a se movimentar em direção ao alvo mesmo após a perda do contato direto com a força motriz que o impulsionou, porque, no momento do disparo, essa mesma força propulsora teria impregnado no projétil um certo ímpeto motor, isto é, uma força incorpórea de tal magnitude, que o faria mover-se no ar até finalmente ser parado pelo alvo. Isso contradiz diretamente Aristóteles, dado que este não admitia a existência do vazio. Grosso modo, para explicar por que um projétil conseguiria se mover no ar mesmo após a perda de contato direto com a força motriz propulsora, o Filósofo recorria a capacidade motriz do ar. Segundo essa teoria, o ar posicionado a frente do projétil, quando este fosse disparado, era impregnado pela força motora deste primeiro e deslocado para a parte de trás do projétil, impulsionando-o em uma trajetória reta. Todo esse movimento de deslocamento e troca de forças entre o projétil e o ar era conhecida por *antiperistasis*. Tal força motriz antiperistástica, proporcionaria movimento ao projétil até que este não pudesse ser mais movido em virtude da dissipação da potência do motor.

Essa forma de entender o movimento violento de corpos no ar só foi abalada quando a teoria do *impetus* ganhou as mentes da intelectualidade cristã. Inicialmente, tal feito só foi possível graças as traduções do árabe para o latim que começaram a ser feitas a partir do século XII pela cristandade europeia. Gerard de Cremona [1114 – 1187], por exemplo, foi um dos principais tradutores desse período. Interessado em astronomia ptolomaica, Gerard foi até Toledo para estudar, e ao ter contato com as principais obras que lá existiam, ficou impressionado e decidiu aprender o árabe. Cremona chegou a traduzir para o latim setenta e um títulos, entre os quais estavam alguns trabalhos da *Metafísica* de Aristóteles. Somente a partir do século XIII, o Ocidente passou a ter contato com alguns originais gregos, podendo então traduzi-los do original<sup>40</sup>.

O contato com tais obras não poderia deixar de influenciar as mentes dos intelectuais cristãos. Uma das consequências mais imediatas de tal influência é vista nos trabalhos de Tomás de Aquino [1225 – 1274], que foi sem dúvida o principal intelectual da cristandade responsável por propagar o aristotelismo em todo o território europeu. Entretanto, diferentemente do que aconteceu com Buridan e Oresme, que formularam teorias que se opunham ao aristotelismo peripatético, Tomás acabou por reforçar as principais ideias da distinção qualitativa entre Céu

---

<sup>40</sup> Ver Moschetti in **A Unificação do cosmo – o rompimento da Galileu com a distinção aristotélica entre céu e Terra**. p. 25 – Campinas, SP: [s.n.], 2002.

e Terra advindas da cosmologia de Aristóteles. Obviamente, tese como a eternidade dos Céus, e do mundo, forma rejeitadas, mas, por exemplo, viu nas propriedades dos corpos celestes uma aproximação com as qualidades dos anjos.

Nesse processo de cristianização das teses da cosmologia de Aristóteles, nem todas foram aceitas pela igreja católica. É certo que, ao longo do século XIII, algumas dessas teses forma proibidas e mesmo condenadas. A mais comentada das condenações baseadas no aristotelismo foi sem dúvida a do ano de 1277 que limitava os poderes de Deus. Na Universidade de Paris, por exemplo, os alunos estudavam os tratados naturais de Aristóteles meio que a contragosto dos teólogos da Igreja, pois tais tratados apresentavam os fenômenos da natureza como leis determinadas. Isso, segundo os teólogos, significava que mesmo Deus teria que se sujeitar as leis determinista que Ele mesmo criou, o que acabava sendo um fator limitador dos poderes divinos. Segundo Pierre Duhem, essas proibições do aristotelismo acabaram por fomentar as discussões que levariam Buridan e Oresme a produção de um vasto material que muito contribuiria mais tarde para o nascimento da ciência moderna nos séculos XVI e XVII. Contudo, mesmo com a contribuição de pensadores como Buridan e Oresme, é fato que a tradição aristotélico ptolomaica sobreviveu a Idade média sem grandes ameaças, sendo praticamente unânime até final do século XVI.

Para se ter uma ideia da força que a tradição aristotélico ptolomaica exercia nos intelectuais durante período em questão, vamos deixar que o testemunho de Johannes de Sacrobosco no seu *Tratado da Esfera*<sup>41</sup>, trado esse que foi utilizado durante muito tempo como um manual básico de astronomia entre os séculos XIII e XVII, fale.

[...] A universal máquina do mundo se divide em duas partes: celestial e elementar. A parte elementar é sujeita à continua alteração e divide-se em quatro: Terra, a qual está como centro do mundo no meio assentada, seque-se logo a Água e ao redor dela o Ar, e logo o Fogo puro que chega ao céu da Lua, segundo diz Aristóteles no livro dos meteoros, poque assim assentou Deus glorioso e alto. E estes quatro são chamados elementos, os quais uns pelos outros se alteram, corrompem e tornam a gerar [...] Junto da região dos elementos está logo a região celestial lúcida, e pelo ser imutável é livre de toda a mudança, tem contínuo movimento circular e chamam-lhe os filósofos de Quinta Essência [...]<sup>42</sup>

<sup>41</sup> A partir desse ponto, vamos nos referir à obra de Sacro Bosco unicamente por Tratado.

<sup>42</sup> SACRO BOSCO, Johannes. **Tratado da Esfera**. Editado e produzido por Roberto de Andrade Martins. – Campinas, SP: 2006. Disponível em: <http://ghct.ifi.unicamp.br/download/Sacrobosco-1478-trad.pdf>

Como se vê, essa suscinta descrição nada mais é do que uma reafirmação das ideias de Aristóteles a respeito das duas regiões cósmicas que dividem estruturalmente o Universo em dois espaços naturalmente distintos, acompanhada dos seus respectivos corpos constituintes e de suas qualidades, sem que haja por parte de Johannes, seu autor, qualquer tipo de comentário ou crítica. Contudo, a introdução do acréscimo “porque assim assentou Deus glorioso e alto”, revela a influência tomista na obra de Aristóteles. Apesar disso, o *Tratado de Sacro Bosco*, em virtude de sua qualidade didática, terá uma grande importância na comunidade acadêmica da época. É importante pontuar também que o próprio Galileu vai escrever, nos últimos anos do século XVI, um tratado homônimo de astronomia, o qual costumava utilizar com frequência no ensino da ciência tradicional.

Soma-se a defesa do aristotelismo na comunidade acadêmica entre os séculos XIII e XVII o fato de o modelo cosmológico da tradição não ser só um simples tratado de filosofia natural, mas também por ser um modelo matemático com poder preditivo que possibilitava aos astrônomos fazer previsões com grande exatidão acerca das órbitas dos planetas, ao ponto de poder prever com antecedência a ocorrência de eclipses.

Havia, contudo, um pequeno problema: a quantidade de círculos que o modelo astronômico de Ptolomeu necessitava para poder funcionar com exatidão, era incompatível com a ideia de um cosmo aristotélico constituído por esferas cristalinas. No entanto, segundo Tomas Kuhn, tal dificuldade teórica não se revelou de fato um problema, dado que:

[...] os cientistas helenistas aceitavam sem nenhum mal estar aparente uma tácita e parcial separação entre a astronomia e a cosmologia. Segundo seu ponto de vista, um método matemático satisfatório para prever a posição dos planetas não tinha por que estar em completo acordo com as exigências psicológicas de verossimilhança cosmológica [...] <sup>43</sup>

Desse modo, o conflito entre a astronomia matemática de Ptolomeu e a cosmologia de Aristóteles seria, então, superado, na medida que o primeiro não se prestava a ser um modelo descritivo, mas sim preditivo acerca do posicionamento dos astros no céu, e cujo objetivo não era outro senão “salvar as aparências”. Essa concepção, como já mencionamos, ficou conhecida como instrumentalismo e visava encontrar entre as hipóteses matemáticas aquela que melhor conseguia explicar as observações planetárias por meio de simples movimentos circulares. E por melhor entenda-se aquelas hipóteses que matematicamente envolvesse o menor número de etapas para se obter o máximo de precisão. E como o sistema heliocêntrico operava com um

---

<sup>43</sup> KUHN, T. S., **A revolução copernicana – a astronomia planetária no desenvolvimento do pensamento ocidental**. Tradução: Marília Costa Fontes. Edições 70 (Coleção perfil – história das ideias e do pensamento).

número menor de equantes e epiciclos do que o tradicional geocêntrico, esse fator será de grande importância na defesa de Copérnico.

### 6.1 Nicole Oresme e sua defesa do movimento da Terra

Antes de chegarmos a Copérnico e ao seu *De Revolutionibus*, é importante analisarmos a argumentação de Nicole Oresme a favor da mobilidade terrestre. No século XIV, Oresme redigiu um comentário ao *De Caelo* de Aristóteles. Nele, o pensador francês expõe uma ótima discussão dos argumentos contra o movimento da Terra e uma crítica a esses argumentos. A crítica gira em torno da possibilidade de a experiência comum ser capaz, ou não, de provar o imobilismo terrestre. Trata-se, diga-se de passagem, de um pensamento bem próximo daquele que Copérnico e Galileu vão utilizar na defesa do movimento da Terra. Após expor as ideias de Aristóteles e sua tentativa de demonstrar a imobilidade da Terra, Oresme assim se pronuncia:

[...] Nada se poderia provar por experiência alguma que o Céu se move com movimento diário, e não a Terra. Mas, sob total correção, parece-me que se poderia bem sustentar e dar cor a última opinião, a saber, que a Terra se move como movimento diário, e o Céu não. E, primeiramente, eu desejaria declarar que não se poderia mostrar o contrário por qualquer experiência; em segundo lugar, nem por razões; e, em terceiro lugar, dar a razão disso [...]<sup>44</sup>

Em seguida, Oresme começa e descrever os três principais argumentos contra o movimento da Terra. São eles: 1) vemos o céu, as estrelas, o Sol, a Lua e os planetas girando em torno da Terra e, portanto, o céu tem um movimento diário; 2) se a Terra girasse, sopraria um vento muito forte do oriente, pois a Terra iria mover-se em relação ao ar; 3) a experiência proposta por Aristóteles em um navio, cuja exposição se segue:

[...] pois quem estivesse em um navio que se movesse muito rapidamente para o oriente e atirasse uma seta bem reta para cima, ela não cairia na nave, mas bem longe do navio, para o ocidente; e de forma semelhante, se a Terra se move tão rapidamente girando do ocidente para o oriente, desde de que lançássemos uma pedra bem reta para cima, ela não cairia no lugar de onde ela parte, mas bem longe para o ocidente; e o contrário é percebido, de fato [...]<sup>45</sup>

De acordo com Roberto de Andrade Martins, apesar de Oresme atribuir o argumento do navio a Aristóteles, é mais provável que tal argumentação pertencesse a de fato a um dos principais comentadores do Filósofo, Simplício, que, ao longo do tempo, acabou sendo

<sup>44</sup> Ver Roberto de Andrade Martins in **Galileu e o princípio de relatividade**. Cadernos de história e filosofia da ciência 9 (1986) p. 69-86.

<sup>45</sup> Idem. Ibidem.

atribuído ao próprio Aristóteles. Para responder à essas três objeções contra o movimento da Terra, Oresme argumenta que os únicos movimentos percebidos por um observador terrestre seriam os relativos. E para demonstrar a força de sua argumentação, o nosso pensador francês propõe o seguinte experimento:

[...] se um homem estar em um navio chamado A, que se move muito suavemente, rápida ou lentamente, e se esse homem não vê outra coisa, além de um outro navio chamado B, que seja movido de forma totalmente semelhante ao modo como [se move] A, no qual ele está, eu digo que parecerá a esse homem que um e outro [navios] não se movem; e se A está em repouso e B é movido, parece-lhe e assemelha-se que B é movido; e se A é movido e B fica em repouso, parece-lhe, como antes, que A está em repouso e que B é movido<sup>46</sup>.

Isso posto, Oresme afirma: “então, eu suponho que o movimento local não pode ser percebido sensivelmente a não ser tanto quanto se percebe que um corpo esteja [em movimento] olhando-se para outro corpo”<sup>47</sup>. O mesmo raciocínio será usado por Galileu na segunda jornada do *Diálogo*, para propor a ideia de que o movimento só opera enquanto movimento nas coisas que não participam dele, porque nas coisas que igualmente participam do movimento, é como se ele, o movimento, nada operasse.

Assim, se aplicarmos essa ideia de movimento participativo à Terra e ao Céu, um observador terrestre poderia concluir tanto que a Terra se move enquanto o Céu fica parado, quanto o seu oposto, isto é, que o Céu se move enquanto a Terra fica imóvel. O mesmo é válido para um observador colocado no Céu; ele teria a percepção que tanto a Terra se move e o Céu fica parado, e vice versa. Por conseguinte, do ponto de vista estritamente astronômico, isto é, quando se tenta prever as posições aparentes dos planetas, um sistema de mundo que estabeleça a Terra imóvel como um Céu em movimento diário terá o mesmo valor preditivo quanto o sistema que estabeleça o oposto, uma Terra diariamente móvel com um Céu parado.

No que concerne aos ventos que supostamente deveriam ser sentido vindos do oriente, a resposta de Oresme é categórica: “a Terra não é movida sozinha, mas com a água e o ar”. Muito embora a água e o ar possam ser movidos por meio de outras causas, a situação seria semelhante à do navio se nele houvesse água ou ar guardados. Quando o navio se move, ambos, a água e o ar, movem-se junto com o navio na mesma direção e sentido. E desde que o navio mantenha uma velocidade constante, nenhuma experiência realizada no interior do navio, não

<sup>46</sup> Idem. Ibidem.

<sup>47</sup> ORESME, *apud* Roberto de Andrade Martins in **Galileu e o princípio de relatividade**. Cadernos de história e filosofia da ciência 9 (1986) p. 72.

poderia ser utilizada por um observador colocado dentro desse mesmo navio para provar ele se move ou fica parado.

Com relação a seta ou pedra lançada para cima de forma bem reta, Oresme nos diz que o mesmo seria válido se um homem em um navio em movimento levantasse e abaixasse sua mão de forma rápida parecer-lhe-ia que o movimento ocorresse de forma reta, mas não. Há ao mesmo tempo, um movimento horizontal e outro vertical acompanhando o navio. Esse será também um raciocínio desenvolvido e utilizado por Galileu para contra argumentar a favor do movimento terrestre. Um projétil lançado verticalmente para cima, ou mesmo atirando verticalmente para baixo, pareceria a um observador terrestre, isto é, que participa igualmente do movimento terrestre, que o movimento desse projétil, para cima ou para baixo, se dá de forma bem reta, mas na verdade ele ocorre de forma a descrever um arco de parábola. Discutiremos esse tipo de argumento mais a frente, quando estivermos analisando a segunda jornada do *Diálogo*. Por hora, basta saber que o único movimento observado por um observador terrestre ou de dentro de um navio em movimento, é o movimento do qual esse observador não participa.

Para finalizar essa exposição, é importante notar que Oresme possuía uma visão muito próxima da moderna concepção relativa do movimento de Galileu. Falta, no entanto, a Oresme a ideia de inércia, que permite justificar o acompanhamento da Terra pelos projéteis. Na concepção de Oresme, os projéteis acompanhariam a Terra unicamente por fazerem parte dela, como se formassem com a Terra uma certa unidade, de tal modo que, se a Terra parece de se mover, seus corpos constituintes também parariam.

## 7 COPÉRNICO, O ESTOPIM DA CRISE E O INÍCIO DE UMA NOVA ASTRONOMIA

É ponto passivo entre os historiadores da ciência, que as ideias que conduziram às mudanças no modo como enxergamos a realidade, e serviram de estopim para a transformação da experiência científica ocorrida entre os séculos XVI e XVII, tiveram seu início com a chamada revolução copernicana. Isso porque, Copérnico não só tirou a Terra de seu repouso, conferindo-a um caráter planetário, como também proporcionou uma mudança significativa na forma como apreendemos a realidade sensível.

Sem dúvida trata-se de uma verdadeira revolução. Antes, quando se acreditava que o mundo se mantinha imóvel e se pressupunha que o Sol girava em torno dele, as medições astronômicas não eram necessariamente congruentes. Contudo, quando Copérnico torna o Sol imóvel e a Terra um móvel que orbita em seu entorno, tudo se resolve de maneira assustadoramente simples. Mas a mudança de perspectiva não se restringe aos planetas. Analogamente, o mesmo pode ser dito em relação ao próprio homem, ou melhor dizendo, em relação a razão humana. Antes a razão, assim como o Sol, orbitava o mundo dos fenômenos buscando assim ilumina-los. Mas agora com Copérnico, a razão, isto é, o Sol em nossa analogia, se mantém imóvel, e os fenômenos passaram a orbitar ao seu redor, sendo iluminando sempre que dela se aproxima<sup>48</sup>.

Entretanto, a aceitação do caráter planetário da Terra não é algo tão simples assim. Não se trata de uma mera mudança de perspectiva. O caráter planetário da Terra implica, em um primeiro momento, em abandonar uma tradição que remonta há centenas de anos e que possui em Aristóteles e em Ptolomeu os seus dois maiores representantes, e, em um segundo momento, em adotar uma física que torne possível a aceitação dessa nova visão.

É bem verdade que a visão heliocêntrica de mundo já era corrente antes de Copérnico. Contudo, diferente dos chamados “Copérmicos da antiguidade”, como, por exemplo, Filolao, Nicetas, Ecfanto, Heráclides de Ponto e Aristarco de Samos, Copérnico não se limitou em sugerir que talvez fosse a terra que se movesse e não os céus. O astrônomo polonês foi o

---

<sup>48</sup> Essa mudança de perspectiva em relação a epistemologia só ganhará a sua sistematização como Immanuel Kant no século XVIII, que é conhecido como “século das luzes”, em referência ao iluminismo que foi um movimento cultural na Europa para mobilizar o poder da razão, objetivando reformar a sociedade e o conhecimento herdados da tradição medieval. Contudo, é inegável que o processo de mudança na forma como apreendemos o real conheceu o seu estopim com o astrônomo e matemático polonês Nicolau Copérnico. Não à toa, no prefácio da segunda edição de *Crítica da Razão Pura*, Kant compara a sua filosofia com o método de Copérnico.

primeiro a desenvolver uma teoria heliocêntrica *quantitativa*, com um nível de detalhamento e sofisticação tão grande quanto a teoria geocêntrica de Ptolomeu.

Na proposta de Copérnico encontramos dois aspectos epistemológicos distintos: o primeiro, o de fornecer uma tentativa de dar conta das observações, isto é, “salvar as aparências”, e, o segundo, o de tentar descrever a realidade física. No que diz respeito ao primeiro aspecto, o de comparar as previsões com os dados da experiência sensível, pode-se julgá-lo como inadequado ou adequado, simples ou complicado, mas nunca se pode julgá-lo como correto, pois pode-se muito imaginar alguma outra teoria que também dê conta das mesmas aparências. Basta lembrar que muitos astrônomos da época de Copérnico costumavam considerar os modelos que utilizavam apenas com instrumentos matemáticos de trabalho, sem levar em consideração se tais modelos eram fisicamente verdadeiros ou não. Um bom exemplo disso, vem do astrônomo Erasmus Reinhold, que construiu tabelas astronômicas a partir da teoria heliostática de Copérnico, sem aceitar que ela fosse verdadeira, isto é, sem acreditar que a Terra faz uma revolução em torno do Sol<sup>49</sup>.

Grosso modo, a questão em torno da realidade de um modelo astronômico era considerado um problema apenas para os físicos, ou seja, os filósofos naturais, mas não para dos astrônomos, que na sua grande maioria eram matemáticos. Sob o ponto de vista das medições, era possível se utilizar tanto da teoria heliocêntricas quanto da geocêntricas, bastava que as previsões estivessem de acordo com os dados obtidos pela observação. Mas, e do ponto de vista da realidade física do modelo?

Bom, no que diz respeito a realidade, como vimos anteriormente pesava contra Copérnico a ausência de evidência a favor do movimento terrestre e também a falta de uma teoria gravitacional que explicasse por que as coisas pesadas caíam em linha reta em direção ao centro da Terra. Todas as “experiências” com os corpos graves mostravam que a Terra estava parada no centro do Universo. Assim, para que o movimento da Terra fosse admitido como possível, era preciso mostrar que mesmo em movimento os corpos pesados continuariam caindo em linha reta em direção ao centro terrestre. Em outras palavras, era preciso se construir uma física do movimento que fosse compatível com a experiência do observador terrestre. Isso nos leva diretamente ao próximo tópico: examinar o problema da nova astronomia e o que levou Copérnico a aderir a uma teoria planetária que propunha o movimento da Terra e a estabilidade do Sol mesmo na ausência de qualquer confirmação empírica a favor dessa tese.

---

<sup>49</sup> Ver Dreyer in: **A history of astronomy from Thales to Kepler**, cap. 14 *apud* Roberto de Andrade Martins, p. 80, 2003.

## 8 O PROBLEMA DA NOVA ASTRONOMIA

Como vimos anteriormente, a nova astronomia proposta por Copérnico se tomada “por suposição” como uma mera hipótese matemática volta a “salvar as aparências” servia muito ao seu propósito. Por outro lado, uma proposta mais realista desse sistema se deparava como o problema da confirmação empírica e de uma teoria gravitacional que desse conta do problema dos corpos pesados. Todas essas questões nos levantam uma questão: o que levou Copérnico a acreditar ser essa a descrição verdadeira do universo astronômico? Essa questão nos leva a uma outra: que bases teria um filósofo natural do tempo de Copérnico para rejeitar um modelo astronômico já tão bem estabelecido como era o modelo ptolomaico, que além de ser um modelo astronômico, também era dotado de uma física capaz de dar conta da maioria dos fenômenos celestes e terrestres, e adotar um outro modelo baseado em uma hipótese carente de uma justificação física?

Essas questões são mais do que pertinentes, pois estamos tão acostumados a pensar que a oposição à Nicolau Copérnico se baseava fundamentalmente em considerações de ordem teológica – o que, é importante dizer, se mostrou algo bem cabível à época – que tendemos a esquecer as sólidas objeções científicas contra a nova hipótese astronômica. Muitas dessas objeções já forma apontadas ao longo dessa dissertação. Vejamos algumas delas:

- 1) Primeiro, não havia qualquer fenômeno celeste conhecido que não pudesse ser explicado utilizando-se do sistema ptolomaico com a precisão que se poderia esperar na ausência de instrumentos astronômicos mais modernos. Ademais, as previsões do modelo copernicano não superavam em exatidão as do modelo ptolomaico, do modo que, nenhum pensador de bom senso abandonaria um modelo já bem estabelecido e verificado do universo em favor de uma hipótese inovadoras, a menos, é claro, que tal sistema pudesse fornecer alguma vantagem em termos de precisão astronômica;
- 2) Segundo, havia também o testemunho dos sentidos que não apontavam para a possibilidade de uma Terra dotada de movimento. Ainda não havia a possibilidade de, com a ajuda do telescópio, se observar os vários indícios que apontavam para uma uniformidade entre os corpos celestes e terrestres em termos essenciais, tais como: as manchas solares, as fases de Vênus e a superfície enrugada da Lua. Ou seja, faltavam evidências empíricas que mostrassem que os corpos celestes eram, essencialmente, possuidores da mesma matéria que compunha a Terra;

- 3) Terceiro, construída com base no testemunho inabalável dos sentidos, havia ainda toda uma filosofia natural do universo, isto é, uma física, que fornecia um arcabouço sólido e confiável que justificava não só a imobilidade da Terra, com também a sua centralidade no cosmos. A cosmologia antiga de matriz aristotélica está assentada na ideia de lugar natural. Cada coisa no universo possuía um lugar natural no sentido de estar em conformidade com a sua natureza. A Terra, em virtude de sua natureza absolutamente *pesada*, encontrava-se imóvel no centro do universo. Uma vez nesse lugar, não havia razões para supor sua mobilidade. Tudo que for considerado pesado move-se em linha reta para baixo em direção ao centro da Terra, que, por sua vez, coincide com o centro do universo. Toda essa física estava em concordância com a experiência humana comum até então acumulada. Portanto, a sugestão de uma teoria astronômica tão amplamente diferente da experiência humana, seria inevitavelmente considerada como contraditória e contrária aos fatos;
- 4) Por fim, existiam certas objeções mecânicas à nova teoria que não podiam ser respondidas satisfatoriamente à luz da física qualitativa de Aristóteles ainda em vigor na época de Copérnico. Algumas dessas objeções afirmavam que, se a tese copernicana estivesse correta e a Terra girasse em sentido oeste, um corpo pesado lançado verticalmente para cima deveria cair em um ponto afastado justamente à oeste do lugar de onde partiu. Mas o que se vê, é que um corpo lançado verticalmente para cima, cai exatamente no mesmo lugar de onde saiu. Além do mais, havia também a questão da ausência de paralaxe. Se Copérnico estivesse certo, as estrelas fixas deveriam revelar uma paralaxe anual, devido ao trânsito anual da Terra ao redor do Sol, o que provaria que o nosso planeta assumia posições diferentes no espaço ao longo do ano. Mas a sua ausência era indicativo de que tais estrelas estariam em uma posição muito mais afastadas do que se acreditava, o que daria ao universo uma dimensão absurdamente muito maior do que aquela que se defendia na época, tornando assim o modelo astronômico de Copérnico bastante implausível<sup>50</sup>.

---

<sup>50</sup> Tal paralaxe só foi descoberta pelo astrônomo alemão Friedrich Bessel em 1838. Com base em suas observações, Bessel calculou que a estrela 61 Cygni, uma das estrelas da constelação de Cygnus, deve ter cerca de 10 anos-luz da distância da Terra. Tal descoberta deu início a um logo processo de mapeamento do Céu. Disponível em: <<https://www.space.com/30417-parallax.html>>. Acesso em: 24, março. 2023.

Portanto, podemos concluir que, mesmo na ausência de qualquer entreveio de ordem teológica contra a nova astronomia de Copérnico, os homens de ciência de toda Europa, principalmente aqueles de mentalidade mais empírica, teriam considerado no mínimo uma imprudência aderir a um novo modelo astronômico, sem que este conseguisse mostrar qualquer evidência sensível de sua veracidade, e isso em detrimento a um modelo já conhecido e bem estabelecido ao longo dos tempos, o qual apresenta induções sólidas advindas da experiência sensorial mais imediata do homem.

É importante frisar que a física aristotélica, a qual dá suporte teórico ao sistema de mundo ptolomaico, tem uma forte propensão empírica, sendo essa, inclusive, uma grande característica da filosofia natural dos tempos de Copérnico. O sistema astronômico proposto pelo astrônomo polonês é tão contra intuitivo, que se os empiristas contemporâneos tivessem vivido no século XVI, eles também teriam rejeitado tal proposta, considerando-a como um fruto prematuro de uma mente descontrolada.

Diante de tudo que foi exposto, por que então Copérnico considerou e sustentou a ideia de que o seu modelo astronômico representava uma descrição verdadeira das relações existentes entre a Terra e os demais corpos celestes? Em outras palavras, tal sistema de mundo, que apresenta um Sol imóvel com a Terra e os demais astros circundando ao seu redor, representa de fato o real. A resposta para essa questão é sem dúvida a pedra fundamental que alicerça a moderna filosofia da ciência física.

Para responder a essa pergunta, é necessário que façamos uma breve descrição das circunstâncias que envolvem ambiente intelectual no qual Copérnico estava inserido e da influência que tal ambiente exerceu sobre o nosso astrônomo polonês propiciando o surgimento dessa nova abordagem do real. Como será evidenciado, são quatro as principais características que cerca o ambiente intelectual do Copérnico.

## 9 O AMBIENTE INTELECTUAL DO COPÉRNICO

Primeiramente, desde a antiguidade muitos observadores da natureza já tinham notado que, em vários aspectos, o ambiente natural apresenta uma tendência de ser governado por um princípio que presa pela simplicidade. Tal princípio pode ser expresso do seguinte modo: não há razões para a natureza fazer com mais aquilo que ela pode fazer com menos. Vários fatos da experiência comum cotidiana confirmam esse princípio: os corpos cadentes movem-se perpendicularmente em direção a Terra, a luz percorre uma trajetória reta, os projéteis não variam de direção quando são impelidos, etc. Tais fatos eram tão corriqueiros que teriam dado origem a provérbio como: *“Natura semper agit per vias brevissimas”*; *“natura nihil fácil frustra”*; *“natura neque redundat in superfluis, neque déficit in necessariis”*. Essa tendência, confirmada pela observação, de que a natureza procura caminhos mais cômodos para realizar as suas funções teria contribuído extremamente para que a tese copernicana fosse recebida pelas grandes mentes da época sem tanta repulsa. Com o modelo de Copérnico, os inúmeros e complexos epiciclos além de várias irregularidades do sistema ptolomaico foram substancialmente diminuídos, e isso era algo que poderia ser deixado de lado, mesmo que a proposta de uma Terra móvel ao redor de Sol imóvel parecesse contrária a experiência cotidiana mais imediata.

Em meio a essas considerações em torno da simplicidade da natureza, a nova astronomia de Copérnico também operava segundo uma nova visão a respeito do referencial adotado para calcular o trânsito planetário. Diferente do modelo geocêntrico de Ptolomeu, que tinha como referencial a Terra, o sistema heliocêntrico proposto por Copérnico adotava o Sol e as estrelas fixas como novos pontos referenciais. Esse novo referencial estava diretamente alinhado como o princípio de simplicidade, tão reverenciado entre aqueles que se dedicavam à filosofia natural.

Não foi difícil de convencer as principais mentes desse período de que novos referenciais deveriam ser adotados. Dentro de um período de cem anos, muitos acontecimentos haviam acontecido que favoreceram a ideia de se desenvolver uma nova astronomia. Foi um período marcado por grandes descobrimentos e intensas mudanças, como, por exemplo, a Renascença, que deslocou o centro de interesse do homem na literatura do presente para uma literatura que resgatava a idade de ouro da Antiguidade. A revolução industrial conheceu o seu início, com suas longas viagens e descobertas de continentes antes desconhecidos, bem como de civilizações ainda não estudadas. A Ásia e as Américas começaram a despertar o interesse dos principais negociantes da Europa. Nesse mesmo período, a Terra foi circunavegada, o que serviu para provar definitivamente a redondeza do planeta. De uma hora para outra, as fronteiras

do conhecimento humano passaram a se expandir e a necessitar cada vez mais de novas e revolucionárias ideias que dessem conta dos desafios que estavam por vir.

Diante de tantas mudanças, começou a ser aventada a possibilidade de que centro de importância do Universo talvez não estivesse sequer na Europa. Além do mais, com as revoltas religiosas ocorridas no século XVI e que levaram a um processo de reforma da cristandade, Roma deixa de ser o centro religioso do mundo, que passa a contar agora com vários outros numerosos centros espalhados pelo globo. Havia por todos os lados, uma fuga dos antigos centros e uma busca por algo genuinamente novo.

Paralelamente a tudo isso, a matemática também vinha passando por intensas modificações. Historicamente falando, é ponto comum entre os matemáticos que a geometria sempre foi a matemática por excelência. E isso por uma razão: é na geometria que a exatidão do raciocínio se alia a imagens visíveis. Essa, inclusive, é a razão pela qual mesmo as pessoas ruins em raciocínio abstrato conseguem, de certa forma, dominar rapidamente o método geométrico, o qual envolve a visualização e “manipulação” de figuras espaciais. A aritmética, por sua vez, sempre se prestou a ter uma utilidade puramente instrumental, voltando-se para as práticas comerciais. A geometria, por seu turno, destinava-se à fins mais elevados do espírito. Por exemplo, na Antiguidade, era comum recorrer-se ao método geométrico a fim de ilustrar alguma controvérsia envolvendo determinada doutrina. Platão, no *Mênon*, usou de tal metodologia para ilustrar a sua doutrina da reminiscência das almas, doutrina essa que estipulava o conhecimento como um simples processo de rememoração<sup>51</sup>.

---

<sup>51</sup> Nesse diálogo, Mênon se mostra cético em relação a tal doutrina e pede a Sócrates uma prova. Sócrates, então, pede que se aproxime um escravo e o solicita que desenhe um quadrado que seja o dobro de um quadrado de dois pés de comprimento, o que o escravo responde de pronto que basta duplicar o lado do quadrado e construir um quadrado de quatro pés de lado. Sócrates desenha a figura indicada pelo escravo e o faz ver que o quadrado assim obtido não tem uma superfície dupla, mas sim quadrupla em relação ao primeiro. Vejamos:  
 [...] Sócrates. Contempla-o, pois, como vai rememorando progressivamente, tal como é preciso rememorar. Tu, pois, diz-me. Afirmas que é a partir da linha que é o dobro [desta]? Quero dizer [uma superfície] do seguinte tipo: não que seja longa quanto a esta [linha] e curta quanto a esta, mas sim que seja igual por toda a parte, como esta aqui, porém o dobro desta, [isto é], de oito pés. Mas vê se ainda te parece que [formada] a partir da [linha] que é o dobro ela vai ser [assim]. Escravo. A mim parece-me. – SO. Não é verdade que esta linha se torna do dobro desta, se lhe acrescentarmos outra deste tamanho, a partir daqui? – ESC. Perfeitamente. – SO. A partir desta, pois, afirmas, formar-se-á a superfície de oito pés, se houver quatro linhas deste mesmo tamanho. – ESC. Sim. – SO. Tracemos, pois, a partir desta, quatro linhas iguais. Não seria esta aqui a superfície que afirmas ser de oito pés? – ESC. Perfeitamente. – SO. Não é verdade que nesta [superfície] há estas quatro[superfície] aqui, cada uma das quais é igual a esta que é de quatro pés? – ESC. Sim. – SO. De que tamanho então vem a ser ela? Não é de quatro vezes o tamanho desta? – ESC. Como não? – SO. Então, a superfície que é quatro vezes maior que esta é o dobro desta? – ESC. Não, por Zeus! – SO. É, antes, quantas vezes esse tamanho? – ESC. O quadruplo. – SO. Logo, menino, a partir da linha que é o dobro não se forma uma superfície que é o dobro, mas sim que é o quadruplo. – ESC. Dizes a verdade. – SO. Com efeito, quatro vezes [uma superfície de] quatro [pés] é [uma superfície de] dezesseis [pés], não é? – ESC. Sim. – SO. E a [superfície] de oito pés se forma a partir de uma linha de que tamanho? Não é a partir desta [que se forma] a superfície que é o quadruplo? – ESC. Concordo [...]. (Mênon, 57b.). E assim, o escravo descobriu um teorema da geometria, aquele segundo o qual o quadrado duplo de um dado quadrado é aquele que é construído sobre a diagonal deste. Contudo, o real propósito desse ensinamento não era

Contudo, o emprego da matemática em questões que envolvem a filosofia natural foi praticamente abandonado durante o início da Idade Média, com a matemática ocupando um lugar intermediário entre as ciências. O lugar intermediário ocupado pela matemática foi determinado por Aristóteles e tem por base o grau de afastamento que seu objeto tem da matéria. Para ser pensado, os números e as figuras, independem da matéria. Mas, por outro lado, para existirem as figuras geométricas e os números assumem uma relação de dependência com a materialidade, pois tais entidades só são na matéria. Todavia, no que diz respeito a aplicação da matemática no estudo da física, Aristóteles considerava tal aplicação como problemática, e isso por uma razão simples: a matéria pertencia a ordem do que era contingente, enquanto que os números, as figuras e as relações geométricas pertenciam a ordem do que era necessário. Assim, tentar estabelecer uma relação de identidade entre a matemática e o mundo não faria sentido.

Essas noções foram assimiladas pelos jesuítas e determinaram o estatuto científico das matemáticas nas artes liberais a partir de sua caracterização naquele que viria a ser o *Quadrivium*: aritmética, geometria, astronomia e música. Assim, a astronomia passou a se utilizar das matemáticas, isto é, aritmética e geometria, como uma ciência dos “Céus”, cujas hipóteses serviam muito bem para “salvar as aparências”, mas que não possuíam um alcance real no mundo material. Foi só no final da Idade Média que passou haver um vigoroso renascimento do estudo da matemática. Muitos pensadores dessa época, dentre eles Roger Bacon, se mostravam bastante entusiasmados com a possibilidade da matemática ser usada para uma interpretação mais completa da natureza<sup>52</sup>.

Dois séculos depois de Bacon, Leonardo da Vinci destacou-se como principal condutor desse processo de empregar a matemática nas pesquisas científicas sobre a natureza, tendo realizado muitas pesquisas no campo da mecânica, da hidráulica e da óptica. Em todas essas pesquisas, o grande mestre renascentista acredita veementemente que as conclusões devem ser expressas matematicamente e representadas geometricamente. Mas sem dúvida alguma, um dos principais expoentes desse processo de matematização da natureza foi o matemático italiano Tartaglia com a sua *Nova Scienza* publicada no ano de 1537, obra na qual o método geométrico

---

propriamente esse, mas sim demonstrar por meio de método geométrico que o escravo consegue chegar no resultado desejado unicamente lembrando as formas geométricas que sua alma já tinha de antemão presenciado. O uso da matemática aplicado a questões como essa não se restringe a Platão. Não podemos deixar de retomar aqui a contribuição dos pitagóricos a respeito de assuntos ligados a filosofia natural. O mundo seria composto por “números”. Estes seriam os elementos últimos do cosmo, os quais representavam porções limitadas de espaço.

<sup>52</sup> Cf. Jan Gerard ter Reegen; Raphaela Cândido Lacerda in: **Rogério Bacon e o conhecimento da matemática**. Thaumazein, Ano IV, número 08, Santa Maria (dezembro de 2011), pp. 62-72.

foi empregado a certos problemas envolvendo corpos cadentes e o alcance de projéteis. Outro nome que também merece destaque é o de Stevinus [1548 – 1620], que se utilizou de esquemas matemáticos para a representação, por meio de linha geométricas, de certas grandezas físicas, tais como força, movimento e tempo<sup>53</sup>.

Entre os séculos XV e XVI, os matemáticos começaram a se livrar da dependência da geometria e a incorporar a álgebra em seus trabalhos. Grosso modo, a grande contribuição desses trabalhos giravam em torno da teoria das equações. Mais especificamente, os matemáticos se dedicavam a métodos de redução e solução de equações quadráticas e cúbicas. O método de redução foi muito importante para o avanço da matemática, porque ele permitia que equações complexas, como as mencionadas anteriormente, pudessem ser reduzidas a termos mais simples e, com isso, ser resolvida algebricamente, sem a necessidade de envolver intrincadas construções geométricas, como era comum entre os matemáticos da época.

Esse método de redução, quando aplicado a linguagem geométrica, significava reduzir figuras mais complexa a figuras mais simples. Com isso, complexas figuras podiam ser transformadas em triângulos e círculos simples, permitindo assim a resolução de intrincados problemas matemáticos de forma mais simples e rápida. Esse processo de redução geométrica é fundamental para que possamos entender que Copérnico, ao diminuir substancialmente o número de ciclos, obtendo assim uma maior simplicidade e harmonia para explicar as órbitas planetárias, estava perfeitamente fundamentado pela matemática de sua época.

É importante mencionar também que desde a antiguidade, passando pela Idade Média e chegando até Galileu, a astronomia sempre foi considerada como um ramo da matemática. A astronomia era a geometria dos céus. A noção que temos hoje sobre a matemática ser uma ciência voltada quase que exclusivamente para um idealismo, tendo pouca ou nenhuma relação como o real, constituía uma noção praticamente inexplorada até meados do século XVIII. E para a maioria dos pensadores antigos e medievais o espaço da geometria euclidiana era o espaço real. O Sol e a Lua pareciam círculos perfeitos e as estrelas eram como pontos luminosos em um espaço geométrico puro. A aproximação com a matemática era tamanha que relação entre geometria e espaço físico não constituía uma questão.

A grande questão que de fato perturbava a mente de muitos intelectuais, era saber se um conjunto cômodo de figuras geométricas, que desse conta de explicar os fenômenos celestes, poderia ou não ser utilizado com propriedade para rejeitar uma teoria especulativa acerca da estrutura física do céu. Como sabemos, Ptolomeu no *Almagesto* rejeitou a tentativa de

---

<sup>53</sup> Cf. Edwin Arthur Burt in: **As Bases Metafísicas da Ciência Moderna**, p. 34, 1991.

interpretar fisicamente os fenômenos celestes. A matemática era utilizada apenas instrumentalmente, isto é, bastava que os cálculos e os artifícios geométricos fornecessem previsões exatas sobre a órbita dos planetas, não cabendo, portanto, ao astrônomo fazer especulações acerca da estrutura física do céu. Em outras palavras, se o conjunto de esferas homocêntricas e coisas semelhantes representava ou não a natureza última do reino astronômico, isso era um assunto que fugia da competência do astrônomo.

Seja como for, a pergunta que de fato devemos fazer é: se o método das reduções estava sendo aplicado as equações algébricas com vista de obter uma equação mais simples, então será que esse mesmo procedimento poderia ser utilizado também no caso de astronomia com o objeto de se obter um modelo mais simples dos fenômenos celestes? Afinal, se a astronomia é geometria, então ela deve compartilhar da relatividade dos valores matemáticos. Se assim for, então os movimentos que vemos no céu deve ser interpretado como relativos. E mais, do ponto de vista da representação da verdade, não deve fazer diferença nenhuma qual o ponto de referência adotado – se a Terra, ou o Sol – para o sistema cosmológico como um todo.

O fato é que, matematicamente falando, não está em questão qual modelo astronômico é verdadeiro. Na medida em que a astronomia é matemática, ambos são verdadeiros, pois tanto o geocentrismo quanto o heliocentrismo são representativos dos fatos. A única diferença é que ao adotar o Sol como ponto de referência, o sistema planetário torna-se mais harmonioso e simples no que diz respeito à representação dos fatos astronômicos.

Em certa medida, essa posição já fora defendida por Ptolomeu, contra aqueles que defendiam esta ou aquela cosmologia, chegando mesmo a afirmar que é totalmente legítimo interpretar os fatos da astronomia por meio do esquema geométrico que for mais simples, de modo a explicar os fenômenos celestes, sem se preocupar com a metafísica envolvida<sup>54</sup>. Mas, até onde sabemos, Copérnico foi o primeiro matemático a adotar integralmente esse princípio ao interpretar os fenômenos astronômicos, e o fez tendo plena consciência das implicações epistemológicas que seu sistema de mundo trazia.

---

<sup>54</sup> Idem, *Ibidem*.

## 10 COMMENTARIOLUS

A imagem que costumamos ter dos astrônomos é de alguém envolto em instrumentos de observação e medição utilizados para perscrutar os céus. Mas, da mesma forma que ocorre com a maioria das imagens populares, essa também está equivocada. Pelo menos, no caso de Copérnico, essa imagem não se aplica. O grande matemático e astrônomo Nicolau Copérnico de fato fez uma séria de observações no céu, 27 medições para ser mais exato, que serviram de base de dados para a elaboração de sua grande obra astronômica, o *De Revolutionibus*. Contudo, a sua teoria baseada em um sistema de mundo heliocêntrico, com uma Terra girando não só em torno de si, mas também em torno de uma Sol estacionário, não dependia dessas medições. A verdade é que o grande trabalho de Copérnico poderia ter sido empreendido sem jamais olhar para os céus, pois foi essencialmente uma tarefa de interpretação de dados.

A grande contribuição de Copérnico foi a de ter tirado a Terra de seu imobilismo no centro do universo e coloca-la orbitando em torno do Sol. Mas é bom deixar claro que essa grande contribuição não está baseada em dados empíricos. Copérnico não observou a Terra girar em torno do Sol, e nem poderia ter observado. Nossas observações são sempre geocêntricas. O que o grande matemático e astrônomo polonês fez foi pensar em um sistema de mundo diferente (heliostático), e, por meio desse novo sistema, explicar as aparências observadas no céu de uma maneira muito mais harmoniosa e simples, matematicamente falando. Com essa harmonia e simplicidade, Copérnico pretendia mostrar não só que o seu sistema era superior, como também mais verdadeiro que o sistema geocêntrico.

Como vimos, diferentemente dos “copernicanos da antiguidade”, isto é, daqueles pensadores, antes de Copérnico, que também ousaram pensar diferente, o trabalho do astrônomo polonês apresentava dois aspectos epistemológicos distintos: o primeiro é o de tentar dar conta das observações “salvando as aparências”; e o segundo é o de tentar descrever a realidade física.

Assim, sob a forma de um pequeno manuscrito, o *Commentariolus* ou *Pequeno comentário sobre as hipóteses formuladas por Nicolau Copérnico acerca dos movimentos celestes* (1510), Nicolau Copérnico aos 37 anos fez circular pela Europa, entre um pequeno número de astrônomos, as suas principais ideias revolucionárias acerca do seu sistema de mundo baseado no heliocentrismo. E, até se sabemos, esse pequeno esboço circulou durante toda a vida de nosso autor e até final do século XVI<sup>55</sup>.

---

<sup>55</sup> Ver Roberto de Andrade Martins in: *Commentariolus: pequeno comentário de Nicolau Copérnico sobre suas próprias hipóteses acerca dos movimentos celestes*. 2ª edição, p. 25, 1990.

As principais ideias de Copérnico para que o sistema heliocêntrico presentes no *Commentariolus*, e que são tomadas pelo nosso autor como exigências para que tal sistema possa funcionar, podem ser reunidas na forma de sete axiomas. São eles:

- 1) Não existe um centro único de todos os orbes ou esferas celestes;
- 2) O centro da Terra não é o centro do mundo, mas apenas o da gravidade e do orbe lunar;
- 3) Todos os orbes giram em torno do Sol, como se ele estivesse no meio de todos; portanto, o centro do mundo está perto do Sol;
- 4) A razão entre a distância do Sol à Terra e a altura do firmamento é menor do que a razão entre o raio da Terra e a sua distância ao Sol; e com muito mais razão esta é insensível confrontada com a altura do firmamento;
- 5) Qualquer movimento aparente no firmamento, não pertence a ele, mas à Terra. Assim a Terra, como os elementos adjacentes, gira em torno de seus polos invariáveis em um movimento diário, ficando permanentemente imóveis o firmamento e o último céu;
- 6) Qualquer movimento aparente do Sol não é causado por ele, mas pela Terra e pelo nosso orbe, com o qual giramos em torno do Sol como qualquer outro planeta. Assim, a Terra é transportada por vários movimentos;
- 7) Os movimentos aparentes de retrogressão e progressão dos errantes não pertencem a eles, mas a Terra. Apenas o movimento desta é suficiente para explicar muitas irregularidades aparentes no céu<sup>56</sup>.

A análise atenta desses axiomas nos evidencia que a principal preocupação de Copérnico na elaboração das suas principais ideias em torno do movimento da Terra, foi o de mostrar que, por meio de movimentos circulares uniformes que giram ao redor de determinados centros, poder-se-ia eliminar os equantes e as irregularidades das rotações presentes no modelo ptolomaico. E, em vista de mostrar que o seu sistema era mais simples do que o defendido pela tradição, o polonês tem o cuidado de enfatizar que era possível se explicar qualquer movimento aparente dos astros utilizando-se apenas um pequeno número de círculos. Fato esse confirmado pelo próprio Copérnico nas palavras finais do *Commentariolus*: “portanto, bastam 34 círculos para explicar toda a estrutura do universo e o bailado dos planetas” (COPÉRNICO, p. 148, 1990).

---

<sup>56</sup> COPÉRNICO, Nicolau. *Commentariolus*. p. 114 – 117, 2ª edição. 1990.

Além da maior simplicidade, o modelo de Copérnico ainda detinha a vantagem de ser um modelo dotado de um *ideal explicativo*, frente ao *ideal descritivo* da astronomia tradicional. Ao defender a tese de que os movimentos aparentes de retrogressão e progressão dos planetas, não é devido aos próprios planetas, mas sim à Terra, quando esta gira em torno do Sol, Copérnico está nos oferecendo uma explicação da aparente irregularidade observada pelos planetas, e não apenas uma simples descrição.

Para que fique mais claro esse ideal explicativo, tomemos como exemplo de Marte ao longo de um ano. Em diferentes momentos, contra o fundo das estrelas fixas e seguindo a ordem do zodíaco, o planeta Marte, visto por um observador terrestre, vai apresentar estados de *avanço*, *parada* e *retrogradação*, durante o seu trânsito pelo céu estrelado. O ptolomaico, com base no repouso e centralidade da Terra, é obrigado a admitir a veracidade daquilo que vê, isto é, a realidade da trajetória irregular do planeta e para a qual a sua astronomia não tem uma causa, limitando-se, portanto, a descrever geometricamente o fenômeno.

Todavia, o copernicano, com base no movimento terrestre, pode dizer que a trajetória observada é apenas uma aparência, e se deve a translação da Terra em torno do Sol. Segundo Copérnico, a Terra realiza um círculo completo em torno do Sol em aproximadamente 365 dias. Marte, por outro lado, faz esse mesmo trânsito em um tempo maior, 687 dias. Desse modo, a velocidade angular de translação da Terra acaba excedendo a velocidade angular de Marte, de tal modo que a Terra ultrapassa Marte periodicamente. Assim, quando a ultrapassagem acontece, um observador terrestre verá Marte parar nos céus, retroceder um pouco e, por fim, retornar o seu movimento progressivo.

Com efeito, ao sistema copernicano, ao supor o movimento de translação da Terra, nos oferece uma explicação relativamente simples para as irregularidades observadas no céu noturno, quando no ato da observação, o observador, que é transportado pelo movimento da Terra, ultrapassa o objeto observado, no caso, Marte. Assim, por essa explicação, as paradas e retrogradações observadas não são outra coisa senão meras aparências; ilusões de óptica, causadas por um mecanismo subjacente e imperceptível: o movimento da Terra.

Mas apesar de aparente simplicidade e da possibilidade de se explicar as aparências observadas pelos errantes, havia nesse novo sistema de mundo proposto por Copérnico um grande problema: como explicar o porquê dos elementos adjacentes à Terra (ar, nuvens, pássaros, etc.) moverem-se junto a ela em seu giro diário, como bem estabelece na quinta exigência elencada anteriormente? Para isso, Copérnico não tinha resposta, dado que faltava a seu modelo uma física que pudesse substituir a aristotélica. Em outras palavras, faltava ao modelo copernicano uma teoria de inércia. E mais: é importante lembrar que para Aristóteles,

e para a maioria dos filósofos naturais, os corpos dotados de gravidade tendem naturalmente para o centro do Universo. Assim, ao fazer da Terra um astro errante, deslocando-a do centro do Universo, como explicar a queda livre dos corpos? Sobre isso, Copérnico se limitava a dizer que os corpos pesados caíam em direção à Terra, esteja ela onde estiver. Em outros termos, o modelo também era desprovido de uma teoria da gravitação.

Desse modo, sob o ponto de vista de uma descrição realista, o sistema heliocêntrico copernicano deixava a desejar. É por esse motivo, isto é, pela falta de uma física que fosse condizente com as aparências, que alguns filósofos naturais e astrônomos rejeitavam uma proposta realista para o modelo copernicano e continuavam endossando o modelo já consagrado de Ptolomeu, mesmo que não acreditassem que tal modelo geocêntrico, com seus vários epiciclos e equantes, também pudesse refletir a estrutura real do Universo. Isso porque, a favor do sistema de mundo geocêntrico existiam duas coisas: a empiria e a física do Aristóteles. Assim, mesmo que aos olhos de um leitor moderno, ou mesmo aos olhos de autores como Galileu, tal física parecesse simplista ou ingênua, ela era capaz de fornecer respostas para as questões não respondidas pelo modelo de Copérnico. Isso ao que parece era suficiente para boa parte dos filósofos naturais e astrônomos do século XVII.

## 11 DE REVOLUTIONIBUS

As dificuldades enfrentadas pelo *Commentariolus* impulsionaram Copérnico reelaborar aos pontos de sua teoria heliocêntrica. O *De Revolutionibus orbium coelestium*, ou como comumente é mais referenciado pelos seus intérpretes, *De Revolutionibus*, ao que tudo indica, começou a ser redigido em 1515, em Frombork<sup>57</sup>. Mais do que uma obra de astronomia, o *De Revolutionibus* representou para Copérnico uma oportunidade de mostrar o seu grande amor pela ciência. Logo na sua introdução, encontramos um elogio à *Astronomia* que é considerada pelo nosso autor como a mais bela das artes. Segue a parte mais significativa desse elogio.

Entre os inúmeros e diversificados ramos das ciências e das artes, onde se recria o espírito humano, estimo que necessário dar preferência e conduzir com o máximo de zelo àquelas que se dedicam às coisas mais dignas de serem conhecidas. Tais são as que tratam das revoluções do mundo e do curso dos astros, de sua grandeza, de suas distâncias, do seu nascer e pôr e das causas dos outros fenômenos do céu que finalmente explicam tudo que contemplamos<sup>58</sup>.

No *De Revolutionibus*, além de defender o sistema de mundo centrado no heliocentrismo e no caráter planetário da Terra, Copérnico trabalhou na elaboração de deduções geométricas e tábuas astronômicas que previam com maior exatidão as posições do Sol, da Lua, e dos planetas. Isso porque, uma das motivações de Copérnico para produção dessa obra era o de fornecer datas mais precisas para o calendário papal. E é justamente ao Papa Paulo III, a quem é dedicada a obra, que o nosso autor se dirige ao solicitar que “impeça as mordeduras dos caluniadores”, dado que, ao afirmar que a Terra se move, o astrônomo temia estar chocando àqueles que acreditam estar confirmada pelo testemunho dos séculos o imobilismo e a centralidade terrestre no centro do universo.

Afinal, remover a Terra do seu centro, fazendo dela um simples astro errante assim como os demais, envolvia outras questões que não só as de ordem astronômica. Diz respeito também a questões que envolvem o plano da criação divina. As respostas para todas as perguntas sobre astronomia e cosmologia estavam na Bíblia. E nela lemos que o firmamento não é esférico, mas sim tem a forma de uma tenda retangular, uma espécie de tabernáculo. De acordo com o profeta Isaías: “Deus estendeu os céus como uma cortina em forma de tenda”<sup>59</sup>. Assim, de modo

<sup>57</sup> De acordo com o relato de Rheticus, um dos principais discípulos de Copérnico, foi o cônego Tideman Giese, o amigo mais íntimo do astrônomo, quem mais o estimulou a escrever o *De Revolutionibus*, cuja publicação só veio no ano de 1543 (MOURÃO, R.R. de Freitas. **Copérnico: pioneiro da revolução astronômica**. p. 182, 2003).

<sup>58</sup> COPÉRNICO. *De Revolutionibus orbium coelestium apud* Ronaldo Rogério de Freitas Mourão, 182, 2003.

<sup>59</sup> Ver **Bíblia Sagrada**. In: Isaías 40:21: Porventura não sabeis? Não ouviste? Não vos foi dito isso desde o princípio? Não entendestes desde a fundação da Terra? 22 Ele é o que está assentado em seu trono, acima da cúpula da Terra, cujos habitantes são para ele como gafanhotos; Ele é o que estende os céus como cortina e os desenrola como tenda para nela morar ...

semelhante, a Terra deveria ter uma forma retangular semelhante a um tabernáculo. De fato, Copérnico chega mesmo a citar Lactânio [250 – 325 d.C.], que, segundo suas próprias palavras, era “célebre escritor, mas reles matemático”, e que, com frequência, gostava de ridicularizar aqueles que ensinavam que a Terra tinha a forma de um globo.

Contudo, a posição de Copérnico sobre esses pensadores religiosos do passado que se propuseram a reinterpretar passagens das Escrituras, dando a estas uma conotação diferente daquela a que se originalmente se prestava – que era a de mostrar, de maneira alegórica, que Deus é único; Ele é o criador de tudo que há; e que sua criação é boa – era de total desprezo. Em uma passagem endereçada ao Papa Paulo III, o nosso autor comenta:

Se por acaso argumentadores loucos que, apesar de ignorarem inteiramente as matemáticas, se permitem, mesmo assim, um julgamento acerca destas elucubrações, em razão de alguma passagem da Escritura, malevolamente deturpada para se acomodar às suas opiniões, ousam censurar e atacar minha obra, muito bem! Não me preocupo absolutamente com eles; ou melhor, desprezo o seu julgamento como temerário<sup>60</sup>.

E conclui: “As matemáticas escrevem-se para os matemáticos, aos quais também está minha obra, se não me engana minha ideia, há de parecer algo útil à República Eclesiástica, da qual Vossa Santidade ocupa a chefia suprema”<sup>61</sup>.

Apesar das evidentes consequências da adoção do caráter planetário para o plano teológico e moral, não temos a intenção de abordar essa temática, dado que tal abordagem foge do escopo argumentativo da nossa dissertação. Tal temática só foi explicitada para mostrar que Copérnico não estava lidando unicamente com uma questão de cunho astronômico. Pesava contra o copernicanismo toda uma tradição cristã, que via a Terra e o homem como o centro e o ápice da criação divina. Ao transforma a Terra em um simples astro errante, Copérnico tinha que lidar com todas essas questões.

Contudo, vamos nos deter nas questões de ordem astronômicas e filosóficas que a mudança de perspectiva, advinda da perda da centralidade da Terra e da adoção do heliocentrismo, proporcionam ao observador no ato da observação. Com efeito, esse é o verdadeiro significado da chamada revolução copernicana e do *De Revolutionibus*: a mudança de paradigmas<sup>62</sup> no plano epistemológico e científico que levará à consolidação da ciência moderna.

---

<sup>60</sup> Ibidem. p. 184, 2003.

<sup>61</sup> Ibidem.

<sup>62</sup> Aqui, a noção de paradigma está sendo empregada no seu sentido etimológico de *exemplares*. Com isso, tomo o sistema de mundo copernicano como um *modelo exemplar*. Assim, em uma pesquisa científica, o copernicanismo é assumido como um modelo, ou padrão, a ser seguido como referencial teórico norteador.

Assim, para compreender melhor todo esse processo de mudança paradigmática no plano epistemológico, vamos analisar agora a grande contribuição de Copérnico no que diz respeito à experiência do observador terrestre. Para tanto, vamos analisar o capítulo cinco do livro um do *De revolutionibus*, capítulo no qual encontramos o princípio de relatividade óptica, e que dará ao nosso autor o argumento necessário para justificar a falta de percepção, por parte do observador, do movimento terrestre, o que, ao fim e ao cabo, permitirá a Copérnico e aos seus seguidores conferir uma maior plausibilidade racional à tese do duplo movimento da Terra.

## 12 O PRINCÍPIO DE RELATIVIDADE ÓPTICA

A realidade copernicana, com a Terra móvel em torno de um Sol imóvel e no centro do Universo, é totalmente contra intuitiva, diferente da ptolomaica cuja simples observação do Sol nascendo a leste e se pondo a oeste, após circunscrever a abóbada terrestre, é suficiente para confirmar a centralidade da Terra. Desse modo, para que a sua tese pudesse ganhar um pouco de plausibilidade racional, Copérnico se vê obrigado a introduzir em seu sistema de mundo um princípio de relatividade óptica que atua diretamente no observador, e que desempenha um papel central na transformação da experiência, que deixa de ser direta e passa a ser indireta, na medida que os dados da observação passam a ser reorganizados pelo intelecto a partir de uma visão de mundo heliocêntrica, adquirindo com isso o caráter científico moderno. Para tanto, precisamos revisitar as duas principais obras do astrônomo polonês, o *Commentariolus* e o *De Revolutionibus*.

Como foi dito, o *De Revolutionibus* é em grande parte uma reafirmação das ideias do *Commentariolus*. Contudo, não se trata de uma versão mais desenvolvida deste último. Alguns detalhes técnicos chamam a atenção no que diz respeito a uma maior parcimônia no número de círculos utilizados para dar conta da órbita terrestre. Por exemplo, enquanto que no *Commentariolus*, Copérnico utiliza um deferente concêntrico para o centro da órbita terrestre sobre o qual movem-se os epiciclos, no *De Revolutionibus* esse esquema é substituído por um único círculo excêntrico para o centro da órbita da Terra sobre o qual move-se apenas um epiciclo, ao invés de dois. Ao que tudo indica, essa modificação se deve ao fato de Copérnico ter repensado aspectos técnicos a respeito da linha que liga o Sol à sua máxima aproximação à Terra. Para Copérnico, essa distância não é fixa, mas variável, dado que gira lentamente ao longo do ano.

Além disso, há no *De Revolutionibus* mudanças no que se refere a precessão dos equinócios, assim como do movimento da Terra em relação a Lua. Essa mudança se deve ao desejo de Copérnico conferir ao seu modelo da capacidade de poder incorporar todos os fenômenos celestes conhecidos. Para tanto, o nosso autor chega a explicar movimentos que não existem, isto é, movimento que não foram confirmados por meio da observação, como, por exemplo, a existência de dois movimentos circulares para explicar a oscilação da velocidade de precessão dos equinócios.

Mas, deixando esses aspectos mais técnicos ligados a mecânica astronômica de lado e focando mais no quesito novidade, a grande contribuição que o *De Revolutionibus* nos traz, está

na adoção de um princípio regulador que comanda a experiência do observador terrestre. Trata-se de um princípio que foi nomeado por Copérnico de *princípio de relatividade óptica*.

Tal princípio será apresentado no capítulo 5 do livro 1 do *De Revolutionibus* ao discutir a conveniência de se adotar um movimento circular para a Terra, que melhor explicaria as aparentes órbitas irregulares dos planetas vista por um observador terrestres. Assim, sobre esse princípio Copérnico disserta:

É que, de uma maneira geral, toda mudança de posição que se vê é devida ao movimento da coisa observada, ou do observador, ou obviamente de um e de outro. Na verdade, entre coisas que se movem igualmente na mesma direção, não se nota qualquer movimento, isto é, entre a coisa observada e o observador (COPÉRNICO, *apud* Pablo Rubens Mariconda *et al*, p. 66, 2006).

Evidentemente, o que mais chama a atenção em um primeiro momento é que esse princípio trata da relação entre o observador e a coisa observada no ato da observação. Com efeito, o princípio opera sobre o observador, impondo-lhe uma regulação epistemológica sobre a experiência sensível. É importante salientar que está é a primeira vez que se introduz em uma teoria científica um princípio do tipo epistêmico, cuja função não é outra senão, promover uma reorganização e reinterpretação dos dados empíricos. Cabe lembrar que tanto o aristotélico quanto o ptolomaico eram obrigados a aceitar exatamente aquilo que via, cabendo unicamente encontrar meios instrumentais que tornassem a experiência daquilo que observava explicável à luz da razão. Havia, portanto, uma relação de identidade entre o que era visto e a realidade.

Por outro lado, o Copernicano não era obrigado a aceitar essa relação de identidade, dado que a adoção desse princípio de relatividade óptica o permitia postular a respeito do efeito que o movimento sobre as aparências, garantindo assim a necessária reinterpretação das observações astronômicas.

Outra coisa que chama a atenção é que o princípio de relatividade ótica determina três situações possíveis entre o observador e a coisa observada quanto ao movimento e ao repouso:

- 1) quanto ao movimento da coisa observada, esse movimento pode ser devido a três situações:
  - 1.1) à própria coisa;
  - 1.2) ao observador;
  - 1.3) ou a ambos.
- 2) quanto ao repouso, esse pode ser causado por ambos estarem animados pelo mesmo movimento, que é justamente o caso existente entre nós, observadores terrestres, e a

Terra. Ambos estamos animados com o mesmo movimento circular, tanto de rotação quanto de translação, o que gera entre nós e a Terra um repouso relativo.

- 3) Levando-se em conta as condições especificadas pelo princípio de relatividade óptica quanto a experiência do observador, há a possibilidade de correção racional das aparências reveladas pela observação astronômica, de tal forma que é possível tornar aquilo que se vê compatível com o movimento da Terra. Nesse sentido, a adoção desse princípio confere maior plausibilidade racional à tese copernicana de duplo movimento terrestre, à medida que torna o sistema de mundo proposto como Copérnico um modelo compatível com a experiência cotidiana.

Sobre esse ponto, vejamos como a adoção do princípio de relatividade óptica permite racionalizar a experiência cotidiana no que diz respeito ao conjunto de observações astronômicas que se opõe a movimento da Terra.

Consideremos primeiro o movimento diurno, isto é, aquele que responsável pela produção do dia e da noite. Tal movimento é percebido pelo observador terrestre como sendo produzido pelos céus, que se movem diariamente em torno da Terra no sentido que vai de leste a oeste em um intervalo de 24 horas. Esse movimento pode ser representado de duas maneiras:

- 1) Segundo a tradição: que afirma que o movimento diurno é devido à movimentação da abóbada terrestre, que, ao girar, leva consigo o Sol, a Lua e todo um conjunto de estrelas. Pela tradição, esse movimento é real, e não há motivos para se duvidar dele, dado que é compatível com a experiência sensível mais imediata.
- 2) De acordo com Copérnico: o movimento diurno do céu é aparente e é provocado pelo movimento da Terra em torno de seu próprio eixo no sentido que vai de oeste a leste, dando uma volta completa em um intervalo de tempo de 24 horas.

Em termos puramente astronômicos, isto é, matemáticos, as duas formas de representar o movimento diurno são possíveis. A tradição, no entanto, acaba sendo o modelo que representa a sucessão dos dias e das noites, pois essa se mostra compatível como a experiência diária do observador terrestre. Mas, pela adoção do princípio de relatividade óptica, o movimento real é justamente aquele que não é visível e nem perceptível pelo observador, pois este permite regular os dados da experiência e reinterpretar o que ele vê, de tal modo que o movimento aparente da abóbada celeste aparece como uma imagem em negativo daquilo que realmente acontece. A inversão é necessária, porque o movimento que ocorre é relativo entre a Terra e o resto do universo, não havendo parte alguma da Terra que não participe dessa relação.

Consideremos, agora, o movimento anual do Sol em sua eclíptica. Esse movimento, de acordo com a observação astronômica, realiza-se na direção que vai de ocidente a oriente

segundo a ordem zodiacal. Pelo tradição aristotélica-ptolomaica, a realidade como vimos é igualada a aparência, de tal modo que o Sol realiza a sua revolução anual na mesma direção da que é vista pelo observador terrestre. O sistema copernicano, por sua vez, transfere a revolução anual do Sol para a Terra, mas, nesse caso, não precisa inverter a direção do movimento, dado que este movimento anual é relativo entre a Terra e o Sol, e, dessa forma, deve ser projetado contra a faixa zodiacal de fundo da esfera celeste. Nesse caso, independente de qual dos dois astros se move, se a Terra ou o Sol, o movimento será o mesmo, isto é, na direção oriental, e a projeção contra a faixa de fundo zodiacal manterá essa mesma orientação.

Mas, como pode ser notado, a importância do princípio de relatividade óptica de Copérnico vai além de promover um ajuste nas posições astronômicas para justificar a hipótese do duplo movimento da Terra: a rotação e a translação. O verdadeiro significado do princípio de relatividade é epistemológico na medida que atua sobre o observador no ato da observação promovendo uma reorganização dos dados observados que passam a ser orientados por uma visão de mundo heliocêntrica. Desse modo, a experiência do observador terrestre deixa de ser passiva e passa a ser ativa, pois agora o observador passa a refletir sobre o que vê. Com isso, a experiência do observador adquire o sentido de experiência científica moderna.

É importante lembrar que a concepção geocêntrica de mundo estar alicerçada na suposta unidade entre o repouso da Terra e o sensível. Por essa concepção, as aparências sensíveis são tomadas pelo seu valor de face, como que revelando diretamente uma realidade sem distorções. Em outras palavras, o real é aquilo que aparece.

Mas ao adotar a ideia de que a experiência do observador terrestres encontra-se sob a influência de um princípio epistêmico, o copernicanismo obriga o observador a reorganizar dos dados da experiência sensória, modificando assim a categoria da aparência. Com efeito, nessa concepção de experiência, tanto a posição quanto o estado de movimento ou repouso do observador afetam aquilo que é visto, de tal modo que o valor de verdade das proposições originadas por essa experiência são sempre relativas a perspectiva que as engendrou.

Em suma, a intervenção racional proporcionada pela adoção do princípio de relatividade óptico de Copérnico atua em dois planos: no científico e no epistemológico. No plano científico, o movimento do observador adquire uma função de base, uma vez que visa fornecer uma explicação para as observações astronômicas, apresentando para tanto uma lei subjacente invisível como causa das aparências sensíveis. No plano epistemológico, o movimento do observador tem a função de permitir que o sujeito da observação reflita sobre as condições nas quais a experiência está ocorrendo. Isso permite que a experiência científica se afaste da

experiência do homem comum, uma vez que o sujeito da observação atua ativamente reinterpretando os dados da observação sensível tendo como base uma Terra em movimento.

Contudo, apesar de toda essa capa de racionalidade que o copernicanismo lança sobre plano científico das observações astronômicas, ainda haviam questões que pesavam contra à tese de duplo movimento da Terra. Copérnico não consegue explicar por que dos corpos graves, isto é, dotados de peso, caem sempre em linha reta e em direção ao centro da Terra. A gravidade no copernicanismo é simplesmente assumida como algo pertencente à Terra independentemente de onde ela estiver, se no centro do universo ou fora dele. Além do mais, Copérnico também não explica por que os corpos próximos a Terra girariam junto com ela em sua rotação diário em torno de seu próprio eixo, como em seu movimento anual de translação ao redor do Sol. Em outras palavras, falta ao sistema de mundo copernicano uma teoria da gravitação que desse conta tanto da queda livre dos corpos como a manutenção dos corpos próxima a ela, como uma espécie de “cola”, em seu duplo movimento, o de rotação e translação<sup>63</sup>.

Na verdade, para ser justo com Copérnico, a ideia de que as coisas se manteriam próxima à Terra independente de seu movimento, porque a gravidade seria algo inerente à própria Terra, pode ser considerado como uma ideia fraca para justificar a sua teoria do duplo movimento, mas tal ideia contém em si o germe de uma nova concepção de movimento que só será desenvolvida por pensadores que o sucederão, tais como Galileu Galilei. A linha de raciocínio de Copérnico trabalha no sentido de aplicar aos fenômenos terrestres as mesmas leis da mecânica celestes, o que será considerado como um passo decisivo para o abandono da divisão qualitativa entre Céu e Terra.

Segundo Koyré, a argumentação de Copérnico está baseada em uma concepção um tanto mítica da “natureza comum da Terra e das coisas terrestres”, mas que procura explicar o movimento aparentemente reto dos corpos graves em direção a Terra, ou melhor, em direção ao centro da Terra, como sendo, na verdade, um movimento circular, o qual se torna para nós, observadores terrestres e também partícipes desse movimento, como inexistente<sup>64</sup>. A física desenvolvida posteriormente por Galileu irá transformar essa noção óptica de relatividade em uma noção mecânica, na qual corpos que participam de um mesmo sistema físico que se move na mesma direção, terão seus movimentos considerados como não operativos. Voltarmos a essa noção quando estivermos discutindo as objeções mecânicas ao movimento da Terra.

---

<sup>63</sup> Essa “cola” não outra coisa senão o princípio de inércia, que irá receber uma formulação inicial com Galileu, mas só será perfeitamente concebida e estabelecida por Newton.

<sup>64</sup> Ver Alexandre Koyré in: **Estudos de história do pensamento científico**. p. 188, 1991.

Somado a essas questões de ordem mais terrestre, no que diz respeito aos aspectos estritamente astronômicos, Copérnico ainda continua preso ao dogma platônico do movimento circular. Isso o que faz com que no *De Revolutionibus* o nosso autor tenha que adicionar mais vinte e um epiciclos, acabando por aumentar a complexidade do seu próprio sistema frente ao de Ptolomeu. Dessa forma, o grande trunfo no quesito simplicidade que o *Commentariolus* detinha em relação ao sistema ptolomaico, acabou sendo perdida no *De Revolutionibus*<sup>65</sup>.

Ademais, por mais que Copérnico tenha procurado mostrar que o movimento da Terra é sempre relativo e que devemos olhar para ele com os olhos da matemática, a falta de evidências empíricas que corroborem o caráter planetário da Terra ainda aparece como um grande problema a ser resolvido<sup>66</sup>. Essa evidência será introduzida por Galileu por meio de um instrumento que terá a mesma função, no que diz respeito a promover a correção da experiência do observador, do princípio de relatividade óptica copernicano: o telescópio.

---

<sup>65</sup> Por exemplo, no caso de Vênus, o movimento em latitude, descrito no *Commentariolus* por dois círculos, passa a exigir seis no *De Revolutionibus* (MARTINS, R. Andrade. p. 90, 1990).

<sup>66</sup> É evidente que o que subjaz a ideia de olhar como os olhos da matemática, não com os da sensibilidade, é que a natureza é essencialmente números e formas geométricas. Assim, evidentemente se você não dominar esse tipo de linguagem, jamais vai conseguir enxergar o mundo como um geômetra, como Copérnico e Galileu enxergavam.

### 13 IMPLICAÇÕES METAFÍSICAS DO COPERNICANISMO

Antes de dissertarmos sobre a importância do telescópio para a experiência moderna, é importante analisarmos as implicações metafísicas ao adotarmos o sistema de mundo copernicano. A primeira pergunta que devemos fazer é: *É legítimo adotar qualquer outro ponto de referência astronômica que não seja a Terra?* Do ponto de vista puramente matemático, vimos que não faz diferença qual referencial se adote, desde que se consiga explicar os fenômenos celestes e, com isso, dar conta das aparências. Mas a questão não envolve apenas a matemática. Existem questões de ordem física que precisam ser atendidas. E nesse aspecto, toda a filosofia natural e empírica da época de Copérnico se manifestou contra o seu novo sistema de mundo, pois ele não estava de acordo com as observações.

A questão, portanto, não significava somente perguntar se a astronomia era geometria, todos estavam de acordo com isso, mas saber se o próprio universo era essencialmente matemática. Só porque esse novo modelo proposto por Copérnico proporcionava uma explicação dos fenômenos astronômicos de forma mais harmoniosa e simples era de fato legítimo fazê-lo? Afinal, como mencionamos anteriormente, as nossas observações são sempre geocêntricas. Admitir um novo referencial significava abandonar toda a física e cosmologia aristotélica. O fato de Copérnico e outros terem pensado sobre isso, é indicativo de que havia, entre os intelectuais daquela época, um pano de fundo alternativo capaz de fazer frente ao aristotelismo. Esse pano de fundo era o platonismo.

Intelectualmente, o início do período medieval é marcado pela síntese entre a filosofia grega e a teologia cristã, que passou a contar com uma expressão predominantemente platônica, ou melhor, neoplatônica. E tal filosofia era detentora de um forte componente pitagórico. Todas os pensadores da escola neoplatônica gostava de expressar a sua doutrina em termos de teoria dos números, seguindo assim a orientação de Platão.

Durante esse período, o trabalho mais significativo do platonismo que mais influenciou os medievais foi o *Timeu*<sup>67</sup>. Nesse diálogo, mais do que em qualquer outro, Platão é apresentado

---

<sup>67</sup> O *Timeu* é um texto platônico no qual o autor estabelece a constituição do mundo sensível e dos seres que o habitam, com especial destaque para o homem. Para tanto, o filósofo percorre uma trajetória que tem seu início com a filosofia pré-socrática. A relação de Platão com essa tradição é ambígua. Se por um lado o filósofo tenta superar muito dos preceitos encontrados nesses filósofos naturais, por outro, importa vários deles para compor a sua cosmovisão, e cuja autoria o filósofo propositalmente silencia. Platão escreve sua obra como um ponto de viragem dessa tradição, e não como uma continuidade. Critica os filósofos naturais por estes estabelecerem como princípio certos elementos do mundo natural. Para Platão, no entanto, só existe um princípio e este é da ordem do intelecto, e não dos sentidos. A maior contribuição para a elaboração do *Timeu* vem sem dúvida da filosofia de Empédocles e do pitagorismo, de onde inclusive Platão praticamente irá retirar todo o seu arcabouço teórico para a constituição de sua física e do mundo sensível.

não só como um pitagórico, mas também como um filósofo preocupado com assuntos que pertencem à filosofia natural. Soma-se a isso o fato de, nesse período, os únicos trabalhos acessíveis de Aristóteles o apresentarem muito mais como um lógico do que como um filósofo possuidor de uma filosofia natural bastante ampla. O resultado disso foi que, para os intelectuais medievais entorno do ano 1000, enquanto Platão era tido como um filósofo natural, que se utilizava de um raciocínio geométrico pitagórico, Aristóteles era visto como um lógico de dialética árida.

Foi somente a partir do século XIII que Aristóteles pôde ser conhecido em sua íntegra por toda a cristandade. É interessante que até aquele momento, Platão era o filósofo da natureza enquanto que o pouco que se conhecia do estagirita o qualificava mais como um dialético. Mas como a descoberta do “*corpus aristotelicum*” pela cristandade ocidental, Aristóteles passou a ser o filósofo da natureza e Platão se tornou uma leitura diminuta entre os jesuítas. Não é que o platonismo, e como ele o pitagorismo, foram abandonados pela cristandade. O que aconteceu foi que entre os intelectuais cristão, Platão e Pitágoras foram considerados como pensadores menores frente ao grande Aristóteles. Tanto que o estagirita passou a ser conhecido pela alcunha de “*O Filósofo*”. A partir desse momento, Aristóteles e a sua Física passaram a representar a cosmovisão da cristandade ocidental e a matemática foi relegada a sua função mais prática voltada ao cálculo, cujas hipóteses não possuíam alcance real no mundo no sentido de ser uma ciência capaz de revelar as causas dos fenômenos naturais. Isso ficou a cargo da filosofia natural, particularmente da física do Aristóteles.

O interesse pelo platonismo e pela matemática só veio a reacender a partir do século XV e XVI, quando as mentes humanas se tornaram mais agitadas e puderam romper com a tradição vinda do aristotelismo. Nesse período, fundaram-se em Florença na Itália, sob o patrocínio da família Médici, algumas academias dedicadas ao estudo das obras de Platão e de Pitágoras. E durante esse renascimento, o elemento pitagórico presente em obras como o *Timeu* ganhou cada vez mais proeminência e destaque.

Foi sob esse clima de agitação intelectual que a ideia de um universo geometricamente ordenado presente no pitagorismo de Platão começou a entrar em conflito com a cosmologia qualitativa de Aristóteles. A corrente platônica desse período passou a ver como legítima uma matemática universal da natureza. Segundo essa via de pensamento, o universo é essencialmente geométrico e seus constituintes últimos são nada mais que porções limitadas de espaço.

Mas, de acordo com o aristotelismo, a quantidade representava para a filosofia natural do Aristóteles apenas uma das dez categorias da tábua da substância, sendo que essa nem

mesmo constituía a categoria mais importante. O universo, segundo essa linha do aristotelismo, era algo essencialmente qualitativo. Desse modo, a chave para o seu conhecimento encontrava-se na lógica e não na matemática.

Assim, se a matemática possui uma dignidade intermediária, assumindo dessa forma um lugar secundário na filosofia, então a ideia de substituir toda a uma cosmovisão já bem estabelecida por uma outra baseada em uma suposta harmonia geométrica mais simplificada do espaço, não poderia deixar de ser ridícula e, por vezes, até mesmo fantasiosa para um defensor da tradição assentada no aristotelismo. Por outro lado, para um platônico, ou melhor, para a forma como o platonismo foi interpretado nesse período, esse era o caminho mais lógico, e por que não dizer mesmo, mais natural, a ser seguido. E, embora parecesse uma mudança deveras radical, quando se acredita que a estrutura do universo em última instância é essencialmente números e formas geométricas, a distinção qualitativa existente entre Céu e Terra defendida pelo aristotelismo passa a ser vista apenas como aparente. Em outras palavras, Céu e Terra seriam constituídos pela mais substância. Como consequência, tanto o domínio celeste quanto o terrestre estariam submetidos as mesmas leis.

Portanto, como a nossa Terra não constituía uma exceção, sendo, assim como o restante do universo, de natureza essencialmente geométrica, tudo que se aplica aos céus aplica-se também à Terra. E, dessa forma, a relatividade dos valores matemáticos valem para ambos os reinos. Para Copérnico, um sistema de mundo que apresenta como referência o Sol e não a Terra, nada mais era do que uma redução matemática de um complexo esquema geométrico, envolvendo esferas homocêntricas, em um muito mais simples e harmonioso.

## 14 GALILEU E AS PRIMEIRAS OBSERVAÇÕES TELESCÓPICAS

No final de 1609, Galileu Galilei fez a Europa conhecer as grandes novidades astronômicas que fizera dos Céus. Todas essas descobertas foram publicadas no O *Sidereus Nuncius*<sup>68</sup>, obra de grande importância para a ciência astronômica, não só pelo seu teor científico, mas também por apresentar ao mundo o telescópio, um instrumento capaz de ampliar o sentido natural da visão. Consciente da importância das suas descobertas, nos primeiros meses de 1610, Galileu dedicou-se a escrita de um pequeno resumo desses tão grandiosos fatos. Em pouco mais de 60 páginas, o físico italiano deu a conhecer que a Lua tem uma superfície irregular, apresentando vales e montanhas, que existem muito mais estrelas fixas do que aquelas que conseguimos distinguir a olho nu, que a Via Láctea é composta por uma abundância de estrelas muito próximas e, principalmente, que Júpiter possui Luas. Em meio a essas descobertas, Galileu fez com que todos passassem a conhecer também o telescópio, o instrumento que tornou possível todas essas realizações, e que causou tanto espanto e admiração quanto as descobertas em si.

As notícias das descobertas de Galileu correu rapidamente a Europa, chegando ao conhecimento de outro astrônomo e matemático brilhante, o alemão Johannes Kepler [1571 – 1630], que ficou sabendo da existência dos satélites de Júpiter por volta de 15 de março de 1610 por intermédio de um amigo, Johann Matthäus Wackher. Rapidamente Galileu passou a ser conhecido como o novo Colombo, e em pouco tempo a notícia passou a circular por todo o mundo, chegando até mesmo a lugares como a Índia, em 1612, e a Pequim, em 1614. Com isso, o modelo copernicano, que apesar de já ser bastante conhecido, estava longe de ser aceito, justamente por carecer de evidências empíricas sólidas, ganhou muito mais plausibilidade e justificação.

Antes do *Sidereus*, Galileu era apenas um professor universitário discreto e talentoso, mas que ainda não tinha mostrado toda a sua genialidade. Contudo, agora como mensageiro das mais espantosas e maiores notícias, o físico italiano, de uma hora para outra, passou a ser o maior homem da ciência de toda a Europa. As descobertas de Galileu mudaram não só o mundo, mas também ele próprio. Esta mudança se deu em dois sentidos, que estão intimamente relacionados: em primeiro lugar, o livro assinala uma mudança de interesse por parte de Galileu, que deixou de trabalhar exclusivamente com questões mecânicas e passou a se dedicar também a astronomia; e em segundo lugar, sendo essa possivelmente a mudança mais significativa, o

---

<sup>68</sup> A partir desse ponto, iremos nos reportar à obra unicamente por “*Sidereus*”.

livro não só apresenta Galileu para o público, com também anuncia oficialmente o copernicanismo para o mundo. Nesse capítulo serão analisadas as primeiras observações telescópicas de Galileu e a importância que tais observações tiveram no estabelecimento do novo modelo de ordenação cósmica.

O *Sidereus* principia com o nosso físico alertando sobre as “grandes coisas” que irá expor nesse seu pequeno tratado, para que sejam contempladas e examinadas por todos aqueles que se dedicam ao estudo da natureza. Uma dessas novidades é justamente o telescópio, que se destaca logo no frontispício da obra, sendo descrito como um instrumento “como o auxílio do qual elas [as grandes coisas] se tornaram manifestas aos nossos sentidos”. E foi graças a esse instrumento que pôde observar um número excessivamente grande de estrelas fixas, muito maior do que aquele que à vista desarmada era capaz de mostrar, chegando mesmo a ultrapassar em mais de dez vezes o número conhecido de até então.

Mas, de todas as descobertas, a que mais chamou a atenção de Galileu foi sem dúvida a que fez sobre a esfera lunar. De acordo com suas observações, a Lua não é de modo algum uma esfera lisa, perfeitamente polida como defendia Aristóteles. A Lua apresenta vários acidentes geográficos que dão a ela uma superfície desigual e uma aparência enrugada, de tal modo que, assim como a Terra, está coberta em todas as suas partes por enormes protuberâncias, depressões e sinuosidades.

A Lua não é de maneira nenhuma revestida de uma superfície lise e perfeitamente polida, mas sim de uma superfície acidentada e desigual, e que, como a própria face da Terra, está coberta em todas as partes por enormes protuberâncias, depressões profundas, e sinuosidades<sup>69</sup>.

Essas afirmações a respeito da superfície da Lua são de importância capital um no processo de dissolução do cosmo aristotélico, que se baseia na ideia de uma distinção qualitativa do ponto de vista ontológico entre os Céus e Terra. Segundo Aristóteles, tudo que compete aos Céus seria hierarquicamente de ordem superior ou que compete a Terra, pois enquanto que o primeiro é regido pela perfeição e imutabilidade, o segundo é governado pela imperfeição e pelo devir. Porém, ao revelar que a superfície lunar é dotada dos mesmos acidentes geográficos encontrados na Terra, Galileu deu um importante passo para o fim dessa concepção qualitativamente e hierarquicamente diferenciada de cosmo, de tal forma que, passou-se a vigorar a possibilidade de uma uniformidade e homogeneidade envolvendo o Céu e a Terra. De acordo com Koyré, o processo de dissolução do cosmo aristotélico significou, dentre as

---

<sup>69</sup> S.N. GALILEU, p. 152.

revoluções que marcaram o advento da modernidade, a revolução mais profunda que fora sofrida pelo espírito humano desde a invenção do cosmo pelos gregos<sup>70</sup>.

Mas, apesar da possibilidade de um cosmo uniforme e homogêneo, o que mais impeliu Galileu a divulgar as suas descobertas foi a observação de quatro estrelas errantes, que antes dele, eram de total desconhecimento, e que apresentam, tal como Vênus e Mercúrio em torno do Sol, as suas revoluções em torno de um outro astro que não a Terra. E como forma de fugir de uma possível perseguição por parte da Igreja Católica, dado que a descoberta de que existem estrelas que não possuem a Terra como o centro de suas revoluções, mas sim outros astros, fortalece à tese copernicana, Galileu não deixa de exaltar o poder da graça e iluminação divina que lhe permitiu conceber o instrumento que tornou possível descobertas tão grandiosas. Assim, segundo ele, “Todas estas coisas foram descobertas e observadas há alguns dias por meio de uma luneta concebida por mim depois de ter sido iluminado pela graça divina”.

Em ponto delicado da obra a respeito da autoria do telescópio, Galileu relata sobre alguns rumores que lhe chegará aos ouvidos de que um belga teria construído uma luneta, a qual permitia ao seu portador enxergar objetos distantes como se estivessem muito próximos. É bem verdade que Galileu nunca reclamara para si a primazia sobre o telescópio. O que de fato afirma é que essa notícia lhe despertou o interesse em pesquisar as razões e os meios necessários que lhe permitissem construir um instrumento semelhante, o que, segundo ele, foi capaz de fazê-lo em pouco tempo, tendo como base a teoria das refrações<sup>71</sup>. O que se segue a partir daí, é a descrição do método pelo qual lhe fora possível a construção de seu próprio instrumento, por meio de uma série de adaptações, e das coisas por ele observadas.

Inicialmente, preparei um tudo de chumbo em cujas extremidades ajustei duas lentes de vidro, ambas planas numa face, sendo uma delas convexa na outra face, e uma outra côncava. Aproximando o meu olho da lente côncava observei os objetos bastantes maiores e mais próximos. Na verdade, surgiram três vezes mais próximos e nove vezes maiores do que quando visto a olho nu. Construí, depois, um outro [instrumento] mais exato que apresentava os objetos sessenta vezes maiores. Finalmente, sem poupar qualquer trabalho ou dinheiro, foi-me possível construir um instrumento tão excelente que as coisas com ele vistas apareciam quase mil vezes maiores e mais do que trinta vezes

<sup>70</sup> KOYRÉ, Alexandre, Galileu e Platão: Do mundo do “mais ou menos” ao universo da precisão, 1986, p. 19.

<sup>71</sup> Galileu continuará advogando a ideia de que chegou à invenção do telescópio por meio da “teoria das refrações”. Contudo, a maior dos historiadores da ciência são unânimes em admitir que Galileu nunca chegou de fato a dominar os princípios ópticos subjacentes ao telescópio, e que nem sequer teria conseguido compreender o funcionamento de tal instrumento óptico, quando este lhe fora apresentado por Kepler na *Dioptrice* [1611]. O mais provável é que Galileu tenha conseguido aperfeiçoar o seu telescópio pelo método de tentativa e erro, isto é, de modo muito mais artesanal e empírico do que puramente teórico. (ÉVORA, Fátima Regina Rodrigues. **A descoberta do telescópio: fruto de um raciocínio dedutivo?** Cad. Cat. Ens. Fís., Florianópolis, 6 30 (Número especial): 30-48, jun. 1989).

mais próximas do que quando observadas apenas com as faculdades naturais<sup>72</sup>.

Imediatamente após a elaboração do seu telescópio, Galileu pôs-se a observar os primeiros astros. A primeira observação foi da Lua, que de tão próxima [6x], mais parecia que na verdade estava afastada por não mais que dois raios terrestres, o que vale aproximadamente 12.740 Km. Depois, com grande espanto e alegria na alma, passou a observar uma miríade de estrelas, tanto fixas quanto errantes, que habitavam o espaço cósmico profundo, uma realidade inteiramente nova e inexplorada que se descortina diante de seus olhos.

Mas, passada essa excitação inicial, Galileu logo se põe a imaginar um modo que lhe permitisse medir a distância entre essas novas estrelas, coisa que por fim descobre. E para aqueles que, assim como ele, pretendam perscrutar os céus em busca das novidades apontadas e enumeradas até aquele momento, o instrumento precisa ter uma capacidade de ampliação de quatrocentas vezes. Afim de que qualquer pessoa possa fazer suas próprias observações astronômicas, Galileu transmite toda a metodologia necessária para que o telescópio usado consiga a capacidade de ampliação necessária. Assim, segundo o físico italiano:

[...] para que qualquer pessoa consiga, com um pouco de trabalho, determinar a ampliação do instrumento, desenhe dois círculos ou dois quadrados num papel, um dos quais será quatrocentas vezes maior do que o outro, o que sucederá quando o diâmetro do maior for vinte vezes o comprimento do outro<sup>73</sup>. Depois olhará de longe, em simultâneo, ambas as folhas postas numa mesma parede, a mais pequena com o olho aplicado à luneta e a maior com o outro olho, à vista desarmada. Isto pode ser feito facilmente com ambos os olhos abertos ao mesmo tempo. As duas figuras apareceram, então, do mesmo tamanho, se o instrumento ampliar os objetos de acordo com a proporção desejada<sup>74</sup>.

Após descrever como se deve proceder para se determinar a ampliação adequada do telescópio, segue-se, agora, a uma descrição metodológica de como realizar a medição da distância entre as estrelas. Essa é sem dúvida a parte mais técnica da obra e envolve o método clássico da determinação da paralaxe estelar, em que medisse o desvio aparente da posição de uma estrela tendo a Terra como referencial. Para tanto, usa-se um cálculo trigonométrico, no

---

<sup>72</sup> S.N. GALILEU, p. 153.

<sup>73</sup> O procedimento aqui descrito não foi propriamente uma invenção de Galileu. Trata-se de um procedimento que vinha sendo utilizado pelos fabricantes de lentes desde final do século XVI. Uma técnica muito semelhante aparece descrita na obra de Benito Daza de Valdés, denominada *Uso de los Antojos* [1623].

<sup>74</sup> S.N. GALILEU, p. 154.

qual calcula-se a distância a partir do ângulo formado como o deslocamento aparente da estrela projetada contra um fundo de objetos distantes.

O que é dito em seguida é uma descrição e enumeração das novidades apresentadas logo no início da obra, com a diferença de que agora há uma descrição com uma riqueza maior de detalhes. Nesse processo, Galileu detém um bom tempo analisando a superfície lunar, mostrando que esta não é de forma alguma parecida com àquela defendida pelos filósofos antigos, como sendo devidamente polida e brilhante. No entanto, tal riqueza de detalhes é conseguida mediante dedução a partir das sombras e manchas projetadas na superfície da Lua, e não por uma observação direta dos vales e montanhas. Então, por meio de uma analogia com a Terra, mais especificamente, a partir do comportamento da luz projetado sobre a superfície terrestre, Galileu deduz que a Lua apresenta os mesmos relevos geográficos existentes em nosso planeta, pois, quando atingida pela luz solar, a superfície lunar apresenta as mesmas características vistas aqui na Terra. Assim, por analogia, afirma ele:

Ora, temos na Terra uma visão totalmente semelhante, no momento do nascer do Sol, quando dirigimos o nosso olhar sobre os vales que ainda não estão banhados pela luz, e as montanhas que os cercam resplandecem, já do lado oposto, ao Sol. E tal como as sombras das cavidades terrestres diminuem à medida que o Sol se eleva, assim também estas manchas lunares perdem as suas trevas à medida que a parte luminosa cresce<sup>75</sup>.

Essa analogia com a Terra reforça ainda mais a ideia de uma homogeneidade entre esses dois astros, dado que o comportamento da luz solar sobre a superfície terrestre e lunar é o mesmo. Esse fato depõe contra à cosmologia aristotélica, que estabelece uma distinção qualitativa entre a Terra e a Lua<sup>76</sup>. Vale lembrar que, enquanto a Terra é um reino inferior guiado pelo *dever*, isto é, o *vir-a-ser*, os corpos celestes, dos quais a Lua faz parte, pertenceriam ao reino superior e imóvel do *Ser*, no qual a perfeição e a imutabilidade imperam. E, observando mais detidamente o comportamento da luz solar sobre a superfície lunar, Galileu propõe que o nosso satélite natural não fosse outra coisa senão uma outra Terra, ressuscitando com isso uma antiga teoria pitagórica sobre a Lua.

Muitas outras semelhanças entre a Terra e a Lua são apontadas por Galileu ao longo da obra, reforçando assim a tese de uma homogeneidade, se não de todo o universo, ao menos dos

---

<sup>75</sup> S.N. GALILEU, p. 157.

<sup>76</sup> De acordo com Aristóteles, a Terra possui uma composição elementar, sujeita ao movimento e a mudança. Já a Lua, e os demais astros, possui uma composição etérea, que não está sujeita à mudança, mas tão somente ao movimento circular, no qual nada muda. Isso levará o nosso estagirita a criar dois domínios essencialmente diferenciados que operam segundo leis distintas: o domínio terrestre e o celeste.

astros mais próximos do globo terrestre. Passemos agora para o ponto de maior importância no que diz respeito à tese copernicana: mostrar que existe outro de revoluções astronômicas diferente da Terra. Para tanto, Galileu lança mão, na parte final do *Sidereus*, de uma das suas maiores descobertas feitas com o auxílio do telescópio: as luas de Júpiter, nomeadas por ele de “estrelas Mediceias”.

Galileu considera que a possibilidade de termos astros que orbitam outros planetas que não a Terra, como é o caso desse conjunto de estrelas, como um “excelente e esplêndido argumento” capaz de eliminar a hesitação daqueles que, mesmo admitindo tranquilamente a revolução dos planetas em torno do Sol no sistema copernicano, ficam tão profundamente perturbados pela circulação de uma única Lua em torno da Terra, e desses dois astros em torno do Sol em um intervalo anual, que concluem que essa configuração do universo deva ser recusada como algo completamente inverossímil. Contra esses opositores, Galileu argumenta que no caso de Júpiter temos não só um astro orbitando em torno de outro enquanto ambos se deslocam em um grande círculo em torno do Sol, mas sim quatro estrelas que vagueiam em torno de Júpiter, assim como da Lua vagueia em torno da Terra, ao mesmo tempo em que todas essas quatro estrelas em comunhão com Júpiter percorrem um grande círculo em torno do Sol em um intervalo de doze anos.

O Texto se encerra sem que Galileu conseguisse dar uma explicação para o fato de os sentidos mostrarem uma diferença de tamanho dos astros quando observados a olho nu e com o telescópio, mas com a promessa de retornar a esse assunto em um futuro próximo. De fato, Galileu irá tratar sobre essa diferença entre as observações quando for explorar a possibilidade do olho humano, enquanto um instrumento natural de observação, de ser capaz de passar por um processo de correção e calibragem, semelhante ao que ocorre com o telescópio.

Contudo, o que mais chama atenção no *Sidereus* é a possibilidade da mesma matéria que compõe a Lua, também constituir a Terra, dado que o comportamento da luz solar sobre a superfície lunar, projetando as sombras que permitiram Galileu afirmar a existência de vales e montanhas em nosso satélite natural, é idêntico ao que ocorre aqui em nosso planeta, em determinados horários do dia. Esse fato é crucial para se por fim a cosmologia hierarquicamente diferenciada e qualitativamente distinta de Aristóteles, e de se promover uma cosmologia na qual Céu e Terra estejam submetidos as mesmas leis, que, como veremos, são leis matemáticas.

## 15 O TELESCÓPIO E A EXPERIÊNCIA CIENTÍFICA MODERNA

As observações feitas por Galileu no uso do telescópio levantam algumas questões epistemológicas interessantes. Por que as observações feitas por meio de um instrumento como o telescópio deveriam ser mais preponderantes que aquelas efetuadas a olho nu? A resposta para isso pode ser encontrada no fato de Galileu considerar o olho humano como um instrumento como outro qualquer e, como tal, necessitar de uma calibragem, por assim dizer. Vejamos agora como se deu esse processo de correção proposto por Galileu em nosso instrumento natural de observação.

Como vimos, um dos principais argumentos contra o copernicanismo era a falta de evidências empíricas que pudessem corroborar a tese de duplo movimento da Terra: a rotação em torno de si mesma e a translação em torno do Sol. Como forma de minorar esse problema de ordem observacional, Copérnico teve a perspicácia de introduzir em seu novo sistema de mundo um princípio epistemológico, que visava conferir maior plausibilidade as suas hipóteses no confronto direto com a experiência sensível. Tal princípio atuava no observador corrigindo racionalmente as aparências reveladas pela observação astronômica, de modo a tornar tais aparências compatíveis com o movimento da Terra.

O mesmo tipo de intervenção racional sobre a experiência sensível pode ser observado também no telescópio. Galileu acreditava que os nossos instrumentos naturais de observação, no caso, o olho humano, poderiam ter sua capacidade observacional ampliada por meio de instrumentos artificiais produzidos pelo homem segundo planos inteiramente racionais. Nesse sentido, o telescópio possuía o mesmo caráter epistemológico que o princípio de relatividade óptica de Copérnico, representando desse modo a melhor arma na defesa do sistema que fazia da Terra um corpo errante, quanto no ataque a àquelas pessoas que viam em tal sistema apenas os frutos de uma mente inventiva e especulativa.

Um bom exemplo, que reforça o caráter epistemológico do telescópio, pode ser visto na resposta de Galileu aos argumentos anticopernicanos tradicionais, baseado na observação, a olho desarmado, dos planetas Marte e Vênus. Se Copérnico estivesse certo sobre o movimento da Terra, os Marte e Vênus deveriam se mostrar excessivamente grandes, sessenta e quarenta vezes maiores, respectivamente, em sua maior aproximação com a Terra. No entanto, a observação a olho desarmado revela que tais planetas apresentam um aumento quase que imperceptível. No caso do planeta Marte, por exemplo, esse acréscimo não ultrapassa cinco vezes o seu tamanho.

A resposta de Galileu a esse tipo de objeção é no sentido de mostrar que é possível evidenciar o crescimento no tamanho previsto pelo modelo de Copérnico, se fizermos uso do telescópio. Galileu argumenta que essa diferença entre a observação a olho nu e aquela realizada com o telescópio se deve a uma limitação na capacidade visual humana quando se encontra desarmada, não captando, desse modo, o aumento de tamanho dos astros. Com base em uma análise da visão, o físico italiano estabelece que as causas principais que debilitam o nosso instrumento natural de observação são duas: a primeira, é devido ao halo luminoso produzido pela radiação emanada por objetos resplandecentes; quanto mais resplandecente for o objeto, maior será o halo formado; e a segunda, ocorre como consequência da formação desse halo resplandecente em nossas sistema ocular, que faz surgir em nossas pupilas, devido a umidade do olho, uma reflexão luminosa levando assim a uma visão menos acurada dos objetos.

Mas como o telescópio amplia os objetos focados, a imagem formada com o auxílio desse instrumento é bem mais larga, o que faz com que ela ocupe todo o olho. E, com resultado, os raios adventícios devido ao halo não são formados, o que leva a formação de uma imagem muito mais “limpa” e ampliada, exatamente como prevê o modelo copernicano.

No caso das estrelas, o problema é mais perturbador. As estrelas, quando vistas a olho nu, pareciam maiores do que quando observadas pelo telescópio. Isto é, ao invés de ampliar o objeto focado, como era o esperado, o telescópio parecia nesse caso funcionar de modo diferente, diminuindo o objeto. É como se o telescópio funcionasse de modo diferente para diferentes corpos celestes. Para explicar esse estranho fato, Galileu argumentou que à vista desarmada, as estrelas são sempre observadas rodeadas por uma irradiação, uma espécie de “cabeleira”, que as faz parecer muito maior do que realmente são. Mas com o uso de telescópio, essa irradiação é eliminada, como que raspada, corrigindo assim o tamanho da estrela<sup>77</sup>.

Nesse caso, Galileu propõe dois tipos de correção: uma para a irradiação luminosa das estrelas; e a outra para a contração e dilatação da pupila. O objetivo desses procedimentos é calibrar apropriadamente o olho, da mesma forma que se procede com a calibração de outros instrumentos utilizados para observação, tais como o telescópio e o microscópio<sup>78</sup>.

---

<sup>77</sup> Na verdade, isso ocorre devido a difração quando a luz passa por uma pequena abertura, como a pupila ou a objetiva do telescópio, e que impede a obtenção de imagens nítidas de objetos muito pequenos. Nesse caso, as estrelas estão situadas a uma distância tão grande, que seja qualquer for o instrumento usado, a única coisa que é possível observar é apenas o seu disco de difração.

<sup>78</sup> Ademais, a argumentação de Galileu sobre irradiação luminosa das estrelas consegue não só dar coerência ao funcionamento do telescópio, garantindo assim confiança no seu uso, como também consegue dar combate as objeções ao modelo copernicano.

O aspecto epistemológico inovador introduzido por Galileu está na ideia subjacente de que o olho humano é ele próprio também um instrumento e, como tal, deve estar sujeito aos mesmos processos de correção e calibragem que os instrumentos artificiais. Nesse sentido, assim como os instrumentos artificiais, que são construídos para fins de observação e mensuração, os sentidos humanos são tidos como instrumentos naturais, que operam segundo a mesmas leis que qualquer outro aparelho utilizado para os mesmos fins. Assim, para que o olho humano possa ser utilizado para observações de caráter mais científico, é necessário que se submeta a mesma calibração e correção que o telescópio ou o microscópio é submetido.

É interessante notar que os procedimentos de correção e calibragem fazem parte dos procedimentos utilizadas pela ciência moderna, no que diz respeito ao uso de instrumentos de observação e mensuração. Outro ponto interessante a ser notado é que o objeto de observação de Galileu são os corpos celestes, que mesmo não estando sujeitos à experimentação, oferecem dados observacionais que serviram para minorar os incômodos da doutrina copernicana provocados pela falta de evidência empíricas.

Com o telescópio, Galileu não só dá um importante passo no processo de consolidação do projeto copernicano, como também fornece uma grande contribuição para a implementação de uma nova concepção de experiência científica, na qual o observador deixa de ser passivo e assume um papel importante no processo de construção e aquisição do conhecimento.

## 16 UMA POLÊMICA BRILHANTE

Com a introdução do telescópio aplicado às observações astronômicas, ficou cada vez mais difícil se manter adepto do aristotelismo, pois mesmo que ainda não se pudesse provar sem sombra de dúvida a verdade da tese copernicana, as teses aristotélicas acerca da imutabilidade dos Céus tornavam-se cada vez mais difíceis de defender. O *Sidereus Nuncius* mostrou ao mundo que, muito provavelmente, a Terra e os demais corpos celestes de nosso sistema solar apresentam a mesma constituição material. E a prova disso estava na forma como a luz interagia com a superfície lunar. Por meio de uma analogia com as sombras projetadas em determinadas horas do dia aqui na Terra, Galileu pôde observar, graças ao telescópio, que as mesmas sombras também eram visíveis na superfície lunar, o que levou o nosso físico a concluir que, assim como a Terra, a Lua também possuía vales e montanhas. Tal descoberta foi o estopim que deu início a uma série de outras descobertas, que levariam a superação do cosmo aristotélico e do sistema de mundo ptolomaico por ele mantido. Dentre essas descobertas, a mais brilhante foi sem dúvida a das manchas solares.

Durante muito tempo, pairou a dúvida sobre quem foi o primeiro a observar manchas na superfície do Sol, se Galileu ou o padre jesuíta Christopher Scheiner [1573 – 1650], que nessa época também fazia a suas observações astronômicas como o uso do telescópio. Hoje, contudo, parece certo entre os historiadores que o primeiro a publicar sobre a existência de manchas na superfície do Sol foi Johann Fabricius de Wittenberg [1587 – 1616]. Suas descobertas foram publicadas em junho de 1611, em um texto intitulado *De maculis in sole*. O segundo a observar tais manchas foi o padre Scheiner que, sob o pseudônimo de *Apelles latens post tabulam*, algo como “Apelles escondido por trás do quadro”, endereçou três cartas, com datas de novembro e dezembro de 1611, a Marco Welser, prefeito de Augsburg. Essas cartas foram publicadas em 1612 com o título de *Três epistolae de maculis solaribus*.

Cópias dessas cartas foram enviadas por Welser a Galileu em janeiro de 1612, e não só notificavam da descoberta feita por Scheiner, como também solicitavam ao nosso físico os seus comentários. Galileu responde em maio daquele mesmo ano, em uma primeira carta que, apesar dele não reivindicar explicitamente a primazia sobre a descoberta, afirma, no entanto, que essas manchas já era de seu conhecimentos desde meados de em julho e agosto de 1610, quando as tinha observado pela primeira vez. Em uma segunda carta, escrita em agosto de 1612, Galileu critica a tese de Scheiner a respeito da natureza dessas manchas, que segundo o jesuíta, nada mais são do que a sombra produzida por pequenos corpos opacos, à semelhança de planetas, quando estes giram em torno do Sol. É importante dizer que nessa época boa parte dos jesuítas

e da igreja já tinham abandonado o modelo ptolomaico e adotado o modelo de Tycho Brahe, segundo o qual todos os planetas giravam em torno do Sol, e este girava em torno da Terra, que nesse modelo ainda era mantida imóvel e no centro do Universo. Essa tese foi assumida como verdadeira pelos jesuítas, que nessa época representavam os maiores defensores de Aristóteles, porque era a que melhor salvava a incorruptibilidade celeste, ponto central da cosmologia aristotélica e que casava com uma série de outras descobertas feitas, tais como as fases de Vênus e discrepância de tamanho envolvendo a observação do planeta Marte.

Contudo, Galileu, com base em um estudo detalhado da superfície do Sol, no qual acompanhou os períodos de ocultação e aparição dessas manchas, mostra de forma inquestionável que elas são contíguas à superfície solar, sendo originárias, portanto, do próprio Sol. Em resposta, Scheiner escreve um pequeno tratado em 1612 intitulado *De maculis solaribus et stellis circa Jovem errantibus accuratior disquisitio*, algo como “Uma discussão mais detalhada sobre manchas solares e estrelas vagando em torno de Júpiter”. Nessa obra, além de anunciar a descoberta de um quinto satélite para Júpiter e de afirmar que a origem da luz secundária da Lua é devido a sua transparência, o padre jesuíta pede as autoridades que intercedam a seu favor na questão acerca da prioridade da descoberta das manchas solares. Isso leva Galileu a escrever uma terceira carta, em dezembro de 1612, endereçada a Welser, na qual não só passa a reivindicar explicitamente a prioridade sobre a descoberta, como também dirige duras críticas às interpretações feitas por Scheiner.

Essas cartas são o primeiro atrito envolvendo Galileu e os jesuítas, e terão um papel importante no processo inquisitorial, de 1616 e 1633, movido contra o nosso físico e contra as teses copernicanas. As cartas de Galileu a Welser vão vir a público no ano de 1613, sendo publicadas em Roma pela academia dos Liceus sob o título de *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari e loro accidenti*, que podemos traduzir por “História e demonstrações em torno das manchas e seus acidentes”. Nessa obra, Galileu mostrará de maneira irrefutável que os corpos celestes podem sofrer alterações. Com isso, pode-se dizer que o princípio cosmológico aristotélico em torno da imutabilidade e inalterabilidade dos Céus está definitivamente superado: Céu e Terra estão sujeitos as mesmas alterações, e dado que a distinção ontológica que mantinha separados esses dois domínios não mais se sustenta, abre-se espaço agora para a possibilidade de esses dois reinos também estarem submetidos as mesmas leis.

## 17 A CONDENAÇÃO DO SISTEMA COPERNICANO

Se o primeiro atrito envolvendo Galileu e a Tradição se deu no campo puramente intelectual, o segundo se daria fora dele, e envolveria setores bem mais tradicionais e conservadores. Na disputa contra Galileu, Scheiner, embora não ousasse criticar as teses cosmológicas e da Filosofia Natural de Aristóteles, que é o que dava sustentação à concepção tradicional de mundo, em momento algum chegou a acusar o nosso físico de estar indo contra os dogmas teológicos defendidos pela Igreja. No entanto, essa situação logo mudaria. É lícito dizer que a atividade intelectual de Galileu incomodava bastante aos professores de Filosofia e Teologia, cuja prática de anos na escolástica os haviam tornado impermeáveis às mudanças. Na verdade, esses professores se sentiam ameaçados pelas novas ideias. A forma triunfal como Galileu lidou a questão em torno das manchas solares garantiu a ele não só uma maior visibilidade, como também trouxe para o copernicanismo um número grande de seguidores.

Os setores mais conservadores das universidades, que incluíam não só os filósofos naturais das faculdades de Medicina, mas também os teólogos e metafísicos das faculdades de Teologia, como não conseguiam responder as crescentes críticas vindas de Galileu aos princípios cosmológicos de Aristóteles, mudaram o campo de batalha e passaram a levantar uma oposição teológica ao copernicanismo. Assim, ser adepto das teses de Copérnico passou a significar estar contra as Verdades defendidas pela Igreja. Isso porque, a hipótese da centralidade do Sol e do caráter planetário da Terra se mostrava contrária a várias passagens das Escrituras Sagradas, o que colocava tudo o que se falava a favor de tal sistema com suspeito de heresia, marcando o período compreendido entre os anos de 1613 e 1616 como o mais delicado da história para o copernicanismo e seus adeptos.

Mesmo diante dessa ofensiva por parte de setores mais conservadores da Igreja, Galileu não se calou. Em 1613, o nosso físico fez circular uma carta em defesa da ciência na qual defendia a separação entre ciência e Teologia, argumentando que essa última não teria autoridade sobre a primeira, embora contivesse inquestionável valor no campo moral e religioso. Assim, em nome da emancipação da ciência, Galileu acreditava que as passagens das Sagradas Escrituras deveriam ser interpretadas de uma forma que não entrassem em contradição com as descobertas e conclusões científicas. Esse seria o primeiro manifesto em favor da liberdade da pesquisa científica, defendendo que as questões científicas deveriam ser tratadas à luz do conhecimento humano dos fenômenos naturais, obtido mediante observação e demonstração matemática.

A controvérsia envolvendo o sistema copernicano cresceu rapidamente nos anos seguintes, deixando os departamentos de Filosofia e Teologia e ganhando os púlpitos das igrejas. Em 21 de dezembro de 1614, o padre dominicano Tommazo Caccini investiu do púlpito da igreja de Santa Maria Novella, em Florença, contra o sistema de Copérnico, denunciando aos fiéis os perigos da Matemática, arte que segundo ele era diabólica e produtora de heresias. Uma verdadeira onda de indignação e denúncias se alastram chegando em pouco tempo à Congregação do Santo Ofício. Após denúncia do também dominicano Niccoló Lorini, que se insurgiu contra Galileu, afirmando que as ideias defendidas pelo físico italiano eram temerosas e mostravam pouca reverência não só aos Santos Padres da Igreja, como também a Aristóteles, um processo foi formalmente aberto no Santo Ofício em Roma no ano de 1615.

Diante disso, Galileu se vê obrigado nesse mesmo ano a reiterar sua posição, o que aconteceu em duas cartas destinadas ao monsenhor Pietro Dini, e uma terceira carta bem mais extensa enviada à senhora Cristina de Lorena, grã-duquesa mãe da Toscana, na qual reforça os pontos teológicos de sua posição. E em dezembro, parte para Roma na tentativa de impedir que o copernicanismo fosse censurado. Mas apesar de ter conseguido uma audiência, acabou sendo admoestado pelo cardeal Bellarmino por ordem do papa Paulo V, e em 24 de fevereiro de 1616 a Sagrada Congregação do Índice pronuncia a censura contra às teses de Copérnico, que versam sobre a centralidade do Sol e a mobilidade da Terra.

O documento afirmava que a tese a respeito da centralidade do Sol não só era considerada uma tese “tola e absurda *in filosofia*”, como também formalmente herética, dado que se punha contra várias passagens das Escrituras Sagradas. A tese de que a Terra não está imóvel no centro do Universo era também considerada como “tola e absurda *in filosofia*”. Entretanto, não podia ser tida como herética, pois não havia nada nas Escrituras que afirmassem o contrário, não contrariando assim nenhuma passagem Sagrada. Contudo, apesar de não poder ser considerada como herética, a ideia de uma Terra móvel à semelhança dos planetas podia ser considerada no mínimo como errônea na fé. E como ato final desse processo, no dia 5 de março de 1616, a Sagrada Congregação do Índice suspende o *De Revolutionibus* de Copérnico, até que seja prontamente “corrigido”, que equivale a dizer o seguinte: até que a tese de Copérnico do duplo movimento da Terra e da imobilidade do Sol seja representada como um artifício matemático, cuja finalidade não é outra senão facilitar os cálculos das previsões astronômicas<sup>79</sup>.

---

<sup>79</sup> Os aspectos relacionados ao valor da Matemática no estudo dos fenômenos naturais já tinha sido abordados quando tratamos da *Filosofia e Matemática*, onde analisamos o lugar ocupado por essa disciplina no estudo voltado especificamente à astronomia, mostrando inclusive a posição oficial da Igreja Católica.

Ademais, é importante ressaltar que, apesar de ficar explícito que censura era voltada unicamente contra à tese copernicana, não dizendo nada a respeito do seu autor, no dia seguinte a condenação do sistema copernicano, Galileu foi admoestado pelo cardeal Bellarmino a abandonar a “opinião” copernicana, devendo, para tanto, abster-se de defende-la ou sustentá-la. Essa resposta ao copernicanismo significou uma vitória dos setores mais conservadores da Igreja e das Universidades ligados à Filosofia Natural de Aristóteles e a astronomia de Ptolomeu. Contudo, vale dizer aqui que mesmo com a condenação, no século XVII era possível ser copernicano sem afrontar o Santo Ofício. Bastava para isso não assumir uma postura realista como a de Galileu, mas unicamente tratar a astronomia como uma disciplina puramente instrumentalista. Nesse sentido, não cabia ao astrônomo tratar das causas dos movimentos planetários, dado que os princípios físicos necessários eram todos determinados pelos filósofos naturais tendo como base a cosmologia de Aristóteles. Cabia unicamente a astronomia, enquanto uma disciplina puramente instrumentalista, buscar modelos astronômicos que possuíssem um melhor grau de precisão e simplicidade.

É dentro dessa visão estritamente instrumentalista que o sistema copernicano pode ser trabalhado. Mas de modo algum tal sistema podia ser defendido ou ensinado como um modelo descritivo da realidade. Desse modo, continuar ptolomaico ou assumir a hipótese copernicana não era decidir se o mundo era efetivamente geocêntrico ou heliocêntrico, mas apenas escolher, conforme o caso ou a circunstância, o melhor expediente matemático para se calcular o trânsito planetário da forma mais exata e simples que fosse possível.

## 18 AUTONOMIA DA CIÊNCIA E A AUTORIDADE DA TRADIÇÃO

Com o decreto de 1616, a Igreja católica dava uma clara demonstração de que não estava preparada para aceitar uma ciência que se colocasse como autônoma diante do princípio de autoridade proveniente tanto da Teologia como da Filosofia Natural de Aristóteles. Isso motivou Galileu a empreender uma vigorosa campanha em nome da independência da pesquisa científica e da universalidade da razão. O objetivo era promover a delimitação de um campo científico que se colocasse como autônomo e independente de qualquer autoridade externa à própria ciência. Para Galileu, o princípio de autoridade defendido pela Igreja não representa um bom critério quando o assunto envolvesse questões mais especializadas de cunho científico, como, por exemplo, decidir qual teoria seria mais representativa da realidade, se a de Ptolomeu ou a de Copérnico.

Ao propor que a Sagrada Escritura fosse interpretada de modo a poder se adequar com as descobertas e conclusões científicas, e não de modo que entrasse em contradição com os fenômenos naturais, estava presente a ideia de que Deus é o autor de dois livros: a Bíblia e a Natureza. Enquanto o primeiro foi escrito em linguagem comum, porque foi destinado ao homem comum, o segundo foi escrito em linguagem mais especializada, que somente os homens de ciência conseguiriam ler. Essa linguagem na qual foi escrito o livro da natureza, ou do mundo, é a matemática. E como há duas linguagens, deve haver também duas disciplinas, uma ético-religiosa e outra científica. Assim, enquanto a Verdade é uma só, a linguagem com a qual podemos lê-la são duas. Adotar uma, não significa renunciar a outra.

Contudo, apesar de reconhecer que há duas linguagens utilizadas por Deus, uma comum destinada a todos os homens para lhes ensinar o caminho da salvação, e outra matemática voltada aos homens de ciência usada na pesquisa científica, e com a qual a estrutura do mundo lhes é revelada, Galileu considera a linguagem científica superior à teológica, de tal modo que a primeira não pode ser posta em dúvida pela segunda. A natureza é inexorável, agindo apenas segundo leis imutáveis e necessárias a qual ela nunca infringe, não se importando se suas razões e métodos são ou não compreensíveis pelo homem. Por outro lado, Deus, em sua infinita bondade, dotou o homem dos meios necessários – sentidos, discurso e intelecto – para alcançar a verdade por ela, a natureza, revelados.

Esse rigor que Galileu atribui a natureza é devido justamente a ela ser estruturada matematicamente. Com isso, o domínio desse grande livro que é o mundo é dado pelas relações matemáticas e geométricas, alcançáveis pela razão analítica. Mas, como toda linguagem, para poder compreendê-la é necessário conhecer e dominar os seus símbolos, que nada mais são do

que círculos, triângulos e outras figuras geométricas. Caso contrário, corre-se o risco de vagar-se em vão por um vasto labirinto escuro<sup>80</sup>.

Desse modo, são as demonstrações matemáticas, e não a lógica escolástica, a “chave” para desvendar os segredos do mundo. Evidentemente, a lógica tem a sua importância dentro da ciência moderna nascente. De acordo com Galileu, é função da lógica verificar se as nossas conclusões e demonstrações já realizadas são coerentes ou não. Contudo, segundo ele, a lógica por si só não seria capaz de nos conduzir a conclusões coerentes. Essa tarefa cabia a matemática. Afinal, não aprendemos a demonstrar a partir de manuais de lógica, mas sim a partir dos livros de matemática. Assim, enquanto a lógica é o instrumento que serve à crítica, a matemática e a geometria serve à descoberta<sup>81</sup>.

Com isso, em virtude da inexorabilidade e necessidade das leis naturais, aliado também ao fato de as Escrituras Sagradas estarem sujeitas à interpretação, a incompatibilidade existente entre a tese de Copérnico e a Bíblia não seria um problema se fosse dado ao conhecimento científico a primazia sobre a interpretação escritural. Galileu acredita que, se esse não fosse o caso, Deus não teria concedido ao homem a razão natural, com a qual é possível alcançar as verdades sobre a natureza. Além do mais, questiona ele, de que nos adiantaria ser dotado de sentidos, de discurso e intelecto se não nos for dado o direito de poder utiliza-los livremente?<sup>82</sup>.

Na verdade, Galileu acreditava que a suposta incompatibilidade entre a tese copernicana e a Sagrada Escritura era meramente aparente. Se a interpretação das passagens da Bíblia fosse guiada pelas descobertas científicas, o verdadeiro sentido das Escrituras se revelaria. Nesse sentido, é interessante notar a forma como Galileu trata a famosa passagem bíblica que mostraria sem sombra de dúvida uma incoerência entre a tese do movimento da Terra e o que fala as Escrituras. Refiro-me a passagem de Josué. Em uma carta a Dom Benedetto Castelli, o matemático italiano mostra que a única configuração astronômica possível de acordo com a letra do texto é a que tem o Sol em repouso do centro do Universo e a Terra em movimento ao seu redor.

Assim, admitindo que as palavras dessa passagem tenham de ser tomadas precisamente no sentido que soam no texto, isto é, que Deus, a pedido de Josué, fizesse parar o Sol para que o dia se prolongasse e esse conseguisse a vitória, isso na verdade nos mostraria a falsidade e a impossibilidade do sistema de mundo aristotélico-ptolomaico e a veracidade do sistema copernicano. A demonstração de Galileu toma como ponto de partida os movimentos que o Sol

---

<sup>80</sup> BURT, Edwin Arthur. *As Bases Metafísicas da Ciência Moderna*, p. 61, 1991.

<sup>81</sup> *Idem*, *Ibidem*.

<sup>82</sup> MARICONDA, Pablo Rubén. *Galileu e a nova Física*. p. 93, 2006.

é capaz de realizar. Segundo ele, nosso astro Rei é capaz de realizar dois movimentos: um que é próprio do Sol e que vai de oeste a leste e outro que não pertence ao Sol, mas sim do mais alto Céu e que, ao girar, arrasta consigo o astro Rei de leste a oeste. O movimento que próprio do Sol se realiza anualmente e que é responsável pela sucessão das estações do ano, enquanto o outro, o que não é próprio dele, mas pertence ao mais alto Céu, é o movimento diário responsável pela sucessão dos dias e das noites.

Posto isso, Galileu mostra que a duração de 24 horas que o dia apresenta se deve a atuação em conjunto dos dois movimentos, que se dão em sentidos contrários: enquanto o anual se dá no sentido leste, o diário ocorre no sentido oeste. Desse modo, se tomarmos literalmente o que diz a passagem de Josué e pararmos o movimento do Sol, e não do mais alto Céu, então é preciso admitir que ao invés de aumentar o tempo de duração do dia, iremos na verdade diminuir esse tempo, uma vez que parando o movimento do Sol, que se faz no sentido leste, o movimento da esfera que carrega o Sol no sentido oeste ficará livre de seu impeditivo motor o que fará com que o movimento dessa esfera se faça mais rapidamente. O resultado é que teremos um dia com menos de 24 horas de luz solar. Mas, de acordo com a passagem, a intensão de Josué ao pedir a Deus para parar o Sol, é de ter um maior tempo de luz. Assim, se ainda quisermos adotar o sistema aristotélico-ptolomaico de modo a interpretar essa passagem de acordo com essa configuração astronômica, teremos que, ou alterar o sentido das palavras do texto, ou então admitir que os movimentos que se dão em tal sistema não são coordenados, mas sim aleatórios, coisa que o modelo geocêntrico de Ptolomeu não admite.

Contudo, lembra Galileu, existe uma configuração astronômica que permite não só trabalharmos com o sentido original do texto, como também com a ideia de ordenação dos movimentos planetários. Essa configuração é a que possui o Sol imóvel no centro do Universo, tendo a Terra e demais planetas orbitando em sua volta. Trata-se do sistema de mundo copernicano. Por esse sistema, o Sol controla o movimento de todos os planetas que se encontram ao seu entorno, por meio de um movimento de rotação que é típico de astro, exatamente como faz o eixo de uma roda ao girar. Ademais, como nesse sistema a sucessão dos dias e das noites se faz graças ao movimento de rotação da Terra ao redor de seu próprio eixo, ao fazer o movimento de rotação do Sol parar, parar-se-ia também esse movimento diurno, assim como parar-se-ia o movimento de todos os astros e estrelas ao redor do Sol, ou seja, de todo o sistema. O resultado é que o dia na Terra teria uma duração maior do que 24 horas, dando assim a Josué o tempo extra de luz de que tanto precisava para derrotar seus inimigos.

Admitindo-se a ideia de que Deus é o autor de dois livros, um sendo a Bíblia e o outro a Natureza, não é possível aceitar que o Criador tivesse escrito um em desacordo com o outro.

Com não há duas verdades, mas apenas uma única, os dois livros escritos por Deus deveriam ser entendidos como caminhos que pudesse revelar a única e derradeira verdade. Contudo, como um dos livros foi escrito em linguagem comum dos homens de uma determinada época e o outro escrito em linguagem matemática, que por suas características é atemporal, universal e necessária, Galileu defendia que o livro da Natureza deveria servi de guia para a leitura da Bíblia, e não o contrário. Isso daria a ciência a autonomia necessária para resolver suas próprias questões, não devendo, portanto, se sujeitar a determinações de órgão ou autoridades externas a ela própria.

A autonomia da ciência, de acordo com o físico italiano, também é assegurada em virtude do método que a ciência se utiliza e pelo qual podemos aferir a verdade das teorias postas por ela. Esse procedimento metódico consiste em submeter as hipóteses em um exame criterioso baseado em “experiências sensíveis” acompanhada das “demonstrações necessárias”. Dessa forma, se a experiência e a demonstração são os métodos de verificação das verdades científicas, e estas verdades devem prevalecer sobre a letra, então os mesmos métodos de verificação devem ser empregados na interpretação do sentido verdadeiro das Escrituras. Isso não só confere a ciência uma autonomia perante a Teologia, como faz dessa última uma área que deve antes de tudo se adequar as verdades da primeira. Com isso, Galileu não só promoveu a independência da pesquisa científica, como também estabeleceu uma clara distinção entre questões morais e questões de fato, sendo essa a marca característica da modernidade: a separação das esferas de valor.

## 19 A FÍSICA DE GALILEU

Galileu Galilei, enquanto físico, dedicou-se majoritariamente ao estudo dos graves, isto é, ao estudo dos corpos que caem; dos que vão para baixo. Dessa forma, é lícito afirmar que o estudo do movimento de queda assume na física de Galileu uma grande importância, de tal modo que poderíamos definir a física galilaica simplesmente como uma física da queda. Isso não foi por acaso. Dissemos anteriormente que a tese copernicana tinha que lidar com dois grandes problemas: um de ordem empírica e o outro de ordem teórica. Empiricamente, faltavam evidências que corroborassem a ideia de um sistema como uma Terra móvel fazendo revoluções em torno de um Sol imóvel. E, teoricamente, o modelo heliocêntrico não dava razões para o movimento de queda dos corpos, uma vez que, ao tirar a Terra do centro do Universo, não haveria mais razões para as coisas continuarem caindo em direção ao centro de planeta. O dado empírico foi obtido indiretamente por meio das observações telescópicas. Contudo, ainda faltava a tese copernicana uma física que a justificasse.

A falta de uma física que mantivesse o sistema de Copérnico dado a esse sistema uma maior plausibilidade teórica, tornou-se um problema central para Galileu. O gênio italiano abraçou esse problema e passou a dedicar quase que exclusivamente ao estudo do movimento dos corpos graves, isto é, dos corpos dotados de peso. Tal estudo o conduziu a desenvolver toda uma mecânica que pudesse lidar com os principais argumentos contrários ao movimento da Terra, e que envolve a queda livre em suas três versões: a versão aristotélica, a versão da queda do alto da torre, e, por último, a versão da queda do alto do mastro do navio<sup>83</sup>. Todas essas três versões são conhecidas como objeções mecânicas ao movimento da Terra e, com exceção da primeira, pertencem ao rol de objeções modernas contrárias ao movimento da Terra em torno de seu próprio eixo.

Além dessas objeções, havia também outras quatro relacionadas ao movimento de projéteis, particularmente os que envolvem disparos de artilharia. O argumento sustentado nos casos de queda livre dos corpos envolve a ideia de que a Terra ao girar em torno de si, faria com que os corpos que fossem soltos no ar atingissem o solo em um local distante de onde partiram. Contudo, o que a experiência nos revela é que o local de queda se dá próximo ao lugar de onde saíram, o que refutaria a ideia de que a Terra gira em torno de si mesma. O argumento do lançamento de projéteis é um pouco parecido. Ele afirma que se a Terra de fato girasse em volta de si mesmo, nenhum disparo poderia atingir o alvo, dado que, ao girar, a Terra levaria

---

<sup>83</sup> Essas objeções ao movimento da Terra são alvo de investigação na segunda jornada do *Diálogo* e serão melhor detalhas no momento oportuno.

consigo o alvo. Mas, mais uma vez, o dado empírico refuta a ideia de uma Terra que gira, pois os tiros disparados sempre acertam o alvo, salvo nos casos em que falta destreza ao atirador<sup>84</sup>.

Assim, para defender a tese copernicana, Galileu vai ter que reescrever toda a física de seu tempo, com especial destaca para a noção de movimento. Vale lembrar que até meados do século XVII, o campo da física ainda era dominado pela Filosofia Natural de Aristóteles, e termos como matéria, força e movimento possuíam um sentido qualitativo, alinhando-se com uma fenomenologia ingênua da realidade. Tal fenomenologia admitia como real e verdadeiro tudo aquilo que a experiência sensorial mais imediata revelava como tal. A prova disso estava na forma como o mestre grego explicava o movimento das coisas: tudo aquilo que fosse considerado pesado caía e tudo aquilo que fosse considerado leve subia. Além disso, a introdução posterior dos epiciclos na astronomia indicava justamente uma tentativa de conciliar teoria astronômica com os dados da observação empírica, salvando assim as aparências. E isso porque o modelo astronômico de Ptolomeu tinha como fundamento teórica a física aristotélica, o que obrigava o seu defensor admitir a realidade daquilo que era visto<sup>85</sup>.

Nesse projeto galileano de reelaborar certos conceitos da física, o próprio termo “experiência” passou a adquirir um sentido inteiramente novo, até então não explorado pela filosofia natural, de *experimento*. Contudo, a ciência astronômica é essencialmente observacional e não experimental. Assim, além de retrabalhar conceitos físicos, Galileu precisava também reestruturar a própria experiência sensorial que, sob o seu olhar matemático, deixaria de ser comum e passaria a ser científica. Nessa tarefa de reestruturação da experiência observacional, uma a nova concepção de movimento se fazia necessária. Uma que levasse em consideração a noção de relatividade do movimento.

Nessa parte final, vamos entender como a concepção relativista de movimento desenvolvida por Galileu contribuiu para redirecionar a experiência científica, que passaria a levar em consideração o estado, de movimento ou de repouso, e a posição do observador. Tal concepção foi pensada para dar combate aos argumentos contrários ao movimento de rotação da Terra, mostrando que esses argumentos não se sustentam à luz de uma nova física. Para tanto, analisaremos algumas passagens do *Diálogo*, particularmente aquelas contidas na

---

<sup>84</sup> Existem outras objeções que seguem a mesma lógica e que se apresentam como argumentos contrários ao movimento terrestre. São eles: o argumento dos pássaros, que deveriam ser afetados com o giro da Terra; as nuvens, que deveriam ser arrastadas junto com a rotação e, por fim, o argumento da extrusão, que afirma que as pessoas e as construções deveriam ser afetados e, até mesmo, arremessados para longe por conta da velocidade de rotação, principalmente aquelas pessoas e construções que estivessem próximas ao equador terrestre. Seja como for, a resposta que Galileu oferece contra as objeções da queda vertical dos graves e do movimento dos projéteis, irá servir também para dar combate a essas outras objeções físicas.

<sup>85</sup> Essa relação de identidade estrita entre os dados empíricos e a realidade já foi discutida no capítulo dedicado a Copérnico, especificamente, na parte que tratamos do princípio de relatividade óptica.

segunda jornada. Antes de entramos no *Diálogo*, faz-se necessário tecer algumas considerações a respeito da forma como o movimento passou a ser encarado pela física matemática de Galileu, que representa um contra ponto à física qualitativa da Filosofia Natural de Aristóteles.

## 20 O MÉTODO DE GALILEU

Como vimos, Galileu em sua luta por uma pesquisa científica que fosse independente da autoridade vinda tanto da Filosofia Natural de Aristóteles quanto dos doutores da Igreja, concebeu uma natureza como um sistema simples e ordenado, no qual todos os procedimentos são rigorosamente regulares e inexoravelmente necessários. A necessidade da natureza resulta de seu caráter essencialmente matemático. O Universo é concebido como um grande livro que fora escrito por Deus utilizando-se caracteres geométricos. Para lê-lo, é necessário conhecer a linguagem, dominar os símbolos, que nesse caso são triângulos, círculos, e outras figuras geométricas<sup>86</sup>.

Dessa forma, são as demonstrações matemáticas, e não a lógica escolástica de matriz aristotélica, que proporciona a chave para desvendar os segredos do mundo. E como esse método da demonstração matemática está fundamentado na própria estrutura da natureza, vai apresentar-se muitas vezes para Galileu como substancialmente independente da verificação empírica. Trata-se, portanto, de um método exclusivamente apriorístico para se determinar a verdade. É curioso notar como que a ideia de um método apriorístico fundado na matemática choca-se com a concepção historiográfica mais tradicional de linha empirista, a qual, desde o século XVIII, vê em Galileu um representante máximo e pai fundador da ciência experimental. Todavia, intérpretes da história da ciência, tais como Koyré, sempre defenderam a ideia de que Galileu raramente chegava a fazer os experimentos descritos em seus textos, e, quando os fazia, além de serem mal elaborados, representavam “uma acumulação de fontes de erro e inexatidão”<sup>87</sup>, tendo assim uma função quase que secundária em sua física.

Na verdade, esses experimentos eram como se fossem o que nós costumamos chamar hoje de “uma prova dos nove”, e tinham como função convencer aqueles que não dominavam as sutilezas e a analiticidade do raciocínio matemático e geométrico. Sobre isso, J.J. Fahie nos apresenta um interessante trecho de Galileu sobre a necessidade da experimentação para poder se obter conclusões verdadeiras. Assim, segundo Fahie,

[...] a ignorância fora o melhor professor que ele jamais tivera, uma vez que, para poder demonstrar a seus oponentes a veracidade de suas conclusões, ele fora forçado a prova-las por meio de variadas

<sup>86</sup> A metáfora do livro do mundo, ou da natureza, já era antiga no tempo de Galileu. Mas foi no *Ensaíador* (1623), obra escrita em resposta ao padre jesuíta Orazio Grassi a respeito da polêmica envolvendo a passagem de três cometas no ano de 1618, que Galileu utilizará tal metáfora para afirmar que a geometria como a linguagem na qual o mundo foi escrito.

<sup>87</sup> KOYRÉ, Alexandre, *apud* Pablo Ruben Mariconda. **Galileu e a nova Física**. p. 43, 2006.

experiências, ainda que para satisfazer a sua própria mente, não tivesse sentido a necessidade de fazer nenhuma [...]”<sup>88</sup>.

Se pudermos levar realmente a sério esse comentário, então o progresso da ciência moderna deve muito ao fato de Galileu em sua vida não ter tido que lidar com oponentes que estivesse a sua altura, no que diz respeito a compreender as nuances do raciocínio matemático. É bem verdade que passagens como essas podem ser lidas como anedotas, como tantas outras que costumam existir em torno de personalidades controversas tais como Galileu. Contudo, também é verdade que a literatura está repleta de outras passagens nas quais podemos depreender que a crença de Galileu em uma estrutura matemática de mundo o tenha emancipado da necessidade de sempre recorrer à experimentação. E mesmo que consideremos exagerada a afirmação de Koyré de que quando o físico italiano se dedicava à realização de algum experimento, este era repleto de erros e inexatidão, outros autores, Burttt à frente, defendem a ideia de que muitas das conclusões presentes nos textos do físico italiano iam muito além daquilo que o experimento permitia afirmar. Segundo esse comentador, muitas das conclusões válidas que vemos nas obras de Galileu, foram obtidas a partir da realização de um único experimento, cujos resultados foram extrapolados para além de sua particularidade<sup>89</sup>. A certeza de Galileu de que tais conclusões eram de fato verdadeiras se devia justamente a aplicação do método matemático à experimentação. Com ele, o conhecimento de um único fato, desde que tenha sido obtido a partir de relações matemáticas necessárias, prepara a mente para a compreensão a determinação de outros fatos, sem a necessidade de sempre recorrer-se à experiência.

Um bom exemplo desse princípio sendo aplicado está no lançamento de projéteis. De acordo com Galileu, uma vez que se saiba que a trajetória de um projétil disparado segue um arco de parábola, é possível demonstrar pela matemática pura, sem a necessidade de recorrer à experimentação, que seu alcance máximo é de 45°. De fato, a confirmação por meio de experiências particulares só seria uma exigência nos casos em que as conclusões não puderem ser alcançadas intuitivamente, a partir de bases inteiramente racionais e necessárias. Logo mais discutiremos mais a fundo o significado dessa “intuição” no método científico da física galilaica. Por hora, vamos continuar analisando a delimitação de seu método.

---

<sup>88</sup> The Scientific Works of Galileo *apud* Edwin Arthur Burttt. **As Bases Metafísicas da Ciência Moderna**, p. 62, 1991.

<sup>89</sup> Vemos isso acontecer em várias passagens do *Diálogo*, particularmente no experimento do navio que compõe a segunda jornada. O próprio Galileu dá a entender que ele mesmo não realizou o experimento em questão, mas tinha a certeza de que, se tivesse realizado, chegaria aos mesmos resultados de que afirma.

Que Galileu não precisasse recorrer continuamente à experimentação para obter conclusões válidas, pois sua perspectiva é pautada pela matemática, que é governada por leis universais e necessárias, é algo muito bem aplicável a dimensão do papel, mas não ao mundo físico. Em outras palavras, muitas das questões que Galileu se envolvia em disputa não diziam respeito unicamente ao espaço abstrato da geometria euclidiana, mas, ao contrário, diziam respeito predominantemente ao mundo sensorial, o que apontava para a necessidade de uma confirmação empírica daquilo que a matemática assinalava ser o caso.

Assim, seria pouco produtivo restringir as disputas apenas aos princípios, tentando verificar qual deles se encaixaria melhor à natureza. Nesse sentido, o nosso autor entendia que era preciso avançar não só por meio das *demonstrações* matemáticas, mas também que invariavelmente era preciso recorrer a *observação* e a *experimentação*. E isso era uma verdade não só para a física como também para a astronomia, uma vez que a experiência é o “verdadeiro mestre da astronomia”. Aos olhos de Galileu e de outros matemáticos de sua época, a astronomia representava um campo do saber no qual a principal perspectiva dos astrônomos era a de conferir razão aos fenômenos celestes, por meio de hipótese matemáticas que pudesse “salvar as aparências”. Com efeito, tanto os físicos quanto os astrônomos seguiam o princípio de que os fatos sensoriais cotidianos estão presentes perante nós para serem explicados, e não revogados ou simplesmente ignorados.

Ademais, vale lembrar que a importância e o sucesso da astronomia de Galileu não se deveu unicamente as especulações abstratas de cunho matemático, mas sim principalmente as suas descobertas empíricas feitas pelo telescópio. Foram elas que inicialmente oferecem as principais evidências observacionais a favor do sistema copernicano. Dificilmente se atribuiria algum protagonismo a Galileu no processo de derrocada da tradição aristotélica se sua contribuição se restringisse unicamente às elocubrações abstratas a respeito da estrutura do mundo. A autoridade do grande mestre grego só começou a sofrer abalo quando as pessoas foram empiricamente forçadas a admitir que todos os corpos caem com aceleração uniforme, que Vênus, assim como a Lua, apresenta fases, e esta não é uma esfera perfeitamente polida, mas que na verdade apresenta várias imperfeições na forma de vales e montanhas, que a face do Sol não é imaculada, mas, ao contrário, possui manchas, e assim por diante.

Mas havia uma diferença profunda entre o empirismo de Galileu e aquele que consagrou Aristóteles. Diferente do mestre grego, o empirismo da ciência galilaica não estava assentado na simples observação dos fenômenos. A experiência sensível de Galileu se distanciava da experiência sensível do homem comum, pois apresentava um forte componente intuitivo de cunho puramente matemático. A realidade para Galileu não se mostra diretamente; ela

encontra-se “disfarçada” por uma camada de aparências qualitativas. Assim, diante de um fenômeno natural, o nosso autor procurava remover essa camada de aparência sensorial que encobria o número, a figura, a extensão e o movimento, propriedades universais e necessárias que formavam a base quantitativa do mundo.

Essa forma de lidar com a realidade faz muitos intérpretes da história e da filosofia da ciência considerarem Galileu muito mais como um físico ligado a correntes de pensamento voltadas para o racionalismo/idealismo, do que para um empirismo puro. É importante dizer que essa visão racionalista de Galileu se alinha muito mais com o projeto de uma física matemática pretendida pelo autor. Voltarmos a discutir mais sobre essa física matemática, quando abordamos sobre a subjetividade das qualidades sensíveis da matéria. Por hora, é importante ressaltar aqui o caráter ingênuo da física aristotélica, que estava tão apegada a uma fenomenologia mais imediata da realidade, que Galileu chegou mesmo a dizer certa vez que o próprio Aristóteles não titubearia em mudar de opinião se conhecesse as novas descobertas<sup>90</sup>, e acrescenta:

[...] Acredito com certeza que ele buscou em primeiro lugar, com a ajuda dos sentidos, as experiências e observações que estavam a seu alcance, de modo a certificar-se o mais possível de suas conclusões, e que posteriormente ele buscou os meios de demonstrá-las; pois esse é o caminho normal nas ciências demonstrativas. E a razão disso está em que, quando a conclusão é correta, com a ajuda do método resolutivo pode-se chegar a alguma proposição já demonstrada ou a algum princípio conhecido por si próprio; mas quando a conclusão é incorreta, pode-se prosseguir in infinitum sem nunca chegar a qualquer verdade já conhecida [...]<sup>91</sup>.

Além de reforçar a ideia de que o método de Aristóteles era essencialmente empírico, essa passagem revela justamente a maneira pela qual Galileu concebia a correta combinação entre demonstração e experimentação na ciência. Para o nosso autor, o papel da filosofia não seria outro senão o de explicar o mundo revelado pelos sentidos. Nesse processo de explicar o que fora revelado, é perfeitamente cabível a um físico admitir que em uma hipótese possam haver erros insensivelmente presentes. Contudo, o que não é admissível é que em uma descoberta sensorial possam conter fatos que estejam em controvérsia a verdade. Contudo, o mundo dos sentidos não é ele mesmo a sua própria explicação, tal como se apresenta. O mundo

---

<sup>90</sup> A questão é controversa, dado que Galileu enxergava o mundo matematicamente, não sensivelmente, como Aristóteles fazia. Assim, para que o grande mestre grego pudesse realmente mudar de opinião a respeito da realidade, ele teria que olhar o mundo pelas mesmas “lentes” de Galileu. Caso contrário, Aristóteles se manteria “sego” para as descobertas que o físico italiano aponta.

<sup>91</sup> GALILEU, *apud* Edwin Arthur Burt. **As Bases Metafísicas da Ciência Moderna**, p. 63, 1991.

sensorial é para Galileu como uma espécie de código não decifrado, que foi escrito em uma linha por vezes estranha. Para explica-lo ou interpreta-lo é preciso decifrar a sua linguagem, daí a necessidade de se ter e dominar um método.

Como bem sabemos, essa linguagem é a matemática e seu método é o das demonstrações matemáticas. Essa metodologia, por vezes, e por mais estranho que pareça, nos conduz a conclusões que parecem contradizer os nossos sentidos. O principal exemplo desse fato é a astronomia de Copérnico. Segundo a perspectiva copernicana, a qual Galileu é um árduo admirador e defensor, o mundo dos sentidos nos é apresentado como uma espécie de “imagem em negativo”. O que vemos diariamente, principalmente quando olhamos para o céu, não é o real, mas uma imagem invertida. O movimento diário, que é percebido como sendo de leste a oeste, feito por todo o Universo em volta da Terra, é na verdade o oposto: o movimento real é produzido pela Terra em torno de seu próprio eixo, girando diariamente no sentido oeste a leste <sup>92</sup>.

Assim, partindo da observação, o método de Galileu pode ser concebido como composto por três etapas: intuição ou resolução, demonstração e experiência. Por intuição ou resolução estamos querendo dizer a seguinte coisa: reduzir o dado sensorial a elementos quantitativos simples, de tal forma que esses elementos possam ser a representação numérica ou geométrica do fenômeno traduzido em linguagem matemática. Desse modo, ao nos defrontarmos com o mundo da experiência sensorial, isolamos e examinamos o fenômeno da maneira mais completa possível objetivando intuir os elementos matemáticos subjacente à realidade sensível. Se essa primeira etapa for realizada com êxito, então não será mais preciso recorrer a experiência sensorial, pois os elementos matemáticos assim obtidos são os constituintes reais do fenômeno e as demonstrações dedutíveis obtidas a partir deles pela matemática pura devem sempre implicar em conclusões válidas, mesmo que, eventualmente, não possam vir a ser confirmadas empiricamente.

---

<sup>92</sup> Exatamente como abordado no capítulo de Copérnico ao tratarmos sobre o princípio de relatividade óptica e a transformação da experiência científica.

## 21 QUALIDADES PRIMÁRIAS E SECUNDÁRIAS DA MATÉRIA

No projeto galileano de conciliação entre a física e a matemática, o gênio italiano acabou deixando transparecer um aspecto de seu pensamento que é pouco conhecido ou explorado: a metafísica matemática de sua ciência. Tal metafísica está refletida na forma como Galileu lidou com a incompatibilidade envolvendo a perfeição dos conceitos matemáticos e a imperfeição da matéria sensível. Nessa tentativa de conciliar esses dois reinos, o nosso autor acabou sendo conduzido à doutrina das qualidades primárias e secundária da matéria.

Tendo como premissa a astronomia de Copérnico, que opera segundo a ideia de inversão do real, Galileu passa a trabalhar com a noção de que o real não é descrito por suas qualidades sensíveis, mas antes por suas propriedades inteligíveis. O real não é o que aparece; ele é o que está oculto. Temos acesso unicamente a um código, decifrável apenas pela matemática. Nesse sentido, os objetos seriam detentores de certas qualidades que só seriam conhecidas quando manuseadas matematicamente. Tais qualidades seriam reais e primárias nos objetos. Essas qualidades pertencem a categoria do número, da figura, da grandeza, da posição e do movimento. Essas são as únicas qualidades passíveis de conhecimento científico. As demais como a cor, o odor, o sabor etc., apesar de serem mais flagrantes nos objetos, são secundárias e refletem muito mais a subjetividade de quem observa e variam de observador para observador.

A ideia presente em Galileu não é a de revelar essências, mas unicamente a de encontrar um método que pudesse conferir uma maior objetividade aos dados da experiência sensorial, transformando esses dados em uma fonte segura de conhecimento. Tal metodologia passa pela matematização e quantificação da natureza. Para tanto, Galileu terá que responder a seguinte pergunta: se a natureza foi escrita em caracteres matemáticos, então por que os nossos sentidos não conseguem captar essa linguagem? Ao invés disso, o que vemos e sentimos são cores, sons e outras afecções.

É no *Saggiatore* (1623)<sup>93</sup> que o nosso autor irá dar os primeiros passos rumo a responder essa questão que resultará na doutrina das qualidades primárias e secundárias da matéria, que tem como base uma teoria da percepção em associação com uma teoria atômica. O objetivo principal dessa obra, entretanto, nunca foi a de promover uma espécie de ontologia matemática, mas sim dar combate ao padre jesuíta Orazio Grasse, que no ano de 1619, escreveu *A balança astronômica e filosófica*<sup>94</sup>, obra na qual o jesuíta se propõe a avaliar o procedimento científico

<sup>93</sup> A partir desse ponto, vamos nos referir a obra pela tradução que ficou conhecida em língua portuguesa, *O Ensaíador*.

<sup>94</sup> Também conhecida como *Libra Astronômica*.

de Galileu, e que foi escrita após o gênio italiano se envolver em uma polêmica como o próprio Grassi a respeito da passagem de três cometas no ano de 1618.

Assim, em resposta a *balança filosófica* de Grassi, Galileu propõe a balança do *Ensaíador*, um instrumento de medição usado pelos ourives cuja precisão matemática permite a qualquer pessoa avaliar o método científico de nosso autor com uma maior objetividade. A teoria da percepção contida nessa obra é apresentada no parágrafo 48º em meio a uma discussão sobre o calor. Nessa passagem Galileu apresenta a distinção entre os “acidentes primários reais” e as qualidades que, tirando o sujeito no qual parecem residir, não seriam outra coisa que puros nomes. Tais qualidades encontrariam residência unicamente no corpo sensitivo, de tal modo que, se for removido o corpo que sente, todas elas simplesmente deixaram de existir. Desse modo, o nosso autor pontua que uma substância corpórea deve ser concebida como:

[...] limitada e figurada por esta ou aquela figura, grande ou pequena em relação a outras, ocupando este ou aquele lugar, neste ou naquele tempo, em movimento ou parada, em contato ou não com outro corpo, como uma, poucas ou muitas, nenhuma imaginação permite que a separe de tais condições; mas que ela deva ser branca ou vermelha, amarga ou doce, sonora ou muda, de odor agradável ou desagradável, não me sinto forçado a apreendê-la necessariamente acompanhada destas últimas condições [...]<sup>95</sup>

A primeira impressão que temos ao ler essas considerações a respeito dos objetos sensíveis, é que Galileu estaria propondo, à maneira platônica, uma duplicação de mundos: de um lado o mundo sensível representado pela cor, odor, sabor, etc., e do outro um suprassensível encabeçado pelas relações matemáticas do tipo número, figura, extensão, etc. Mas não é o caso. Mais à frente, veremos que o que Galileu de fato está afirmando é que a realidade é uma só. Contudo, essa realidade pode ser captada de dois modos diferentes, um sensível e outro inteligível. Sensivelmente, teremos as qualidades já apontadas anteriormente como cor, odor e sabor, mas inteligivelmente essas mesmas qualidades se revelariam aos olhos da razão como propriedades quantificável passíveis, portanto, de um tratamento matemático. Tais propriedades, entretanto, não existiram fora dos objetos à medida que são primárias e, como tais, definiriam tais objetos entidades físicas dotada de materialidade. Por outro lado, as outras qualidades, à medida que são secundárias, podem ser concebidas como separadas dos objetos, pois não encontram nele a sua existência. Essa existência estaria na sensibilidade do sujeito que as percebe. Essa posição de Galileu a respeito das qualidades secundárias é melhor

---

<sup>95</sup> ENSAIADOR, VI, p. 347-8.

desenvolvida a partir de uma analogia que o autor faz com as cócegas. Segundo ele, o corpo animado

[...] que recebe tal operação sente diversas afecções conforme é tocado em diversas partes. E ao ser tocado, por exemplo, sob as plantas dos pés, sobre os joelhos ou sob as axilas, sente, além do toque comum, uma outra afecção, a qual impusemos um nome particular, chamando-a “cócega”: tal afecção é toda nossa, e de modo algum da mão. Parece-me que gravemente erraria quem dissesse haver na mão, além de movimento e contato, uma outra faculdade diversa desta, isto é, fazer cócegas, como se a cócega fossem um acidente que residisse nela<sup>96</sup>

Para Galileu, a possibilidade de afecções das do tipo das cócegas estarem presentes na mão que toca o corpo é algo completamente inadmissível. E isso por uma razão simples: objetos diferentes, como uma pena ou um pedaço de papel, também são capazes de produzir os mesmos efeitos. Mas, quando esses objetos são usados para estimular outras partes do corpo que não a planta dos pés ou as axilas, tal efeito não é verificado. Assim, Galileu chega à conclusão de que:

Tal titilação é completamente nossa, e não da pena, e removido o corpo animado e sensitivo, ela nada é além de um puro nome. Ora, de tal e não maior existência creio que possam ser muitas qualidades que são atribuídas aos corpos naturais, como sabor, odor, cor e outras<sup>97</sup>.

Concluída a impossibilidade das titilações do tipo cócega estarem presentes para além da sensibilidade do corpo animado, Galileu passa então para uma caracterização das qualidades percebidas por cada um dos órgãos dos sentidos. Começando pelo tato, o nosso autor pontua que sensações como dureza, maciez e aspereza são percebidas como pequenas diferenças pela ponta dos dedos. Em seguida, o sabor, o odor, e sensações táteis de temperatura são explicadas pela percepção, pelos órgãos dos sentidos, de pequenas partículas emitidas pelos corpos. A diferença entre cada sensação é devido a diversidade no tamanho, na figura, no número e no movimento que essas partículas podem assumir. Com relação ao som, este é proveniente de um encrespamento do ar que, ao produzir ondas, chegam até nossos ouvidos. E a diversidade dos sons ouvidos é causada pela frequência dessas ondas.

O texto segue com uma identificação dos sentidos com cada um dos elementos terrestres. A relação entre sentidos e elemento é tal ordem que cada elemento é responsável não só pela composição de cada partícula como também pela diferença na percepção de cada uma.

---

<sup>96</sup> ENSAIADOR, VI, p. 348.

<sup>97</sup> ENSAIADOR, VI, p. 348.

Assim, partículas que guardam relação com os elementos terra, água, ar e fogo são percebidas, respectivamente, pelo tato, pelo paladar, pela audição e pelo olfato.

A visão é a última a ser analisada. Segundo Galileu, esse sentido é o mais nobre entre todos, e possui como correspondente algo de natureza também superior, a luz. Esta, por sua vez, é composta por infinitos indivisíveis, os átomos. Esses átomos são dotados apenas de propriedades matemáticas e a operação de seus movimentos variados sobre os sentidos é o responsável pelas confusas experiências secundárias. Como forma de exemplificar o que foi dito, Galileu retorna ao caso das cócegas, aplicando-as às qualidades secundárias:

[...] que nos corpos externos, para excitar em nós os sabores, os odores e os sons, seja preciso de algo além de grandezas, figuras, multiplicidade e movimentos lentos ou velozes, não o creio, e estimo que, retirados as orelhas, as línguas e os narizes, restam as figuras, os números e os movimentos, e não mais os odores, os sabores ou os sons, os quais fora do animal vivente nada são além de nomes, assim como nada são além de nomes as cócegas e as titilações, removidas as axilas e a pele ao redor do nariz [...]<sup>98</sup>

Com isso, Galileu cria um critério que permite distinguir nos corpos as qualidades primárias das secundárias. Tal critério é dado pela sensibilidade. As qualidades primárias, que definiriam o que é essencial ou não nos corpos, existem para além de toda e qualquer sensibilidade. Por outro lado, as qualidades secundárias, que são o que há de mais notório na substância corpórea, possuem a sua ontologia assegurada unicamente pela sensibilidade do corpo animado, e representa a forma pela qual esse corpo animado, por meio dos seus órgãos do sentido, capta aquilo que é quantificável na matéria. Galileu acredita que qualquer outra qualidade identificável que não seja quantificável, terá como origem a sensibilidade do sujeito que as percebe, não guardado qualquer relação intrínseca com a materialidade dos corpos. Desse modo, as formas e as relações matemáticas, que são invisíveis nos corpos, sendo acessíveis unicamente pela inteligência pura, seriam as únicas propriedades que teriam a capacidade de fornecer a causa dos fenômenos.

A astronomia praticada desde a antiguidade mostrou que o movimento também é passível de tratamento quantitativo. Contudo, tal tratamento não só será dado no *Diálogo*. No *Ensaíador*, Galileu mostra que a incompatibilidade entre os dados da experiência sensível e a matemática podia ser superada. Ao atribuir as qualidades secundárias à percepção do sujeito, e ao supor como sua causa fatores quantificáveis não percebidos imediatamente no objeto,

---

<sup>98</sup> ENSAIADOR, VI, p. 350.

Galileu definiu as condições que tornariam possível o conhecimento da natureza. Assim, mesmo que embora o amarelo percebido por alguém não possa ser considerado como uma relação geométrica, sua origem está indubitavelmente ligada a aspectos quantificáveis da matéria, o que confere aos corpos a possibilidade de se promover um tratamento objeto ao dado fenomênico.

Mesmo que inicialmente Galileu tensionasse no *Ensaíador* não envolvessem determinar a natureza última dos objetos, não há como negar que existe um sentido ontológico nessa obra. O parágrafo 48º não termina com a distinção entre as qualidades primárias e secundárias nos objetos. Essas teses conduzem a outras mais ousadas que acabam afastando ainda mais o homem comum que é guiado pela experiência sensorial do homem de ciência. As diminutas partes de matéria que são interpretadas pelos nossos sentidos como qualidades secundárias são produzidas por divisão mediante atrito. Dessa divisão inicial, outras ainda menores podem ser obtidas. Essas são os indivisíveis que compõem a luz. Em uma passagem, Galileu explica que enquanto a fragmentação e o atrito se limitam a mínimo quantificáveis,

[...] seu movimento é temporal e sua operação somente calorífica; em seguida, ao chegar à última e à mais elevada solução em átomos realmente indivisíveis, cria-se a luz, de movimento ou talvez, digamos, expansão e difusão instantâneas, e potente devido à sua, não sei se devo dizer, sutileza, raridade, imaterialidade, ou então outra condição diversa de todas essas e não nomeada, capaz de preencher espaços imensos [...] <sup>99</sup>

Pela simples leitura desse fragmento, podemos inferir que Galileu defende a existência de uma realidade composta por entidades indivisíveis, os átomos, que representariam a natureza última da matéria, e se manifestam na forma de luz. A passagem mostra ainda um Galileu relutante em admitir a imaterialidade dessas entidades de luz. O texto se encerra sem um maior aprofundamento sobre esses indivisíveis. A tese sobre o que de fato é a matéria só será retomada quinze anos depois em uma obra intitulado *Discurso sobre as duas novas ciências*.

Rastrear as origens desse atomismo que permeia algumas obras de Galileu não é tarefa fácil. Ele não costuma dá destaca para os átomos em suas obras, com exceção é claro do *Ensaíador*, o que nos faz crer que a concepção atômica da matéria ocupa um lugar acessório em seu trabalho. Em uma análise preliminar, no entanto, é possível perceber em algumas de suas obras que o seu atomismo geométrico remonta a obras como o *Timeu* de Platão e também

---

<sup>99</sup> ENSAIADOR, VI, p. 352.

a uma certa visão filosófica atribuída a Demócrito e a Epicuro<sup>100</sup>. Chama a atenção o fato de Galileu não atribuir as qualidades primárias o peso. E quando isso ocorre, esse acréscimo se dá muito mais em virtude de procurar sanar alguma necessidade teórica de seu trabalho do que por conta de alguma herança filosófica antiga. Em uma passagem bastante significativa, o nosso autor chama a atenção para esse fato. Diz ele:

Antes de passar a qualquer outro tema, desejo chamar vossa atenção para o fato de que estas forças, resistência, momento, figura, etc., podem ser consideradas seja em abstrato, dissociadas da matéria, seja em concreto, associadas com a matéria. Por conseguinte, as propriedades que pertencem às figuras meramente geométricas e não materiais devem ser modificadas quando dotamos tais figuras de matéria e lhes conferimos peso<sup>101</sup>.

E ao prosseguir, ele observa que quando uma figura geométrica é dotada de matéria, ela adquire, como resultado da materialidade, uma “força” ou um “momento”, termos esses que são não filosóficos, mas que Galileu esforça-se em atribuir um significado matemático exato. Passagens e considerações como essas reforçam a ideia que muitos defendem de que o atomismo do gênio italiano tenha, em grande medida, sido o resultado de anos de decantação dos trabalhos de Demócrito, especialmente a versão mais popularizada trazida a público pelos seguidores romanos do atomista grego. Seja como for, a doutrina das qualidades primárias e secundárias, com a causalidade depositada nos átomos, como os trechos citados anteriormente mostram, revela uma forte marca do legado filosófico de Demócrito, que nas mãos de Galileu foi atualizado e adaptado ao seu novo programa de uma física matemática.

---

<sup>100</sup> BURTT, Edwin Arthur. p. 70, 1991.

<sup>101</sup> GALILEU, Discurso sobre duas novas ciências, p. 112.

## 22 GALILEU E O MOVIMENTO

Tendo se dedicado à estudar os corpos graves, isto é, os corpos dotados de peso ou gravidade, Galileu trabalhou com a ideia de que o movimento de queda é algo *natural*. Toda a atenção aqui é importante, porque o termo “natural” na física galilaica não vai assumir o mesmo sentido que aquele dado pela Filosofia Natural do Aristóteles. Convém lembrarmos que, para o grande mestre grego, existiam dois tipos de movimento, um natural e outro violento. O movimento natural era aquele que ocorria a favor da natureza do móvel, enquanto que o violento era o que se fazia no sentido contrário à natureza. O movimento natural em linha reta na dinâmica aristotélica obedecia a natureza leve ou pesada das coisas<sup>102</sup>. E essa natureza era determinada pelos elementos. Se o móvel fosse constituído majoritariamente pelos elementos terra ou água, seu movimento natural seria para baixo, pois sua natureza era pesada. Mas se na sua composição houvesse mais fogo ou ar, seu movimento natural seria para cima, pois nesse caso sua natureza seria leve. Na dinâmica aristotélica, as coisas consideradas pesadas caem, enquanto que as leves sobem.

Um bom exemplo dessa dinâmica de senso comum vem justamente do cotidiano. Quando vemos uma pedra em queda livre mover-se para baixo, ela o faz obedecendo a sua natureza pesada, dado que a maior parte de sua composição vem do elemento terra. E, quando observamos a chama de uma vela mover-se para cima, ela também o faz segundo a sua natureza leve, pois apresenta como elemento constituinte o fogo.

Por outro lado, quando arremessamos uma pedra verticalmente para cima, ou quando atiramos uma flexa ao longe, estamos imprimindo sobre o móvel uma força externa de tal magnitude que acaba suplantando a sua natureza. Nesses casos, diz-se que o móvel desenvolve um movimento que é violento. Esse movimento irá se manter enquanto houve a ação dessa força que o fez mover-se. Quando a força se dissipar, o movimento violento irá cessar. Quando isso ocorrer, a natureza pesada, ou leve, do móvel passa a imperar fazendo-o agora mover-se naturalmente, retornado assim ao lugar de onde saiu. Uma vez nesse lugar, o móvel permanecerá em repouso até que uma outra força surja e o remova violentamente, recomeçando desse modo todo o ciclo.

---

<sup>102</sup> Já o movimento circular não dependia da natureza leve ou pesada. Ele pertencia ao éter que, por não ser nem leve e nem pesado, movia os corpos celestes, que possuíam tal elemento em suas constituições, naturalmente do modo circular ao redor de um centro. Na cosmologia aristotélica, esse centro o centro da esfera da Terra que estava localizado no centro do Universo.

Toda essa concepção dinâmica repousa na ideia de que o movimento e o repouso se diferenciam um do outro ontologicamente. Essa diferença está relacionada a existência de uma suposta ordem cosmológica que determina um lugar natural para cada corpo no universo. Esse suposto lugar estaria em conformidade com a natureza do corpo, sendo por isso o mais apropriado. Uma vez nesse lugar, não haveria razões naturais para que os corpos de lá saíssem, o que fazia com permanecessem em repouso. O estado de repouso só seria quebrado mediante a ação violenta de uma força externa sobre corpos. Porém, assim que essa força cessasse, o corpo rapidamente voltaria para o seu lugar de origem. Essas são as duas situações descritas anteriormente e que receberam a designação de movimento violento e movimento natural, exemplificado no caso da pedra. Dessa forma, enquanto o movimento violento na dinâmica aristotélica representa a quebra da ordem natural, o movimento natural nada mais é do que o retorno dessa ordem cósmica que fora quebrada.

Essa relação do lugar natural como a natureza leve ou pesada dos corpos, é o que faz como que a Terra se localize imóvel no centro do Universo, uma vez que ela é considerada absolutamente pesada. E uma vez nesse lugar, não há razões para que a Terra se mova para outro lugar. Desse modo, a Terra não só é concebido como um corpo imóvel, como também um corpo que tem como lugar natural o centro geométrico do Universo. Assim, tudo que for reconhecidamente pesado, terá como lugar natural o centro da esfera terrestre. O oposto também é verdadeiro. Tudo que for reconhecidamente leve, terá como lugar natural as regiões mais afastadas do centro da Terra.

Ademais, a ordem cosmológica era de tal magnitude que se todos os corpos estivessem em seus devidos lugares, não haveria no universo movimento ascendente ou descendente, mas apenas o movimento circular dos corpos celestes, uma vez que tal movimento não resulta em nenhum tipo de mudança efetiva: o móvel termina exatamente onde começou. Isso nos permite afirmar que todas as coisas na dinâmica aristotélica procuram o repouso, pois este é um estado que melhor conforma-se à natureza dos corpos. Em outras palavras, a Física de Aristóteles é uma ciência que trabalha no sentido de fornecer o *porquê* do movimento. A finalidade de tudo que se move nesse universo regido pela ordem é encontrar o repouso no lugar naturalmente determinado para cada coisa estar. Este lugar é o lugar natural para onde todos os corpos tendem naturalmente a ir e, uma vez lá, a permanecer.

A tendência de tudo que se move de encontrar naturalmente o repouso, alinha-se perfeitamente com a concepção geral de movimento, que define o devir como um processo de atualização que encontra seu fim no repouso, momento esse em que a potência motora inerente à natureza do móvel se efetiva por completo. Isso faz do movimento natural um processo de

mudança, em que é possível reconhecer uma diferença ontológica entre o movimento e o repouso.

Em Galileu, no entanto, o movimento não é concebido como um *processo*, mas sim como um *estado* completo e acabado, de tal modo que, quando um móvel está em movimento, ele está em sua totalidade. Com isso, a diferença ontológica entre o movimento e o repouso presente na física aristotélica, não se verifica na física galilaica. O movimento em Galileu é algo de caráter meramente acidental, e não reflete ou explicita a natureza do móvel. Porém, como todo movimento, ele ainda necessita de uma causa, ou força motriz, para se efetivar. Mas como o movimento é acidental, essa causa, ou força motriz, é externa ao corpo que se move. Desse modo, da doutrina aristotélica das causas, a única que ainda possui algum valor teórico é a causa eficiente. Todas as demais causas, principalmente a causa final, foram descartadas pela física matemática de Galileu. É uma física que vai incluir o *peso* entre as propriedades passíveis de tratamento quantitativo que atua em todos os corpos detentores de matéria<sup>103</sup>.

Vale ressaltar que a física de Galileu é a física dos graves. Uma física dos corpos que caem; que vão para baixo. Desse modo, costuma-se dizer que o movimento de queda desempenha um papel central no interior dessa física, de tal modo que poderíamos resumir a física de Galileu como uma Filosofia Natural que trata quase que exclusivamente do movimento natural dos corpos que caem. De fato, o movimento de queda não é só concebido por Galileu como um movimento natural, mas também é o único que o autor admite como natural.

Evidentemente, o termo “natural” não apresenta o mesmo sentido que o conferido por Aristóteles, dado que Galileu não trabalha com essências<sup>104</sup>. Como bem sabemos, o mestre grego usava o termo “natural” para distinguir os vários movimentos que exprimiam as diferenças de natureza dos corpos que deles estavam animados. Mas como vimos, o movimento em Galileu nunca revelava ou exprimia a natureza do móvel. O movimento no interior da física galilaica não afeta o móvel em si, dado que se trata de um estado extrínseco ao corpo, e não um processo intrínseco a ele. Dessa forma, por “natural”, Galileu está se ferindo unicamente a algo que ocorre *espontaneamente* nos corpos graves. E na física do mestre italiano todos os corpos são graves, dado que para Galileu é inconcebível imaginar um corpo que seja privado de peso.

---

<sup>103</sup> Como fizemos notar quando tratamos das qualidades primárias e secundárias dos objetos. Galileu chama a atenção para a necessidade de se acrescentar entre as qualidades primárias o peso, que até então vinha recebendo um tratamento qualitativo, resultado de uma herança deixada pela tradição aristotélica.

<sup>104</sup> É importante ressaltar que, quando foi contratado pelos Médici da Toscana, Galileu recebeu o título de “primeiro filósofo e matemático” da província. Esse título não foi à toa. Sua postura filosófica fica evidente em trabalhos como o Ensaíador, onde Galileu faz afirmações de caráter ontológico a respeito da natureza à moda dos antigos filósofos pré-socráticos, e também no Diálogo, obra na qual o nosso autor promove uma superação da Filosofia Natural de Aristóteles a partir de uma metafísica matemática da matéria. Ambas as obras são abordadas nessa dissertação.

Assim, contra Aristóteles, o gênio italiano não admite a existência nos corpos de uma qualidade chamada “leveza”, de tal forma que o movimento para cima de qualquer corpo não é visto como um movimento natural, no sentido de ser um movimento espontâneo. Para Galileu, nenhum corpo por si mesmo pode se mover para cima. Todavia, se chegar a fazer tal movimento de ascensão, é porque foi repelido e expulso do lugar que ocupava por outro mais pesado do que ele. Desse modo, todo movimento ascendente é um movimento de extrusão. Essas ideias não são novas, e mesmo o próprio Galileu nunca reivindicou a sua paternidade. Elas vem de uma corrente de pensamento que remonta aos nominalistas parisienses, passando por Copérnico e mais tarde por Benedetti, que as ensinaram em seus cursos.

Contudo, é preciso ressaltar aqui que Galileu não sabia muito bem o que era a gravidade. Com efeito, ela não é tratada em seus trabalhos como tendo algum valor conceitual. De fato, Galileu em suas obras não se refere a gravidade, mas sim aos corpos graves. A gravidade é assumida como um dado empírico, que acomete todos os corpos os fazendo se mover naturalmente, isto é, espontaneamente, para baixo. Portanto, erraríamos se tratássemos a gravidade *formalmente* como uma qualidade natural dos corpos ou como uma causa do movimento.

Mas, se o termo “natural”, que aparece em Galileu, não possui o sentido estrito da Filosofia Natural de Aristóteles, então por que razão ele ainda faz menção a esse termo ao se referir ao movimento de queda em seus trabalhos? A resposta é simples: apesar dos termos “natural” e “violento” não possuírem valor teórico em sua física, eles ainda são usados em virtude do forte apelo ao senso comum que tais termos evocam. Segundo Galileu, a nomenclatura “natural” aplicada ao movimento popularmente nunca foi interpretada no sentido aristotélico, como um movimento que tem como causa a essência da coisa movida. No âmbito geral, o termo natural já vinha sendo aplicado para se referir ao movimento que ocorre sem o auxílio de forças externas ao móvel. Assim, ao manter o termo natural em seus trabalhos, Galileu está apenas usando uma nomenclatura cujo sentido semântico já tinha se deslocado naturalmente para o sentido pretendido pelo autor.

Com efeito, para o nosso autor, a distinção aristotélica entre natural e violento era algo inadmissível. Isso porque, segundo ele, tal distinção não seria nem exaustiva e nem absoluta, não conseguindo, portanto, abarcar o movimento enquanto tal. Em outras palavras, essa distinção do Aristóteles além de não explicar nada, não possui poder explicativo em determinar *como* o movimento seria possível. Galileu sempre chamou a atenção para o fato de os movimentos naturais e violentos no interior da física do Aristóteles serem movimentos que efetivamente transformam-se um no outro. Os exemplos os mais corriqueiros:

[...] a bola atirada ao ar torna a desce, e a que desce em uma rampa torna a subir pela vertente oposta; o peso do pêndulo não para no ponto mais baixo da sua trajetória, mas volta a subir para tornar a desce mais uma vez, e, se houvesse um buraco através da Terra toda, uma pedra que para lá se atirasse não pararia no centro dela, mas tornaria a subir até à superfície oposta<sup>105</sup>.

Todos esses casos são clássicos e envolvem também a física do *impetus*. Em mais de uma vez, o físico italiano se viu obrigado a dirigir uma franca objeção a essa distinção entre natural e violento, por não ser uma distinção que explique o movimento enquanto movimento. Para Galileu, a distinção aristotélica entre os dois tipos de movimento nada mais é do que uma forma simples de se referir a uma mera constatação empírica envolvendo a dinâmica de coisas pesadas.

---

<sup>105</sup> KOYRÉ, Alexandre. **Estudos Galilaicos**. 1986, p. 298.

## 23 O PRINCÍPIO DE RELATIVIADE E AS OBJEÇÕES AO MOVIMENTO DA TERRA

Como vimos em Copérnico, o astrônomo polonês, antes apresentar a tese heliocêntrica, teve o cuidado de introduzir um princípio de relatividade óptica, cujo objetivo é conferir uma maior plausibilidade a hipótese do movimento da Terra. Trata-se de um princípio epistêmico que atua sobre o observador no ato da observação. Grosso modo, o princípio estabelece que o movimento de alguma coisa é devido ou ao movimento da própria coisa, ou ao movimento do observador, ou ainda a ambos. Em Galileu, além da função epistemológica sobre a percepção do observador, esse princípio também exerce uma função mecânica, sendo empregado para caracterizar a própria concepção moderna do movimento.

A ideia central em Copérnico, e que se encontra presente no quinto postulado do *De Revolutionibus*, é que a Terra está em movimento juntamente com os seus elementos circundantes, o que também inclui o próprio observador. Como resultado, as coisas terrestres junto com o observador participam igualmente do movimento da Terra. A ideia contida nesse movimento conjunto é de movimento participativo de tudo que circunscreve a globo terrestre. Assim, com base nessa concepção de movimento participado, Galileu formulará a estratégia contra as objeções ao movimento de rotação da Terra. Essa estratégia gira em torno de duas premissas:

- 1) O movimento terrestre é totalmente imperceptível aos seus habitantes que participam do seu movimento. De fato, como todas as coisas existentes na Terra participam igualmente de seu movimento, se considerarmos unicamente essas coisas e seus movimento relativos, então tudo se passa como se o movimento da Terra não existisse e ela estivesse imóvel.
- 2) O movimento terrestre só é perceptível para aqueles corpos que, por estarem separados da Terra, não participam do seu movimento. Isso é válido para o Sol e as estrelas que, por não participarem do movimento da Terra, são vistos pelo observador terrestre como se estivessem se movendo pelo céu.

Mas, além de empregar a noção de movimento participativo para explicar porque o movimento da Terra é imperceptível para o observador terrestre, Galileu também faz uso dessa noção para formular uma caracterização mecânica do movimento. Tal caracterização é apresentada no *Diálogo* como uma definição geral para o movimento. Diz ele:

[...] Contudo, notai: o movimento entanto é movimento e como movimento opera, enquanto tem relação com coisas que carecem dele; mas entre as coisas que participam todas igualmente dele, nada opera e é como se ele não fosse [...] <sup>106</sup>

Essa definição de movimento relativo vai assumir um papel central no combate as objeções mecânicas ao movimento de rotação da Terra. Essas objeções giram em torno da Filosofia Natural de Aristóteles, e mostram que o movimento de rotação terrestre é incompatível com os dados da observação. O argumento explora a queda livre de objetos pesados e apresenta duas versões: a primeira trata da queda vertical do alto da torre; e a segunda está ligada a queda do alto do mastro do navio. A primeira vem diretamente de Aristóteles, mas a segunda a tradição atribuiu a Nicole Oresme e foi formulada pela primeira vez no século XIV. Giordano Bruno, por sua vez, também fez referência a essa argumentação em *A Ceia das cinzas*. Trata-se de um argumento interessante, dado que faz uma analogia entre o movimento da Terra e o do navio, possuindo assim um valor epistêmico importante na dissolução das objeções à queda vertical.

Essas objeções dão origem a outras mais modernas relacionadas ao lançamento de projéteis disparados em direção aos quatro pontos cardeais: norte/sul e leste/oeste. Todas essas objeções tomam como ponto de partida o hipotético movimento de rotação da Terra em torno de seu próprio eixo, e argumentam que, primeiro, se a Terra realmente girasse em torno de si, os objetos em queda livre jamais poderiam percutir o solo próximo ao local de onde partiram, mas, ao contrário, atingiriam o chão em um local distante; segundo, os tiros disparados em direção ao quatro pontos cardeais resultariam em tiros que nunca atingiriam o alvo, dado que, a Terra ao girar levaria consigo o alvo, o que levariam a tiros altos e baixos, caso os disparos fossem dirigidos para leste e para oeste, respectivamente, e em tiros que sofreriam um desvio para a direita, caso fossem disparados para o norte ou desvio para a esquerda, caso fosse disparado para o sul.

Tendo isso em mente, Galileu precisa mostrar, com base no princípio de relatividade do movimento, que o erro fundamental das objeções ao movimento de rotação terrestre consiste em considerar a Terra inicialmente em repouso e só depois que algum objeto ou projétil inicia o seu movimento, é que seria hipoteticamente introduzido, durante o curso de deslocamento desses corpos, o movimento de rotação terrestre. Em outras palavras, as objeções mecânicas ao movimento da Terra não levam em conta que todos os corpos próximos à sua superfície participam de seu movimento, apresentando, assim como a Terra, um movimento de rotação. Mais especificamente, o que Galileu precisa mostra é que o princípio de relatividade do

---

<sup>106</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 198, 2011.

movimento torna o movimento de rotação terrestre um componente *invariante* para todos os movimentos realizados na Terra, isto é, realizados no interior de um sistema que gira. Assim, como o movimento de rotação é um componente invariante para todos os movimentos terrestres, então para o observador tudo se passa como se a Terra estivesse parada, e não em movimento.

Compreendido o princípio de relatividade do movimento, é fácil de entender como tal princípio pode ser utilizado para refutar as objeções mecânicas ao movimento de rotação da Terra. A pedra em queda livre que parte do alto de uma torre, além de possuir o movimento de descida, está animada pelo movimento de rotação terrestre, o que faz com que caia ao pé da torre, e não distante dela como acreditavam os adeptos de Aristóteles<sup>107</sup>. E, como o observador terrestre também participa do movimento de rotação, a única coisa que vê é o movimento da pedra caindo verticalmente para baixo. Como a rotação é um componente invariante para todos os movimentos terrestres, então tudo se passa como se ela não existisse. Esteja a Terra imóvel ou em rotação, os dados sensíveis percebidos pelo observador não mudam.

No caso dos lançamentos de projéteis, a objeção fala que lançamentos efetuados no sentido da rotação da Terra deveriam resultar em disparos com um alcance menor, mais baixos, enquanto que os disparos efetuados no sentido contrário a rotação deveriam ter como resultado tiros com um alcance maior, mais altos. Mais uma vez, o erro consiste em não considerar o movimento de rotação como um componente invariante para todos os demais movimentos terrestres. Assim, uma vez que o conjunto formado pela bala, a peça de artilharia e o ar circundante participam igualmente do movimento de rotação da Terra, este não afeta o movimento da bala. Com isso, a peça de artilharia lança o projétil relativamente à mesma distância, independente de disparo se efetuar no mesmo sentido da rotação terrestre ou no sentido contrário à rotação da Terra. O mesmo também é válido para os disparos efetuados para o norte e para o sul. Em ambos os casos, o movimento de rotação é invariante e não vai afetar a direção do disparo<sup>108</sup>.

É importante ressaltar que nada disso prova o movimento da Terra. O que Galileu consegue com a introdução do princípio de relatividade do movimento aliado a ideia de movimento participativo advinda desse princípio, é mostrar que as objeções mecânicas ao

---

<sup>107</sup> Uma variação desse argumento é o lançamento vertical para cima de uma pedra. Ao retornar, a pedra cai diretamente na mão que a arremessou, pois durante a subida e a descida a pedra encontra-se animada com o movimento de rotação, além é claro do movimento vertical. Como a rotação da Terra é um componente invariável para os movimentos terrestres, a pedra sobe e desce como se a Terra estivesse parada.

<sup>108</sup> É importante notar que em todos esses casos estar se desprezando a interferência dos ventos ou mesmo a destreza do atirador. O que interessa para fins de argumentação é mostrar que a rotação terrestre sendo um componente invariante, ela não afeta em nada as relações espaciais entre os móveis e as coisas ao seu redor.

movimento de rotação terrestre não se sustentam à luz dessa nova proposta de movimento e, principalmente, dessa nova forma de encarar os dados da experiência sensível do observador.

Por fim, quero chamar a atenção para um aspecto importante no que diz respeito ao critério demarcatório utilizado modernamente para distinguir as teorias que são científicas daquelas que não são. Refiro-me ao falsificacionismo. Trata-se de uma metodologia que trabalha a partir da observação e experimentação. Assim, uma vez proposta, as teorias que pleiteiam ser científicas devem ser rigorosa e inexoravelmente testadas por meio da observação e do experimento, de tal forma que as teorias que não resistirem aos testes devem ser tomadas como falsas e substituídas por outras conjecturas ulteriores. Contudo, segundo Chalmers o falsificacionismo segue o princípio de que toda observação é orientada por uma teoria que a pressupõe<sup>109</sup>.

Desse modo, as observações e os experimentos vão ser orientados pela visão de mundo que estiver vigorando na época em que tais testes forem realizados. Como vimos, na época de Copérnico a visão de mundo hegemônica, que fundamentava a astronomia geocêntrica de Ptolomeu, era fornecida pela Filosofia Natural de Aristóteles. Tal filosofia pregava a favor de uma Terra estacionária no centro do Universo, o que, por sua vez, fornecia a explicação perfeita para o movimento de queda das coisas tidas como pesadas. Como bem sabemos, a tese copernicana do movimento da Terra se mostrava incompatível com a física das coisas pesadas do mestre Aristóteles, que tinha a seu favor os dados da experiência sensorial. E as objeções mecânicas ao movimento terrestres revelam bem isso. A tese copernicana sempre se mostrava falsa à luz das observações e experimentos – não custa lembrar que no experimento da torre, a pedra sempre caía junto a torre. Não importa quantas vezes o experimento fosse realizado, o resultado sempre apontava para uma Terra estacionária no centro do Universo.

A física que fornecia uma explicação mecânica que adequasse o movimento terrestre com os dados da experiência empírica, mostrando que, mesmo a Terra em movimento, tudo se passaria como se ela estivesse parada, só foi possível se desenvolver graças ao intelecto de homens do calibre de Galileu. Vale ressaltar que, quando o físico italiano começou a explorar os céus, as únicas coisas que existiam a seu favor do sistema de mundo copernicano eram a sua simplicidade e a maneira concisa pela qual conseguia explicar as diversas características do movimento planetário, as quais só poderiam ser explicadas pela tradição de modo prolixo e artificial<sup>110</sup>.

---

<sup>109</sup> CHALMERS, Alan F. **O que é ciência, afinal?** p. 64, 1993.

<sup>110</sup> A principal característica é o movimento retrogrado dos planetas, particularmente o planeta Marte. No sistema ptolomaico, o movimento retrogrado era explicado utilizando os epiciclos que, diga-se de passagem, trata-se de

Assim, a despeito das falsificações, as formulações iniciais a respeito de uma nova astronomia seguiram em frente, mostrando que as revoluções científicas não surgem através das falsificações de conjecturas audaciosas, como defendem a maioria dos cientistas modernos. Ideias como a de uma inercia circular, presente mesmo que de forma incipiente na argumentação galileiana contra as objeções mecânicas ao movimento da Terra, não são fruto de observação e experimentação. Elas surgem graças a perseverança de intelectos como o de Galileu, que souberam olhar para os problemas a partir de uma outra perspectiva. Isso nos mostra que, só depois que um novo sistema físico é formulado, é que tal sistema pode ser submetido com sucesso ao escrutínio da observação e da experimentação, que passam agora a ser guiados por essa nova visão teórica.

A revolução copernicana representa para o pensamento humano aquele momento de mudança paradigmática, em que toda uma forma de pensar e ver o mundo é substituída por outra completamente diferente. Vale ressaltar que, quando foi concebido, o modelo geostático de Ptolomeu foi admiravelmente bem sucedido na predição da mudança de posição dos planetas e estrelas. Inclusive, tal modelo de predição ainda hoje pode ser usado para cálculos aproximados, pois, em termos estritamente matemáticos, para calcularmos a órbita de um determinado corpo celeste, basta estabelecermos um ponto de referência no céu e empreender as medições a partir desse referencial, seja ele a Terra, o Sol ou outra estrela qualquer. E no que diz respeito aos planetas, as previsões de Ptolomeu se equivaliam em termos de exatidão com as de Copérnico. Todavia, segundo Thomas Kuhn, quando estamos analisando uma teoria científica, o fato dela ser considerada como admiravelmente bem sucedida é bem diferente de ser totalmente bem sucedida<sup>111</sup>.

O grande problema do sistema ptolomaico estava na precessão dos equinócios que nunca conseguiam se ajustar as melhores observações disponíveis. Ainda segundo Kuhn, para os defensores de Ptolomeu, a redução dessas discrepâncias constituiu-se em um dos principais problemas da ciência astronômica normal, representando assim um ponto de tensão. E dado que a complexidade da astronomia estava aumentando mais rápido que a capacidade de previsão do sistema tradicional, começou-se a surgir na astronomia a necessidade de pensar em novos modelos preditivos<sup>112</sup>.

---

uma maneira um tanto *ad hoc* de resolver o problema. Em outras palavras, a introdução do sistema de epiciclos tinha muito mais a função de proteger o modelo astronômico vigente de uma possível refutação do que promover novas linhas de investigação.

<sup>111</sup> KUHN, Thomas. **A estrutura das revoluções científicas**, p. 148, 2013.

<sup>112</sup> Idem, *Ibidem*.

No início do século XVI, um número cada vez maior de astrônomos europeus estava convencido de que o paradigma astronômico estava fracassando nas aplicações de seus próprios problemas tradicionais. Um bom exemplo disso veio Domenico de Novara que declarou que nenhum sistema tão complicado e impressionante quanto o ptolomaico podia ser considerado realmente como a expressão da realidade. É fato que, desde de que foi concebido, o sistema geostático de Ptolomeu sofreu inúmeras modificações a fim de conciliar as suas previsões com as observações, ao ponto de se transformado em uma expressão puramente matemática com pouca ou nenhuma correspondência com a realidade. A maior prova disso é a o sistema de epiciclos que contrariava o modelo de esferas cristalinas da cosmologia antiga e que ainda era adotado pela maioria dos filósofos naturais do tempo de Copérnico.

Somado a tudo isso, ainda havia uma pressão social para a reforma do calendário, que tornou explícito as incongruências existentes entre o modelo ptolomaico e a precessão dos equinócios. Se isso não bastasse, havia ainda todo o ambiente intelectual da época de Copérnico com o renascimento do neoplatonismo e do pitagorismo, a crítica medieval à Aristóteles, e o progresso crescente da matemática que levou a uma emancipação da álgebra moderna dos grilhões da espacialidade. Fatores externos como os acima citados possuem uma importância especial para a rejeição do paradigma ptolomaico por parte de Copérnico e outros, levando assim a sua completa substituição por um mais simples e harmonioso com as observações.

## 24 CONSEQUÊNCIAS DO PRINCÍPIO DE RELATIVIDADE

A primeira e mais óbvia consequência da relatividade do movimento está na sua diferenciação com a concepção aristotélica de movimento. De certo modo, essa diferença já se encontra na própria definição mecânica do movimento, que diz que o movimento só opera como movimento nas coisas que carecem dele, porque naquelas coisas que participam igualmente dele, é como se o movimento não existisse. Com isso, na dinâmica moderna tanto o movimento quanto o repouso passa ser estados relativo, de tal modo que um mesmo corpo pode estar ao mesmo tempo em movimento e em repouso, dependendo o referencial que se adote. Na Física de Aristóteles movimento e repouso são condição ontologicamente diferenciadas, na medida em que o movimento é um processo e atualização que encontra o seu fim quando a potência motriz se efetuar por completo.

Mas, como vimos, a concepção moderna de movimento abole essa distinção ontológica entre movimento e repouso, que passam a ser estados relativos. Desse modo, enquanto que na definição aristotélica movimento e repouso representam conceitos *contrários*, na moderna definição de movimento, ambos os termos representam conceitos *complementares*, dado que um só pode ser definido em função do outro, isto é, o movimento de um corpo só pode ser concebido a partir de um ponto que assumimos como imóvel.

A segunda consequência da relatividade do movimento diz respeito a *operatividade* e *nulidade* do movimento. De acordo com essa noção, o movimento de um corpo poder ser considerado como nulo ou operativo a partir das condições mecânicas nas quais o corpo está envolvido. Para ser considerado nulo, o movimento tem que ser comum a muitos móveis, de tal modo que as relações espaciais que estes móveis estabelecem entre si não se alteram. E para se considerado como operativo, o movimento simplesmente não pode ser comum a vários móveis. Com isso, as relações espaciais entre o móvel e as demais coisas que com ele se relacionam mudam com o passar do tempo. Esse segundo aspecto da relatividade do movimento é uma consequência direta da própria definição mecânica do movimento, que determina o movimento e o repouso como estado relativos dos corpos. A terceira consequência da relatividade do movimento aponta para o fato de que existe uma diferença entre as experiências internas e as externas a um sistema de referência mecânico. Esse terceiro aspecto assinala que é impossível decidir a respeito do repouso ou do movimento uniforme de um sistema a partir de experiência realizadas no interior desse sistema. A quarta consequência diz respeito a naturalidade dos movimentos compostos. Segundo esse aspecto, o movimento natural para baixo realizado por uma pedra só poderá ser considerado simples ou composto a partir do referencial adotado pelo

observador. Assim, para um observador interno a um sistema que gira, o movimento de queda será visto como simples, mas para um observador localizado fora desse sistema, o movimento será visto como composto.

Analisaremos mais detidamente as consequências da relatividade do movimento na segunda jornada do *Diálogo*, na qual Galileu se utilizará de toda a mecânica do movimento para mostrar que as objeções mecânicas ao movimento terrestre não se sustentam à luz da moderna concepção de movimento. Para tanto, ele se utilizará de um conjunto de experiências realizadas no interior de um navio, experiências essas que o próprio Galileu admite que nunca ter realizado, mas possui plena convicção na objetividade e necessidade das implicações matemáticas, que dão a ele a garantia de que os resultados assim obtidos são verdadeiros e válidos para todas as situações.

## 25 GALILEU E O SEU “DIÁLOGO”

O ano de 1632 foi especial para Galileu, pois é do ano da publicação da obra com a qual ele vinha sonhando a tempos. Trata-se do *Diálogo*, ou melhor, do *Diálogo de Galileu Galilei linceu, matemático extraordinário do Estúdio de Pisa e filósofo e matemático primário do Sereníssimo Grão-Duque da Toscana; onde, nas reuniões de quatro jornadas, discorre-se sobre os dois máximos sistemas do mundo – ptolomaico e copernicano – proponde de maneira indeterminada as razões filosóficas e naturais tanto para uma quanto para a outra parte*. O título longo reflete exatamente a maneira como as grandes obras eram nomeadas à época de Galileu.

Isso nos oferece uma oportunidade única de analisar detidamente o título do *Diálogo* e, de ante mão, já saber melhor sobre o que trata a obra, incluindo seu objeto e objetivos. Primeiro, seu autor se qualifica como linceu, deixando claro que era membro da academia dos Linceus<sup>113</sup>. Além disso, no termo *linceu* há também uma óbvia alusão aos olhos apurados e penetrantes do lince. Segundo, Galileu se apresenta como filósofo e matemático. Vale ressaltar que nessa época a astronomia era considerada como uma disciplina essencialmente matemática. Assim, ao fazer questão de ser mencionado no título como primeiro filósofo e matemático da Toscana, Galileu de certo modo evidencia a proposta de seu projeto: unir filosofia e matemática em uma só disciplina, mostrando que a matemática tinha mais a oferecer do que uma mera contribuição instrumental. Ela na verdade não podia como deveria ser utilizada na determinação das causas dos fenômenos naturais e da estrutura real do Universo.

Outro ponto que também merece destaque é o anúncio de que ria propor *de maneira indeterminada as razões filosóficas e naturais tanto para uma quanto para a outra parte*. Isso quer dizer que Galileu não tinha a pretensão de decidir qual dos dois sistemas de mundo era o verdadeiro, se o ptolomaico ou o copernicano. De fato, a intenção inicial do *Diálogo* nunca foi provar que a tese copernicana era de fato verdadeira, mas mostrar que as objeções ao movimento terrestre não se sustentam à luz da nova ciência que estava surgindo, a física matemática. Com isso, Galileu nutria a esperança de que o Édito de 1616, que colocou o copernicanismo na ilegalidade e fez da Matemática uma disciplina dedicada unicamente à instrumentalidade do cálculo, fosse enfim revisto.

Embora o *Diálogo* não seja a obra mais madura de Galileu, é sem dúvida a mais célebre, a mais conhecida e citada de todas as suas obras. Muito disso se deve ao fato de do *Diálogo* não

---

<sup>113</sup> Trata-se de uma academia fundada em 1603 pelo príncipe Frederico Cesi e que representou uma das sociedades científicas que, nos séculos XVI e XVII, mais contribuíram para a produção e divulgação do trabalho científico.

ser propriamente um tratado de astronomia, mas um trabalho que enverada por questões filosóficas e metodológicas. Escrito na forma de diálogo, como o próprio nome já diz, o texto se assemelha aos diálogos filosóficos platônicos, em que há a busca pela verdade dos fatos por meio do raciocínio dialético. Procura-se com isso criar uma espécie de pedagogia que conduza o leitor a aceitação do copernicanismo. O *Diálogo* é considerado como uma obra intermediária entre outras precedentes a aquela que seria a mais madura de todas, *Discursos e demonstrações matemáticas acerca de duas novas ciências a respeito da mecânica e dos movimentos locais*, obra que foi publicada no final da vida de Galileu.

Como dissemos, o *Diálogo* foi escrito de forma dialógica. Trata-se, portanto, de uma conversa. Dela participam três personagens: Filippo Salviati, gentil homem florentino, acadêmico do linceu e amigo de Galileu; Simplício, nome que faz referência ao principal comentador das obras de Aristóteles da antiguidade tardia<sup>114</sup>; e, por fim, Giovanni Francesco Sagredo, gentil homem veneziano em cujo palácio em Veneza tem lugar o diálogo. Dentre esses três personagens, Salviati se coloca como o porta voz de Galileu, referenciado no *Diálogo* como *nosso Acadêmico*. Simplício representa a ciência aristotélica-ptolomaica tradicional. E Sagredo representa o homem culto e inteligente que assume a função de mediador entre Salviati e Simplício, embora em muitos momentos haja uma clara tomada de posição de Sagredo a favor das ideias de Salviati.

O *Diálogo* está dividido em quatro jornadas. Cada jornada é precedida por um prefácio e de uma dedicatória ao Grão-Duque Fernando de Médicis da Toscana. Em cada prefácio há o conteúdo do que será discutido na jornada em questão, e a partir da segunda jornada em diante consta também, além do conteúdo a ser tratado, um resumo do que foi discutido na jornada anterior. Vejamos agora, de forma resumida, alguns pontos contidos em cada jornada.

A primeira jornada discute a concepção geral do Universo, na qual Galileu, por meio de Salviati, demonstra que a estrutura das duas esferas, uma terrestre e outra celeste, que distinguia duas regiões ontologicamente distintas, governada por leis distintas, e que era defendida pela tradição, não faz mais sentido. Tal concepção de mundo se mostra superada graças, principalmente, as descobertas telescópicas mais recentes acerca da Lua e outros astros, as quais revelaram que os corpos celestes são tão parecidos quanto a Terra, o que tornava injustificável a distinção ontológica entre Céu e Terra concebida por Aristóteles.

---

<sup>114</sup> Como um bom debatedor irreverente que sempre foi, Galileu também escolhe chamar o seu personagem de Simplício em virtude desse personagem se colocar como porta voz das ideias que giram em torno da Física de Aristóteles, tida por nosso autor como uma física simplista de senso comum. Assim, o nome “Simplício” evocaria justamente alguém cuja as ideias seriam tão simplistas quanto a física que ele defende.

De todas as jornadas, a primeira é sem dúvida a que guarda o aspecto mais filosófico. A refutação da dicotomia entre Céu e Terra não fica restrita a evidências empíricas. Ela é dirigida também a certos conceitos centrais da cosmologia e da Física aristotélica. Um dos conceitos atacados pelo nosso autor é a definição de natureza como princípio de movimento e de repouso. Segundo Galileu Sagredo, tal definição é problemática, dado que Aristóteles introduz dois termos que em sua Física são opostos, o *movimento* e o *repouso*, o que acaba fazendo dessa definição uma contradição lógica<sup>115</sup>.

Um outro ponto igualmente problemático apontado pelo autor diz respeito a ideia de que os processos de mudança, que incluem a geração e a corrupção, só se realizam quando há a presença de algum contrário. E no que tange ao movimento, apenas um pode admitir contrários. É o caso do movimento reto, que pode ser tanto para cima quanto para baixo, isto é, pode ser tanto no sentido ascendente, se afastando do centro da Terra, quando no sentido descendente, se aproximando do centro. O movimento circular não admitem contrários, dado que não há oposição envolvida para quem se move em círculo<sup>116</sup>. E como o movimento reto é típico dos corpos terrestres, e não dos celestes que se movem em círculo em torno do centro da Terra, sendo esse fato confirmando pela simples observação, os processos de mudança, que incluem a geração e a corrupção, só vão ser verificados nos corpos terrestres. O Céu, incluindo todos os corpos que nele habitam, são do tipo não gerável e incorruptível.

Diante dessas considerações apontadas e defendidas por Simplicio, Galileu, na pele de Salviati, faz uma série de críticas a respeito da ausência da contrariedade no movimento circular e do movimento dos corpos terrestres, que para o nosso autor não se movem necessariamente em linha reta. Contudo, de todos os comentários e críticas feitas a física e a cosmologia aristotélica, a que mais tem peso na argumentação de Salviati é o argumento dos sentidos. Segundo ele, as descobertas telescópicas feitas pelo “nosso Acadêmico”, revelam a presença de vales e montanhas na superfície da Lua e manchas na superfície solar, que aparecem e se dissolvem, mostrando que esses astros apresentam e estão sujeitos as mesmas mudanças que presenciemos na Terra, chegando a afirmar inclusive que o próprio Aristóteles mudaria de opinião se pudesse ver as novidades desse século<sup>117</sup>.

A primeira jornada se encerra com o nosso autor apontando mais razões para se duvidar na existência de uma dicotomia entre Céu e Terra, do que razões para se crer que tal dicotomia é de fato verdadeira.

---

<sup>115</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 101, 2011.

<sup>116</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 123, 2011.

<sup>117</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 135, 2011.

A segunda jornada tem um foco diferente. Nela, o autor se propõem a analisar as experiências terrestres que visavam estabelecer a imobilidade da Terra. Em sua análise, Galileu procura mostrar que tais experiências nada provam, dado que para o observador terrestre os fatos da experiência continuam os mesmos, quer se supunha uma Terra imóvel, quer se supunha uma da Terra girando em torno de seu próprio eixo em 24 horas. Para tanto, Galileu irá desenvolver a concepção de movimento relativo e de movimento participativo a partir do princípio de relatividade óptica do Copérnico. Munido dessa nova concepção de movimento e da ideia de participação do observador e de tudo aquilo que circunda a Terra no movimento de rotação, o nosso autor mostrar que as objeções mecânicas ao movimento da Terra só fazem sentido dentro da Física aristotélica. Mas se considerarmos tais objeções à luz de uma nova física, uma física matemática que se apoia em conceitos relativistas, elas não se sustentam.

O objetivo específico de nossa dissertação é justamente a análise dessa segunda jornada e a forma como a experiência, a partir da nova concepção de movimento e, principalmente, de todas as consequências trazidas para o campo da física com a adoção dessa nova concepção, se transformou em experiência científica, perdendo assim o seu aspecto ingênuo típico da empiria aristotélica.

A terceira e quarta jornadas dedicam-se a assuntos de cunho mais astronômico. Elas possuem um aspecto muito mais técnico e procuram mostrar que as objeções astronômicas ao movimento de rotação da Terra em torno do Sol carecem de uma melhor fundamentação, principalmente quando consideramos todas as coisas discutidas na primeira e segunda jornadas. Na terceira parte, o autor passa ao exame dos fenômenos celestes que confirmam o movimento da Terra em torno do Sol. Para tanto, Galileu retoma certos argumentos apresentados em obras anteriores, discutindo questões como as fases de Vênus, a grandeza aparente de Marte e Vênus em diferentes momentos e as manchas solares.

Finalmente, a quarta e última jornada, que aos olhos de Galileu é a mais relevante, pois é nessa jornada que o nosso autor mostra que o fluxo e o refluxo das marés seriam impossíveis se adotássemos a hipótese de uma Terra estacionária. Segundo o nosso autor, a dinâmica das marés só seria explicável se adotássemos a tese copernicana de duplo movimento da Terra, a rotação e a translação.

Antes de encerramos essa parte, é importante mencionar que essas quatro jornadas não possuem igual valor. Nas duas primeiras, Galileu empreende uma espécie de limpeza de terreno e servem de preparação para as jornadas finais. Ademais, não há dúvida que nessas duas partes iniciais, o nosso autor triunfa em refutar a ideia de uma distinção ontológica envolvendo o Céu e a Terra, como os dados da observação celestes realizados pelo telescópio revelando que os

corpos celestes são dotados de propriedades semelhantes que aquelas encontradas nos corpos terrestres. E, se por um lado as experiências terrestres não conseguem provar a mobilidade da Terra, por outro também não conseguem provar a sua imobilidade.

Todavia, alguns comentadores consideram a terceira e quarta jornadas bastante problemáticas no que se refere a defesa da mobilidade da Terra. Isso porque, apesar dos fenômenos invocados na terceira jornada serem bem mais explicados se admitíssemos o caráter planetário da Terra, esses fenômenos estão longe de poder provar que a Terra de fato se move em torno do Sol. No entanto, o principal objetivo do *Diálogo* nunca foi o de provar a mobilidade da Terra. O próprio Galileu, ao se referir a sua hipótese das marés que só seria possível com a adoção do sistema copernicano, admite que nunca foi pretensão sua conseguir de outros o assentimento que ele mesmo não concede ao que chama de *fantasia*, a qual poderia “facilmente considerar como uma quimera absolutamente vã ou um solene paradoxo”<sup>118</sup>.

O verdadeiro objetivo do *Diálogo* era mostrar que aqueles que se opunham ao movimento da Terra, o faziam por meio de argumentos que não eram suficientemente convincentes, principalmente quando submetidos ao crivo da nova ciência física que estava propondo. Desse modo, é lícito afirmar que, em última instância, sua intenção ao escrever o *Diálogo* era fazer como que a tese copernicana conseguisse ter uma maior plausibilidade não só aos olhos dos intelectuais, mas a todos aqueles que consigam observar os Céus com os mesmos olhos que ele observa, os “olhos” da razão.

---

<sup>118</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 537, 2011.

## **26 A SEGUNDA JORNADA E AS OBJEÇÕES MECÂNICAS AO MOVIMENTO DA TERRA: ANÁLISE E CONSIDERAÇÕES**

A segunda jornada, como dissemos, tem por objetivo neutralizar as objeções mecânicas ao movimento de rotação da Terra. Para conseguir isso, Galileu irá introduzir o princípio de relatividade do movimento associado a ideia de movimento participativo atribuído a todos os corpos circunvizinhos a Terra. A noção de relatividade do movimento e de participação no movimento de rotação subvertam os princípios da Física de Aristóteles, que não admite a associação de dois ou mais movimentos que possam atuar simultaneamente nos corpos. Essas duas noções galileanas são as únicas formas que tornam possível a admissão de um movimento de rotação a Terra. Movimento esse que, quando analisado dentro dos quadros da física aristotélica, torna-se infundado.

Além da análise dos argumentos contrários a rotação terrestre, Galileu na segunda jornada também nos presenteia com considerações amplas sobre o argumento de autoridade, sobre as relações entre física e geometria, sobre a lei da queda dos corpos e sobre as possibilidades e limites do conhecimento humano.

## 26.1 Segunda jornada

O diálogo principia com Sagredo retomando de forma resumida o que havia sido discutido na jornada do dia anterior. De acordo com o que Sagredo guarda em sua memória, a jornada teve como tema o exame de qual das duas opiniões é a mais provável e razoável: aquela que sustenta a substância dos corpos celestes como não gerável e incorruptível, sendo, portanto, imutável e tendo como única exceção a essa imutabilidade, o movimento de rotação local dos astros em torno do centro da Terra; ou a outra que defende que os corpos celestes são dotados de propriedades semelhantes aquelas encontradas na Terra, apresentando desse modo todo tipo de mudança e alteração, incluindo a geração e a corrupção. Para analisar a probabilidade e razoabilidade dessas duas opiniões, lançou-se mão das descobertas telescópicas feitas sobre os astros, especialmente aquelas descobertas que aproximavam a superfície da Lua com a superfície da Terra, de tal modo que seria difícil, com base em tais descobertas, poder ainda sustentar a ausência de qualquer tipo de incorruptibilidade para os corpos celestes. Assim, a partir de tudo o que foi exposto, foi possível concluir que a segunda opinião, a que aproxima a substância celestes da substância terrestre, é só a mais provável como também a mais razoável.

Salviati agradece a Sagredo por ter lhe revivido a memória sobre tudo o que tinha sido discutido, mas lhe adverte dizendo que ele, Salviati, não havia concluído coisa alguma. O que fez foi unicamente expor as razões a favor de uma opinião e as razões a favor da outra, deixando a decisão sobre qual seria a mais provável e razoável a cargo dos ouvintes.

Tendo exposto resumidamente o conteúdo da discussão do dia anterior, o diálogo então é retomado tendo como tema um assunto que sempre se mostrou muito caro a Galileu: o apelo a autoridade. Tendo como pano de fundo a discussão sobre a origem dos nervos segundo a medicina moderna e segundo Aristóteles, Galileu, por meio de Sagredo, nos conta que certa vez um estimado médico em Veneza, durante uma de suas dissecações, fez questão de mostrar a um peripatético, que assistia ao procedimento, a origem de um certo nervo cuja localização se dava na cabeça, se estendia pela coluna e terminava seu percurso na altura do coração. Quando questionado pelo médico se estava convencido após ter verificado por si mesmo que os nervos tem como origem a região da cabeça e não no coração, como supunha o Filósofo, então após uma longa pausa, o seguidor de Aristóteles pontua que se o mestre grego não tivesse escrito em sua Física que os nervos se originam no coração, ele sem dúvida teria acreditado no que acabara de presenciar de modo tão sensível<sup>119</sup>.

---

<sup>119</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 190 – 1, 2011.

Não há como não ver nesse episódio uma espécie de analogia com as inúmeras recusas que Galileu recebeu ao longo de sua carreira por parte dos jesuítas quando insistia para que olhassem pelo telescópio e atestassem com os próprios olhos que os Céus não eram imutáveis como a cosmologia aristotélico-ptolomaica afirmava. E, mesmo que relutantemente olhassem, por um segundo que seja, os Céus pelo telescópio, muito provavelmente não veriam as coisas que Galileu dizia ver. Isso porque, o nosso autor enxergava muito mais com os olhos do intelecto do que com os da sensibilidade. Esse é um ponto bastante controverso, dado que a astronomia é uma ciência essencialmente empírica. Todavia, o modelo copernicano defendido pelo nosso autor é algo de natureza contra intuitiva, de modo que recorrer a algum tipo de experimentação para confirmar a suposta rotação da Terra, no tempo de Galileu, serviria unicamente para falsear a tese da sua mobilidade.

O diálogo segue como Simplício afirmando que essa questão em torno da origem dos nervos ainda não está completamente resolvida, coisa que Sagredo concorda, principalmente, expõe ele, enquanto a disputa se resume a respostas das do tipo que fora apresentada pelo peripatético que, ao invés de apresentar as causas ou as razões para acreditar em uma origem cardíaca para os nervos, se limitou a recorrer ao poder da autoridade vinda de Aristóteles. Eis, então, que Simplício, diante da afronta a autoridade do mestre grego, expõe aquilo que seriam os requisitos básicos para o bom filosofar pela via aristotélica. Segundo ele, Aristóteles não deixou muito bem encadeado os seus silogismos. Esse fato, em vez de ser visto como um ponto negativo pelo peripatético Simplício, é antes tomado como uma virtude, pois o grande Aristóteles não escrevia para o vulgo, mas sim para aqueles que seriam os seus iniciados na filosofia peripatética.

Assim, para se conhecer as causas e as razões de uma determinada afirmação, há de se conhecer primeiro a sua obra como um todo, e, desse modo, saber combinar uma passagem com outra, um texto com outro, para que ao final se possa encontrar as demonstrações necessárias para tudo aquilo que afirmou sobre física ou qualquer outro tema. E finaliza dizendo que quem souber agir desse modo, saberá que Aristóteles adquiriu tamanha autoridade graças a força das suas demonstrações<sup>120</sup>.

Mas, segundo Sagredo, esse não é um bom modo de filosofar, e estranha Simplício não perceber isso. Ora, pontua Sagredo, se for para agir desse modo, combinando passagens de forma espúria, e agrupando texto que muitas vezes não tratam do tema em questão, pode-se chegar de maneira muito fácil a qualquer tipo de confirmação, por mais improvável ou

---

<sup>120</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 191, 2011.

inverossímil que ela possa parecer. No Texto, o nosso autor chama esse método colocado por Simplicio de um “artifício arguto para aprender a filosofia a partir de qualquer livro”. E no texto, Sagredo usa como exemplos os versos dos poetas Virgílio e Ovídeo, dizendo que, se seguisse a recomendação do amigo peripatético, poderia encontrar em tais versos explicações as mais variadas para todo tipo de questionamento que pudesse fazer.

Salviati não só dá o seu assentimento para a fala de Sagredo, como usa dessa oportunidade para contar uma história, que de tão ridícula, poderia ser tomada como uma anedota. Diz ele que certa vez, um doutor de uma Universidade famosa, ao ouvir a descrição do telescópio, que ainda não tinha visto, disse que a invenção desse instrumento pertencia a Aristóteles. Para confirmar o que tinha dito, apresentou uma passagem de um texto do referido filósofo, na qual podia-se ler a seguinte coisa: “do fundo de um poço muito profundo, podia-se de dia ver as estrelas no céu”. E, como que tomado por uma euforia, completou: “aqui está o poço, que denota o tubo; aqui estão os densos vapores, dos quais foi obtida a invenção dos cristais; e eis aqui, finalmente, a visão fortificada ao passarem os raios pelo diáfano mais denso e escuro”<sup>121</sup>. Muito provavelmente, Galileu está se referindo a uma passagem contida em *Da geração dos animais* de Aristóteles, onde se pode ler: “Pois a mesma pessoa, se ela põe sua mão de anteparo aos olhos ou olha através de um tubo, não distingue as cores mais ou menos em cada caso, mas vê mais longe; de fato, homens em fossos ou poços algumas vezes veem as estrelas”<sup>122</sup>.

Esse fato narrado por Salviati é comparado por Sagredo as antigas profecias oraculares, que só se compreendiam o que realmente queriam dizer depois de terem acontecido os eventos das coisas vaticinadas por elas. Do mesmo modo, continua Sagredo, procediam aqueles que interpretavam as fábulas dos alquimistas como contendo segredos que, quando revelados, poderiam ser usados para a fabricação de ouro. Comentários desse tipo escancaram a crítica que Galileu faz a aqueles que, assim como os que procuram em fábulas antigas um modo de produzir ouro, interpretam a Bíblia como se ela fosse uma espécie de tratado cosmológico, e não um compêndio sobre valores morais. Era comum, por exemplo, se utilizar de certas passagens do livro Sagrado para justificar o imobilismo da Terra. A passagem que mais corrobora a imobilidade terrestre, e que é utilizada para se esvaziar a tese copernicana, é a de Josué. Nela, a pedido do próprio Josué, Deus fez parar o Sol e prolongar o dia. Com isso, o herói das Escrituras pôde enfim alcançar a vitória (Josué 10:13).

---

<sup>121</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 192, 2011.

<sup>122</sup> ARISTÓTELES, *Da Geração dos animais*, V, 1, 780b 17 – 21.

Em uma carta enviada a Dom Benedetto Castelli [1578 – 1643]<sup>123</sup> sobre o papel das Escrituras em discussões envolvendo questões do âmbito natural, Galileu esclarece que o livro Sagrado só contém verdades, e que Ele não pode nunca mentir ou errar. Contudo, o mesmo não pode ser dito com relação aos seus interpretes e expositores. Pois, não raro, muitos ao se depararem com a texto bíblico querem interpreta-lo segundo o puro significado das palavras, o que, invariavelmente, acaba sendo fonte de erro e conduzindo a diversas contradições.

Desse modo, Galileu admite que as Escrituras em muitas de suas passagens não apenas admite, mas necessita forçosamente que façamos uma exposição que difira do significado aparente das palavras. E, no tange as discussões naturais, o nosso autor assinala que o texto Sagrado deveria na verdade ser o último a ser consultado. Mas, mesmo assim, sempre que nos deparamos com uma aparente contradição envolvendo alguma passagem bíblica e algum fato da natureza, devemos sempre força a nossa interpretação no sentido de tornar a passagem Sagrada compatível com a realidade do mundo natural, e não o contrário, dado que não pode haver duas verdades que se contradigam<sup>124</sup>.

Assim, diante da passagem supracitada de Josué, Galileu nos oferece a seguinte linha interpretativa. Se levando em consideração que a perspectiva de quem escreveu a passagem bíblica é geocêntrica, então é forçoso admitir que, por essa perspectiva, o Sol realiza dois movimentos: um anual, que vai de Oeste a Leste; e outro diário, que vai de Leste a Oeste. Contudo, esses são movimentos aparentes feitos pela Sol. Na verdade, ao astro Rei, só pode ser imputado um único movimento: o anual. O outro, o movimento diário, quem realiza é o Céu, ou melhor, as esferas últimas do conjunto de esferas celestes que, ao girar, levam consigo o Sol, a Lua e os demais astros e estrelas.

Desse modo, para que Josué pudesse ter um dia mais longo, ou seja, um dia com um maior tempo de exposição a luz solar, Deus teria que parar o Céu, dado que é graças ao seu movimento diário em torno da Terra que temos os dias e as noites. Se Deus fizesse parar o Sol exatamente como está na letra do texto, em vez de dias mais longos, teríamos na verdade dias mais curtos, pois o Sol ao mover-se anualmente para Leste, leva a um retardo do seu ocaso, o qual ocorre a Oeste devido, como vimos, ao movimento do Céu que o arrasta consigo. Contudo, no texto, Deus fez parar o Sol, e não o Céu. Assim, para evitar uma adulteração do texto original, com a interpolações indevidas, é forçoso admitir que a configuração astronômica que mais

---

<sup>123</sup> Benedetto de Castelli além de um professor de matemática da universidade de Pisa, na Itália, foi também um discípulo e colaborador de Galileu.

<sup>124</sup> GALILEU, *Carta a Dom Benedetto Castelli*, 282 -3, p. 19 -20, 2011.

representa a fala divina não é outra senão a copernicana, cujo modelo funciona tendo o Sol imóvel no centro do Universo.

Apesar de todo o diálogo se encaminhar no sentido de diminuir o poder da Tradição, representado principalmente pela autoridade de Aristóteles, Galileu Salviati admite que o grande problema não reside diretamente no mestre grego, mas nos seus partidários que, ao interpretam os textos de modo extravagante, a exemplo do doutor que quis atribuir ao Filósofo a invenção do telescópio, ao pinçar passagens aleatórias em textos que nada trazem a respeito do tema, acabam lhe estragando a reputação. E acrescenta que, se estivesse vivo, o grande Aristóteles certamente mudaria de opinião ao ter acesso as grandes descobertas astronômicas, dado que, além de ser dono de uma mente indócil e obstinada, seu método era essencialmente empírico.

Após uma longa discursão sobre a forma muitas vezes extravagante e até mesmo pusilânime com que alguns dos seguidores de Aristóteles tratavam as suas obras, ao ponto de levar a uma adesão acrítica de sua Filosofia, especialmente da sua Filosofia Natural, o diálogo se encaminha para a análise daquilo que seria o tema central da segunda jornada: *as objeções mecânicas ao movimento de rotação terrestre*. Tais objeções se baseiam na observação do observador terrestres da queda livre dos corpos graves nas suas duas versões: a queda do alto da torre e a queda do alto do mastro do navio<sup>125</sup>. Entre essas duas, a queda do alto do mastro do navio é a mais significava, pois o navio em movimento funciona exatamente como a Terra em movimento.

Para conseguir dar combate as objeções ao movimento terrestres, Galileu irá apresentar uma definição mecânica do movimento que leva em conta a posição relativa do observador. Em associação a essa que pode ser considerada a concepção moderna de movimento, o autor irá trazer a ideia de movimento participativo como forma de demonstrar que o movimento só opera como movimento para as coisas que carecem dele, mas para as coisas que participam igualmente dele, o movimento funciona como se não existisse.

Salviati, então, nos apresenta o principal ponto a ser considerado quando pretendemos analisar a existência ou não de algum movimento que possa ser atribuído a Terra. Segundo ele, qualquer movimento que seja atribuído a Terra tem necessariamente que ser imperceptível para nós que somos seus habitantes, dado que, assim como as demais coisas que circundam a Terra, nós também participamos de seu movimento. Desse modo, se considerarmos unicamente as coisas terrestres, tudo se passaria como se o movimento não existisse. Todavia, mesmo que para

---

<sup>125</sup> Existem outras objeções ao movimento de rotação da Terra, centradas na experiência do observador, mas todas elas representam variações obtidas a partir dessas duas versões.

nós o movimento não seja perceptível, ele tem que ser para todas as coisas que não pertençam a Terra. Desse modo, Salviati propõe que a única metodologia que seria capaz de averiguar o movimento da Terra, é aquela que levasse em consideração a observação dos corpos que estivesse separados dela.

Assim, se for observada nesses corpos alguma aparência de movimento, então tal movimento pode ser atribuído ou a Terra, ou aos corpos que estão separados da Terra, ou ainda a ambos. Isso porque, pelo princípio de relatividade óptica de Copérnico, presente no livro V do *De Revolutionibus*, o movimento de alguma coisa observadas pode ser atribuído ou a própria coisa, ou ao observador, ou a ambos.

E, segundo Salviati, existe um movimento tão geral que a sua aparência se sobressai sobre todos os outros. Trata-se daquele movimento que vemos ser realizado pelo Sol, a Lua e demais astros e estrelas, em suma, por tudo o Universo, em torno da Terra, e que ocorrer diariamente de Leste a Oeste em 24 horas. Ora, em virtude de tudo que foi estipulado sobre o movimento, dada a aparência desse, nada impede de ser atribuído ou à Terra, ou a todo o Universo, excluindo a Terra, pois a mesma aparência de movimento poderia ser vista observando-se tanto de uma quanto da outra posição. De acordo com Salviati, essa aparência de movimento foi o que levou Aristóteles e Ptolomeu, em suas tentativas de provas o imobilismo da Terra, a se insurgirem contra esse tipo de movimento diurno, pois, segundo o nosso interlocutor, eles foram os únicos que efetivamente compreenderam as relações envolvidas entre o observador e a coisa observada.

Tais considerações a respeito do movimento, no entanto, levantam em Sagredo a dúvida deveras pertinente, que o leva a questionar se Copérnico não teria errado ao atribuir à Terra um segundo movimento, o de translação, dado que, pela regra que acabara de ser estipulada, tal movimento deveria ficar, quanto à aparência, imperceptível para nós, mas perceptível para todo o resto do Universo, coisa que não se verifica para esse suposto movimento de translação. Quanto a isso, Salviati pontua que a dúvida do amigo é razoável, mas que ainda não é chegada a hora de discuti-la. Mas no momento oportuno, quando a discussão estiver se encaminhado para esse lado, ele próprio, Sagredo, poderá constatar o quanto Copérnico superou Ptolomeu em agudeza e perspicácia de engenho por ter notado o que esse último não notou, qual seja, a admirável correspondência com a qual tal movimento se reflete no restante dos corpos celestes.

Tendo verificado que o movimento diurno pode ser atribuído tanto a Terra quanto ao Céu, Galileu Salviati faz notar que em virtude do tamanho da esfera estelar e da velocidade que seria necessário desenvolver para poder completar uma volta completa em volta da Terra no intervalo de 24 horas, seria muito difícil defender a ideia de que o movimento diurno possa

pertencer ao Céu ao invés da Terra. Por outro lado, o globo terrestre, por ser menor, poderia facilmente completar uma volta completa em torno de si mesmo em 24 horas sem ter que para isso desenvolver uma velocidade monstruosa<sup>126</sup>. Desse modo, é muito mais provável atribuir o movimento diurno a Terra do que ao restante do Universo.

Ao ouvir as razões que levaram Salviati a ponderar a favor do movimento diurno da Terra, Sagredo acrescenta que a única coisa que ainda podia levar alguém a duvidar do movimento diário de rotação terrestres, é se as mesmas considerações mecânicas feitas para o Céu também pudessem ser atribuídas à Terra em igual proporção. Mas como esse não é o caso, em virtude de seu menor tamanho, realmente é muito mais provável defender a ideia de uma Terra que gira em torno si mesma em um intervalo de 24 horas, do que achar o movimento diurno se deva ao restante do Universo. E para mostrar o quão provável e também razoável é a ideia de atribuir o movimento diurno à Terra, Sagredo compara a falta de razoabilidade de quem defende ser o Céu que gira diurnamente, e não a Terra, com aquele que tendo subido no alto de uma Cúpula com o intuito unicamente de apreciar a vista, pedisse que fizesse girar toda a região ao invés de simplesmente mover a cabeça<sup>127</sup>.

Esse é sem dúvida uma comparação interessante que mostra a falta de bom senso daquele que defende o movimento diurno de toda a “Cúpula” do Céu, quando tal movimento pode, de uma maneira muito mais simples, ser realizado unicamente pela Terra. Mas para que grandes homens como Aristóteles e Ptolomeu tenham atribuído o movimento diurno ao Universo, e não a Terra, é preciso ter havido razões muito boas. Cabe, portanto, ao Sr. Simplício apresenta-las.

Entretanto, antes de Simplício expor os argumentos contrários ao movimento diurno da Terra, Galileu Salviati apresenta aquela que pode ser muito bem considerada a definição moderna de movimento, e diz respeito a uma concepção relativista do movimento. Por meio dessa nova concepção do movimento, o autor pretende provar que a Terra se move em torno de si mesma<sup>128</sup>. Diz ele:

Contudo notai: o movimento entanto é movimento e como movimento opera, enquanto tem relação com coisas que carecem dele; mas entre as coisas que participam todos igualmente dele, nada opera e é como se ele não fosse<sup>129</sup>.

<sup>126</sup> Na verdade, a velocidade ainda continua sendo bem considerável. Para se ter uma ideia se pegarmos um ponto específico situado na superfície próximo ao equador, onde a circunferência da Terra é de aproximadamente 38.500 Km, notaremos que a velocidade média para essa região do equador é de 440 m/s. Tal resultado é facilmente obtido pela seguinte formulação:  $V=D/T = 38.500 \text{ Km} / 24 \text{ h} = 1.600 \text{ Km} = 1.600.000 \text{ m} / 60 \times 60\text{s} = 440 \text{ m/s}$ .

<sup>127</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 198, 2011.

<sup>128</sup> Essas “provas” devem ser tomadas mais como evidências que corroboram a tese do movimento diurno da Terra, do que verdades incontestáveis do movimento de rotação terrestre.

<sup>129</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 198, 2011.

E continua:

e assim as mercadorias das quais está carregado um navio, enquanto se movem, deixando Veneza, passando por Corfu, por Cândia, por Chipre, indo até Alepo, sendo que Veneza, Corfu, Cândia etc. ficam, não se movem como o navio; mas para os fardos, caixas e outros volumes, dos quais está carregado e repleto o navio e, com respeito ao próprio navio, o movimento de Veneza até Soria é com que nulo, e nada altera a relação existente entre eles, e isto porque é comum a todos e por todos igualmente participado; e quando das mercadorias que estão no navio um fardo se tenha afastado de uma caixa um só dedo, só isso terá sido para ele um movimento maior, em relação à caixa, que a viagem de duas mil milhas efetuada por eles conjuntamente<sup>130</sup>.

Ao ouvir a exposição de Salviati, Simplicio afirma que o conceito apresentado que aborda o aspecto relativista do movimento já tinha sido apresentado e explorado por Aristóteles. Contudo, Salviati garante que essa noção de relatividade é mais antiga que o próprio Aristóteles, pertencente a alguma boa escola filosófica. Segundo Salviati, ao ter contato com tal doutrina, o grande mestre grego não só não a compreendeu por completo, como também a alterou segundo os ditames de sua própria Filosofia Natural. Muito possivelmente, Galileu está se referindo a uma passagem do *Moto animalium*, na qual Aristóteles parece apontar para uma relação relativista como condição para o movimento, ao dizer que “tudo que se move, move-se sobre alguma coisa móvel”, dado que “assim como deve existir algo imóvel no interior do animal, se ele deve mover-se, assim também, ainda mais, deve existir fora dele algo imóvel, que sirva de suporte para aquilo sobre o qual se move o que é movido”<sup>131</sup>.

Contudo, segundo Salviati, a posição de Aristóteles não deve ser interpretada como uma doutrina a favor da relatividade do movimento, pois é muito provável que ao dizer que tudo que se move, move-se sobre alguma coisa imóvel, ele não estava querendo dizer que tudo que se move, move-se com respeito a alguma coisa imóvel, pois essa proposição é muito clara ao defender como condição para se determinar o movimento de alguma coisa, relaciona-la a algo que assumimos que imóvel em relação a primeira, enquanto que a outra proposição da forma como foi colocada requer uma interpretação um tanto forçada, deixando margem para a dúvida.

Tendo esclarecido que a doutrina relativista do movimento não provem de Aristóteles, mas de alguma escola filosófica anterior ao filósofo grego, Galileu Salviati apresenta a primeira prova a favor do movimento diurno da Terra. Tal prova faz uso não só das noções de *operatividade* e *nulidade* do movimento, advindas diretamente da concepção relativista do

---

<sup>130</sup> Idem, Ibidem.

<sup>131</sup> ARISTÓTELES, *Moto animalium*, 2, 698b – 699<sup>a</sup> 11.

movimento, mas principalmente de um princípio empírico baseado na ideia de *simplicidade operacional* da natureza – a natureza não faz como mais aquilo que pode fazer com menos.

O argumento de Salviati apresenta duas partes. Na primeira, o autor retoma a situação das mercadorias descritas dentro do navio que parte de Veneza até Alepo, para tornar evidente que o movimento de qualquer coisa só pode ser considerado operativo e, portanto, perceptível quando o relacionamos com algo que assumimos como imóvel. Essa operatividade se mostra por meio da mudança espaço temporal existente entre as coisas que se movem e as imóveis. Mas quando tal mudança não é evidenciada, isto é, quando nada muda entre o ser movente e as demais coisas que como ele se relacionam, o movimento é percebido como que nulo ou não existente. Na segunda parte, é mostrado que, tendo sido o Universo dividido em duas partes, uma necessariamente móvel e outra imóvel, e levando-se em consideração que o movimento depende unicamente das relações que se possa estabelecer entre coisas móvel e imóveis, tanto faz considerar a Terra móvel ou o restante do Universo. Mas, como demonstrado, fazer mover todo o Universo deixando-se imóvel unicamente a Terra, é uma tarefa deveras dispendiosa, e como é consenso geral acreditar que a natureza não costuma fazer como mais aquilo que ela pode fazer com menos, haveria então muito mais razões para se crer que o movimento diurno pertence unicamente a Terra, do que razões para se duvidar disso.

Sendo, portanto, evidente que o movimento, que seja comum a muitos móveis, é ocioso e como que nulo no que se refere à relação desse móveis entre si, pois que entre eles nada muda, e somente é operativo na relação que esses móveis têm com outros que não possuem aquele movimento, entre os quais se muda a disposição; e tendo separado o universo em duas partes, uma das quais é necessariamente móvel, e a outra imóvel, por tudo aquilo que possa depender desse tal movimento, tanto faz que se move somente a Terra como todo o restante do mundo ... [mas] quem quererá acreditar que a natureza (que, entretanto, por consenso comum, não faz com a intervenção de muitas coisas aquilo que pode fazer por meio de poucas), tenha escolhido fazer mover um número imenso de corpos enormes, e com uma velocidade inestimável, para obter aquilo que com o movimento insignificante de um só em torno do seu próprio centro poderia obter?<sup>132</sup>.

O sistema copernicano já se mostrado ser um sistema de maior plausibilidade do ponto de vista do bom senso, mas a fala de Salviati nos apresenta pela primeira vez uma razão que vai além do bom senso. O sistema copernicano seria superior ao ptolomaico quanto a plausibilidade, porque os mesmos efeitos observados quanto ao movimento poderiam ser obtidos simplesmente fazendo-se girar a Terra, sem a necessidade de envolver o movimento

---

<sup>132</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 199, 2011.

simultâneo de outros planetas. Assim, além do bom senso, haveria também o princípio empírico da parcimônia a favor de Copérnico. Desse ponto em diante, serão apresentados mais sete argumentos a favor da maior plausibilidade do sistema de Copérnico frente ao ptolomaico.

Mas como pode ser menos plausível um movimento que é tão intuitivo como o movimento do Sol, da Lua e demais astros, enfim de todo o Céu, em torno da Terra. Como que a passagem do Sol de um meridiano ao outro pode ser considerada nula, se é justamente esse levantar-se e abaixar-se sobre o horizonte que gera os dias e as noites, questiona Simplício ao final da exposição de Salviati. Todos esses eventos podem ser produzidos pelo simples movimento da Terra ao girar em torno de si mesma, ou seja, não existe nenhuma mudança que se atribua ao movimento dos corpos celestes, que também não possa ser atribuída unicamente a Terra, com a vantagem de esse último poder gerar esses mesmos efeitos com um simples movimento rotacional da Terra, responde Salviati a Simplício, e acrescenta que para se fazer mover todo o Céu, ao invés da Terra, é necessário que se inverta as órbitas de todos os planetas e também do sol, pois como é sabido os astros possuem dois tipos de movimento, um anual, mais lento, que vai de ocidente a oriente, e outro diário, mais rápido, que vai de oriente a ocidente. Assim, para se fazer girar o Céu, é necessário que se trabalhe com movimento contrários. Por outro lado, para fazer girar unicamente a Terra, essa necessidade de envolver a contrariedade não se faz presente, dado que, pela doutrina de Copérnico, o movimento dos astros que experienciamos diariamente é apenas aparente, e não real.

Essa é a segunda razão que faz do sistema copernicano um sistema mais plausível que o ptolomaico. De acordo com Copérnico, todos os corpos se movem na mesma direção, ou seja, para Leste, enquanto que, no sistema ptolomaico o movimento diurno é para ocidente e o movimento anual é para oriente, o que faz como que haja o envolvimento de movimento contrários nesse sistema. Em outras palavras, enquanto que a doutrina de Copérnico opera com um único movimento, a doutrina de Ptolomeu exige a presença de dois movimentos, sendo que um é contrário ao outro.

Mas, no que diz respeito à contrariedade, isso seria uma questão de pouca importância, dado que Aristóteles demonstra de maneira inequívoca que os movimentos circulares não são contrários entre si, de modo que não podemos chamar essa oposição verificada no sistema ptolomaico de uma verdadeira contrariedade, afirma Simplício em resposta a objeção de Salviati.

Demonstra ou simplesmente afirma? Questiona Salviati. Para Aristóteles, movimento contrários são aqueles que se dão em direções contrárias, se aniquilando mutuamente. É exemplo desse tipo de movimento, o movimento que ocorre em linha reta “para cima” e “para

baixo”. Mas o movimento em círculo não envolve esse tipo de contrariedade, dado que ele ocorre sempre em torno de um centro. Todavia, Galileu Salviati não consegue ver como que móvel que se encontram sobre uma linha circular “ofender-se-iam menos que encontrando-se sobre uma linha reta”<sup>133</sup>.

Mas, quando dois cavaleiros se encontram em campo aberto, ou quando duas esquadras se enfrentam no mar, estariam esses encontros ocorrendo segundo uma contrariedade ou não? Pergunta agora Sagredo a Simplicio. Certamente que sim, afirma o peripatético. Então, retruca Sagredo, como que não pode haver contrariedade no movimento circular? Estes exemplos citados ocorrem todos sobre a superfície da Terra ou do mar, que por serem esféricas, acabam por ser circular.

Contudo, Galileu atenta para um tipo de situação em que não pode haver contrariedade envolvendo o movimento circular. Tal situação é justamente aquela envolvendo o movimento das esferas celestes no sistema de mundo ptolomaico, pois estando uma esfera conectada dentro da outra, o movimento de uma esfera para uma determinada direção, obrigaria necessariamente outras esferas que estejam conectadas a primeira a moverem-se na mesma direção. Se qualquer esfera desse sistema tentasse girar na direção contrária, teria o seu movimento anulado pelas outras. Com isso, Galileu quer mostrar que seria muito difícil atribuir movimentos contrários em um sistema que gira em círculos concêntricos como o ptolomaico.

Assim, se atribuirmos a rotação diária aos Céus, teremos que lidar com o inconveniente da contrariedade dos movimentos próprio dos planetas, que se deslocam ao longo do ano do ocidente para o oriente. Por outro lado, se fizermos girar a Terra sobre si mesma, do ocidente para o oriente, não só desaparece a contrariedade como é possível também dar conta das aparências, de modo que, se pudermos considerar de fato que a natureza opera seguindo métodos mais simples, então seria mais plausível considerar o movimento diurno próprio da Terra e não dos Céus.

A partir desse ponto, Galileu Salviati irá enfileirar uma série de inconveniências de caráter mais técnico sobre o trânsito planetário que o modelo ptolomaico tem dificuldades de resolver, mas que o sistema copernicano consegue dar conta de uma maneira muito mais simples. Todas essas inconveniências são utilizadas pelo autor como provas da maior plausibilidade de Copérnico frente a Ptolomeu.

Salviati chama a nossa atenção para o fato de a simples atribuição da rotação diária a Terra, termos uma ordem perfeita no movimento dos corpos celestes que, à medida que giram

---

<sup>133</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 200, 2011.

em círculos maiores, o fazem mais lentamente, obedecendo uma ordem que vai da Lua a Saturno. Todavia, se considerarmos uma Terra estacionária no centro do Universo, termos, para poder dar conta das aparências, saltar da esfera de Saturno, que gira de forma bastante lenta, a uma esfera incomparavelmente maior cujo orbe gira a altíssima velocidade.

No sistema tradicional, eram utilizadas sete esferas para explicar a movimentação vista no céu noturno dos setes planetas conhecidos. Esse sistema de esferas era seguido por uma oitava no qual ficavam as estrelas fixas. Esta última esfera realizava uma rotação completa a cada 24 horas levando consigo todas as demais esferas em seu movimento diário. Então, para poder explicar a precessão dos equinócios pelo modelo ptolomaico era necessário a introdução de uma nona esfera que envolvia externamente todo esse conjunto de esferas cristalinas. Essa esfera, a mais exterior, girava em 24 horas em torno do eixo do polo celeste, enquanto a mais interna, a oitava esfera, ficava com o encargo de produzir um movimento mais lento para o ocidente de modo a explicar a precessão dos equinócios.

O grande inconveniente apontado por Galileu está no rápido movimento desenvolvido por essa nona esfera que contradiz toda a mecânica do sistema de esferas. Por ser a esfera mais externa, o seu período orbital deveria ser o mais lento de todos e não o mais veloz. Isso acaba depondo contra o modelo geocêntrico de Ptolomeu, o que favorecia diretamente o modelo heliocêntrico de Copérnico.

Um quarto problema elencado por Salviati diz respeito a velocidade atribuída as estrelas. Se supusermos para a Terra um movimento diário em torno de seu próprio eixo e uma imobilidade para a esferas das estrelas fixas, então evitar-se-ia a dificuldade de ter que atribuir às estrelas diferenças enormes de velocidade, conforme se aproximem ou se distancie dos polos. Ademais, para essas mesmas estrelas haveria mais um inconveniente – um quinto problema – relacionado as variações de posição dessas estrelas em relação aos polos ao longo do tempo.

Uma outra questão – uma sexta objeção – que surge ainda com relação as estrelas fixas, diz respeito a solidez ou fluidez do Universo. Segundo Salviati, se a esfera estelar é sólida, então obrigatoriamente ela deverá ser dotada de uma resistência fora do comum para poder arrastar consigo as estrelas. Por outro lado, se o céu for fluido, como seria mais razoável de se supor, então o que manteria todas as estrelas na mesma posição quando observadas da Terra? Todas essas questões se dissolvem quando consideramos a Terra girando em torno de seu próprio eixo contra um fundo estelar imóvel.

E, finalmente, é preciso considerar que para se atribuir movimento ao Céu é preciso que este seja dotado de uma potência extraordinária para poder arrastar não só a esfera estelar, mas também a esfera dos planetas. Soma-se a isso, o fato de essas duas esferas girarem em sentidos

contrários. Além do mais, é estranho que diante de tamanha potência, as únicas esferas que girem sejam a dos planetas e a estrelas. As esferas do fogo e do ar também deveriam girar. Agora, o mais estranho mesmo de acordo com Salviati, é que, com tanta força e movimento sendo aplicados, só o pequeno globo terrestre permaneça indiferente e estacionário no centro do Universo. Eis aí uma coisa que não parece nada razoável. Por que, então, pergunta Galileu por meio de Salviati, não fazer girar a Terra, um corpo minúsculo e desprezível, quando comparado ao conjunto do Universo, que ofereceria pouca resistência, sendo movida praticamente por qualquer força que sobre ela se incidisse?

Evidentemente que essas inconveniências apontadas por Galileu ao modelo ptolomaico, não provam a veracidade da nova configuração astronômica proposta por Nicolau Copérnico. São antes de tudo, evidências que conferem uma maior plausibilidade a tese do movimento da Terra.

Após essa longa exposição de Salviati, a palavra passa ao Sr. Simplício, que tem a tarefa de defender o aristotelismo e, com isso, mostrar a fragilidade da doutrina copernicana. Sagredo então questiona o amigo peripatético a respeito dos movimentos que um corpo simples é capaz de executar. Será possível, pergunta o mediador, a um mesmo corpo simples móvel ter diferentes movimentos ou somente aquele que lhe convenha naturalmente?

Simplício responde de pronto que um móvel simples só lhe cabe um único movimento, o que lhe é natural. Todos os outros que por ventura vier a apresentar, será apenas por participação<sup>134</sup>. Assim, para aquele que passeia pelo interior de um navio em movimento, terá como movimento próprio aquele do passeio e por participação aquele outro que vem do navio, movimento esse, continua Simplício, que o conduz até o porto e sem o qual não poderia chegar se o navio não o tivesse levado como seu movimento<sup>135</sup>.

Mas, indaga Sagredo, se esse é o caso, então, Sr. Simplício, me responda: aquele movimento que, por participação, é comunicado a algum móvel, enquanto esse móvel move-se por si mesmo com um movimento diferente do participado, é necessário que ele, o participado, resida em algum sujeito ou pode ele existir sem apoio algum? De acordo com Aristóteles, diz Simplício, o movimento não pode existir sem o sujeito móvel<sup>136</sup>.

<sup>134</sup> No *De Caelo*, Aristóteles afirma que “não há senão um só movimento para um só corpo, e um movimento simples para um corpo simples” (ARISTÓTELES, *De Caelo*, 2, 14, 296b 31 – 32). Tal afirmação funciona como um princípio básico do aristotelismo que permitirá ao Sr. Simplício formular uma objeção direta ao copernicanismo, pois se Copérnico estivesse mesmo certo, a Terra teria que ter no mínimo três movimentos, e não dois. São eles: o movimento de suas partes em direção ao centro, o movimento em torno de seu eixo, e o movimento de translação em torno do Sol.

<sup>135</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 203, 2011.

<sup>136</sup> ARISTÓTELES, *Física*, VIII, 1, 251<sup>a</sup> 10 e *Física*, III, 1.

Em seguida, Sagredo ainda faz mais uma pergunta e questiona Simplício a respeito do movimento próprio da Lua e dos demais corpos celestes, será esses astros dotados de movimentos naturais? E, caso sejam, quais seriam? Sem titubear, o peripatético Simplício responde afirmativamente que sim. Tais corpos celestes são dotados de movimentos próprios, e são aqueles movimentos segundo os quais usam para percorrer o zodíaco.

Mas, e quanto aquele movimento com o qual as estrelas fixas, e com elas os planetas, realizam diariamente, indo do levante ao poente e retornado ao oriente em 24 horas; tal movimento é de que tipo, natural ou participativo? Participativo, responde Simplício. Ora, se é participativo, então não reside neles, responde Sagredo. E, como não residem neles, nem tão pouco pode existir movimento sem um sujeito, então temos que admitir que tal movimento tem que ser próprio e natural de alguma outra esfera, afirma o mediador Sagredo.

Quanto a isso, pontua Simplício, os astrônomos e filósofos encontraram uma outra esfera altíssima sem estrelas, à qual cabe naturalmente a conversão diurna, e chamaram-na de *primeiro móvel*, cuja função é carregar consigo todas as esferas inferiores, as quais contribuem e participam do seu movimento. Essa é, precisamente, a definição do Céu altíssimo ou primeiro móvel contida no livro III da Física de Aristóteles. Tendo por base o axioma “tudo que se move é movido por algum motor”, o mestre grego demonstra a necessidade de se estabelecer um primeiro motor para o Universo; motor esse que é imóvel e envolve todo o Universo, sendo desse modo exterior a ele. O primeiro móvel tinha a função de transmitir o pensamento de Deus à esfera estelar, e essa as demais esferas inferiores, constituindo, portanto, uma esfera sem extensão e imaterial.

A resposta de Sagredo a colocação de Simplício caminha no sentido de questionar por que devemos fazer uso de tantos artifícios e engenhos miraculosos, quando se poderia dar conta das aparências, isto é, explicar o movimento diurno e dos planetas, sem o envolvimento de contrariedades ou muito menos de soluções tão estranhas e trabalhosas. A questão toda, segundo o amigo peripatético, seria então encontrar essa solução, a qual fala o seu interlocutor, que não necessitasse recorrer ao que fosse estranho e trabalhoso.

Segundo Sagredo, toda essa problemática se resolveria de uma maneira muito simples, se fizéssemos da Terra o primeiro móvel, dando a ela, como movimento próprio e natural, o movimento de rotação em torno de seu eixo. Esse movimento se realizaria em 24 horas e na mesma direção de todas as outras esferas, que sem partilhar o movimento com nenhum outro planeta ou estrela, de tal modo que todos terão seus nascimentos e ocultos explicados harmonicamente, sem o envolvimento de soluções miraculosas e trabalhosas. Em outras palavras, a solução de Sagredo seria simplesmente a de conferir à Terra a função de primeiro

motor, que ficaria responsável por transmitir o movimento a todas as demais esferas que a circunscrevesse. Com isso, em vez de recorrer-se a uma causa supra sensível para explicar do movimento diurno, optava-se por uma causa sensível que fazia uso de uma hipótese defendida por Copérnico.

Mas, de acordo com Simplício, fazer mover a Terra envolve muitos inconvenientes. Quanto a isso, pontua Salviati, basta coloca-los para poder examina-los e remove-los, pois diante de tudo o que já foi dito até aqui, o movimento diurno parecer ser um movimento mais apropriado a Terra do que ao restante do Universo.

Simplício passa então a apresentar os inconvenientes que dificultam a aceitação do movimento diurno como um movimento que é mais próprio à Terra que ao restante do Universo. Assim, começando das questões gerais de cunho mais teórico para só depois então proceder as mais particulares, baseadas na experiência do observador, o seguidor de Aristóteles mostra que toda a argumentação apresentada até aquele momento, a favor da maior plausabilidade do movimento terrestre, está toda ela baseado na ideia de simplicidade. Tal princípio quando relacionado a coisas particulares e menores, que se encontram mais próximas de nós, faz todo sentido admiti-lo como verdadeiro, mas quando direcionado a coisas cuja magnitude ultrapassa em muito aquilo que estamos mais familiarizados e distantes de nós, como, por exemplo, a real estrutura do Universo, já não pode mais ser aplicado assim sem grandes ressalvas.

De fato, Simplício faz notar que seria muito mais simples e envolveria muito menos potência fazer mover unicamente a Terra, deixando todo o restante do Universo imóvel, do que considerar a situação oposta, mas isso quando levamos em consideração aquilo que nós podemos e conseguir fazer. Porque quando consideramos o primeiro motor cuja potência é infinita, fazer mover unicamente a Terra deixando imóvel o restante do mundo seria como que um desperdício de força. Não haveria razão em dotar o primeiro motor de tamanha potência para fazê-lo mover unicamente um corpo celeste de proporções tão insignificantes como a Terra, como se, analogamente, quiséssemos mover uma única palha utilizando-se de uma força descomunal.

Existe nessa fala de Simplício a defesa implícita de um princípio que, ao que parece, é oposto ao da parcimônia, mas na verdade faz uso da ideia de economia de força. Afinal, se é para fazer mover unicamente a Terra deixando-se imóvel todo o restante do Universo, então não haveria necessidade de se utilizar de uma potência infinita. Pois, se assim o fizer, haveria um desperdício de potência, que ficaria totalmente sem uso. Esse princípio defendido por

Simplício pode ser descrito do seguinte modo: a uma potência infinita é preferível antes que seja exercida em uma grande parte que em uma pequena.

Quanto a essa objeção, Salviati coloca que se tivesse afirmado que o Universo não se move por falta de um motor, as implicações postas por Simplício estariam corretas, e admite que para uma potência infinita é tão cômodo fazer mover cem mil, quanto fazer mover um. Contudo, rebate Salviati, tudo o que foi dito não se refere ao motor, mas somente aos móveis, cuja resistência ao movimento vai ser menor quanto menor o móvel for. Assim, entre a Terra e o restante do Universo, a primeira vai impor uma menor resistência ao movimento que o segundo. Agora, no que diz respeito a potência infinita, Salviati pontua que do infinito não existe uma parte maior que a outra, ainda que elas sejam desiguais entre si.

Assim, se fizéssemos uso de uma potência infinita para mover unicamente a Terra, deixando imóvel o restante do Universo, não se estaria utilizando de uma parte menor da potência infinita. Do mesmo modo, mesmo que para fazer mover todo o Universo, deixando imóvel agora a Terra, fosse necessário se mobilizar uma força maior, essa força de modo algum seria considerada uma parte maior da infinita, dado que, quando se está lidando com o infinito, não existe parte maior que possa ser maior ou menor.

Além dessas considerações, Salviati ainda levanta a possibilidade de tal potência não ter por objetivo e término unicamente o movimento diurno. Há, segundo ele, outros movimentos no mundo que são dependentes dessa potência, alguns conhecidos e outros ainda por conhecer<sup>137</sup>. Seja como for, no que diz respeito apenas aos corpos móveis, fazer mover um pequeno corpo é sem sombra de dúvida uma operação muito mais simples que fazer mover um corpo maior. Assim, continua sendo muito mais plausível crer na mobilidade terrestres do que na mobilidade celestes, pois como o movimento do primeiro obtém-se muito mais abreviações e facilitações.

Quanto ao aspecto parcimonioso da natureza, Galileu Salviati pontua que o próprio Aristóteles, no *De Caelo*, estava advogando a favor da simplicidade quando afirmou que “é vão fazer com muitos meios o que se pode fazer com poucos”<sup>138</sup>. Contudo, é preciso ressaltar aqui que a simplicidade defendida por Aristóteles diz respeito antes a um princípio ontológico que metodológico. Ou melhor, a metodologia estaria em função da ontologia. Nesse sentido, segundo a tese aristotélica seria lícito proceder por vias mais simples, que envolvem menos

---

<sup>137</sup> Possivelmente, um desses movimento é o das marés. De acordo com Galileu, o fluxo e o refluxo das marés era uma evidência empírica a favor da tese copernicana. A hipótese do movimento das marés é apresentada na terceira jornada do *Diálogo*.

<sup>138</sup> ARISTÓTELES, *De Caelo*, 1, 4, 271<sup>a</sup> 33.

etapas, porque a natureza, ela mesma, seria antes de tudo essencialmente simples. Questões ontológicas a parte, Galileu, em virtude de tudo o que já foi dito, claramente lança mão dessa passagem para defender que o modelo copernicano, enquanto configuração astronômica que visava descrever o trânsito planetário, seria um sistema cuja representação seria muito mais simples do que aquela defendida pela Tradição.

Ao ouvir a exposição de Salviati, que traz o próprio Aristóteles para falar em favor da maior plausibilidade do sistema copernicano frente ao ptolomaico, Simplicio exclama dizendo que o amigo defensor de Copérnico omitiu uma importante cláusula da passagem citada. É a que coloca que devemos optar pelo caminho mais simples, em detrimento do mais complexo, quando o mais simples conseguir explicar *igualmente bem* aquilo que o caminho mais complexo consegue. Assim, antes de afirmar que tal modelo é mais representativo do real por ser mais simples, é preciso primeiro examinar se a suposição mais simples satisfaz igualmente bem o todo, pois só seria vão fazer com muitos o que se pode fazer com poucos, se, e somente se, o mais simples conseguir se sair tão bem quanto o mais complexo no diz respeito em abarcar a totalidade do fenômeno.

Mas no âmbito mais geral, lembra Salviati, já vimos que tanto a perspectiva copernicana quanto a ptolomaica são igualmente satisfatórias no que diz respeito a dar conta do todo. O que diferencia um do outro sistema é que com o copernicanismo os fenômenos celestes podem ser descritos de uma forma muito mais simples, sem a necessidade de envolver causas que transcendem a empiria. Para isso, basta fazer girar a Terra em torno de si mesma e manter imóvel o restante do Universo.

Quanto a acusação imputada a Salviati, de ter omitido deliberadamente uma cláusula da afirmação aristotélica, Salviati diz que a sua omissão se deveu unicamente ao fato de a parte omitida ser um acréscimo tardio e desnecessário, dado que o “igualmente bem” aponta para uma relação, a qual necessariamente envolve pelos menos dois termos. Mas quando se diz que “é vão fazer com mais meios o que pode ser feito com menos meios”, o que se está querendo é que se faça apenas uma coisa, e não duas. E, dado que uma coisa não pode fazer relação consigo mesma, o acréscimo “igualmente bem” ou princípio da parcimônia da natureza acaba sendo supérfluo.

Com isso, o diálogo passa a analisar agora as razões de cunho mais particular, apontadas por Aristóteles, que se opõem diretamente a possibilidade de se atribuir à Terra qualquer tipo de movimento. As objeções são de dois tipos: Astronômica e locais. A objeção astronômica é tratada por Galileu somente na terceira jornada. Nessa segunda jornada, o autor do *Diálogo* se dedica unicamente a refutar as objeções locais ao movimento terrestre. Essas objeções podem

ser denominadas como se segue: a objeção ao movimento violento; a objeção dos dois movimentos; a objeção do movimento natural; e a objeção da queda vertical.

Essa última objeção apresenta três versões: a queda do alto da torre; a queda do alto do mastro do navio; e o lançamento de projéteis. Todas essas versões apoiam-se na experiência do observador na observação da queda dos corpos graves que, ao serem soltos de uma determinada altura, caem verticalmente em direção ao centro da Terra. Assim, se a Terra realmente se movesse, esse movimento teria que ser do tipo violento e pertencer unicamente a Terra, uma vez que os corpos graves não alteram o sentido de seu movimento de queda, que continua sendo verticalmente para baixo. Além do mais, se o suposto movimento de rotação da Terra é do tipo violento, tal movimento não pode ser eterno, mas sim finito.

Simplício, então, abre a sua fala expondo as razões contrárias ao movimento da Terra defendidas pela Tradição. Segundo o nosso amigo peripatético, Aristóteles diz que se a Terra se movesse ou sobre si mesma, estando no centro, ou em um círculo, estando fora do centro, seria necessário que esse movimento fosse do tipo violento, dado que considerar uma Terra móvel não seria algo natural, mas sim contra natural, uma vez que se tal movimento fosse natural para a Terra, cada uma de suas partes também deveriam se mover de modo circular. Mas a experiência nos mostra que, quando desprendidas da Terra, cada uma de suas partes se movem verticalmente para baixo em direção ao centro da Terra, e não circularmente. E, como todo movimento violento, esse movimento rotacional atribuído a Terra não poderia ser eterno; ele teria que ter um fim. Contudo, a ordem do mundo não é finita, mas sim eterna.

Uma outra objeção que surge, ainda diz respeito ao movimento dos corpos graves. Ainda se apoiando em Aristóteles, Simplício pontua que se a Terra realmente girasse em torno de seu próprio eixo, os corpos graves, quando soltos de uma determinada altura, deveriam ficar para traz, dado que, ao girar, a terra localizada logo abaixo dos graves, se deslocaria junto com a Terra em seu movimento de rotação. Com isso, os graves não atingiriam o solo próximo de onde partiram. Mas o que a experiência nos mostra é que os graves não ficam para traz em sua queda; quando soltos do alto de uma torre, por exemplo, eles atingem o solo exatamente ao pé de onde saíram.

Ademais, ao atribuir movimento a Terra e esse ser do tipo violento, é necessário que a Terra também seja dotada de um outro movimento, que operaria como um movimento natural. Mas ao dotar a Terra de dois movimentos, um violento e outro natural, seria necessário que se

ocorresse mudanças nas estrelas fixas. Contudo, a experiência nos mostra que isso não ocorre; as estrelas fixas nascem e se põem sempre nos mesmos lugares.

Outra coisa que a experiência nos mostra, continua Simplício, é que o movimento do todo e das partes é naturalmente para o centro do Universo, que coincide com o centro da própria Terra, o que evidencia que ela não se move. Mas além da objeção que surge com os graves, há também, de forma análoga, a objeção vinda do lançamento dos projéteis para o alto que, ao retornarem, atingem o solo perpendicularmente, isto é, formando um ângulo de  $90^\circ$  com a superfície, descrevendo assim uma trajetória reta para baixo, ainda que tenham sido disparadas a uma altura imensa. Tal objeção nos mostra de forma inequívoca que o movimento dos projéteis disparados para cima, retornam de forma reta em direção ao centro da Terra que, sem se mover, os espera e recebe.

Mas Além dessas objeções, há também aquelas produzidos pelos astrônomos que mostram haver uma correspondência entre todas as aparências e a posição central e imóvel da Terra, evidenciado pela observação do movimento das estrelas. Tal correspondência não seria possível se a Terra não estivesse imóvel no centro do Universo.

Ao ouvir todas as razões de Aristóteles contra o movimento da Terra colocadas por Simplício, Salviati identifica nessas razões dois tipos de objeções: umas que têm relação com os acidentes terrestres, sem qualquer relação com as estrelas; e outras que são obtidas a partir da observação e aparência das coisas celestes. Segundo Salviati, os argumentos aristotélicos são obtidos a partir da observação das coisas que nos cercam, deixando os outros argumentos a cargo dos astrônomos. A estratégia do copernicano Salviati é analisar primeiro a validade dos argumentos vindos de Aristóteles, para só depois proceder aos argumentos de cunho astronômico.

Assim, o primeiro a ser analisado é o argumento surgido a partir dos corpos graves que caem em direção ao centro da Terra. De acordo com o nosso debatedor, todos consideram esse argumento como incontestável acerca da imobilidade e centralidade da Terra, pois os corpos considerados pesados, ao serem soltos de uma determinada altura, apresentam um movimento para baixo, em linha reta, e perpendicular ao solo. Ora, exclamam os aristotélicos, se a Terra apresentasse de fato um movimento de rotação como querem os copernicanos, qualquer objeto pesado, uma pedra, por exemplo, que fosse solto do alto de uma torre, deveria percutir o solo

em um ponto distante de onde partiu, pois durante o seu percurso em direção ao chão, a Terra teria girado algumas braças para oriente, levando consigo a torre de onde se deixou cair a pedra.

Mas como a pedra atinge o solo próximo a base da torre, isso evidenciaria sem sombra de dúvida a imobilidade da Terra. Segundo Salviati, um outro experimento que confirmaria a validade desse primeiro é aquele que se deixa cair uma bola de chumbo do alto do mastro de um navio. Se o navio estiver parado, afirmam os aristotélicos, a bola de chumbo atingirá o deque do navio próximo ao mastro, exatamente como a pedra do alto da torre. Todavia, se a mesma bola de chumbo for solta quando o navio estiver em movimento, sua batida será afastada da outra por tanto espaço quanto o navio adiantou-se durante o tempo da queda do chumbo, dado que o movimento natural da bola de chumbo posta em liberdade é em linha reta em direção ao centro da Terra<sup>139</sup>.

Após reelaborar o argumento da torre, transportando-o agora para o interior de um navio, Salviati acrescenta que esse experimento é reforçado pela experiência de um projétil lançado para o alto a uma grande distância, como seria se uma bala disparada por uma peça de artilharia, fosse dirigida perpendicularmente sobre o horizonte. O projétil gastaria tanto tempo na subida e na descida que, durante esse percurso, a peça de artilharia e nós seríamos levado juntos com o movimento de rotação da Terra, de tal modo que bala nunca poderia retornar próximo a peça de artilharia, mas afastada dela para o ocidente tanto quanto fosse o deslocamento para da Terra para o oriente.

A esse experimento, Salviati soma mais um outro com projéteis, confirmatório do imobilismo da Terra: o disparo em direção aos quatro pontos cardeais. Nesse caso, o debatedor copernicano propõe que se efetue primeiro dois tiros com balas de igual peso, igual carga, e com a mesma inclinação da peça de artilharia, um na direção do levante e outro na direção do poente.

Desse modo, se supusermos que a Terra gira no sentido poente/levante, o disparo para a direção oeste resultaria em um tiro com alcance maior. Por outro lado, o disparo efetuado na direção leste teria como resultado um tiro com um alcance menor. Isso porque, enquanto a bala percorre o espaço na direção pretendida, a peça de artilharia acompanharia o movimento da

---

<sup>139</sup> É importante ressaltar que o experimento do navio, em virtude da analogia que podemos traçar com o movimento da Terra, acaba tendo um valor epistemológico muito maior do que o da torre, no que diz respeito a dissolução das objeções aristotélicas ao movimento da Terra.

Terra na direção leste. Assim, explica Salviati, devemos adicionar à distância percorrida pela bala, a distância percorrida pela peça de artilharia arrastada pela Terra. Para os disparos efetuados para leste, valerá o contrário. Do espaço percorrido pela bala, devemos subtrair a distância percorrida pela Terra levando consigo a peça de artilharia.

Como conclusão, pontua o nosso amigo copernicano, teríamos a confirmação experimental de que a Terra não se move. Um raciocínio parecido pode ser feito para os disparos efetuados na direção norte/sul, com a diferença de que, nesse caso, o movimento da Terra para leste provocaria um desvio para a esquerda e para a direita, respectivamente. Os tiros no sentido leste/oeste também resultariam em disparos que sofreriam desvios: os que forem disparados para o oriente resultariam em tiros elevados, enquanto que os que forem efetuados para o ocidente resultariam em tiros rebaixados. Desse modo, finaliza Salviati, para os alvos situados sobre a Terra, haverá sempre um fator complicador, o movimento terrestre, que impossibilita o atirador de acertar o alvo, não importando em que direção seja efetuado o disparo<sup>140</sup>.

Diante de tantas e tão contundentes razões que confirmam a imobilidade e centralidade da Terra, Sagredo confessa que não é de se estranhar que a Tradição detenha um número considerável de seguidores e que, ao contrário, a opinião copernicana acerca do caráter planetário da Terra e da imobilidade e centralidade do Sol apresente tão poucos adeptos. Contudo, Galileu acredita que a veracidade de uma hipótese não deve ser julgada pelo número de seguidores que possui, e sim pelas razões que apresentam. Isso posto, a argumentação no *Diálogo* se encaminha no sentido de mostrar que as razões copernicanas são melhores, e, portanto, devem ser avaliadas como sendo mais eficientes em evidenciar a verdade que as razões contrárias que, quando interpretadas à luz de uma nova concepção mecânica do movimento, não se sustentam.

Antes, porém, há ainda um conjunto de objeções que não foram tratadas e que também são bastante contundentes em contradizer a opinião que sustenta a mobilidade da Terra. São os argumentos tomados a partir das nuvens e dos pássaros. Esse último é importante, porque os

---

<sup>140</sup> Essas são objeções consideradas “modernas”. A primeira, a da queda de um corpo pesado do mastro do navio, ao que parece foi formulada pela primeira vez por Nicole Oresme no século XIV e pode ser encontrada também na obra *A ceia das cinzas* de Giordano Bruno. As objeções concernentes aos disparos de artilharia, resultam de uma generalização e atualização dos argumentos desenvolvidos por Tycho Brahe presentes no livro *Epístolas astronômicas*. Todavia, apesar dessas objeções serem consideradas modernas, elas foram desenvolvidas a partir de um raciocínio enraizado na física aristotélica, apresentando como núcleo conceitual, tanto a distinção entre movimento natural e movimento violento como também o axioma que determina que para cada corpo só pode haver um único movimento que lhe convém. Todas essas noções foram elaboradas por Aristóteles e estão presentes em sua Física.

pássaros, enquanto seres animados, são dotados, de acordo com os aristotélicos, de um princípio intrínseco de movimento. Assim, caso o movimento da Terra seja assumido como uma possibilidade real, esses animais, aparentemente, perderiam o poder intrínseco de movimento.

Assim, segundo essa linha argumentativa, Salviati nos diz que Ptolomeu e seus seguidores possuem uma outra experiência, semelhante àquela dos projéteis, que aborda sobre as coisas que, uma vez separadas da Terra, se mantêm no ar durante muito tempo, como as nuvens e as aves do céu. De acordo com Ptolomeu e seus apoiadores, tais coisas voam com a mesma facilidade em todas as direções. Desse modo, se a Terra girasse em torno de si mesma em 24 horas, dada a velocidade que seria necessário para dar uma volta completa em torno de seu próprio eixo nesse tempo, tanto os pássaros quanto as nuvens ficariam para trás, na direção oeste. Ademais, um vento forte, procedente do leste, deveria ser sentido por todos nós, exatamente como acontece quando corremos a cavalo. E, finalmente, a força centrífuga gerada por esse suposto movimento de rotação, deveria ser forte o suficiente para expelir da superfície, principalmente nas proximidades do equador, todas as coisas que não estiverem fixados à Terra, tais como homens, animais e construções. Entretanto, verificamos que até mesmo coisas não tão pesadas como as citadas permanecem firmes ao chão. É o caso, por exemplo, das folhas das árvores que, quando caem, repousam tranquilamente próximas à superfície terrestre.

O próximo passa agora, é ponderar todos esses argumentos. Nesse momento, Galileu, por meio de Salviati, irá exhibir toda a sua verve na defesa do copernicanismo a partir de uma cinemática não aristotélica. É importante lembrar que, para um observador terrestre, a realidade copernicana depende de uma análise que leva em consideração a dinâmica não só do que está sendo observado, mas também do próprio observador no ato da observação, em que os dados da sensibilidade empírica são reinterpretados à luz do raciocínio lógico matemático.

O núcleo dessas ponderações é o argumento da torre. Galileu precisa convencer que, ao cair do alto da torre, a pedra está animada não só do movimento de queda que é vertical, mas também se encontra animada pelo movimento de rotação da Terra que, ao girar, leva junto todas as coisas que nela habitam, e isso inclui não só a torre e a pedra, com também o próprio observador. Assim, como o observador também participa do movimento de rotação da Terra, o que vê quando a pedra, ou qualquer outro corpo pesado, cai é uma trajetória vertical em direção ao centro terrestre. Mas, na verdade, o movimento real do grave em sua queda é um arco de parábola, que só seria visível para observadores que não participassem do sistema que gira.

Para tanto, o nosso autor precisa primeiro refutar os argumentos de matriz aristotélica que fazem do suposto movimento circular da Terra um movimento violento e finito. É importante lembrar que, para Aristóteles e seu seguidores, se a Terra fosse dotada de algum movimento natural, esse seria o movimento em linha reta, dado ser esse o movimento realizado por suas partes. Mas, mesmo se admitindo ao movimento para a Terra, ele ainda seria um movimento finito, uma vez que o único movimento concebido como eterno é aquele realizado em torno de um centro, e não aquele que se faz em direção ao centro. Tal movimento eterno pertencem unicamente aos planetas e estrelas que orbitam o centro do Universo ao serem arrastados pelas esferas cristalinas nas quais estão encrustados. Ademais, ao conferir um movimento violento e, portanto, não eterno para a Terra, estaríamos infringindo a ordem do mundo que é eterna, e não finita.

Tendo isso em mente, Galileu Salviati se lança sobre a afirmação aristotélica da impossibilidade de se atribuir algum movimento natural para a Terra que fosse do tipo circular, pois, se fosse o caso da Terra se mover segundo um círculo, esse movimento deveria pertencem também as suas partes. Mas, como sabemos, o movimento das suas partes segue uma trajetória reta em direção ao centro. A crítica de Salviati é dirigida à falta de clareza na afirmação aristotélica que diz que “as partes também mover-se-iam circularmente”, dado que, segundo ele, o “mover-se circularmente” pode muito bem ser entendido de dois modos: ou que as suas partes mover-se-iam circularmente em torno de seus próprios centros, descrevendo assim pequeníssimos círculos, ou que elas girariam todas circularmente, junto com a Terra, em torno do mesmo centro, acompanhando desse modo a rotação terrestre em torno de seu próprio eixo em 24 horas.

Se o sentido dado por Aristóteles ao “mover-se-iam circularmente” for esse segundo, isto é, que as partes imitam o todo, movendo-se em torno do centro de todo o globo em 24 horas, é possível afirmar com toda a clareza que é exatamente assim que fazem, quando são desprendidas da Terra, cabendo aos adversários provarem o contrário.

De acordo com Simplício, essa prova é fornecida por Aristóteles quando diz que natural para as partes é o movimento reto em direção ao centro do Universo, donde se tira que o movimento circular não pode pertencer as suas partes. É aqui que Galileu mostra toda a sua genialidade, se utilizando dos próprios conceitos aristotélicos para desmontar todo esse raciocínio falacioso. Segundo afirma Aristóteles, se atribuirmos o movimento circular à Terra, ele seria um movimento violento e, como todo movimento que é contrário a natureza, não

eterno. Mas, de acordo com o mestre grego, isso seria um absurdo, dado que a ordem do mundo é eterna.

Contudo, rebate Salviati, se aquilo que é violento não pode ser eterno, então podemos dizer que aquilo que não for eterno não será natural. Mas o movimento da Terra para baixo não pode ser eterno, o que, pelo que foi determinado, torna o movimento reto um movimento não natural, assim como também não será natural para a Terra qualquer outro movimento que não seja eterno.

Todavia, a definição que Aristóteles nos fornece no *De Caelo* sobre o movimento circular não faz desse movimento um movimento violento. Segundo o mestre grego, por definição, o movimento circular é o que ocorre em torno de um centro<sup>141</sup>. É um movimento, portanto, que se faz sem impeditivos. Em contrapartida, nessa mesma obra, Aristóteles define o movimento reto como um movimento que ocorre ou em direção ao centro ou para fora do centro<sup>142</sup>. Assim, diferente do que ocorre como o movimento circular, o movimento reto é um movimento limitado, tanto pelo centro, quando pela circunferência.

Desse modo, o único movimento que pode ser eterno é o movimento circular. E, pelo que foi determinado, se o movimento é eterno, ele também é natural. Assim, o movimento circular não só é eterno, como também natural. Entretanto, o movimento reto não pode ser eterno, dado que se trata de um movimento limitado e, como tal, não natural. E, mesmo que removêssemos as limitações, cavando, por exemplo, um poço que ultrapassasse o centro, uma pedra em queda livre, uma vez que tenha atingindo o centro, não passaria dele, dado que o movimento dos graves é para baixo, e não para cima. Ademais, o movimento reto não pode ocorrer sem limitações, isto é, sem contrariedades ou violência, pois para que uma pedra possa mover-se verticalmente para baixo, é preciso primeiro move-la verticalmente para cima. Portanto, se dotássemos a Terra de um movimento circular, esse seria, por definição, um movimento natural e eterno para ela.

Uma vez esclarecido que o movimento circular pode ser natural para a Terra sem que isso fira a ordem natural e eterna do mundo, Salviati retoma ao argumento da torre, no qual a experiência nos mostra que os corpos pesados caem em linha reta, buscando sempre o centro da Terra. De fato, pondera o debatedor copernicano, vemos uma pedra cair do alto de uma torre

---

<sup>141</sup> ARISTÓTELES, *De Caelo*, 1, 2, 20 -25.

<sup>142</sup> Idem, *Ibidem*.

descrevendo uma trajetória reta, perpendicular à Terra. Todavia, se a Terra girasse e transportasse consigo torre e, mesmo assim, continuássemos a ver a pedra cair verticalmente, teríamos que admitir, se de fato acreditássemos que a Terra se move, que o seu movimento é na realidade composto de dois: um ao longo da torre, e o outro acompanhando a própria torre, quando esta gira junto com a Terra. Em outras palavras, a pedra está animada com dois movimentos, um reto e outro circular, de tal modo que, ao cair, a pedra não descreve uma reta perpendicular, como é observado, mas sim uma linha transversal não reta. Além do mais, como o próprio observador terrestre também é levado pelo movimento de rotação, a visão que tem é da pedra caindo verticalmente ao pé da torre.

Assim, não se pode afirmar, a partir da simples observação da pedra caindo da torre, que ela descreve uma linha reta perpendicular à superfície terrestre, a não ser que supuséssemos a Terra imóvel. Galileu Salviati que nos mostrar que o argumento é um círculo vicioso. A Tradição quer provar a imobilidade da Terra, mas para isso, ela recorre à observação da trajetória descrita por um corpo grave em queda livre que, à primeira vista, parece vertical à superfície terrestre. Contudo, essa trajetória iria parecer vertical mesmo que supuséssemos a Terra móvel, pois, ao girar, a Terra leva consigo não só a torre, mas também a pedra e o observador. Logo, só podemos afirmar que o movimento de queda da pedra é realmente vertical se supusermos de antemão a Terra imóvel. Em termos lógicos, trata-se de uma petição de princípio, pois estamos tomando como admitido aquilo que queremos provar.

Todavia, Simplício nos lembra que a Física aristotélica considera impossível que o móvel possa estar animado por dois movimentos simultaneamente, um reto e outro circular. Mas, de acordo com Salviati, Aristóteles não só considera possível como admite que o fogo, ao subir em linha reta por natureza, acompanha o movimento de rotação da esfera lunar por participação, quando esta é levada pelas demais esferas celestes durante o movimento diurno. Evidentemente, rebate Simplício, trata-se de uma situação bem diferente dessa da torre, pois o fogo é um elemento absolutamente leve e mover-se-ia com facilidade quando se aproximasse da esfera lunar. E no extremo oposto, a pedra é um elemento absolutamente pesado e, como tal, não acompanharia o movimento de rotação da Terra, quando fosse solta no ar. Além do mais, existe um outro experimento que comprova que os corpos graves quando soltos no ar não conseguiriam desenvolver outro movimento que não seja o seu natural para baixo. Trata-se do experimento do navio.

A questão toda agora é assegurar que um corpo tão pesado como a pedra, continuaria caindo ao longo de uma certa altura mesmo como o movimento de rotação da Terra. Do ponto de vista epistemológico, o experimento do navio apresenta um valor maior do que o da torre, pois é possível traçar uma analogia entre o movimento do navio e o da Terra. Contudo, alerta Salviati, há uma diferença entre os dois casos. Enquanto o movimento do navio é acidental o da Terra é natural, disso resultando um movimento também acidental para todas as coisas que estão no interior do navio. A pedra que é solta do alto da torre, tem o instinto primário de se mover circularmente em torno do centro da Terra, e essa tendência natural ela exerce eternamente independente do estado que seja posta.

Mas, se a aceitação do duplo movimento para os corpos pesados depende do experimento do navio, então se recorra a ele, pondera Galileu Salviati. De acordo com os aristotélicos, se uma pedra fosse solta do alto do mastro do navio em movimento, ela cairia em algum ponto distante do mastro. A pedra só cairia ao pé do mastro, se o navio estivesse parado. Entretanto, ao contrário do que sustentam os aristotélicos, o experimento nos mostra que a pedra sempre cai próximo ao mastro, estando o navio em movimento retilíneo uniforme ou parado, simplesmente porque é necessário que assim seja, pontua Salviati.

Tamanha certeza se deve ao fato da física de Galileu operar segundo uma perspectiva puramente racionalista, e por que não dizer apriorística platônica, que dispensa a necessidade de sempre recorrer ao experimento, sendo mais importante mostrar como o resultado se segue do princípio de composição dos movimentos. E isso é confirmado pela fala de Salviati a seguir. Segundo ele:

Eu, sem experiência, estou certo que o efeito seguir-se-á como vos digo, porque assim é necessário que se siga; e acrescento que vós mesmos sabeis muito bem que não pode diferente, ainda que finjas, ou simuleis fingir não o saber. Mas eu sou tão bom domador de cérebros, que farei que o confesseis com toda a força<sup>143</sup>.

Além de dispensar a realização do experimento, a fala de Salviati nos mostra um Galileu socrático que, através de um lento processo maiêutico, pretende fazer com que o interlocutor encontre por si mesmo as demonstrações necessárias, que lhe darão a certeza do resultado. No caso específico, as demonstrações irão justificar o princípio de conservação do movimento (inércia), que permite a pedra conservar, ao longo de sua descida, o movimento circular advindo

---

<sup>143</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 226, 2011.

da rotação da Terra. Para tanto, Galileu Salviati se utilizará do argumento sobre o comportamento de uma esfera em um plano inclinado. De acordo com Salviati, se supusermos uma superfície perfeitamente polida, rígida e tendo como centro o próprio centro terrestre, uma bola perfeitamente redonda, polida e rígida, que fosse colocada sobre essa superfície e posteriormente lhe fosse comunicada algum movimento, tal esfera continuaria eternamente em movimento uniforme.

Portanto, um navio que navegue na calmaria do mar é um daqueles móveis que transita sobre uma daquelas superfícies que não são nem declive e nem aclave; e, por isso, está em condição, quando lhe fossem removidos todos os obstáculos acidentais e externos, de mover-se contínua e uniformemente com o impulso que lhe foi dado<sup>144</sup>.

Isso posto, é lícito afirmar que também a pedra que está no alto do mastro do navio se move, quando transportada pela nave, descrevendo uma circunferência. E, uma vez que se tenha removido todos os obstáculos externos, seu movimento tornar-se-á indelével, sendo tão veloz quanto o do próprio navio. Desse modo, a pedra encontrar-se-á animada como o movimento do navio e, ao ser solta, cairá ao pé do mastro, exatamente como aconteceria se o navio estivesse parado.

Mesmo como toda essa exposição, Simplicio ainda se mostra reticente sobre o movimento da pedra. Segundo ele, existem dois impedimentos externos que perturbam o movimento da pedra: primeiro, o móvel seria impotente em romper o ar somente com o seu ímpeto; e segundo, o movimento de queda que perturbaria o outro movimento progressivo. De acordo com Salviati, com relação ao impedimento provocado pelo ar, certamente este causaria um impedimento notável se o móvel em questão fosse tão leve quanto uma pena ou um floco de lã, mas se fosse tão pesado quanto uma pedra grande, praticamente nenhum impedimento poderia gerar. Ademais, se supusermos que o ar também se move com a mesma velocidade do navio e da pedra, então não haveria impedimento algum. E, no que diz respeito à relação entre os dois movimentos, o de queda e o circular, não se trata de uma relação de contrariedade. Os únicos movimentos cujas relações são de contrariedade, é o movimento para cima, que se afasta do centro, e o movimento para baixo, que se aproxima do centro. Além disso, um móvel em queda apresenta uma tendência natural a aproximar-se do centro. Dessa forma, o movimento circular, como não se afasta e nem se aproxima do centro, se mostra totalmente neutro para o

---

<sup>144</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 229, 2011.

móvel, dado que ele não teria nem tendência e nem repugnância para tal movimento; daí não haveria razão para esse último movimento diminuir o primeiro. Soma-se a isso, o fato de haver duas causas distintas atuando sobre o móvel: a gravidade que aponta para baixo e a força que foi impressa pelo navio que faz o móvel se mover em torno do centro.

Mas, toda essa discursão encaminha o diálogo para uma outra questão também pertencente a física aristotélica que diz respeito à força impressa pelo motor no móvel. De acordo com Simplício, a filosofia de Aristóteles sustenta que, uma vez separado do motor, como, por exemplo, a pedra quando lançada pela mão, continua em movimento graças ao meio no qual está imerso o móvel, que funciona como uma espécie de correia de transmissão para a força que se desloca do motor até o móvel. Isso faz vir à tona alguns argumentos tradicionais contra a explicação aristotélica do movimento dos projéteis, a qual mostra que o meio funciona antes como obstáculo do que como causa do movimento.

Galileu nunca acreditou que de fato o meio pudesse servir como causa para o movimento como defendia Aristóteles. Toda essa digressão em torno da possibilidade do meio poder funcionar como transmissor da força do motor não teve outro objetivo que não fazer Simplício, que no Diálogo representa os seguidores de Aristóteles, ter que admitir que a força de rotação impressa no móvel tem como origem a Terra. Contudo, Galileu está ciente que nada disso prova que a Terra se move, mas apenas mostrar que o experimento da pedra caindo, seja do alto da torre, seja do alto do mastro do navio, não prova que a Terra não se move. E a próxima fala de Salviati deixa isso claro. Diz ele:

Nem eu tampouco pretendi prova-la, mas somente mostrar como da experiência apresentada pelos adversários como argumento da imobilidade nada se pode obter; assim como acredito mostrar para as outras<sup>145</sup>.

O Diálogo segue fazendo agora algumas considerações a respeito de bolas e dardos lançados de cavalo a galope. Há também uma série de considerações sobre esferas abandonadas durante uma corrida e lançamentos de aros, que servem para ilustrar o princípio de conservação de movimento, tornando assim o argumento mais explícito para os aristotélicos representados no diálogo por Simplício. A discussão, então, retoma ao experimento da torre, mas agora o experimento é examinado de uma forma mais acurada, com o intuito de analisar a trajetória

---

<sup>145</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 235, 2011.

descrita pela pedra ao cair. Como nessa altura Simplicio já admitiu que a força impressa na pedra advém da rotação da Terra, e não do ar que a circunda, a trajetória da pedra é o resultado da composição do movimento reto de queda com o movimento circular da rotação diurna terrestre. Salviati, então, explica que quando ao movimento de queda, a pedra descreve uma trajetória reta, e esse é o único movimento que observamos, pois o movimento circular da Terra, como é um movimento do qual participam a torre, a pedra e nós que observamos, é como que nulo ou, em uma linguagem mais técnica, não operativo, uma vez que as relações espaciais entre a torre, a pedra e o observador não se alteram, sendo essa uma consequência direta da adoção do princípio de relatividade do movimento.

Resta saber agora se esse movimento é uniforme ou variado. E, se for variado, se ele é do tipo acelerado ou retardado. Nesse ponto, Salviati diz que se trata de um movimento variado, apresentando uma aceleração e que tal descoberta se deve ao *Acadêmico* que, por meio de experimentos, foi capaz de medir a aceleração. Esse, não é outro que não o próprio Galileu<sup>146</sup>. Toda essa discussão a respeito do movimento acelerado será retomada em uma outra obra intitulada *Discursos*. No Diálogo, Galileu se limita a apresentar algumas considerações geométricas sobre a trajetória dos corpos graves, que surge como resultado do movimento reto de queda associado ao movimento circular da rotação diurna da Terra.

Seja como for, toda essa discussão é apontado pelo mediador Sagredo para contestar a existência de movimento retilíneos naturais, afirmação essa que Salviati prefere não fazer em nome da prudência, ressaltando que, para isso, seria necessário que se tivesse provado o movimento da Terra, objetivo esse que nunca foi sua intenção. De fato, o que o *Diálogo* fez até agora foi mostrar que as razões apresentas pelos filósofos para demonstrar a imobilidade terrestre contêm alguns problemas, não sendo, portanto, argumentos que possam ser considerados inquestionáveis. E o que permite questiona-los é a introdução de dois novos princípios: o da relatividade do movimento que, como vimos, tem como consequência a impossibilidade de, por meio de uma simples observação, poder determinar se um determinado sistema se move ou não, devido a participam de todos os elementos envolvidos, inclusive do observador, o que torna a rotação desse sistema como que nula; e o outro, é o princípio da conservação do movimento, que funciona como uma espécie de “cola”, garantindo a participação de todos os elementos em um sistema que se move.

---

<sup>146</sup> A descoberta de que o movimento é acelerado encontra-se em *Do movimento naturalmente acelerado* que faz parte da Terceira jornada do *Argumentos* de 1638.

Esses são os princípios que permitem Salviati descartar os demais argumentos a favor da imobilidade da Terra. Tais argumentos são aqueles dos tiros de artilharia para os quatro pontos cardeais, leste/oeste e norte/sul, e o do voo dos pássaros, que foram apresentados pelo próprio Salviati para que pudessem ser apreciados pelos debatedores. Esse último argumento, o do voo dos pássaros, apresenta para os presentes Sagredo e Simplicio uma dificuldade extra, muito em virtude desses animais serem dotados de uma capacidade inata para o movimento que, aparentemente, ficaria obliterada pelo princípio de conservação do movimento decorrente do movimento de rotação da Terra.

Assim, afim de resolver esse problema, Salviati propõe a conhecida experiência da cabine do navio, na qual é pedido aos presentes que imaginem contida nessa cabine moscas, borboletas e outros animais voadores semelhantes junto com um grande recipiente com água, na qual são colocados alguns pequenos peixes. Some a isso, um balde suspenso que, de gota a gota, verta água em outro recipiente de boca bem estreita, localizado logo abaixo. Aí, quer o navio esteja parado, quer em movimento uniforme, os peixes nadam no aquário, as moscas e demais animaizinhos voam, a água goteja no outro recipiente sem derramar uma gota se quer, e ainda, pode-se atirar um objeto para outra pessoa ou saltar no mesmo lugar quantas vezes quiser que tudo se passa exatamente do mesmo modo. Com isso, Galileu pretende mostrar a nulidade de todas as experiências realizadas contra o movimento da Terra, sendo isso expresso na fala de Sagredo quando este diz:

Portanto, até aqui estou satisfeito e persuadido da nulidade do valor de todas as experiências efetuadas para provar mais a parte negativa que a afirmativa da rotação da Terra<sup>147</sup>.

Contudo, a discussão ainda não está encerada. Falta analisar o argumento da extrusão provocado pela rotação terrestre. Para atacar o argumento da extrusão, Galileu começa analisando a forma como essa objeção foi pensada. De acordo com o nosso Acadêmico, o erro daqueles que argumentam contra a rotação terrestre dizendo que, se a Terra realmente girasse em torno de seu próprio eixo, então todas as coisas que não estivessem de alguma forma presas a ela, seriam jogadas para fora devido a força centrífuga gerada pela rotação que, para poder completar uma volta completa em 24 horas, não deve ser pequena, é raciocinar supondo inicialmente a Terra parada para só depois, supostamente, iniciar seu movimento de rotação.

---

<sup>147</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 268, 2011.

Isso vale também para o argumento da torre. A Terra só iniciaria o seu suposto movimento quando a pedra estivesse solta no ar. Desse modo, é natural supor que a pedra cairia, se a Terra realmente girasse, em algum ponto distante de onde partiu. Mas como ela cai próximo, e não distantes, os opositores à mobilidade terrestre concluem que a Terra está imóvel.

Na verdade, se os opositores estivessem corretos quanto ao efeito da extrusão, seria um erro até mesmo supor uma Terra habitada por animais, homens e casas, ou seja, por qualquer coisa que, de algum modo, não estivesse preso a própria Terra, visto que o movimento de rotação estaria presente desde o momento de sua criação, e não um o movimento que ela desenvolvesse posteriormente, depois que tudo já estivesse constituído.

Mas, se esse é o caso, então como conciliar o movimento da rotação da Terra com a presença de animais, homens e construções em sua superfície, ou mesmo do ar, que assim como as demais coisas citadas, deveria ser arremessado em direção às estrelas devido a força de rotação? Quanto a isso, em meio a algumas considerações sobre o movimento tangencial surgido em uma circunferência, Salviati lembra que todos os corpos são dotados de gravidade que compensaria a força centrífuga gerada por conta da rotação, os inclinando assim em direção ao centro da Terra. Mas, e quanto aos corpos que, mesmo possuindo gravidade, têm uma inclinação muito frada de ir em direção ao centro, tais as penas, as lãs e o algodão, questiona o aristotélico Simplicio, lembrando aos presentes que, para destruir um argumento, basta um exemplo contrário<sup>148</sup>.

Salviati, no entanto, enciste que basta que haja uma leve tendência em ir para o centro, para que tais corpos não sejam expelidos para longe da Terra. Nesse ponto, Galileu introduz um jogo de dois movimentos, sendo um deles o de projeção pela tangente no ponto de contato com a superfície terrestre, e o outro é o de queda, que dá pela secante a partir do projétil na direção do centro. Assim, para que ocorra a dissipação pela tangente, é necessário que esse impulso seja maior que a inclinação que os corpos possuem de ir pela secante. Em outras palavras, o movimento da tangente tem que superar e ser mais veloz que o movimento da secante. Mas, se seguirmos essa regra, teríamos que admitir que os opositores ao movimento de rotação terrestre estão corretos, pois todos os corpos seriam expulsos da superfície da Terra,

---

<sup>148</sup> Modernamente diríamos que por meio de um único contraexemplo seria possível refutar toda uma teoria. É interessante notar que, no *Diálogo*, esse tipo de falseamento seja proposto não por Sagredo ou Salviati, mas sim por Simplicio, um aristotélico que defende justamente uma física cujos preceitos são baseados em um empirismo ingênuo.

devido a grande velocidade que seria necessário a Terra desenvolver para que pudesse poder dar uma volta completa em torno de si em 24 horas.

Todavia, de acordo com Salviati, mil braças pela tangente não separam sequer um dedo da circunferência. Portanto, para que haja a extrusão dos corpos, não basta que o movimento da tangente seja maior que o da secante. É preciso, na verdade, que ele seja veloz o suficiente para poder superar o tempo que levaria para, por exemplo, conduzir uma pena por não mais que um dedo para baixo na secante. Contudo, isso é impossível, pois

do centro do círculo pode ser traçada uma linha reta até a tangente, que a corte de modo que a parte da tangente entre em o contato e a secante seja um, dois ou três milhões de vezes maior que aquela parte da secante que fica entre a tangente e a circunferência; e à medida que a secante se aproxima mais do contato, essa proporção aumenta ao infinito: donde não se deve temer que, por veloz que seja a rotação e lento o movimento para baixo, a pena, ou outra matéria mais leve, possa começar a levantar-se, porque a inclinação para baixo supera sempre a velocidade de projeção<sup>149</sup>.

Após essa explicação, Salviati se vê obrigado a promover uma demonstração geométrica de tudo o que foi dito a respeito da impossibilidade matemática da extrusão para os corpos cuja gravidade não exceda o peso de uma pedra, como é o caso da pena, da lã e do algodão. Ao final dessa demonstração, Sagredo confessa que o argumento não é só concludente, como também afirma que quem quiser tratar das questões relativas à natureza, precisa antes fazer uso da geometria de Euclides do que da Metafísica do Aristóteles.

Com isso, o *Diálogo* abre espaço para a discussão sobre a validade da geometria e da matemática aplicada à física, dado que, pela concepção aristotélica, as relações matemáticas são válidas em abstrato, mas quando voltadas à natureza, tais relações não seriam verificadas, e isso em virtude da imperfeição da matéria sensível frente à idealidade do objeto geométrico. Por exemplo, de acordo com Simplicio, os próprios matemáticos já haviam demonstrado que nenhuma esfera material tangencia um plano também material em um só ponto. Portanto, conclui o aristotélico, quando as relações e princípios matemáticos chegam à matéria sensível, tudo se desfaz e a coisa se encaminha para outra direção.

Essa discussão sobre a validade do uso das matemáticas aplicada as questões relativas à natureza, insere-se no contexto sociocultural da época de Galileu, que conduziu a uma

---

<sup>149</sup> GALILEU, *Diálogo*, p. 277 – 8, 2011.

duradoura controvérsia envolvendo matemáticos e filósofos naturais a respeito dos seus respectivos objetos de estudo, demonstrações e posições na hierarquia das ciências especulativas. De um modo geral, os filósofos naturais questionavam a cientificidade da matemática, dado que a certeza obtida pelas demonstrações desta se davam mediante a separação dos objetos matemáticos das entidades materiais e, conseqüentemente, nada tinha a ver com as demonstrações de caráter mais científico, uma vez que seriam totalmente incapaz de identificar as causas substanciais dos fenômenos naturais.

Essa diferenciação estabelecida pelos filósofos naturais, levaram autores como Alessandro Piccolomini [1508 – 1579]<sup>150</sup> a propor uma distinção radical das duas ciências. Enquanto a matemática seria a ciência do ser abstrato, a filosofia natural seria a ciência de tudo aquilo que era concreto e real. E isso se estendia até mesmo para as disciplinas ditas mistas ou intermediárias como, por exemplo, a astronomia, a óptica, a perspectiva e a mecânica, que aplicam a matemática na investigação da natureza, sendo, inclusive, consideradas por Aristóteles em sua Física como “as partes mais físicas da matemática”<sup>151</sup>.

Para Piccolomini, no entanto, até mesmo essas disciplinas intermediárias, reconhecidas pelo grande Aristóteles como áreas de um saber importante, seriam desprovidas de cientificidade real e, quando comparadas à filosofia natural, representariam uma forma de conhecimento menor. A resposta dos matemáticos seguiu duas linhas, uma mais modesta, que reforçava a cientificidade da matemática sublinhando a sua posição intermediária entre as ciências da física e a metafísica, e outra mais radical vinda de Pietro Catena [1501 – 1576], que se utilizava de uma interpretação platônica para também reforçar o caráter intermediário da matemática como uma ciência cuja certeza estaria acima daquela produzida pela filosofia natural, ou seja, da física.

A posição de Galileu claramente se aproxima mais dessa última, mais radical, visto que a física defendida pelo *Diálogo* apresenta uma base puramente quantitativa e representa uma tentativa de se promover uma matematização da natureza a partir de uma geometrização e uniformização das leis do espaço, Essa física matemática apresenta uma clara oposição à

---

<sup>150</sup> Piccolomini, em seu comentário ao *Quaestiones mechanicae* de Aristóteles, publicado em 1545, faz oposição até mesmo à interpretação de Averroes, a qual afirmava que, dentre as ciências especulativas, a matemática seria a primeira na ordem das certezas, pois suas demonstrações representavam o modelo de demonstração científica. (Cf. Mariconda, p. 680, 2011.).

<sup>151</sup> ARISTÓTELES, *Física*, II, 2, 194<sup>a</sup> 7.

filosofia natural de Aristóteles, a qual, como já vimos, está assentada na hierarquização do espaço a partir de uma diferenciação ontológica entre Céu e Terra.

Mas, para defender uma matematização da natureza, Galileu teria que primeiro lidar como um problema de difícil resolução: a imperfeição da matéria<sup>152</sup>. Tal imperfeição agiria como um impedimento para a aplicação da matemática as questões relativas à natureza, e isso é tornado explícito na fala de Simplicio sobre a diferença entre a esfera material e a esfera ideal de geometria. Segundo o nosso amigo peripatético, as esferas materiais estão sujeitas a muitos acidentes que as imateriais não estão. Por exemplo, continua ele, se colocássemos uma esfera de metal sobre um plano, o peso da esfera pressionaria o plano de tal modo que faria com que ela tocasse esse plano em mais de um ponto. Além do mais, o próprio plano, no qual fizemos tocar a esfera, sensivelmente não tem como sustentar a perfeição, dado que está sujeito a porosidade inerente da matéria.

Diante da exposição de Simplicio, Salviati está disposto a conceder ao peripatético um pouco de razão desde que admita que não está se servindo de uma esfera que não é propriamente uma esfera e de um plano que também não é um plano, pois de duas uma, ou a esfera e o plano não podem existir no mundo real, ou se podem existir, tais entidades acabam se deteriorando quando direcionadas a produção do efeito. Assim, a conclusão de que as entidades abstratas da matemática não se aplicam à matéria sensível deve vir acompanhada de um condicional: se fosse possível existir na matéria uma esfera e um plano perfeitos que conseguissem se conservar como perfeitos quando aplicados à matéria sensível, então tal esfera só tangenciaria um plano em um único ponto, e negar isso seria um erro.

Desse modo, explica Salviati, para que pudesse haver uma concordância entre o plano abstrato da matemática e o plano sensível da matéria, seria necessário se descontar os impedimentos da matéria, da mesma forma que o contador desconta a tara das caixas, dos embrulhos e demais embalagens, quando quer fazer com que haja uma correspondência entre os cálculos aritméticos e os açucares, as lãs e coisas do gênero. Fazendo desse modo, o filósofo geômetra poderá reconhecer em concreto as demonstrações que faz em abstrato. O erro, portanto, não estaria não no plano abstrato ou no plano concreto, nem mesmo residiria na geometria ou na física, mas sim no sujeito que, ao ponderar a respeito dos conceitos e das

---

<sup>152</sup> É interessante notar que, como veremos, a solução encontrada por Galileu no *Diálogo* é menos pretenciosa do que aquela presente no *Ensaíador*, onde o nosso *Acadêmico* defende uma matematização da natureza a partir de um atomismo incomum.

demonstrações voltados à natureza, não soube levar em consideração os desvios provocados pelos acidentes da matéria.

Esclarecido esse ponto, resta resolver ainda uma falácia deduzida do argumento da força centrífuga posta pelos seguidores de Ptolomeu e Aristóteles. Tal falácia apoia-se na velocidade do giro. Foi dito que quanto maior for essa velocidade, maior será a força de extrusão. A causa do lançamento, portanto, dependeria da velocidade de rotação da Terra. É dito que o poder de giro terrestre supera o de qualquer máquina que se possa criar e que se faça girar por força de algum engenho. Logo, a extrusão das pedras, dos animais etc. deveria ser muito violenta. Mas, então, onde estaria a falácia do argumento?

Segundo Salviati, é verdade que, se tomarmos duas rodas iguais, a que girar mais rápido expelirá as pedras com mais ímpeto. E, se aumentarmos a velocidade, fazendo com que a roda dê um maior número de giros no mesmo intervalo de tempo, aumentamos também a causa da extrusão. A falácia está justamente em achar que a única forma de se aumentar a velocidade de uma roda, é fazê-la girar um número maior de vezes, quando, na verdade, pode-se aumentar a velocidade de giro simplesmente aumentando-se o diâmetro da roda. Nesse caso, a roda giraria a uma velocidade maior sem que com isso a causa da extrusão aumentasse de forma proporcional. E para demonstrar isso, basta que lancemos uma pedra com uma vara de um braço e depois com uma vara de seis. A velocidade da pedra na ponta da vara mais longa será maior, do que a da vara mais curta, mas, mesmo assim, não terá um alcance maior do que aquele conseguido com a vara mais curta, o que mostra que o ímpeto da pedra continua o mesmo.

Assim, para que se aumentasse a força de extrusão da Terra, seira necessário que a fizesse girar um número maior de vezes no mesmo intervalo de tempo. Segue-se a isso um melhor detalhamento da questão envolvendo as velocidades de rodas com diâmetros diferentes e o lançamento de projéteis. Para tanto, o nosso autor se utiliza de toda uma demonstração geométrica a fim de mostrar que o argumento da Tradição, tirado da força centrífuga, é totalmente ineficaz quanto a impossibilidade de se atribuir um movimento de rotação a Terra, embora, à primeira vista, pareça muito concludente.

A essa altura da discussão, Simplicio já se mostra mais crédulo com relação a possibilidade de se atribuir à Terra o movimento diurno. Contudo, novas objeções são formuladas a partir das conclusões de João Jorge Locher, tiradas das suas *Disquisições matemáticas a respeito das controvérsias e novidades astronômicas*, publicadas em Ingolstadt

no ano de 1614, e dos argumentos de Cipião Chiaramonte obtidas de sua obra intitulada *A respeito das três estrelas novas que apareceram nos anos de 1572, 1600 e 1609*, cuja publicação se deu em 1628 na comuna italiana de Cesena.

A objeção tirada das *Disquisições* mostra que, se supusermos que um corpo grave, situado no côncavo do orbe lunar, cair sobre a Terra, então tal corpo, segundo os cálculos do autor, levaria mais de seis dias para conseguir chegar ao centro terrestre, para onde tende naturalmente todas as coisas pesadas. Diante disso, seria altamente improvável que, ao cair, tal corpo se mantivesse sobre a vertical, continuando a girar com a Terra em torno de seu centro por tantos dias, descrevendo trajetórias diferente conforme a latitude.

Ao ouvir a argumentação posta por Simplício, Salviati percebe um o autor dessa objeção supõe que o grave cai com uma velocidade igual à velocidade do seu movimento circular no grande círculo do côncavo do orbe lunar. Mas, de acordo com o nosso copernicano, isso é impossível, dado que o raio de um círculo é menor que a sexta parte da circunferência. O que se segue que, o tempo gasto pelo grave para percorrer o raio deve ser necessariamente menor que a sexta parte do tempo em que, como a mesma velocidade, percorre a circunferência.

O erro é perfeitamente compreendido por Simplício, mas prefere que tal erro seja atribuído ao autor, pois, ao relatar o argumento, pode ser que tenha se equivocado e não tenha conseguido expor o argumento de maneira correta. Assim, para evitar que se façam outras citações equivocadas, o nosso amigo peripatético propõe que se busca o referido livro.

Assim, enquanto um criado é designada para buscar a obra, juntamente com o trabalho de Chiaramonte, um outro autor que também se opõem a Copérnico, Salviati expõe os cálculos realizados por ele e que são referentes ao problema da queda dos graves que, antes de qualquer coisa, diz que é preciso considerar que o movimento de queda dos graves não é uniforme, mas sim acelerado. Tal aceleração se faz segundo os números ímpares, começando pela unidade. Desse modo, partindo-se o móvel do repouso, os espaços percorridos pelo grave em seu movimento de queda estão entre si como os quadrados dos tempos. Por exemplo, se o móvel no primeiro tempo tiver percorrido uma cana, no segundo tempo percorrerá três, no terceiro cindo, no quarto sete, e assim sucessivamente.

Desse ponto em diante, Galileu faz alusão a alguns tópicos que só serão melhor desenvolvidos e demonstrados em outro de seus trabalhos, os *Discurso*. Tais tópicos versam sobre o movimento de queda livre dos corpos, onde o nosso autor mostra que os corpos cadentes

se movimentam percorrendo tempos igual, e não segundo a proporção entre seus pesos, como defende a física aristotélica. Outras menções ao movimento são feitas. Todas elas abordam o problema a partir de uma perspectiva puramente matemática. O autor fala sobre a proporcionalidade do espaço percorrido ao quadrado do tempo e também faz algumas considerações a respeito da lei da velocidade média.

Após toda essa exposição de Salviati, chegam, então, os livros solicitados por Simplicio. De cara, o que se verifica é que o amigo peripatético tinha relatado o argumento do autor corretamente, o qual, agora, podia-se ler perfeitamente o erro apontado por Salviati anteriormente. Diante disso, Simplicio ainda faz alusão a algumas dificuldades a respeito do princípio produtor do movimento dos astros e dos graves, como também à distinção entre movimento natural e violento.

A primeira dificuldade leva Salviati a expor toda a nossa dificuldade ao tratar sobre essências. Dizemos, por exemplo, que o princípio de queda dos graves é a gravidade. No entanto, não sabemos muito bem o que é a gravidade. Tudo o que sabemos é que os corpos deixados livres tendem a cair. O segundo ponto levantado por Simplicio leva o nosso copernicano a questionar a distinção entre natural e violento, proposta por Aristóteles para diferenciar os tipos de movimento que um móvel seria capaz de executar, e isso porque, princípios contrários não podem coexistir no mesmo móvel.

No seu entender, um móvel que se move para cima, move-se tão naturalmente quanto aquele que se move para baixo. Segundo Salviati, um movimento até poderia ser chamado de movimento violento, enquanto o móvel estivesse ligado ao arremessador. Mas, uma vez posto em liberdade, não haveria razão para chamar tal movimento de violento. A mesma virtude que age para mover um grave para baixo, também pode agir para move-lo para cima. A situação que melhor exemplificaria esse fato, seria o movimento pendular. Ao ser posto em liberdade, um móvel que fosse atado a um fio fino e comprido percorreria de maneira natural um arco descendente e, em virtude do ímpeto gerado por esse movimento, percorreria tão naturalmente o mesmo tanto de arco, só que agora de modo ascendente.

E o mesmo valeria se cavássemos um poço tão profundo que pudesse interligar pontos oposto no globo terrestre. Um grave que fosse posto em liberdade nesse poço, se moveria naturalmente até o centro do globo, e depois de ter alcançado o centro, continuaria a se mover naturalmente do centro até a extremidade superior, por conta do ímpeto gerado pela queda. Em

outras palavras, aquele movimento de subida que Aristóteles nomearia de violento, nada mais é senão o próprio movimento natural de descida do grave. Com isso, conclui Salviati que o movimento natural se converte por si mesmo naquilo que é chamado de movimento preternatural e violento.

Contudo, mesmo diante das inconsistências apresentadas por Salviati para as noções aristotélicas a respeito do movimento natural e violento, Simplicio se mantém irredutível quanto a defender a existência de princípios inatos e externos que seria responsáveis por mover naturalmente e contra naturalmente os corpos graves no orbe, pois se tivermos que abandonar a existência desses princípios motrizes intrínsecos, então teríamos que admitir que a causa do movimento do um móvel solto no ar é como que inexistente.

Com toda paciência, Salviati vai tentando desfazer essas situações um tanto intrincadas e para as quais não apresenta uma solução que possa ser considerada satisfatória para o peripatético Simplicio. Mas, vendo que a discussão está se desenvolvendo de maneira infrutífera, Salviati solicita ao adversário que apresente as outras objeções contra Copérnico tiradas do livro de Chiaramonte. Contudo, tais objeções ou retomam argumentos aristotélicos ptolomaicos já respondidos, ou pretendem salvaguardar a natureza das coisas, pontuando que se aceitássemos a tese copernicana, teríamos, então, que negar vários princípios evidentes. Esses princípios são os da filosofia natural de Aristóteles, utilizados até aqui como arsenal contra o copernicanismo.

Desse modo, Salviati volta a utilizar a mesma tática de se utilizar dos próprios enunciados dessas objeções contra elas mesma, ou a produzir argumentos dialéticos voltados contra os autores dessas objeções, mostrando com isso os equívocos que esses opositores possuem das teses copernicana. Afinal, não ter a todas as respostas para questões surgidas com a adoção da nova configuração astronômica proposta por Copérnico, não pode ser visto como prova de falsidade de seu modelo. Não conseguir preencher todas as lacunas geradas pela adoção de uma nova visão de mundo, não significa necessariamente uma limitação da teoria, mas pode muito bem ser antes uma limitação dos seus defensores.

Mas resta, porém, um último argumento de Chiaramonte em que o ataque agora é dirigido especificamente contra Kepler, por este julgar mais plausível atribuir à esfera estelar um tamanho muito maior do que aquele proposto por Copérnico, como uma alternativa visão geocêntrica que, afim de salvar as aparências, estabelece uma enorme velocidade para esta

esfera. De fato, atribuir um movimento de rotação à esfera estelar de 24 horas em torno da Terra, violaria as *regras arquetônicas da Natureza*, que faz as esferas menores girarem em períodos menores e as maiores em períodos cada vez mais longos. Com isso, à esfera estelar caberia um movimento infinitamente longo, que se aproximaria praticamente do repouso, do que um movimento veloz cujo período não ultrapassaria 24 horas.

Mas, o real objetivo da introdução do livro de Chiaramonte no Diálogo, era o de trazer à tona o tema de terceira jornada: o movimento anual da Terra. Tal movimento teria como principal evidência a teoria das marés, que explica o fluxo e o refluxo dos mares como resultado da combinação entre os dois movimentos terrestres, o de rotação em torno do si e translação em torno do Sol. Para Chiaramonte, no entanto, a impossibilidade de se atribuir um movimento anual para a Terra reside no fato das estrelas novas de 1572 e de 1604 serem na verdade fenômenos atmosféricos, e não astros como defendiam os copernicanos.

A ausência de mudanças nos Céus era um dogma dos principais sustentado pelo aristotelismo e que foi duramente combatido por Galileu e por outros astrônomos que compartilhavam das ideias de Copérnico, como o já citado Kepler. A imutabilidade da região celestes justificava outro importante preceito defendido por Aristóteles e seus seguidores: a diferença ontológica entre Céu e Terra. Enquanto o a Terra seria o reino do mutável e do corruptível, os Céus, onde se abrigavam os astros e o motor imóvel, representavam a região da imutabilidade e eternidade.

Assim, era muito importante para a Tradição que defendia a existência de uma heterogeneidade substancial entre o Céu e a Terra, encontrar evidências que sustentassem a imutabilidade celestes. A existência de substâncias distintas também justificavam a existência e leis distintas envolvendo o reino terrestre e o celeste, sendo esse o principal ponto a ser combatido e superado pela primeira jornada, dado que a nova configuração astronômica defendida por Copérnico e Galileu dependia de uma unificação entre as leis da Terra e do Céu por meio de uma geometrização do espaço que viria de uma matematização da natureza.

Esse processo de geometrização do espaço a partir da matematização da matéria reflete um dos aspectos já apontados por Koyré e que, segundo ele, definiria bem o trabalho de Galileu: platonismo. Contra uma visão positivista que faz de nosso *Acadêmico* um indutivista, A. Koyré procura mostrar o aspecto apriorístico da física do paduano. Este aspecto apriorístico se manifesta de maneira marcante na experiência do navio em que Galileu, por meio de Salviati,

fala claramente que mesmo sem experiência está perfeitamente seguro que o efeito se seguirá exatamente conforme enuncia, pois é necessário que assim seja.

De fato, Koyré não deixa de ter razão contra aqueles que procuram ver em Galileu um positivista convicto. Mas o platonismo de Galileu não viria do aspecto metafísico da filosofia de Platão, de uma suposta rememoração da alma. Ele vem da defesa que o filósofo grego faz da matemática que, como disciplina intermediária entre a física e a metafísica, ela estaria mais próxima das verdades supremas do que a física. Esta última para Platão seria fonte de erro e engano, uma vez que dependeria exclusivamente dos sentidos. Com efeito, as principais objeções mecânicas ao movimento diurno da Terra estão assentadas em uma fenomenologia ingênua, que mostraria a partir das aparências que a mobilidade terrestre é uma impossibilidade empírica.

Outro ponto interessante que essa segunda jornada deixou bem evidente, é a forma socrática de Galileu atuar contra os argumentos dos seguidores de Aristóteles, personificados pela figura do peripatético Simplicio. Essa forma socrática, no entanto, não viria da *maieutica*, procedimento que refletiria muito mais o método platônico de filosofar, pois o método maiêutico trabalha pela rememoração segundo a teoria da Formas. A forma como Galileu atua ao longo de toda a segunda jornada se aproxima muito mais de outro procedimento socrático, o *elenkhós*, ou o método da refutação. Tal procedimento, segundo muitos historiadores da filosofia, estaria mais próximo do filosofar do Sócrates dos primeiros diálogos platônicos, os quais a historiografia filosófica denomina de aporéticos, e que refletiria o Sócrates histórico<sup>153</sup>. Nesses diálogos, o personagem Sócrates atuaria como uma forma de louvar a sua mãe parteira, fazendo analogamente parir ideias nos seus interlocutores. Tal forma de filosofar estaria mais alinhada a doutrina platônica da rememoração das almas, do que ao procedimento no qual Sócrates conduzia o interlocutor à situação de aporia, ou impasse<sup>154</sup>.

---

<sup>153</sup> GUIRALDELLI JÚNIOR, Paulo. **10 lições sobre o Sócrates** – Petrópolis, RJ: Vozes, 2019.

<sup>154</sup> De fato, a mãe de Sócrates atuou como parteira, e no *Teeteto*, Platão coloca o seu personagem Sócrates fazendo algo parecido com aquele que foi o trabalho de sua mãe, parir crianças. Assim, da mesma forma que sua mãe ajudava as mulheres a parir crianças, ele, Sócrates, ajudava o intelecto dos seus interlocutores a parir ideias. Esse procedimento de parir ideias é tornado explícito no *Menon*, outro conhecido diálogo platônico. Nesse diálogo, é famosa a passagem na qual o nosso filósofo faz um jovem e ignorante escravo, aparentemente do nada, deduzir um teorema matemático. Tal feito só seria possível se a alma já tivesse conhecimento do teorema, quando esta habitou o mundo das Formas, ou Ideias. Mas, de acordo com os helenistas que seguem a linha investigativa de Gregory Vlastos, em ambos os diálogos, o *Teeteto* e o *Menon*, o Sócrates aí apresentado já está bem distante daquele que seria o “Sócrates histórico”, e filosofa segundo aquilo que reconhecemos como pertencente a doutrina platônica, a arte maiêutica da rememoração. (Cf. Ghirdelli in: **10 lições sobre Sócrates**, p. 92, 2019).

## 27 CONSIDERAÇÕES ACERDA DA SEGUNDA JORNADA DO *DIÁLOGO*

Para finalizarmos a análise da segunda jornada é importante ressaltar que ao dar combate as objeções ao movimento da Terra, Galileu lança mão do princípio de relatividade óptica de Copérnico que, além de apresentar uma função epistemológica na dinâmica galileana, é utilizado para estabelecer uma concepção mecânica para o movimento. Tal concepção ressalta o aspecto operacional e matemático em torno do movimento, destacando *como* os corpos se movimentam e não *por quê*. Esse novo direcionamento no estudo dos corpos em movimento colocou em evidência as noções de *espaço* e *tempo*. No que concerne a astronomia, desde a antiguidade já se correlacionavam o movimento planetário com certas quantidades de espaço percorrido em certas unidades de tempo, que eram medidos em dias.

No entanto, as implicações de se analisar quantitativamente o movimento no espaço e no tempo não eram devidamente vislumbradas. Vale lembrar que o método qualitativo da física aristotélica não só fez do espaço uma categoria sem grande expressão, como também adotou uma concepção de espaço que não se prestava ao tratamento matemático. Diferente de Galileu, o espaço para Aristóteles não era algo subjacente aos objetos na medida em que eles têm extensão. Para o mestre grego, o espaço, ou melhor o “*topos*” na terminologia aristotélica, era concebido como “o limite imóvel mais interno e que imediatamente envolve o que está contido naquele lugar”<sup>155</sup>. Mas a definição que melhor se alinha com a dinâmica do movimento e principalmente com a ideia de que cada corpo no Universo possui um lugar natural para o qual tende a se mover naturalmente, na ausência de impeditivos, é a que trata o os espaços físicos como uma certa potência ativa<sup>156</sup>. Isso faz do lugar uma causa que atua ativamente no movimento dos corpos e que torna da espacialidade muito mais uma substância qualitativa do que uma extensão geométrico matemática, passível de medição quantitativa<sup>157</sup>. A ideia de que

<sup>155</sup> ARISTÓTELES, Física, IV, 4, 212a 5.

<sup>156</sup> ARISTÓTELES, Física, IV, 1, 208b 11-25.

<sup>157</sup> João Filopono e Tomas de Aquino defenderam a tese de o lugar natural faz parte da causa final do movimento natural. Contudo, outros intérpretes, tais como São Boaventura e Roger Bacon, afirmavam que o lugar natural estava mais para uma causa eficiente do que final do movimento, agindo exatamente como um ímã atraindo o ferro. Todavia, em uma passagem do livro IV da física, Aristóteles afirma que o lugar em geral, e nem o lugar natural, não pode ser nenhuma das quatro causas, o que leva a questão a uma situação de aporia. (ÉVORA, Fátima Regina. Discussão Acerca do Papel Físico do Lugar Natural na Teoria Aristotélica do Movimento. Cad. Hist. Fil. Ci., Campinas, Série 3, v. 16, n. 2, p 282 -3, jul.-dez. 2006.

os objetos e suas relações eram algo fundamentalmente quantitativo, e não qualitativo foi sem dúvida o aspecto mais revolucionário dessa nova física impulsionada por Galileu.

Com Copérnico, e principalmente Galileu, o espaço tornou-se o reino das relações geométricas e o movimento passou a assumir um caráter puramente quantitativo, pois passou a depender das relações que as coisas estabelecem uma com as outras, medida em intervalos quantitativos de espaço. Mas nessa metafísica quantitativa não só o espaço passou a ser uma categoria fundamental. O tempo deixou de ser uma mera afecção e adquiriu o mesmo sentido matemático que o espaço, sendo referido rotineiramente em associação com este. Desse modo, o mundo real passou a ser o mundo dos corpos em movimento redutíveis matematicamente, isto é, o mundo dos corpos que se movimentam no espaço e no tempo.

Assim, em lugar das velhas categorias teleológicas que os aristotélicos descreviam o movimento e a mudança, víamos agora a ascensão de categorias antes insignificantes, tidas inclusive como meramente acidentais, ganharem um sentido de contínuos matemáticos absolutos, se elevando a noções metafísicas últimas. O mundo real, é importante frisar isso, tornou-se o mundo de movimentos quantitativamente mensuráveis a partir de relações espaço-temporais. Essa transformação que se deu nas categorias de espaço e tempo foi deveras significativa, pois transformou um mundo, antes tido como finito, em algo infinito, uma vez que, pelo menos em tese, enquanto concebido matematicamente, sempre haverá no mundo uma quantidade de espaço a ser percorrido. Isso porque, por menor que seja o espaço, sempre será possível conceber a sua metade.

No caso do tempo, mesmo que a sua matematização não tenha conduzido a uma nova concepção, é certo que a sua elevação ao plano das categorias fundamentais que abordam o movimento e a mudança provocou uma revolução no pensamento ainda mais profunda. Com vimos, a filosofia natural antiga anterior a Aristóteles tratou do problema em torno da mudança, e também do movimento, pois a admissão do devir pressupunha a existência do não ser. Assim, os físicos antigos tiveram que lidar com a várias situações de aporia que a mudança trazia. Contudo, nenhum desses pensadores originais abordaram o devir no sentido de fornecer uma conceituação ou mesmo uma justificação dos casos de vir-a-ser no mundo. Aristóteles foi o primeiro a fornecer uma investigação sobre o movimento em termos de potencialidade e atualidade como uma forma de minorar as aporias em torno do devir.

Com isso, o filósofo grego conseguiu atribuir uma maior inteligibilidade à mudança, pois permitiu o aparecimento de uma continuidade lógica entre as transformações que envolvem, por exemplo, a semente e a árvore e a árvore e a mesa de madeira. Era justamente nessas transformações contínuas da potencialidade em realidade que a noção de tempo estava inserida. Nesse sentido, havia uma finalidade para todas as coisas. Tudo que se move, move-se em vista de se atualizar e como isso adquirir a imobilidade. Por essa perspectiva, o tempo era muito mais uma afecção do que uma categoria; uma afecção que marcava cada etapa da mudança, da semente a árvore, da árvore a mesa e, como a vitória dos interesses religiosos, da união do homem, o pináculo da hierarquia da matéria formada, com Deus, ou seja, com a Forma Pura ou Realidade Absoluta.

Mas com Galileu e sua metafísica quantitativa das qualidades primárias e secundária, o homem, com toda a sua subjetividade, vivência e idiossincrasias, foi expulso do mundo real, dado que, primariamente e objetivamente, o mundo passou a ser dos números e de suas relações geométricas. Com isso, o tempo deixou ser o tempo vivido e passou a ser o tempo mensurável dentro de uma perspectiva puramente operacional relacionada ao trabalho e produtividade. Nesse mundo, o *como* passou a ter uma maior importância do que o *porquê*, onde todo e qualquer tipo de sentido teleológico foi deixado de lado. Essa operacionalidade das relações de tempo e espaço é refletida na própria definição de movimento, que não se preocupa propriamente em dizer o que o movimento é, mas em estabelecer as condições de seu funcionamento. O movimento só atua como movimento nas coisas que carecem dele, porque nas que compartilham igualmente de sua dinâmica, ele nada opera e é como se não fosse.

Definido desse modo, a causa última do *por que* as coisas se moveram é tratada como algo secundário, e a causa eficiente, relacionada com o *como*, isto é, como a mecanicidade do movimento, ganha um maior destaque e importância. Para a dinâmica do movimento, uma questão central para física, a principal consequência da mecanicidade e operacionalidade do movimento é que o *movimento* e o *repouso* passa a ser tratado como *estados* relativos que apontam para conceitos *complementares*, uma vez que um estado só poderá ser definido em função do outro. É importante salientar a grande diferença que essa concepção moderna do movimento possui em relação a concepção antiga, cuja matriz é aristotélica. Para isso, precisamos retomar alguns preceitos defendidos por Aristóteles em sua Física.

Na Filosofia Natural de Aristóteles, o movimento era um *processo* que levava a uma atualização dos corpos. Uma vez completa essa atualização, não havia mais razão para os corpos

se moverem, permanecendo assim em completo repouso. Desse modo, movimento e repouso apresentavam uma diferença ontológica. E, como vimos, tal diferença estava relacionada à suposição da existência de uma ordem cosmológica subjacente a realidade sensível, que determinava para cada coisa no Universo um lugar natural, o qual refletia a natureza do corpo e para o qual o corpo tendia naturalmente a volta sempre que fosse violentamente removido dele. Uma vez em seu lugar natural, o corpo não tinha razão para desse lugar sair, permanecendo assim imóvel, até que algo externo contrário à sua disposição natural o fastasse. Desse modo, a ordem cosmológica era de tamanha relevância que o movimento e o repouso participavam da constituição da natureza das coisas.

Como resultado, o movimento das coisas terrestres era concebido de dois modos: ou como natural, isto é, como um retorno à ordem natural das coisas; ou como violento, isto é, como uma ruptura dessa ordem. Se enquadravam como movimento natural, o movimento de uma pedra em queda livre, e como movimento violento, o lançamento de projéteis, tais como uma seta ou mesmo uma pedra.

Nesse sentido, movimento e repouso são tidos como conceitos contrários que se excluem mutuamente, dado que um mesmo corpo ou está em movimento ou está em repouso. Mas quando está em repouso, está de modo absoluto, uma vez que o repouso se conforma à sua natureza intrínseca. Isso é devido ao fato de, na concepção de Aristóteles, o movimento de um corpo ser algo intimamente vinculado à constituição interna desse corpo, o que, em última instância, faz do movimento e também do repouso um princípio *intrínseco* e definidor da própria natureza do corpo.

Essa concepção de movimento como um princípio interno do corpo encontra fundamento na definição de natureza utilizada por Aristóteles que norteia sua Física. Segundo essa definição, a natureza é um certo princípio ou causa do ser movido e do estar em repouso, na medida em que os corpos a possuem primariamente e não concomitantemente. Como vimos, isso faz do movimento um *processo de mudança* e não um simples deslocamento de um lugar para o outro, o que fazia da categoria do lugar uma condição meramente acidental.

A concepção de movimento de Galileu por expressar uma noção relativista, fez do movimento e do repouso algo de ordem *extrínseca* que não estava relacionada com a natureza dos corpos, mas sim com as relações espaço-temporais que estes assumem uns com os outros e com as coisas do mundo. Todas as coisas que compõem o mundo passam a ser concebidos a partir

dessas relações espaciais e temporais, que deixam de ser meramente acidentais e passam a ser essenciais, na medida que subjazem a tudo que existe.

De todas as consequências surgidas por se adotar uma concepção relativista de movimento, a mais relevante para dar combate as objeções ao movimento da Terra é sem dúvida a noção de movimento participativo.

Com base na ideia de participação no movimento, Galileu consegue dar combate as principais objeções mecânicas ao movimento diurno da Terra, baseadas no comportamento dos corpos graves em queda livre. Se a Terra realmente se movesse, um corpo grave em queda, uma pedra por exemplo, jamais poderia percutir o solo próximo de onde partiu, mas sim em algum ponto distante, pois, uma vez livre no ar, a pedra em queda ficaria para traz quando a Terra se movesse em torno de seu eixo. Mas pela nova concepção mecânica do movimento, ao girar, a Terra leva consigo a pedra, o ar e o observador que, por conta da participação no movimento de rotação, vê a pedra caindo em linha reta próxima ao local de onde partiu.

Dessa noção de participação, existem mais outras duas consequências que impactam diretamente a experiência do observador terrestre: a operatividade e nulidade do movimento, e a diferença entre as experiências mecânicas internas e externas em um sistema de referência mecânico. Ambas nascem da adoção do princípio de relatividade ao movimento e foram abordadas durante o experimento do navio que viaja de Veneza a Alepo. Em sua análise, pudemos constatar que o movimento do navio só era considerado operativo com relação aos portos de Veneza, Corfu, Cândia, Chipre e Alepo, uma vez que tais portos não participavam do movimento da embarcação. Mas, no que diz respeito as cargas do navio, especificamente na relação que essas cargas têm entre si e como o próprio navio, o movimento que ia de Veneza até Alepo era não operativo, ou simplesmente nulo, porque as relações existentes entre as cargas e o navio, e também entre elas mesmas, não ocorre qualquer mudança espacial. Contudo, o mesmo não acontecia entre o navio e os portos pelos quais passava até Alepo.

Entretanto, as objeções geocêntricas defendidas pela Tradição estão todas baseadas em um princípio que muitos tomavam como sendo relativista, mas que continha na verdade um erro de base por não levar em consideração a nulidade do movimento para todas as coisas que dele participam. O princípio declarava que tudo que se movia, teria que se mover em algo imóvel. Desse modo, o movimento das coisas terrestres, animais, homens, navios, projéteis etc., teria que ser considerado de início em uma Terra imóvel. Mas, com a introdução do

experimento do navio, Galileu promove uma mudança na forma como era compreendido o princípio de movimento, uma vez, com a sua relatividade mecânica, teríamos que levar em consideração a participação de todas as coisas que pertencem ao sistema mecânico que se move, o que traz a possibilidade de dois ou mais corpos estarem animados com o mesmo movimento.

Como consequência, o mesmo corpo pode estar ao mesmo tempo em repouso e em movimento com relação a outros que não participam do mesmo sistema mecânico. Desse modo, em um experimento que pretende verificar se um determinado sistema se move, como, por exemplo, a Terra, temos que considerar que todas as coisas que estão inseridas nesse sistema estão animadas com esse suposto movimento, assim como também está o próprio observador. Esse último fato nos leva a uma importante consequência experimental que é a impossibilidade de decidir, com base em experiências mecânicas realizadas no interior de um sistema mecânico, se esse sistema está em repouso ou em movimento uniforme. A passagem na qual Galileu pede que se observe o comportamento de todas as coisas, desde de moscas voando a peixes nadando em um recipiente com água, que estão no interior de um compartimento dentro do navio, é reveladora dessa impossibilidade, pois, esteja o navio parado ou em movimento uniforme, para o observador tudo se passaria como se o navio estivesse parado.

Assim, a pedra que cai do alto do mastro de um navio em movimento vai apresentar, para um observador localizado no seu interior, a mesma trajetória que apresentaria se o navio estivesse parado, que é um movimento reto para baixo, caindo ao pé do mastro. E isso porque a pedra encontra-se animada por dois movimentos, um proveniente da queda e outro proveniente do navio. Desse modo, qualquer experiência realizada no interior do navio não é capaz de revelar se este se move ou não, pois para um observador interno as coisas vão se passar da mesma forma, esteja o navio em movimento ou em repouso.

Analogamente, o mesmo princípio se aplica para a Terra em movimento rotacional. Qualquer experimento realizado no ambiente terrestre será incapaz de revelar se a Terra se move ou se ela está parada, pois todas as coisas que pertencem ao seu interior, como os homens, os animais, incluído aqueles que voam como os pássaros, o ar, as águas, os peixes, e todos os corpos graves postos em liberdade, estarão animados com o mesmo movimento rotacional terrestre. Uma pedra que cai do alto da torre, vai apresentar uma trajetória reta para todo observador terrestre. Contudo, para um observador localizado fora da Terra, ou melhor fora do sistema mecânico que gira, este terá uma experiência diferente. Uma vez que não participa do movimento de rotação, uma pedra ou qualquer outro corpo grave posto em liberdade de uma

certa altura, vai apresentar para esse observador uma trajetória para baixo não em linha reta, mas se uma que se aproxima de um arco de parábola. Desse modo, graças ao princípio de relatividade do movimento, um mesmo experimento pode ter resultados diferentes.

Além do mais, Galileu ainda nos mostra que a real trajetória de um corpo em queda livre não é aquela que vemos sensivelmente, mas sim aquela que concebemos racionalmente. Se assumirmos que todos os corpos de um sistema em movimento compartilha desse movimento, e se partimos da ideia de que a Terra se move em torno de seu eixo, então todas as coisas que habitam a sua superfície ou mesmo estejam próximas a sua circunvizinhança, vão estar animadas com o mesmo movimento de rotação. Desse modo, mesmo que uma pedra em queda livre possa apresentar sensivelmente a um observador uma trajetória reta em direção ao centro, o seu movimento real é na verdade composto por dois movimentos, um em linha e outro circular, o que resulta em um arco de parábola.

Existe, portanto, a ideia subjacente presente na física galilaica de que o real não é algo acessível pela sensibilidade, mas sim pelo intelecto. Desse modo, podemos dizer que a postura defendida por Galileu, e também por Copérnico, é a de um realismo ontológico, isto é, existe uma realidade que não depende da percepção do sujeito para ser, mas, ao mesmo tempo, tal realidade é algo totalmente concebível pela razão humana. Tal postura se opõe diretamente a posição instrumentalista defendida pela Tradição geocêntrica. Para um instrumentalista, as teorias científicas não são nem verdadeiras e nem falsas, mas sim úteis em “salvar os fenômenos”. Como já foi mencionado em capítulos anteriores, um bom exemplo desse sentido de utilidade preconizado pelo instrumentalismo científico é a existência na astronomia de Ptolomeu do sistema de epiciclos cuja finalidade era poder dar conta do movimento errático de determinados planetas ao longo do ano, como, por exemplo, o do planeta Marte, que apresenta paradas, retrogradações e avanços.

Assim, a partir de uma perspectiva realista, devemos entender que a trajetória de uma pedra em queda livre, observada por um observador terrestre, não condiz com o seu real movimento. Ao cair, a pedra não segue uma linha reta em direção ao centro da Terra. Sua trajetória real é a de um arco de parábola, devido a pedra está animada por dois movimentos, um para baixo e outro circular acompanhado a rotação da Terra. Como o observador terrestre também se encontra animado pelo movimento de rotação, o que vê é uma trajetória em linha reta.

Com isso, Galileu chama a nossa atenção para a importância de levar em consideração o estado de movimento ou de repouso do observador no ato da observação, dado que há uma diferença significativa entre aquelas observações realizadas dentro de um sistema mecânico que se move, como a Terra, e aquelas realizadas fora desse sistema. Tal diferença, em última análise, consiste na participação ou não do observador no movimento do sistema. Desse modo, qualquer experimento realizado na Terra por um observador terrestre não é capaz de revelar se a Terra se move ou não. Assim, fica refutada as objeções mecânicas ao movimento diurno terrestre, mesmo que com isso não seja possível provar que tal movimento pertence unicamente a Terra e não ao resto do Universo. E esse sempre foi o objeto de Galileu no *Diálogo*: mostrar que as oposições a mobilidade terrestre não se sustentam.

Para tanto, foi necessário se promover uma reestrutura de toda a física de seu tempo, que deixou ser qualitativa e passou a operar quantitativamente, segundo os princípios geométricos da matemática de Euclides. Com isso, Galileu conseguiu desenvolver uma concepção puramente mecânica do movimento que passou a levar em consideração a posição e o estado do observador. Desse modo, da experiência científica, que era concebida como uma simples apreensão fenomenológica do real, passou a funcionar segundo a racionalidade do observador a partir de uma reinterpretação dos dados da sensibilidade.

Assim, podemos mesmo dizer que Galileu em sua ânsia de mostrar a plausibilidade e superioridade do sistema de mundo copernicano frente ao ptolomaico, acabou promovendo com a sua física quantitativa uma matematização da natureza que conduziu a uma mudança significativa na forma como entendemos o real. Com a física moderna iniciada pelo nosso *Acadêmico*, a realidade deixa de ser algo apresentável aos olhos da sensibilidade e passa a ser algo percebido racionalmente pelos “olhos” do intelecto, cuja ontologia é dada pelas formas e relações geométricas da matemática abstrata de Euclides.

Nesse processo de quantificação da natureza, Galileu teve que lidar com um problema de difícil resolução: a imperfeição da matéria. Pode-se dizer que tal imperfeição era a base da física qualitativa de Aristóteles cujas raízes eram essencialmente empiristas e identifica nos inúmeros acidentes da matéria, as diversas qualidades sensíveis dos corpos. No *Diálogo*, vimos que a solução encontrada por Galileu para contornar o problema da imperfeição da matéria foi menos pretenciosa do que aquela encontrada no *Ensaíador* que, diferente da obra aqui analisada, se utiliza de uma doutrina atômica incomum a fim de justificar os acidentes e as imperfeições materiais.

No *Diálogo*, entretanto, Galileu parte da ideia de que as formas e relações geométricas encontram-se sob um invólucro de qualidades sensíveis que não estão sujeitas ao tratamento matemático. Os acidentes e as imperfeições se apresentariam na forma dessas qualidades sensíveis que encobriria a real estrutura da matéria. Dessa forma, seria necessária primeiro remover esse invólucro para poder ter acesso a tudo aquilo que é primário e absoluto nos corpos, deixando assim de lado o que seria secundário e contingente. Traçando uma analogia entre as mercadorias e as suas embalagens, Galileu declara que da mesma forma que os comerciantes taram o peso das caixas e outras embalagens a fim de obter o valor exato daquilo que contém, o filósofo natural que deseja atuar como um geômetra deve também “descontar” todos os acidentes e imperfeições da matéria quando for realizar os seus cálculos. Caso se proceda desse modo, então as leis da geometria não serão menos válidas para os corpos naturais que as contas dos comerciantes em seus comércios.

Não há como não perceber, nessa forma de raciocinar, o certo sentido fenomenológico na metodologia defendida por Galileu, onde o filósofo natural precisa remover do fenômeno as camadas de significado, que no caso da física do paduano seriam as qualidades sensíveis dos objetos, com os seus acidentes e imperfeições, para que, ao final desse processo, se possa ter acesso ao puro aparecer.

Mas, apesar de todo esse pensamento matemático e até mesmo ontológico, Galileu em sua defesa do copernicanismo acaba sendo guiado por um princípio que é antes de tudo empírico, e não matemático ou metafísico. Um princípio que atua na natureza no sentido de procurar sempre o caminho mais simples e econômico para operar. Essa simplicidade e economia por ser expressa nos seguintes dizeres: a natureza não faz como mais aquilo que pode fazer como menos. Ora, se a natureza prefere operar segundo vias mais simples, então por que não admitir logo o caráter planetário da Terra? Ao fazer da Terra um astro errante, girando em torno de seu próprio eixo e em torno do Sol, a necessidade de se recorrer a artifícios matemáticos ou metafísicos para “salvar as aparências” deixaria de existir. Todos os fenômenos observados poderiam ser perfeitamente explicados fazendo-se mover unicamente a Terra e deixando imóvel todo o restante do Universo.

Entre a Tradição e a nova configuração astronômica proposta por Copérnico, esse último se mostrava um sistema muito mais parcimonioso. Contudo, havia um problema: como justificar por meio de um sistema físico que a Terra de fato se move, se tal movimento se mostrava contrário aos fatos, principalmente aqueles que envolviam a queda livre de corpos

pesados? A solução encontrada por Galileu foi reconstruir toda a física de seu tempo que não previa que os objetos pudesse compartilhar mais de um movimento. A ideia de uma pedra solta no ar poder estar animada ao mesmo tempo por dois movimentos distintos, um reto e outro circular, era algo contrário aos preceitos da física pré galilaica que defendia que, nessas condições, deveria haver um aniquilamento, e não uma combinação de movimentos. Somado a isso, havia também o problema da extrusão dos corpos, pois se o movimento diurno pudesse ser atribuído à Terra ao invés do Céu, então como explicar a permanência dos corpos terrestres em sua superfície?

Acreditamos que Galileu ao longo da segunda jornada conseguiu superar todas essas dificuldades com a introdução em sua física de um princípio que, além de sua função epistemológica, ou seja, além de tratar do efeito do movimento do observador sobre a percepção, possui também uma função mecânica que, no *Diálogo*, é empregado para definir o movimento. Contudo, pode-se dizer que se trata muito mais de uma caracterização do que uma definição propriamente dita, uma vez que explica a operacionalidade em torno do movimento. Tal operacionalidade depende de um referencial imóvel.

Essa caracterização do movimento se mostrou central para fundamentar as respostas as interrogações em torno da mobilidade da Terra, particularmente aquelas que envolviam uma argumentação de caráter empírico, como a queda de corpos graves nas suas duas versões: a queda do alto da torre e a queda do alto do mastro do navio. A argumentação de Galileu tem como base a noção de movimento participativo: a Terra está em movimento juntamente com todos elementos circundantes. Desse modo, as coisas que habitam a Terra participam de seu movimento diurno de rotação.

Com isso, a trajetória reta dos corpos graves, uma pedra, por exemplo, quando postos em liberdade do alto da torre e do alto do mastro do navio passa a ser explicada a partir dessa noção de participação. Como tudo que circunda a Terra participa de seu movimento, então o observador terrestre, que partilha do movimento de rotação, ver a pedra cair em linha reta. Contudo, o seu real movimento resulta da combinação do movimento de queda e do movimento circular partilhado com a Terra. Nesse sentido, o argumento da queda do alto do mastro de um navio é muito interessante, porque o navio em movimento carrega uma analogia com o movimento da terrestre. E, estando o navio em movimento uniforme ou parado, o resultado é não se altera: a pedra cai do alto do mastro mostrando uma trajetória reta para todo aquele que estiver dentro do navio. Porém, para um observador localizado fora do navio, ele veria ou uma

trajetória reta, caso o navio estivesse parado, ou uma trajetória que seguiria um arco de parábola, caso do navio estivesse em movimento.

Um argumento similar explica o lançamento vertical para cima de uma pedra realizado em uma Terra que gira em torno do seu próprio eixo. Uma vez que a pedra compartilha com a Terra o movimento de rotação, ela permanece sempre na vertical, tanto na subida, quanto na descida. Em todos esses casos que envolvem corpos graves em movimento, seja esse movimento descendente ou ascendente, a rotação da Terra funciona como um componente invariante que nada afeta as relações entre o observador e o móvel.

Assim, partindo dessa noção de movimento participativo, Galileu argumenta que o movimento terrestre é um componente invariante para todos os movimentos terrestres, de modo que, esteja a Terra em movimento ou em repouso, os experimentos que procuram demonstrar o seu movimento ou o seu imobilismo, vão apresentar o mesmo resultado para um observador localizado na Terra. Com isso, o movimento da Terra não seria perceptível pelo observador terrestre. Mas quando consideramos os corpos localizados fora da Terra, como, por exemplo, as estrelas e os planetas, que não participam de seu movimento e por isso mesmo funcionam como pontos referenciais, o movimento terrestre é totalmente perceptível. Cabe notar que, na perspectiva de Copérnico, por conta do princípio de relatividade óptica, o movimento real é justamente o contrário do movimento aparente. Tudo se passa como se a realidade a qual o observador tem acesso por meio dos sentidos é uma “imagem em negativo”. A imagem real do movimento terrestre é algo da ordem da inteligência, e não da sensação.

Com a física matemática de Galileu, a realidade invertida do movimento da Terra é corrigida racionalmente pelo observador no ato da observação. A inversão é necessária porque o movimento entre a Terra e o restante do Universo é relativo e não há parte alguma que não participe dessa relação, de tal forma que a aparência é exatamente oposta ao que realmente acontece. Desse modo, a física galilaica tem o objetivo de reinterpretar a nossa experiência cotidiana acerca dos movimentos que acontecem próximos à superfície terrestre, explicando por que tais movimentos possuem a aparência com a qual se apresentam aos nossos sentidos, mesmo aconteçam em uma Terra em movimento.

Entretanto, ainda restava o argumento da extrusão e o do voo dos pássaros. Como explicar que, mesmo como o movimento de rotação, as coisas permanecem próximas a superfície terrestre, sem serem arremessadas para fora? É interessante notar que, mesmo sem

possuir uma teoria da gravitação, Galileu consegue contornar o problema da extrusão mostrando que, em virtude da velocidade de rotação que a Terra efetivamente possui e da imensa curvatura de sua superfície, a tendência das coisas de se dirigirem para o centro supera contingentemente a tendência da extrusão pela tangente. Com isso, o paduano mostra toda a força da sua argumentação baseada em preceitos puramente geométricos.

Contudo, mesmo diante de tudo isso, é fato que Galileu não consegue provar o movimento da Terra, mas essa nunca foi a intenção de partida. Seu objetivo ao escrever o *Diálogo* era poder conferir a tese copernicana uma maior plausibilidade racional, mostrando que as objeções ao movimento terrestre não se sustentam à luz de uma física matemática. Com isso, tendo mostrado que as objeções não provam o imobilismo terrestre, pois, na Terra que gira, tudo se passa como se ela permanecesse imóvel, o paduano pretendia que o édito de 1616, que condenava o copernicanismo, fosse revisto.

## 28 CONCLUSÃO

Ao longo dessa dissertação, foi possível notar que quando falamos de revolução copernicana galileana estamos diante de um acontecimento histórico que envolveu não apenas uma mera substituição de uma configuração astronômica arcaica por outra mais moderna. Na verdade, o que a análise histórica e filosófica nos mostrou é que o processo de mudança que removeu a Terra de sua posição central e imóvel no cosmo, fazendo dela um astro errante, foi acompanhada de uma mudança também na forma como experienciamos a realidade. Antes de Copérnico, a experiência do observador era considerada ingênua, uma vez que o sujeito da observação não refletia sobre o que via, aceitando passivamente a aparência como sendo exatamente aquilo que acontece. Mas, com Copérnico, a experiência adquire um aspecto científico, uma vez que a realidade que envolve o movimento da Terra é contraintuitiva, necessitando assim que o observado reflita sobre o que vê. Para tanto, o astrônomo polonês teve o cuidado de introduzir um princípio epistemológico que, ao atuar sobre o sujeito no ato da observação, promove uma reinterpretação dos dados empíricos à luz da razão. Tal princípio passou a ser conhecido como princípio de relatividade óptica.

Contudo, como a realidade copernicana fala sobre se adotar uma nova configuração astronômica para se calcular com maior precisão e simplicidade a órbita dos planetas, não bastando que a luz da razão tal modelo se mostrasse racional. Era preciso encontrar evidências que corroborassem o movimento da Terra. Essa tarefa coube a Galileu Galilei que, como sua nova invenção, o telescópio, pode enxergar que, assim como a Terra, outros planetas também eram orbitados por luas e possuíam em suas superfícies acidentes geográficos semelhantes a vales e montanhas. Além, Galileu pôde perceber que os cometas possuíam uma origem celestes e não terrestre, como defendia a cosmologia aristotélica. Isso representou um duro golpe ao velho modelo astronômico cuja cosmologia defendia que os Céus eram perfeitos e imutáveis. Tudo isso aliado a um processo de matematização crescente da natureza proporcionou que tratássemos os fenômenos naturais de maneira mais objetiva e absoluto, deixando de lado assim abordagens subjetivas e contingentes.

Mas isso ainda não se mostrou suficiente para que a realidade copernicana fosse aceita. Contra a tese de Copérnico pesava uma série de evidências empíricas baseadas principalmente na queda livre dos corpos. Isso levou Galileu a ter que reformular toda a física de sua época, o que por si só representou mais uma revolução no campo das ciências físicas. Era preciso tornar

compatível o movimento da Terra como o fato da experiência nos mostrar que os corpos pesados continuam a cair em linha reta em direção ao centro da Terra, fato esse que era utilizado a favor da centralidade e imobilidade terrestre.

Para tanto, Galileu precisou lançar mão do princípio epistêmico de relatividade óptica de Copérnico para formular uma nova concepção de movimento baseada agora na ideia de relatividade mecânica. Essa nova concepção operava segundo a noção de que o movimento é relativo, pois só pode ser determinado a partir de um referencial que supomos imóvel. Uma outra noção que surge com a física do Galileu é a de movimento participativo. Essa noção está baseada na ideia de que, ao girar, a Terra levava consigo todas as coisas que a circundavam, incluindo aí o observador. Como o observador acompanhava a Terra em seu movimento diurno, isso explicava porque tudo se passava como se a Terra estivesse em repouso. Esteja a Terra em movimento ou em repouso, o observador terrestre sempre veria a pedra lançada verticalmente para cima, cair em direção a sua mão sem sofrer qualquer tipo de desvio. O mesmo valeria para objetos pesados atirados do alto de uma torre. O observador terrestre sempre os veria cair em linha reta ao pé da torre, mesmo com a Terra em movimento, pois todo o conjunto formado pela torre, a pedra e o observador, giravam junto com a Terra em seu movimento diurno.

Assim, além de atuar sobre o observador, o princípio de relatividade também possuía uma função mecânica que atuava no sentido de tornar compatível as aparências com o movimento terrestre. Podemos dizer que Galileu traz o princípio epistemológico da relatividade óptica do movimento de Copérnico para formular uma concepção de movimento cujo enfoque não está em dizer o que o movimento é enquanto movimento, mas sim em mostrar sob que condições o movimento opera e também quais seriam as suas consequências mecânicas surgidas a partir da noção de relatividade para o observador no ato da observação.

Um aspecto interessante do trabalho de Galileu, e que dividiu os intérpretes de sua obra, é o papel desempenhado pela experiência. Mesmo que a tradição historiográfica coloque o paduano como um empirista experimentalista, dentro, portanto, de uma visão positivista da ciência, autores como Alexandre Koyré afirmam que Galileu se aproxima muito mais de um idealista/racionalista, herdeiro da tradição platônica, do que de um empirista positivista. Todavia, acreditamos que a melhor leitura da obra de Galileu é aquela que defende um empirismo mais sofisticado, no qual os dados sensíveis passam por uma reinterpretação à luz de um racionalismo de caráter puramente matemático. Um bom exemplo nos é fornecido pelo “experimento” do navio, onde é dito explicitamente que o autor desse experimento não o

realizou, mas, mesmo sem realiza-lo, acredita plenamente que os resultados necessariamente se seguirão conforme foi predito, porque fora realizado seguindo um raciocínio demonstrativo matemático.

A defesa de um empirismo mais sofisticado vem do fato de que a astronomia é uma ciência essencialmente observacional, e o que Galileu pretendia com a sua física matemática é encontrar meios que pudessem justificar fisicamente essa nova configuração astronômica proposta por Copérnico com a observação dos corpos pesados realizadas pelo observador terrestre. Nesse sentido, dentro do programa de uma física matemática elaborada por Galileu, a experimentação tinha como função o convencimento do outro que, diferente dele, Galileu, não conseguia compreender as sutilezas das demonstrações matemáticas, as quais forneciam ao nosso autor toda a certeza necessária de que precisava para conciliar as observações astronômicas e dos corpos terrestres em movimento, com uma Terra que gira em torno de si e em torno do Sol.

Outra evidência desse empirismo mais sofisticado, um empirismo guiado por um raciocínio matemático geométrico, vem do fato de Galileu considerar os sentidos humanos instrumentos de observação e mensuração que, assim como os artificiais, precisam passar por correção e calibragem. Esse é um aspecto epistemológico inovador importante que foi implementado por Galileu na defesa do copernicanismo, e que mostra o seu compromisso com o empirismo. Nesse sentido, o olho humano não só operaria de modo semelhante ao telescópio, como também estaria submetido as mesmas leis físicas e matemáticas que qualquer aparelho óptico.

Desse modo, concluímos que a revolução copernicana galileana foi decisiva para o advento da ciência moderna. Ao remover a Terra do centro do Universo, fazendo dela um astro errante com um duplo movimento, rotação e translação, Copérnico proporcionou não só uma revolução no campo da astronomia, mas também no campo da epistemologia. A introdução do princípio de relatividade óptica, além de fornecer uma maior plausibilidade a tese do duplo movimento da Terra, proporcionou também uma mudança significativa na forma como experienciamos o mundo. Se antes de Copérnico a experiência do homem de ciência se confundia com a experiência do homem comum, uma vez que ambos acreditavam na verdade daquilo que viam, agora, com a adoção do princípio de relatividade óptica, a experiência do homem de ciência se distancia da experiência do homem comum.

Assim, de uma epistemologia a experiência do homem comum com a experiência do homem de ciência, passamos com a revolução Copérnico-galileana a uma epistemologia em que o homem de ciência se diferencia do homem comum, pois passa a refletir sobre a “verdade” daquilo que vê. O mundo das aparências passa a ser entendido a partir de um novo sistema de mundo, em que os antigos centros de importância e verdade são substituídos por outros. Na verdade, a noção de um centro absoluto perde o sentido, pois o copernicanismo nos mostrou que qualquer ponto no Universo pode ser assumido como central, bastando para isso tomá-lo como imóvel.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARISTÓTELES. **Do Céu**. Tradução, textos adicionais e notas: Edson Bini. São Paulo: Edipro, 2014.

ARISTÓTELES. **Física I – II**. Prefácio, tradução, introdução e comentários: Lucas Angioni. Campinas: Editora da Unicamp, 2009.

BARROS-PEREIRA, Humberto Antônio. **Esferas de Aristóteles, círculos de Ptolomeu e instrumentalismo de Duhem**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33. n. 2, 2602 (2011).

BURTT, Edwin Arthur. **As Bases metafísicas da ciência moderna**. Tradução: José Viegas Filho e Orlando Araújo Henrique. Brasília, Editora Universidade de Brasília, 1991.

COPÉRNICO, Nicolau. **Commentariolus: pequeno comentário de Nicolau Copérnico sobre suas próprias hipóteses acerca dos movimentos celestes**. Introdução, tradução e notas: Roberto de Andrade Martins. São Paulo: Nova Stella; Rio de Janeiro: Coppe: MAST, 1990.

ÉVORA, Fátima Regina R. *Natureza e Movimento: um estudo da física e da cosmologia aristotélica*. **Cad. Hist. Fil. Ci.**, Campinas, Série 3, v. 15, n. 1, p. 127-170, jan.-jun. 2005.

\_\_\_\_\_. **Physis, Kinesis, Topos e Kenon: um estudo da teoria aristotélica do movimento**. Cadernos Espinosanos VIII, p. 52-74, 2002.

\_\_\_\_\_. **A descoberta do telescópio: fruto de um raciocínio dedutivo?** Caderno Catarinense de Ensino de Filosofia, Florianópolis, 6 (Número especial): 30-48, junho 1989.

\_\_\_\_\_. **Discussão Acerca do Papel Físico do Lugar Natural na Teoria Aristotélica do Movimento**. Caderno de História Filosofia e Ciência, Campinas, Série 3, v. 16, n. 2, p. 281-301, julho - dezembro 2006.

FANTOLI, Annibale. **Galileu – pelo copernicanismo e pela igreja**. Tradução: Dom Sérgio Braschi. São Paulo: Edições Loyola, 2008.

GHIRALDELLI JÚNIOR, Paulo. **10 lições sobre Sócrates** – Petrópolis, RJ: Vozes, 2109 – (Coleção 10 lições).

GALILEI, Galileu. **Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano**. Tradução, introdução e notas: Pablo Rubén Mariconda. 3º ed. São Paulo: Associação Filosófica *Scientiae Studia/* Editora 34, 2011.

\_\_\_\_\_. **Sidereus Nuncijs: O Mensageiro das Estrelas**. Estudo introdutório. Tradução, estudo e notas: Henrique Leitão. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2010.

\_\_\_\_\_. **O Ensaíador**. Coleção **Os pensadores**. Traduções de Helda Barroco, Nestor Deola e Aristides Lobo – 3º Edição – São Paulo: Abril Cultural, 1983.

\_\_\_\_\_. **Ciência e fé: cartas de Galileu sobre o acordo do sistema copernicano com a Bíblia**. Tradução: Carlos Arthur R. do Nascimento – 2º edição revisada e ampliada – São Paulo: Editora UNESP, 2009.

KOYRÉ, Alexandre. **Estudos Galilaicos** Tradução: Nuno Ferreira da Fonseca. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1992.

\_\_\_\_\_. **Galileu e Platão**. In: Estudos de História do Pensamento Científico. Tradução: Maria de Lourdes Menezes. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2011.

KHUN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas**. Tradução: Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. 12<sup>o</sup> ed. São Paulo: Perspectiva, 2013 (Debates; 115).

MARICONDA, Pablo Rubén. VASCOLELOS, Júlio. **Galileu e a nova Física**. São Paulo: Odysseus Editora, 2006.

MARICONDA, Pablo Rubén. VASCOLELOS, Júlio. *O Diálogo de Galileu e a condenação*. *Cad. Hist. Fil. Ci.*, Campinas, Série 3, v. 10, n. 1, p. 77-160, jan.-jun. 2000.

MOSCHETTI, Marcelo. **A Unificação do Cosmo: o rompimento de Galileu com a distinção aristotélica entre céu e Terra**. Campinas: [s. ed.], 2002.

MARTINS, Roberto de Andrade. *Galileu e o princípio de relatividade*. **Cadernos de História e Filosofia da ciência**. 9 (1986), p. 69-86.

MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. **Copérnico – Pioneiro da revolução astronômica**. São Paulo: Odysseus Editora, 2003 – (Coleção Imortais da Ciência).

NASCIMENTO, Carlos Arthur R. **Para ler Galileu Galilei: Diálogo sobre dois máximos sistemas do mundo**. São Paulo: Nova Stella: EDUC, 1990.

OSIANDER, Andreas. **Prefácio ao “De Revolutionibus Orbium Coelestium” de Copérnico**. Tradução e notas: Zeljko Loparic. Caderno de História da Filosofia e Ciência, Campinas, Série 3, v. 18, n. 1, p. 253-257, jan.-jun. 2008.

PORTO, Claudio Maia. **A Revolução copernicana: aspectos históricos e epistemológicos**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 42, e20190190 (2020).

REALI, Giovanni. **História da filosofia grega e romana, vol. IV: Aristóteles**. Tradução: Henrique Claudio de Lima, Marcelo Perine. 3<sup>o</sup> ed. São Paulo: Edições Loyola, 2015.

\_\_\_\_\_. **Pré-socráticos e orfismo: História da filosofia grega e romana, vol. I**. Tradução: Marcelo Perine – 2<sup>o</sup> edição – São Paulo: Edições Loyola, 2012.

SACRO BOSCO, Johannes. **Tratado da Esfera**. Editado e traduzido por Roberto de Andrade Martins. Campinas: 2006.