

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE FILOSOFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FILOSOFIA

CECÍLIA MOUTA GUIMARÃES

A contraintuição na física clássica

Versão Corrigida

São Paulo

2023

CECÍLIA MOUTA GUIMARÃES

A CONTRAINTUIÇÃO NA FÍSICA CLÁSSICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestra em Filosofia.

Área de concentração: Filosofia da Ciência.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Rubén Mariconda.

Versão Corrigida

São Paulo

2023

ENTREGA DO EXEMPLAR CORRIGIDO DA DISSERTAÇÃO/TESE

Termo de Anuência do (a) orientador (a)

Nome do (a) aluno (a): Cecília Mouta Guimarães

Data da defesa: 11/04/2023

Nome do Prof. (a) orientador (a): Pablo Rubén Mariconda

Nos termos da legislação vigente, declaro **ESTAR CIENTE** do conteúdo deste **EXEMPLAR CORRIGIDO** elaborado em atenção às sugestões dos membros da comissão Julgadora na sessão de defesa do trabalho, manifestando-me **plenamente favorável** ao seu encaminhamento ao Sistema Janus e publicação no **Portal Digital de Teses da USP**.

São Paulo, 31/05/2023



(Assinatura do (a) orientador (a))

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

G963c Guimarães, Cecília Mouta
A contra-intuição na física clássica / Cecília Mouta Guimarães; orientador Pablo Rubém Mariconda - São Paulo, 2023.
97 f.

Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Filosofia. Área de concentração: Filosofia.

1. contra-intuição. 2. física clássica. 3. perspectiva. 4. experimentos mentais. 5. Galileu Galilei. I. Mariconda, Pablo Rubém, orient. II. Título.

GUIMARÃES, C. M. A conrstraintuição na física clássica. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestra em Filosofia sob a orientação do Prof. Dr. Pablo Rubén Mariconda.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr.
Instituição
Julgamento
Assinatura

Prof. Dr.
Instituição
Julgamento
Assinatura

Prof. Dr.
Instituição
Julgamento
Assinatura

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente, ao Prof. Dr. Pablo Mariconda por ter orientado meu trabalho e por ter me ajudado nas dificuldades com a leitura e escrita de um texto acadêmico de filosofia, visto que esta não é minha área de formação.

Ao prof. Dr. Osvaldo Pessoa Jr. por ter sido sempre muito solícito, acolhedor e por ter me ajudado a pensar um projeto para submeter no processo de seleção.

A João da Scientiae Studia pela ajuda na leitura do *Diálogo* de Galileu.

Aos meus pais, Valdinéia Mouta Guimarães e Alberto Pereira Guimarães, por todo o suporte ao longo desses anos. Obrigada por sempre acreditarem em mim.

Aos meus amigos, pela amizade, companheirismo e suporte emocional.

RESUMO

GUIMARÃES, C. M. **A contraintuição na física clássica**. 2023. 100 f. Dissertação de mestrado - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciência Humanas. Departamento de Filosofia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

A pesquisa consiste em analisar o aspecto contraintuitivo que a física desenvolveu a partir do período histórico conhecido como Revolução Científica. Para isso, o trabalho analisa a defesa de Galileu do heliocentrismo em seu livro *Diálogo sobre os dois máximos sistemas de mundo*, pois tal defesa necessitou do desenvolvimento de uma nova física, que buscamos defender ser uma física contra-intuitiva, para dar suporte a esse modelo astronômico. O trabalho investiga três momentos da argumentação de Galileu. O primeiro, em relação ao movimento de rotação da Terra, configura o problema da queda vertical e a analogia do navio. O segundo refere-se ao movimento de translação da Terra e compreende os problemas de retrogradação dos planetas, o problema de brilho dos planetas e a paralaxe estelar. Por fim, também investigamos a argumentação de Galileu acerca das manchas solares. Todos esses problemas, para serem resolvidos, necessitam de uma nova conceituação de realidade. É necessário um afastamento das nossas percepções cotidianas e a implementação de conceitos contraintuitivos para explicar essa nova realidade fenomênica. Desta forma, são analisadas características na argumentação de Galileu que tenham contribuído para o desenvolvimento de uma teorização contraintuitiva na física, como a utilização de analogias, experimentos mentais e a adoção da perspectiva no tratamento dos fenômenos físicos.

Palavras-chave: contraintuição, física clássica, perspectiva, experimento mental, Galileu Galilei

ABSTRACT

GUIMARÃES, C. M. **Counterintuition in classical physics**. 2023. 100 f. Master dissertation - Faculty of Philosophy, Letters and Human Science, University of São Paulo, São Paulo, 2023.

This research analyzes the counter-intuitive aspect that physics has developed since the historical period known as the Scientific Revolution. For this, the work analyzes Galileo's defense of heliocentrism in his book *Dialogue concerning the two chief world systems*, since such defense required the development of a new physics, which we seek to defend as a counter-intuitive physics, to support this astronomic model. The work investigates three moments of Galileo's argumentation. The first, in relation to the rotation of the Earth, configures the problem of vertical fall and the analogy of the ship. The second refers to the Earth's translational movement and comprises the problems of planet retrogradation, the problem of planet brightness and stellar parallax. Finally, we also investigate Galileo's argument about sunspots. All these problems, in order to be solved, require a new conceptualization of reality. It takes a departure from our everyday perceptions and the implementation of counterintuitive concepts to explain this new phenomenal reality. In this way, we analyze characteristics in Galileo's argumentation that have contributed to the development of a counterintuitive theorization in physics, such as the use of analogies, thought experiments and the adoption of perspective in the treatment of physical phenomena.

Keywords: counterintuitive, classical physics, perspective, thought experiments, Galileo Galilei

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Plano inclinado	32
Figura 2	Circunferência	33
Figura 3	Órbitas com combinações de epiciclos e deferentes	44
Figura 4	Representação ptolomaica da retrogradação dos planetas	45
Figura 5	Equante	45
Figura 6	Retrogradação dos planetas	48
Figura 7	Câmara escura	51
Figura 8	Representação da visão por Descartes	52
Figura 9	Perspectiva em Euclides	54
Figura 10	Relações da visão segundo Descartes	55
Figura 11	Fases de Vênus em sua órbita ao redor do Sol	58
Figura 12	Paralaxe estelar	61
Figura 13	Proposta de Galileu da observação de paralaxe estelar	66
Figura 14	Manchas solares	71
Figura 15	Trajatória das manchas solares	72
Figura 16	Eclíptica	73
Figura 17	Trajatória oblíqua das manchas solares	74
Figura 18	Ponto de fuga	78
Figura 19	Projeção em perspectiva	79

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
CAPÍTULO 1 - O argumento da queda vertical e a rotação da terra.....	14
1.1 O problema da autoridade de Aristóteles.....	16
1.2 O argumento da torre.....	19
1.3 A analogia do navio.....	30
CAPÍTULO 2 - As anomalias planetárias e a translação da terra.....	39
2.1 O problema da autoridade das Sagradas Escrituras.....	40
2.2 A retrogradação dos planetas e o princípio de relatividade óptica.....	43
2.3 A anomalia de brilho dos planetas e o telescópio.....	49
2.4 A paralaxe estelar.....	58
CAPÍTULO 3 - Perspectiva e experimentos mentais como elementos contraintuitivos da nova física.....	67
3.1 As manchas solares.....	68
3.2 Perspectiva e o engano dos sentidos.....	76
3.3 Os experimentos mentais e as condições ideais da experiência.....	82
CONCLUSÃO.....	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97

INTRODUÇÃO

O *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano* é um livro que trouxe importantes consequências não só para a física de sua época, como também para a física que se desenvolveu depois. O texto consiste em uma combinação de investigação astronômica de cunho observacional com uma tentativa de formular uma explicação mecânica que desse suporte ao sistema copernicano e conseguisse provar o movimento da Terra (Mariconda, 2004, p. 16).

A sua estrutura, no entanto, é diferente dos textos científicos de sua época. O *Diálogo* está escrito numa estrutura dialógica, onde três personagens se reúnem para conversar sobre a plausibilidade dos dois sistemas astronômicos, o ptolomaico e o copernicano, ao longo de quatro jornadas. Esse tipo de estrutura traz um certo dinamismo para o texto e permite que ele seja trabalhado numa linguagem mais simples e didática. Além disso, Galileu faz uso de alguns elementos retóricos como a ironia, utilizada em alguns momentos ao longo do texto por Salviati quando se defronta com o princípio de autoridade, seja de Aristóteles ou das Sagradas Escrituras, e a formulação de analogias, utilizadas tanto por Salviati como por Sagredo, de modo a fornecer imagens que facilitem o entendimento da questão. O uso de analogias tem um papel tão importante no texto de Galileu que configura um dos três momentos da sua argumentação na defesa do movimento de rotação da Terra, como veremos no capítulo um.

Em relação aos personagens, temos Salviati, que é o defensor do sistema copernicano e representa a visão de Galileu, Sagredo, que procura manter uma postura imparcial e desempenha, muitas vezes, o papel de intermediador entre Salviati e Simplicio, e Simplicio que representa os peripatéticos. Na concepção de Galileu, ser um peripatético significa que os argumentos, métodos e princípios estão de acordo com os ensinamentos aristotélicos (Galilei, 2003, p. 76). Outro aspecto importante no *Diálogo* é que ao longo das suas quatro jornadas, Salviati propõe a Simplicio vários exercícios de pensamentos, de imaginar a situação a partir dos conceitos que ele introduz. Dessa forma, Galileu faz com que os peripatéticos concebam a realidade a partir dessa nova física que ele introduz, imaginando e analisando o que aconteceria com os fenômenos caso os conceitos abordados por Salviati, como o princípio de relatividade e a composição de movimento, ocorressem. Como veremos no capítulo três, os experimentos mentais são elementos chave para o caráter contraintuitivo da nova física.

A relação entre a defesa do heliocentrismo e o desenvolvimento de uma nova física é visceral, e o impacto da aceitação do sistema copernicano teve desdobramentos antropológicos, científicos e artísticos. Por isso, serão expostos nos dois primeiros capítulos as argumentações

e as novas conceituações, construídas por Galileu, necessárias para dar suporte ao modelo copernicano.

No primeiro capítulo, intitulado “O argumento da queda vertical e a rotação da Terra”, apresentaremos a discussão que se passa na Segunda Jornada do *Diálogo*, na qual o personagem Salviati enfrenta a argumentação tradicionalista contra o movimento de rotação da Terra. Escolhemos o argumento da queda vertical como principal argumento a respeito do problema da rotação, pois, como veremos no capítulo, resolvendo-se essa objeção, resolvem-se todas as outras. Os obstáculos a serem vencidos a favor do movimento da Terra são o princípio de autoridade de Aristóteles e o problema da queda vertical que, neste trabalho, é dividido em três momentos.

O primeiro momento é uma objeção de cunho puramente empírico, afinal, nós vemos os objetos caírem de forma vertical. O segundo momento é o do argumento da torre, que consiste na soltura de uma pedra do alto de uma torre e da observação de que a pedra cai de maneira vertical. Essa trajetória vertical da pedra, segundo a tradição, seria uma prova de que a Terra estaria parada. Inicialmente, Galileu se defronta com o problema de petição de princípio na argumentação peripatética, dado que a pedra cair rasante à torre depende da crença de que a Terra está parada, mas a imobilidade da Terra é o que os peripatéticos estão tentando provar. Dessa forma, analisamos a reformulação do problema da torre feita por Galileu, que deixa claro o real obstáculo a ser superado: a impossibilidade, na física aristotélica, da composição de movimento.

Por último, a analogia do navio com a Terra, na qual o navio faz referência à Terra em movimento. Nesse argumento, a pedra é solta do alto do mastro do navio e, mesmo o navio estando em movimento, a observação permanece a mesma da pedra solta do alto de uma torre, isto é, observa-se uma queda vertical da pedra. Veremos que a resolução do problema da queda vertical exige uma nova concepção de movimento e é nesse momento que novos conceitos são expostos como o de conservação do movimento e de composição do movimento, além da elaboração do princípio de relatividade mecânica do movimento.

No segundo capítulo apresentaremos a questão das anomalias planetárias e suas relações com o movimento de translação da Terra, discussão presente na Terceira Jornada do *Diálogo*. A primeira anomalia é de retrogradação dos planetas, na qual os planetas parecem “andar para trás” em determinados momentos no céu. O modelo ptolomaico representa o fenômeno a partir de epiciclos e deferentes, mas o modelo copernicano, a partir da relatividade óptica de copérnico, oferece uma representação muito mais simples para a questão, além de introduzir a noção de aparência dos fenômenos.

A segunda anomalia é a de brilho dos planetas. Aqui, é apresentada a observação de fenômenos mediada por aparelhos, que não estava presente na discussão acerca do movimento de rotação da Terra. O problema da confiabilidade do aparelho óptico se relaciona, então, com a introdução da ideia do olho humano como um instrumento que necessita de ajustes e correções, como qualquer outro. A confiabilidade do aparelho óptico é importante, pois as evidências observacionais dependem de sua aceitabilidade. Os obstáculos a serem vencidos na defesa do movimento de translação da Terra são o de autoridade, tanto a de Aristóteles, de Ptolomeu e Brahe, como a autoridade da Sagrada Escritura. Por fim, a argumentação tradicionalista, a favor da imobilidade da Terra, aponta a ausência de paralaxe das estrelas no céu, o que levanta o problema do tamanho do universo. Esta última configura o problema mais complexo sobre o movimento de translação da Terra.

Tanto o movimento de rotação da Terra como o movimento de translação introduzem na nova ciência que se constrói nesse período a ideia de uma realidade subjacente e que, por isso, os fenômenos observados precisam ser interpretados.

No terceiro capítulo tratamos, inicialmente, do caso das manchas solares. A polêmica sobre a contiguidade das manchas solares à superfície do Sol se faz importante não só para consolidar a importância da observação mediada por aparelhos, discutida no segundo capítulo, mas principalmente para evidenciar a importância da interpretação e da perspectiva nas observações. Como veremos ao longo do capítulo, a perspectiva é um dos elementos que consideramos contraintuitivos, pois a perspectiva evidencia o problema do engano dos sentidos. Por isso, a interpretação se torna um elemento necessário na teorização do que se observa. Para correção do engano dos sentidos, entramos no segundo elemento contraintuitivo da nova física, que são os experimentos mentais.

Veremos que os experimentos mentais desenvolvidos por Galileu no *Diálogo*, principalmente o experimento mental da analogia do navio evidenciam a importância da imaginação na elaboração das teorias físicas, pois a física passa a operar numa realidade ideal, onde esferas são perfeitamente esféricas e planos são perfeitamente polidos. A teorização passa a operar numa realidade ideal, imaginada, para depois, então, sofrer as devidas correções ao se tratar da realidade empírica.

Dessa forma, veremos que a defesa do heliocentrismo e o desenvolvimento de uma física que desse suporte ao modelo astronômico heliocêntrico foi o primeiro passo para uma observação física, de certo modo, mais distante das nossas percepções cotidianas e que propõe uma atitude reflexiva sobre o próprio ato de observar. Ao analisarmos a argumentação de Galileu ao longo da Primeira e Segunda Jornada do *Diálogo*, poderemos notar que a nova física

introduz a noção de realidade subjacente e que, por isso, os fenômenos precisam ser interpretados. Assim, novos aspectos epistemológicos ganham importância, como a valorização da abstração de pensamento, possível através da adoção de uma linguagem matemática e geométrica para tratamento dos fenômenos, e o uso da imaginação para compreensão e conceituação da realidade.

CAPÍTULO 1

O ARGUMENTO DA QUEDA VERTICAL E A ROTAÇÃO DA TERRA

A discussão sobre a mobilidade da Terra levanta diversos problemas. Há, num primeiro momento, a necessidade de se pensar a Terra como um planeta como outro qualquer no Cosmo e isso conflita com a dicotomia cosmológica de Aristóteles, isto é, a distinção entre Céu e Terra como duas regiões substanciais distintas. Considerar a Terra como um planeta, tal como todos os outros configura a tese da homogeneidade entre a Terra e os demais corpos celestes, que está em desacordo com a tese da heterogeneidade do Cosmo defendida pelos aristotélicos. A primeira Jornada do *Diálogo* é dedicada a essa discussão, que não é o foco deste trabalho. Neste primeiro capítulo, nos atemos às questões mecânicas do movimento dentro da própria Terra, que configuram as dificuldades mecânicas na concepção de uma Terra em movimento de rotação dada a observação do comportamento dos corpos em movimento, como o nascer e o pôr do Sol, a queda vertical dos corpos próximos da superfície terrestre, e o problema de instituir uma física que explique o conjunto das observações de movimento próximos a superfície terrestre e das observações astronômicas.

Por isso, começamos a discussão assumindo como pressuposto o que foi concluído na Primeira Jornada. Sagredo, em sua primeira fala da Segunda Jornada, resgata essa conclusão fazendo uma breve exposição sobre o que foi discutido, a saber, se haveria ou não uma dicotomia entre Céu e Terra ou se, na verdade, o universo seria um universo homogêneo, de modo que a Terra faria parte do universo como qualquer outro planeta. A conclusão a que se chega ao final da Primeira Jornada é a de maior plausibilidade da Terra ser um planeta e do universo ser homogêneo.

No entanto, essa conclusão possui uma premissa implícita, que será a premissa discutida na Segunda Jornada: se a Terra é um planeta como outro qualquer no universo, então é provável que ela seja dotada de movimento como os outros planetas e, portanto, possui o movimento de rotação sobre seu próprio eixo. O movimento de rotação sobre o próprio eixo é, para Copérnico, definitivo para a concepção do que é um planeta e considerar a Terra como tal traz consequências cosmológicas importantes. O dia e a noite, por exemplo, deixam de ser fenômenos universais, isto é, deixam de ser o mesmo para todo o universo, e passam a ser um fenômeno planetário. Cada planeta tem seu período de rotação sobre o próprio eixo e, por isso, cada planeta terá seu dia e noite com durações próprias.

Muitos foram os argumentos levantados pela tradição para mostrar que a hipótese ptolomaica de que a Terra não tem um movimento de rotação em torno do seu próprio eixo, baseados na física de Aristóteles, dos quais podemos citar (cf. Galilei, 2004, p. 205-13): **(1)** o movimento da Terra seria violento, dado que os movimentos naturais da Terra são o vertical para cima e baixo, e, por isso, por ser um movimento violento, não poderia ser eterno. E, no entanto, a ordem do mundo é eterna, então a Terra não se move; **(2)** Se a Terra estivesse em movimento, estaria se movendo para o centro do universo e, dessa forma, os corpos seriam deixados para trás nesse movimento; **(3)** Os tiros de canhão¹ **(4)** O fato dos corpos graves caírem perpendicularmente, quando soltos de determinada altura evidenciaria o repouso da Terra e **(5)** A ausência de paralaxe das estrelas nas observações do céu.

Galileu, então, faz uma distinção entre os argumentos aristotélicos, percebendo que alguns relacionam-se com as observações dos corpos celestes, como a ausência de paralaxe, e outros relacionam-se com os acidentes terrestres, como a queda perpendicular dos corpos.

A primeira gama de problemas, a relacionada aos corpos celestes, é explorada na defesa do movimento de translação da Terra, que veremos no próximo capítulo, já os acidentes terrestres estão ligados ao problema da rotação da Terra. Dentre estes acidentes terrestres, consideramos o argumento da queda vertical como central para o debate acerca da mobilidade da Terra, pois, conseguindo uma resposta para este problema, temos uma pista de como todos os outros serão também resolvidos, fazendo as devidas adaptações.

O argumento da queda vertical pode ser dividido em três momentos: primeiro, com uma argumentação puramente empirista e sustentada pelo princípio de autoridade de Aristóteles. Depois, com a formulação do problema da queda vertical do alto de uma torre e as questões mecânicas do movimento. Por último, com o uso da analogia do navio e a formulação do princípio de relatividade (PR).

No primeiro momento, a argumentação sobre a queda vertical dos corpos está relacionada unicamente à percepção. O que vemos, no nosso cotidiano, é que quando soltamos os objetos a partir de certa altura, vemos que caem verticalmente em direção ao solo. Essa experiência sensível, relacionada à nossa percepção imediata dos fenômenos na qual a tradição se sustenta, está amparada nos textos e na física de Aristóteles, ao qual a tradição outorga autoridade. Com isso, uma parte dos argumentos tradicionalistas recai na falácia de autoridade, que acontece quando as conclusões de um argumento estão baseadas numa premissa cuja

¹ Esse argumento é considerado por Galileu como um argumento moderno, pois não foi formulado por Aristóteles ou Ptolomeu, que são considerados os argumentos tradicionais. O argumento dos tiros de artilharia foi formulado por Tycho Brahe.

verdade só pode ser comprovada pela autoridade, não havendo, portanto, nenhum outro meio de se provar verdadeiro aquele argumento se não pela confiabilidade que se dá ao autor em questão (Sacchini, 2016). Galileu argumenta que a tradição tinha a seguinte estrutura de argumentação: “A Terra está imóvel no centro do universo, porque Aristóteles assim o disse ou assim o provou” (Mariconda, 2004, p. 622-3, nota 6). A autoridade de Aristóteles é, portanto, o primeiro obstáculo que Galileu precisa superar na sua argumentação sobre a mobilidade da Terra.

1.1 O problema da autoridade de Aristóteles

Segundo Mariconda (2003), a autoridade de Aristóteles decorre do fato de que ele foi o inventor da lógica que, dentre outros fatores, levou à compreensão de que o argumento dedutivo possui uma estrutura tal que a partir da veracidade das premissas segue-se necessariamente a conclusão. Outro fator que dá peso à autoridade de Aristóteles é que ele foi quem desenvolveu o princípio empirista de comprovação do conhecimento científico a partir da experiência (Mariconda, 2003, p. 69-70).

De acordo com Simplício, é necessário saber ler os textos de Aristóteles, pois neles se encontram tudo o que se há para saber (Galilei, 2004, p. 189). Há um grande problema nesse pensamento de Simplício, pois limita o conhecimento a tudo que é sabido até então, sem nem questionar esse conhecimento produzido. Nesse momento, Galileu salienta sobre a importância da modéstia, isto é, que é importante admitir que não se sabe tudo ao invés de tentar estar sempre certo.

Em seguida, Galileu faz uma crítica ao dogmatismo da escola aristotélica. Segundo Salviati, são os seguidores de Aristóteles que lhe causam prejuízo à reputação por insistirem em posições rigorosas e puramente baseadas em autoridade acerca das coisas. Segundo Simplício:

Aristóteles não adquiriu tão grande autoridade senão pela força de suas demonstrações e pela profundidade de seus argumentos: mas é preciso entendê-lo, e não apenas entendê-lo, mas ter tão grande prática em seus livros, que se tenha formado uma ideia perfeitíssima, de modo que cada uma de suas formações esteja sempre diante da mente; (...) e por isso é preciso ter toda aquela, aproximar este texto com um outro remotíssimo; pois não há dúvida de que quem tiver essa prática saberá extrair de seus livros as demonstrações de tudo o que há para conhecer, porque neles se encontram todas as coisas
(GALILEI, 2004, p. 189).

A fala de Simplício sobre encontrar em Aristóteles o saber para todas as coisas reduz o conhecimento a algo trivial, pois utiliza-se de recortes dos textos de Aristóteles para tentar explicar tudo. Esse recorte e montagem dos textos do Estagirita, com finalidade de conseguir fornecer uma explicação e defender uma posição diante do conhecimento do mundo, é muito

oportuno e faz com que valha qualquer coisa acerca do conhecimento. Isso faz com que diversas explicações sejam baseadas na autoridade de Aristóteles, de recortes de seus textos, na crença que a junção dessas partes levará ao sumo (Mariconda, 2004, p. 623, nota 7).

Sagredo - Mas, meu caro Sr. Simplicio, como o estarem as coisas disseminadas aqui e ali não vos causa aborrecimento, e como acreditais que com o agrupamento e com a combinação das várias partes se possa obter o sumo, o que vós e os outros filósofos esforçados faríeis com os textos de Aristóteles, posso fazer com os versos de Virgílio ou de Ovídio, formando centões e explicando com os mesmos todos os afazeres dos homens e os segredos da natureza (GALILEI, 2004, p. 189-90).

O questionamento que Sagredo faz é que, se Aristóteles estivesse vivendo no tempo deles, com os novos fenômenos que agora se veem, não mudaria de ideia sobre algumas proposições? Um segundo ponto é que a autoridade do conhecimento é conferida pelos seus seguidores. Dessa forma, Galileu argumenta, como vimos na passagem acima na voz de Sagredo, que ele poderia muito bem fazer com Virgílio ou Ovídio, dois poetas, o que se faz com Aristóteles. Qual seria, então, um fator determinante para as ideias de Aristóteles que o diferencia dos demais senão aqueles que lhe conferem o status de verdade?

Salviati - Causou-me muitas vezes surpresa como pode acontecer que esses rigorosos sustentadores de cada dito de Aristóteles não se apercebiam do grande prejuízo que causam à sua reputação e crédito, e quanto, ao querer aumentar-lhe a autoridade, lhe subtraem; porque, enquanto os vejo obstinados em querer sustentar proposições que percebo com as mãos serem manifestamente falsas, e em querer persuadir-me de que assim fazer convém ao verdadeiro filósofo e que assim o faria o próprio Aristóteles, diminui muito em mim a opinião que ele tenha filosofado com retidão em torno de outras conclusões para mim mais recônditas: que, quando os vir cederem e mudarem de opinião pelas verdades manifestas, acreditarei que naquelas em que persistissem, poderiam ter sólidas demonstrações, por mim não entendidas ou percebidas (GALILEI, 2004, p. 192).

A subtração da autoridade de Aristóteles, mencionada por Salviati, se encontra no fato de que seus seguidores encaram seus textos de maneira irredutível. Para Salviati, se Aristóteles estivesse vivendo contemporaneamente a eles, corrigiria o que em seus livros não condizem com as novas observações.

Já ao mencionar as “proposições que percebo com as mãos”, Galileu faz referência a Aristóteles, pois para o estagirita o tato é o sentido mais básico, isto é, até mesmo um cego pode ter conhecimento através do tato. Essa crítica, juntamente com sua menção às “verdades manifestas” referem-se ao caso do estudo sobre as origens dos nervos. Segundo Galeno, médico grego que prestava serviços ao imperador romano Marco Aurélio, os nervos tinham sua origem no cérebro, mas segundo Aristóteles, os nervos tinham sua origem no coração. Os peripatéticos, então, defendiam a posição de origem dos nervos no coração, mesmo após a realização de dissecações anatômicas, onde podiam ver, comprovar com o olhar, que a hipótese galênica estava correta. Ao invés disso, os peripatéticos ainda se pautavam na autoridade de Aristóteles ao dizerem, como cita Sagredo:

(...) dirigiu-se a um gentil-homem que conhecia como filósofo peripatético e em virtude de cuja presença tinha, com extraordinário zelo, aberto e mostrado tudo, perguntando-lhe se estava satisfeito e certificado de que a origem dos nervos vem do cérebro e não do coração, ao que o filósofo, depois de pensar algum tempo consigo mesmo, respondeu: ‘vós me fizestes ver esta coisa de modo tão aberto e sensível que, quando o texto de Aristóteles não dissesse o contrário, posto que diz claramente que os nervos nascem no coração, precisaríamos forçosamente confessá-la verdadeira’ (GALILEI, 2004, p. 189).

A passagem acima, enunciada por Sagredo, possui um caráter irônico em relação à postura dos peripatéticos e realça a crítica de Galileu perante o comportamento dos seguidores de Aristóteles, os quais, ainda referente à questão dos nervos “(...) contra uma experiência tão sensível, não apresentaram outras experiências ou razões de Aristóteles, mas unicamente a autoridade e o puro *ipse dixit*” (GALILEI, 2004, p. 189). A ironia se encontra numa contradição em que os próprios peripatéticos se colocam, pois, segundo o princípio empirista de Aristóteles: “a experiência sensível deve ser anteposta a qualquer discurso fabricado pelo engenho humano” (Mariconda, 2003, p. 72). No entanto, ao estarem diante dos nervos e, mesmo assim, continuarem trazendo o conhecimento dos textos de Aristóteles, os peripatéticos abrem mão de um aspecto metodológico importante do empirismo em detrimento de um conhecimento doutrinal. A postura peripatética de negar aquilo que, aparentemente, está escancarado aos sentidos é-lhe característica, repetindo-se no problema do apontamento do telescópio para o céu e na defesa de Galileu sobre as descobertas que esse aparelho óptico lhe trouxe e que colocavam em xeque toda a cosmologia aristotélica². Segundo Galileu, em carta a Fortunio Liceti, os peripatéticos se submetem a uma autoridade absoluta e:

(...) para a manutenção da qual se induzem a negar experiências sensíveis, ou a dar estranhas interpretações aos textos de Aristóteles, para esclarecimento e limitação dos quais muito frequentemente farão dizer ao próprio filósofo outras coisas não menos extravagantes, e certamente distanciadas da sua imaginação (GALILEI, 2003, p. 76).

Para Salviati, aqueles que pretendem estudar pautando seus argumentos cegamente nos textos de determinado autor, sem buscar outras razões, não devem ser chamados de filósofos, pois não exercem o filosofar. Ao invés disso, devem ser chamados de historiadores ou doutores da memória (GALILEI, 2004, p.193-4).

Salviati - (...) censuro somente quem se entrega como presa de modo que cegamente subscreve cada afirmação sua [de Aristóteles] e, sem buscar outra razão, aceita-a como um decreto inviolável (...). Mas, quando queiram continuar com esse modo de estudar, abdicuem do nome de filósofos, e chamem-se de historiadores ou doutores da memória; porque não convém que aqueles que nunca filosofam usurpem o honroso título de filósofo (GALILEI, 2004, p. 193-4).

Segundo Mariconda, a argumentação levantada por Galileu, na voz de Salviati, mostra a importância de se manter um equilíbrio entre a “aceitação dogmática da autoridade e o

² As questões acerca do telescópio e observação serão discutidas no próximo capítulo

oportunismo” (GALILEI, 2004, p. 626-28, nota 19). Para Salviati, “...nossos discursos hão de ser sobre o mundo sensível, e não sobre um mundo de papel” (GALILEI, 2004, p. 194).

Mariconda comenta em nota (Mariconda, 2004, p. 626-8, nota 19) que a crítica construída por Galileu é para aqueles que aceitam as ideias de Aristóteles como um decreto inviolável. Para evitar esse comportamento dogmático diante do conhecimento, Mariconda cita duas posturas necessárias: (1) “não conceder prioridade à autoridade sobre nossas próprias experiências” (Mariconda, 2004, p. 626, nota 19) e (2) “não agir como se todo conhecimento já tivesse sido fornecido pela autoridade” (*ibid*). Portanto, Galileu salienta a importância de uma atitude crítica diante do conhecimento já construído até então.

Superado, inicialmente, o obstáculo da autoridade de Aristóteles, a discussão sobre o problema de mobilidade da Terra dá um passo adiante para o segundo momento da argumentação acerca da queda vertical, que constitui o problema da torre.

1.2 O argumento da Torre

No argumento da torre, problemas relacionados à física do movimento se tornam fundamentais, tanto na argumentação de Galileu quanto na dos peripatéticos, pois a queda vertical de um corpo em uma Terra em movimento implica uma composição de movimentos.

Salviati - Afirma, portanto, Aristóteles que um argumento certíssimo da imobilidade da Terra é vermos os projéteis subirem perpendicularmente e retornarem pela mesma linha ao mesmo lugar de onde foram atirados, e isso, ainda que o movimento fosse altíssimo; o que não poderia acontecer quando a Terra se movesse, porque no tempo em que o projétil se movesse para cima e para baixo, separado da Terra, o lugar onde teve início o movimento do projétil afastar-se-ia, devido à rotação da Terra, por um longo espaço para levante, e por tanto espaço, ao cair, o projétil percutiria sobre a Terra afastado do lugar mencionado: de modo que aqui se ajusta o argumento da bala atirada para o alto pela artilharia, como também o outro argumento usado por Aristóteles e Ptolomeu, que é o de ver os graves que caem de grandes alturas chegar por linha reta e perpendicular à superfície terrestre (GALILEI, 2004, p. 220).

Antes de começar a discussão sobre o argumento da torre, no entanto, é preciso reformular a questão, pois como exposto por Salviati na fala acima, o argumento culmina numa petição de princípio. A petição de princípio ocorre quando aquilo que se pretende provar por meio de uma argumentação acaba se tornando premissa da própria. Com isso, a conclusão acaba fazendo parte da própria argumentação. Além disso, a discussão sobre o argumento da torre envolve a introdução do conceito de composição do movimento e do PR, que são conceitos que marcam o surgimento dessa nova física necessária para sustentar o modelo heliocêntrico. É nessa discussão que também aparece pela primeira vez a analogia do navio e a Terra. O primeiro passo, então, em relação ao argumento da Torre é a sua reformulação.

Salviati - Portanto, de apenas ver a pedra cadente rasar a torre, não podeis seguramente afirmar que ela descreva uma linha reta e perpendicular, se antes não se supuser que a Terra esteja parada.

Simplicio - Assim é; porque, se a Terra se movesse, o movimento da pedra seria transversal e não, perpendicular.

Salviati - Aqui está, portanto, o paralogismo de Aristóteles e Ptolomeu evidente e claro, e descoberto por vós mesmos no qual se supõe conhecido o que se pretende demonstrar (GALILEI, 2004, p. 221).

Segundo Simplicio, o que nos assegura afirmar que os móveis caem em linha reta e perpendicular são os sentidos. Os sentidos nos provam que a torre é reta e perpendicular e são esses mesmos sentidos que nos provam que a pedra cai de forma vertical, rente à torre, no chão. Salviati, então, levanta a questão: e se víssemos a mesma coisa, mas com a Terra em movimento, levando consigo a torre? Qual seria o movimento da pedra? A resposta de Simplicio esbarra na dificuldade mecânica da física vigente. A pedra teria dois movimentos, um que corresponde ao vertical e outro que seria semicircular. Essa constatação de Simplicio faz Salviati chegar à primeira conclusão do problema:

Salviati - Portanto, de apenas ver a pedra cadente rasar a torre, não podeis seguramente afirmar que ela descreva uma linha reta e perpendicular, se antes não se supuser que a Terra esteja parada. (GALILEI, 2004, p. 221).

Isto é, a conclusão de que a pedra cai rasante à torre depende da crença de que a Terra está parada. No entanto, que a Terra está parada é o que está se tentando provar a partir da observação da queda da pedra do alto da torre. Podemos, então, perceber que a impossibilidade da composição de movimento ocupa uma dupla função na contra-argumentação tradicionalista: é tanto utilizado para tentar refutar o movimento retilíneo de corpos dentro de uma Terra em movimento quanto para tentar provar a própria ideia de imobilidade da Terra. Segundo Finocchiaro:

o argumento da queda vertical afirma que os corpos realmente caem segundo a vertical; assenta essa afirmação na observação, a saber, no fato de que os corpos parecem a nossos olhos cair verticalmente, isto é, a queda vertical real é justificada pela queda vertical aparente; mas esta justificação assume que a queda vertical aparente implica a queda vertical real; e essa implicação não vale, a menos que a Terra esteja parada, porque, em uma Terra que gira, a queda vertical aparente implicaria uma queda real inclinada; portanto, assumir que a queda vertical aparente implica a queda vertical real pressupõe que a Terra está parada; mas a proposição que a Terra está parada é a conclusão que o argumento tenta provar; portanto, o argumento assume exatamente aquilo que se quer provar (FINOCCHIARO, 1997, p. 157-8, nota 95).

A reformulação do problema exposta por Finocchiaro evidencia, desde já, uma consequência epistemológica importante dessa nova física que começa a surgir com Galileu, a saber, uma consciência de que existe uma realidade subjacente a qual não necessariamente corresponde de maneira direta aos fenômenos observados. Há uma realidade aparente que é distinta da real

Além disso, há uma premissa subentendida na formulação do argumento da Torre em sua configuração original. A premissa subentendida é de que a Terra começou a se mover no momento em que se largou a pedra de uma certa altura do chão. Como vimos anteriormente, os peripatéticos argumentam que, soltando-se uma pedra do alto de alguma superfície, digamos uma torre, é observado que a pedra cai verticalmente. A partir dessa observação, conclui-se que a Terra está parada, pois se estivesse em movimento, a pedra ficaria para trás. No entanto, esse argumento só é verdadeiro se a Terra começar a se mover no momento em que a pedra foi solta do alto da torre, pois esta seria a única situação na qual a pedra ficaria para trás. Portanto, aceitando-se essa premissa, o argumento da torre está correto, na versão aristotélica (cf. Mariconda, Vasconcellos, 2021, p. 170; Clavelin, 1974, p. 229).

No entanto, para assumir como verdadeira essa premissa, os peripatéticos teriam que assumir que a Terra está em movimento, em algum momento. E o repouso da Terra é justamente o que se pretende provar com o argumento da torre, o que faz com que o argumento que se pretende provar se torne premissa da argumentação, configurando a petição de princípio. No entanto, não aceitar essa premissa invalida o argumento, pois este deixa de estar correto, dado que a única situação possível para a pedra ficar para trás é a Terra começar a se mover no momento em que se solta a pedra do alto. Dessa forma, foi necessário reformular o argumento da Torre para que o problema seja discutido sob outra perspectiva.

Galileu, então, reformula o problema explicitando, agora, o que de fato configura a dificuldade da questão. Para Simplício e todos os peripatéticos, se a Terra estivesse em movimento e arrastasse consigo a torre, a pedra não desceria rasando a torre, pois, para isso, ela teria que ter dois movimentos: o vertical em direção ao centro e o circular em torno do centro. Assim, o argumento da torre contém um problema mecânico importante para a física da época: a composição de movimentos, uma impossibilidade para a física aristotélica dada a natureza dos corpos, que não permite dois movimentos naturais em um único corpo. Como os corpos caem, de maneira natural, verticalmente para baixo, a conclusão é de que a Terra está parada, logo é impossível o movimento de rotação da Terra em torno do próprio eixo. Vemos que essa conclusão depende da negação de composição de movimento. A negação da composição de movimento é, então, a premissa do argumento da queda vertical que passa, agora, a ser um problema de caráter mais teórico e conceitual.

Podemos perceber até aqui que o movimento de rotação da Terra levanta um problema considerável em relação à física terrestre. Enquanto que para a astronomia o movimento da Terra podia ser tomado como hipótese puramente matemática, para a física a concepção de uma Terra em movimento estava envolvida em dificuldades mecânicas, como vemos no

problema da queda vertical. Para conseguir solucionar os problemas levantados pela tradição a respeito das dificuldades mecânicas, foi necessário introduzir um novo sistema conceitual que operasse com um novo conceito de movimento, que não carrega consigo um aspecto ontológico de atualização do móvel e nem funcione sob a perspectiva de lugar natural dos corpos, acarretando, portanto, a necessidade de determinação de quais são as propriedades empíricas do movimento (Clavelin, 1974).

Grande parte do problema de se conceber o movimento da Terra, segundo a física aristotélica, é que a composição do movimento era algo impensável, pois um móvel simples só pode possuir um movimento, que é o que lhe é natural. No caso dos corpos graves, o movimento natural é o de dirigir-se em linha reta para o centro da Terra, como observado nas nossas experiências cotidianas. Isto é, estando-se na Terra, os movimentos naturais são vertical para cima ou para baixo, a depender da composição dos corpos, se são leves ou graves. Segundo o estagirita, todos os corpos encontrados na natureza são compostos de quatro elementos: terra, fogo, água e ar. Alguns elementos são naturalmente leves e outros naturalmente pesados e é essa essência que determina que tipo de movimento lhe é natural (Clavelin, 1974). Para o estagirita, o movimento não é entendido apenas como um deslocamento do corpo, mas está relacionado à constituição interna do mesmo, está relacionado à sua natureza (Mariconda, Vasconcellos, 2021). Segundo Aristóteles, “A natureza é princípio ou causa do ser movido e do estar em repouso naquilo que a possui primariamente em virtude de si mesma e não acidentalmente.” (Aristóteles *apud* Mariconda, Vasconcellos, 2021, p. 175). Podemos também perceber a relação constitutiva de movimento e natureza do corpo na seguinte fala de Simplicio.

“Simplicio - Aristóteles responde a todas essas perguntas, dizendo-vos que assim como de um móvel um é o movimento, assim também de um movimento um é o móvel e, conseqüentemente, que sem a inerência de seu sujeito não pode nem existir, nem mesmo imaginar-se algum movimento.” (Galilei, 2004, p. 202)

Como podemos notar nas duas citações acerca do movimento em Aristóteles, o movimento está relacionado à natureza do corpo, à constituição interna do mesmo. Como diz Simplicio, sem um objeto, que ele chama de sujeito, não pode existir o movimento. Esse conceito de movimento vem da suposição da existência de uma ordem cosmológica, onde existe um lugar natural para cada corpo no universo (Mariconda, 2004, p. 632, nota 25). O repouso, por outro lado, é o modo absoluto do corpo para o qual o mesmo sempre retorna. Vemos que movimento e repouso são conceitos contrários na *Física* de Aristóteles. O movimento é entendido como um *processo* enquanto o repouso é entendido como um *estado*, que só é alterado por violência (Mariconda, Vasconcellos, 2021, p. 175).

Outra noção importante para entendermos a concepção do movimento na física aristotélica é a noção de contrários. Nota-se que os movimentos naturais dos corpos terrestres são contrários, isto é, ou são verticais para cima ou verticais para baixo, o que não acontece com os corpos celestes, pois estes executam um movimento circular ao redor do centro da Terra. O movimento circular não possui contrário. Se o movimento contrário não existe, então os corpos celestes não têm uma existência potencial, existindo, portanto, em plenitude de suas essências (Clavelin, 1974, p. 187). Essa diferença de essências configurou a crença na distinção entre Céu e Terra, na qual o céu compreende o mundo supralunar³, sendo incorruptível e imutável, e a Terra compreende o mundo sublunar, corruptível e suscetível a mudanças (Clavelin, 1974, p. 183).

De acordo com Clavelin, “para Aristóteles, aceitar a ideia de relatividade seria equivalente a negar a função da atualização e conseqüentemente a inteligibilidade do movimento local.” (Clavelin, 1974, p. 33). O movimento em Aristóteles é entendido como um processo de atualização do corpo, em direção a um estado final: o repouso. Segundo Aristóteles, “o movimento é o ato do ser em potência, enquanto ele é em potência” (Aristóteles apud Mariconda, 2004, p. 632, nota 25). Assim, cada elemento tem um lugar que lhe é natural e o movimento retilíneo é então sempre um processo para alcançar esse lugar, que, assim que alcançado, o corpo entra em repouso. Portanto, os corpos pesados, compostos majoritariamente do elemento terra, têm como movimento natural o movimento retilíneo para baixo, em direção ao centro. Mas colocando movimento e repouso na mesma categoria, isto é, de estado de um corpo, o movimento então passa a ser algo externo ao corpo e não faz mais sentido falar de movimento em termos absolutos. O movimento existe nas relações entre corpos. E é isso que o princípio de relatividade do movimento faz. O movimento não é mais potencialidade, algo que acontece com uma finalidade e destinado a um fim. Negar a função ontológica do movimento faz com que essa relação movimento-essência dos corpos desapareça. E era justamente essa relação que permitia aos aristotélicos justificar a imobilidade da Terra.

A imobilidade da Terra foi deduzida de duas proposições: a existência de um centro do universo e a existência do movimento natural que restaura todos os fragmentos do elemento terra para o centro, simplesmente porque “é natural para o todo estar no lugar para o qual a parte tem um movimento natural” (CLAVELIN, 1974, p. 29, tradução nossa).

³ Essa diferença de essências entre o Céu e a Terra foi o que levou os filósofos gregos a pensarem que o Céu era composto de um elemento diferente dos que se encontram na Terra e nomearam esse elemento de éter (Clavelin, 1974, p. 184).

Portanto, ao considerar ambos o movimento e o repouso como estados possíveis de um corpo, capazes de autopreservação indefinida⁴, Galileu abre caminho para uma argumentação a favor da mobilidade da Terra (Clavelin, 1986, p. 217). Como o movimento não é algo que o corpo possui, mas que acontece na relação entre objetos, têm o mesmo efeito se fosse a Terra ou os corpos celestes que estivessem em movimento. Essa noção de “tanto faz” em relação ao que se move é uma ideia chave para entendermos o princípio de relatividade (PR), que desempenha um papel importante na nova física do movimento. Segundo Salviati:

Seja, portanto, o princípio de nossa contemplação o considerar que qualquer movimento seja atribuído à Terra, é necessário que para nós, como habitantes daquela e conseqüentemente partícipes do mesmo, ele fique totalmente imperceptível e como se não fosse, enquanto considerarmos unicamente as coisas terrestres; mas é também, ao contrário, outro tanto necessário que o mesmo movimento se apresente para nós comum a todos os outros corpos e objetos visíveis que, estando separados da Terra, não o possuem (GALILEI, 2004, p. 194-5).

Podemos perceber que há uma premissa para pensarmos o movimento da Terra, expresso nessa primeira formulação do conceito de relatividade do movimento no *Diálogo*, que é: o movimento de rotação da Terra não é percebido, pois estamos dentro do sistema, isto é, estamos nos movendo junto com a Terra. O único movimento percebido é, portanto, o dos corpos fora da Terra. Salviati, então, continua:

De modo que o verdadeiro método para investigar se algum movimento pode ser atribuído à Terra, e, podendo ser, qual seja ele, é o de considerar e observar se nos corpos separados da Terra percebe-se alguma aparência de movimento, o qual compete igualmente a todos...(GALILEI, 2004, p. 195).

Portanto, uma condição necessária para se chegar a alguma conclusão sobre o movimento ou não da Terra é procurar movimento em corpos que estão fora da Terra, pois os movimentos dos corpos terrestres, por estarem dentro do sistema, não são capazes de dizer sobre o movimento ou repouso do globo terrestre.

É importante salientar que esse movimento que se observa no céu “compete igualmente a todos”. A uniformidade e regularidade dos movimentos dos corpos celestes é importante para argumentar sobre o movimento da Terra, pois, dessa forma, não há hierarquia entre os corpos e é possível afirmar que algo se move e algo está em repouso. Isto é, é possível pensar que tanto a Terra pode se mover quanto os corpos celestes, isto é, o Sol, as estrelas e os planetas. Caso os movimentos dos corpos celestes não fossem regulares, tendo corpos movendo-se enquanto outros corpos ficam parados, por exemplo, o discernimento de quem se move e quem está parado se tornaria muito mais complexo. Mas constatada essa regularidade, procurar pela

⁴ Com esse termo utilizado por Clavelin, entendemos que a concepção de uma auto-preservação indefinida já mostra o início de uma ideia de inércia do movimento, no sentido de uma continuidade do movimento, na qual o corpo não precisa da ação direta e constante de um impulso para continuar um movimento.

aparência de movimento em corpos externos à Terra é o método proposto por Galileu nessa primeira exposição do princípio de relatividade para conhecer a questão.

Essa discussão se faz importante para o fenômeno do dia e noite. O nascer e pôr do Sol passa a ser um fenômeno originado pelo movimento de rotação da Terra e não mais por um movimento atribuído ao corpo celeste. Dessa forma, o Sol não nasce e se põe ao mesmo tempo para todos os planetas do universo. O fenômeno deixa de ter um cunho universal para se tornar um fenômeno planetário. Cada planeta terá seu nascer e pôr do Sol próprio, que está diretamente relacionado com a velocidade de rotação de cada planeta.

É importante salientar que, nessa primeira exposição do PR, Galileu não se aprofunda em questões de que não há repouso absoluto, visto que o repouso e o movimento são estados relativos dos corpos. Nesse primeiro momento, o PR diz respeito apenas sobre a percepção do observador de movimento. Por fim, Galileu chega a uma conclusão necessária, partindo-se da premissa e da condição expostas anteriormente:

Salviati - Ora, existe um movimento generalíssimo e máximo sobre todos os outros, e é aquele pelo qual o Sol, a Lua, os outros planetas e as estrelas fixas, e em suma todo o universo, excetuada apenas a Terra, nos parece moverem-se conjuntamente de oriente para ocidente em vinte e quatro horas, e este movimento, quanto a essa primeira aparência, nada impede que possa ser tanto unicamente da Terra, quanto de todo o resto do mundo, excetuada a Terra; porque as mesmas aparências ver-se-iam tanto em uma como na outra posição (GALILEI, 2004, p. 195).

A conclusão expressa por Galileu nessa primeira exposição do princípio da relatividade do movimento é que o movimento pode tanto ser da Terra em torno do seu eixo como de todo o céu em torno da Terra. Essa primeira exposição carrega consigo uma forte influência da relatividade óptica do movimento formulada por Copérnico em seu *De revolutionibus orbium coelestium*, onde a observação de um movimento pode se dar por causa do movimento do corpo, do movimento do observador ou do movimento de ambos. Isto é, o princípio de relatividade óptica não diz sobre o movimento em si, mas sobre o movimento tal como percebido pelo observador, de maneira que o estado do observador, se está em repouso ou em movimento, afeta a percepção do movimento. Por isso, a rotação diurna, se executada pela Terra, será percebida em corpos externos a ela, que vão aparentar mover-se na direção oposta (Copérnico *apud* Kuhn, 2020, p. 166).

(...) em decorrência da relatividade óptica do movimento, o movimento real é exatamente o contrário - por assim dizer, uma 'imagem em negativo' - do movimento aparente observado. Portanto, o movimento diário, que é percebido na aparência como sendo de oriente para ocidente por todo o universo em torno da Terra, deve ser considerado como feito pela Terra em torno de seu próprio eixo em sentido contrário, ou seja, de ocidente para oriente (MARICONDA; VASCONCELOS, 2020, p. 102).

Com isso, a observação do movimento, pura e simplesmente, não é suficiente para determinar a mobilidade ou repouso da Terra. Desta observação só podemos concluir que algo se move sem, no entanto, discernir o que se move.

É importante perceber que até aqui a argumentação de Galileu procurou mostrar que, em questões de fenômenos observados, tanto faz mover a Terra ou o Céu. Isso é um ponto interessante na argumentação do italiano, pois ele não procura combater o pensamento aristotélico tentando provar como verdadeiro o seu oposto. Primeiro, ele mostra que ambos são igualmente possíveis de serem correspondentes com a realidade observada e, a partir de agora, a argumentação de Galileu parte para as críticas ao modelo ptolomaico, mostrando que, apesar de os dois modelos serem possíveis, o modelo copernicano é mais razoável e provável. Assim, Galileu lista no *Diálogo* sete inconvenientes, que não só são inconvenientes como também dificuldades do modelo ptolomaico (Kuhn, 2020).

O primeiro inconveniente é sobre a maior simplicidade na representação dos movimentos a partir do modelo copernicano em comparação ao modelo ptolomaico, pois no modelo heliocêntrico todos os corpos se movem na mesma direção enquanto que no geocêntrico, o movimento diurno se dá do oriente para ocidente e os movimentos anuais dos corpos celestes ocorrem do ocidente para oriente.

O segundo inconveniente é a transgressão da ordem dos planetas, argumento esse que já havia sido levantado por Copérnico. Segundo o modelo ptolomaico, à medida que aumenta o raio da distância em relação à Terra, maior é o tempo de revolução do corpo celeste. A esfera das estrelas fixas é a esfera mais distante da Terra, pois configura a última esfera na concepção do cosmo aristotélico, e, no entanto, realiza uma revolução em 24 horas. A velocidade, então, que essa esfera deve imprimir para conseguir realizar tal feito deve ser enorme, beirando o absurdo quando concebido racionalmente. Esse problema é resolvido quando o movimento é transferido para a Terra e o dia e a noite passa então a acontecer devido à rotação axial do globo terrestre. Para exemplificar o argumento da simplicidade e dar-lhe credibilidade, Sagredo fornece uma analogia sobre subir na Cúpula, para apreciar a vista da cidade, e, ao invés de girar o pescoço, fazer girar toda a região.

Sagredo - Se para toda a universalidade dos efeitos que podem ter na natureza dependência de tais movimentos decorressem indiferentemente todas as mesmas consequências exatamente tanto de uma como da outra posição, eu, quanto à minha primeira e geral apreensão, estimarei que aquele que considerasse mais razoável fazer mover todo o universo, para manter parada a Terra, seria menos razoável que aquele que, tendo subido no cimo de vossa Cúpula sem outro fim que o de apreciar a vista da cidade e seus arredores, pedisse que fizessem girar ao seu redor toda região, para que não tivesse o trabalho de mover a cabeça: e bem teriam de ser muitas e grandes as comodidades que se originassem daquela e não desta posição para que no meu conceito fossem equivalentes e superassem esse absurdo, de modo que me tornassem mais crível aquela que esta (GALILEI, 2004, p. 196).

O terceiro, quarto e quinto inconvenientes a favor da mobilidade da Terra estão relacionados aos equinócios. O terceiro refere-se à adição que o modelo ptolomaico exigia de uma nona esfera que, no entanto, giraria mais rápido que a esfera menor. No quarto inconveniente, a precessão passa a ocorrer devido ao movimento cônico da Terra ao redor do eixo da eclíptica e não mais é um fenômeno atribuído às estrelas fixas. O quinto inconveniente refere-se ao deslocamento das estrelas dos equinócios devido aos polos celestes não estarem fixos. O sexto inconveniente refere-se à natureza das esferas celestes, se seriam sólidas ou fluidas. Caso o céu fosse fluido, a questão que se levanta é quais seriam as leis que governavam esse sistema para que tudo funcionasse tão harmoniosamente, dada a disparidade de movimentos, e ainda faz com que tudo pareça um movimento só. Para Galileu, na voz de Salviati, diante desse cenário é mais razoável deixar os corpos celestes em repouso e dotar a Terra de movimento.

Salviati - (...) Parece-me que, para obter isso [a uniformidade e homogeneidade do movimento dos corpos celestes], seja muito mais fácil e apropriado fazê-las imóveis ao invés de vagantes, assim como mais facilmente se marcam as muitas pedras que formam uma praça, que o bando de crianças sobre elas corre (GALILEI, 2004, p. 201).

Por último, o sétimo inconveniente, relaciona-se ao primeiro motor e sua potência e força para conseguir fazer girar a multidão de estrelas fixas e corpos celestes e, ao chegar na Terra, cessar o movimento. Para Aristóteles, um corpo, quanto mais se aproxima de seu lugar natural, maior a resistência desse corpo para ser posto em movimento. Portanto, a Terra, sendo um corpo pesado, estando em repouso no centro do universo, nem mesmo uma potência como a do primeiro móvel colocaria em movimento o globo terrestre. A grande questão da argumentação de Galileu é que ele não trata a Terra como um corpo em seu lugar natural, mas sim considera a Terra um corpo suspenso e equilibrado no espaço, e, sendo então um corpo como outro qualquer no universo, torna-se incongruente pensar que o primeiro móvel deu movimento a todos os outros corpos e não à Terra, sendo que mover apenas o globo terrestre em torno de seu eixo já é o suficiente para alcançar o fenômeno do dia e da noite.

Salviati - (...) se atribuirmos a rotação diurna ao céu altíssimo, será preciso dotá-la de tanta força e potência, que possa levar consigo a inumerável multidão das estrelas fixas, corpos que são todos vastíssimos e muito maiores que a Terra e, além do mais, todas as esferas dos planetas, ainda que estes por sua natureza movam-se em sentido contrário àquelas; (...) coisa que me parece extremamente difícil, nem posso entender como a Terra, corpo suspenso e equilibrado sobre seu centro, indiferente ao movimento e ao repouso, colocado e rodeado por um ambiente líquido, não devesse também ela ceder e ser levada a girar. Mas não encontramos tais dificuldades fazendo mover a Terra, corpo mínimo e insensível em comparação ao universo e, por isso, incapaz de fazer-lhe qualquer violência. (GALILEI, 2004, p. 201).

No entanto, os seis inconvenientes listados acima são superados aceitando-se um único argumento, que Galileu utiliza para dar suporte à ideia de que a explicação geocinética dos fenômenos é mais plausível, o argumento da simplicidade.

Salviati - (...) E, em primeiro lugar, se consideramos somente a mole imensa da esfera estelar, em comparação com a pequenez do globo terrestre, contido naquela por tantos milhões de vezes, e ainda mais, se pensamos na velocidade do movimento que deve efetuar em um dia e em uma noite uma conversão completa, não me posso persuadir de mais razoável e crível que a esfera celeste fosse aquela que desse a volta, e o globo terrestre ficasse parado. (GALILEI, 2004, p. 196).

Segundo o argumento da simplicidade, a natureza não faz com muitas coisas o que poderia fazer com poucas. Dessa forma, é muito mais fácil mover apenas o globo terrestre que, em comparação com o tamanho e peso da esfera das estrelas fixas, é muito menor e mais leve. Esse tipo de argumento retoma o critério de avaliação de toda a questão do movimento da Terra, que é a probabilidade e a razoabilidade. É mais razoável, mais crível, que um corpo menor e mais leve se mova ao invés de mover inúmeros corpos pesados. Além disso, o princípio de simplicidade traz consigo uma enunciação ontológica, pois acreditar que a natureza opera da forma mais simples possível implica, de forma implícita, uma crença num princípio cosmológico de como a natureza funciona (Mariconda, 2004, p. 633-4, nota 29). Há também um princípio metodológico por trás do argumento de simplicidade, pois a representação dos movimentos dos corpos celestes se torna mais simples quando se move a Terra.

É importante ressaltar que o argumento da simplicidade não prova o movimento da Terra, mas é um argumento que dá suporte a toda a argumentação de Galileu ao longo do *Diálogo* a favor da mobilidade do globo terrestre. O que Galileu procura, na Segunda Jornada do *Diálogo*, não é provar que a Terra se move, mas mostrar que as objeções da tradição não provam o repouso da mesma. A partir da aplicação do PR, a ideia de rotação da Terra é tão plausível quanto o seu repouso e Galileu busca mostrar que além de tão plausível quanto, é também mais provável, baseando-se no argumento de simplicidade (Mariconda; Vasconcellos, 2020).

Galileu, então, retoma a exposição do PR, agora sob uma perspectiva mais geral e formal, de maneira a mostrar que a falta de percepção do movimento da Terra por nós não é suficiente para discernir sobre o repouso da mesma, dado que quando o movimento é participado, ele é como se não fosse (Mariconda, Vasconcellos, 2021, p. 176-78).

Salviati - Sendo, portanto, evidente que o movimento, que seja comum a muitos móveis, é ocioso e como que nulo no que se refere à relação desses 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 mova somente a Terra como todo

o restante do mundo, pois que a operação de tal movimento não está em outra coisa que na relação existente entre os corpos celestes e a Terra, relação esta que é a única a mudar (GALILEI, 2004, p. 197).

Podemos perceber que essa retomada do princípio de relatividade traz algumas mudanças em relação ao que havia sido exposto até então. Primeiro, percebemos um aprofundamento da perspectiva óptica para elaboração de uma abordagem mecânica do movimento compatível com o movimento da Terra. Isso porque a ideia de movimento não se sustenta mais no que é perceptível para nós que participamos do movimento de um sistema, mas as relações entre móveis no interior de um sistema em movimento tornam o movimento do sistema nulo para as relações entre os envolvidos, ou seja, o movimento se torna um estado relativo dos corpos. Isso traz mudanças significativas, dado que rompe com a concepção aristotélica de movimento, na qual o movimento tem uma função ontológica, que, como vimos, exerce o papel de premissa cosmológica na filosofia de Aristóteles.

Tanto o PR quanto a composição de movimento são conceitos chaves para a argumentação de Galileu referente ao argumento da torre e, posteriormente, à resolução da analogia do navio, resolução essa que envolve a solução também do problema da conservação do movimento, que será introduzido mais à frente. No entanto, a primeira aparição da analogia do navio e da Terra no texto é trazida pela voz de Simplício, de modo a usá-la para tentar fundamentar sua argumentação sobre a impossibilidade da composição de movimento. Segundo o peripatético:

Além disso, existe a experiência tão apropriada da pedra que se deixa cair do alto do mastro do navio, a qual, quando o navio está parado, cai ao pé do mastro, mas, quando o navio se move, cai tão longe desse mesmo término, quanto é o espaço que o navio percorreu durante o tempo da queda da pedra; o que não são poucas braças, se o movimento do navio é veloz (GALILEI, 2004, p. 223).

O que Galileu faz para rebater essa analogia é ressaltar o aspecto negativo⁵ dela, a saber, que o movimento do navio é um movimento adventício e o movimento de rotação da Terra configura um movimento natural. É justamente essa distinção sobre a natureza dos movimentos que Galileu vai se utilizar para argumentar a favor da possibilidade de composição do movimento, introduzindo um outro conceito, a conservação do movimento. Segundo Salviati:

Mas a rotação diurna é posta como um movimento próprio e natural do globo terrestre e, conseqüentemente, de todas as suas partes, e enquanto impresso pela natureza é indelével nelas; e, por isso, aquela pedra que está no alto da torre tem, como um instinto primário, girar em torno do centro de seu todo em vinte e quatro horas, e este talento natural ela o exercita eternamente, em qualquer estado que esteja posta (GALILEI, 2004, p. 223).

⁵ Segundo Mariconda (Mariconda, 2004, p. 666-7, nota 105), toda analogia, enquanto instrumento argumentativo, é composta de uma parte negativa e outra positiva. A analogia positiva se refere a todos os elementos utilizados na analogia que realmente têm referência com o objeto referenciado. A analogia negativa se refere aos termos que não possuem essa referência.

Dessa forma, vemos que a possibilidade de composição de movimento na argumentação de Galileu está baseada, ainda, na premissa de um movimento natural dos corpos, que traz um caráter mais simples para a argumentação. Um dos movimentos é o natural para todos os corpos da Terra e, por ser natural, lhes é indelével. Dado que um corpo já possui um movimento natural, o circular em torno do centro, é possível que tenha um outro movimento, que na concepção aristotélica seria o violento (Drake, 1970).

É importante ressaltar que algumas passagens antes, em [161] (Galilei, 2004, p. 216), Galileu mostra que o movimento retilíneo, que até então era entendido como movimento natural dos corpos terrestres, não poderia sê-lo. Segundo Salviati bem lembra, uma das premissas do conceito de movimento natural é que este seja “eterno”, e, no entanto, o movimento retilíneo dos corpos terrestres são “limitados ou pela circunferência, para os móveis com movimento para cima, ou pelo centro da Terra, para os móveis com movimento para baixo” (Galilei, 2004, p. 216). Sendo, então, limitado, não pode ser eterno e, não podendo ser eterno, não pode ser o movimento natural.

No entanto, o movimento circular é sabido e aceito por todos que é natural dos corpos celestes. Como Galileu desfez a distinção entre céu e Terra ainda na Primeira Jornada, começando a Segunda Jornada já com a premissa de que a Terra é um planeta como outro qualquer, e por isso toda a discussão acerca de sua mobilidade, então é natural atribuir à Terra o movimento natural que os outros corpos celestes também possuem.

Por essa razão, Salviati reforça que ao conceber a Terra parada concebe-se também que os corpos terrestres fiquem parados em relação ao centro da Terra, então é preciso também ser aceito que se a Terra gira, de forma natural em torno de seu eixo em 24 horas, os corpos terrestres também executarão esse movimento de forma natural, possibilitando, então, que dois movimentos distintos sejam compostos.

Percebemos, então, que o argumento da Torre introduz na discussão do problema tradicional da queda dos corpos o PR e a composição de movimento, que serão aprofundados na reformulação feita por Galileu da analogia do navio, que configura o terceiro e último momento da argumentação do problema da queda vertical.

1.3 A analogia do navio

Galileu, na voz de Salviati, retoma a analogia do navio já exposta anteriormente e propõe um exercício de pensamento: e se a pedra caísse perpendicularmente ao pé do mastro,

estando o navio em movimento ou parado?⁶ Dessa questão, Galileu tira uma conclusão importante referente ao princípio de relatividade. Caso a experiência de soltar uma pedra do mastro do navio fosse feita, se veria que a pedra cairia rente ao pé do mastro estando o navio em movimento ou em repouso, pois as experiências dentro de um mesmo sistema mecânico são incapazes de distinguir o repouso e o movimento do sistema. Portanto, como somos observadores dentro do sistema mecânico, apenas a observação da queda perpendicular da pedra não é suficiente nem para afirmar que o movimento real da pedra seja exatamente este, perpendicular, nem para afirmar a imobilidade da Terra. Estando a Terra girando, o movimento real seria uma composição de movimento vertical em direção ao centro e circular em torno do centro. Segundo Mariconda, existe uma consequência metodológica importante nessa argumentação de Galileu, pois ela “... evidencia a insuficiência do empirismo ingênuo dos aristotélicos sem, contudo, negar um lugar para a experiência sensorial.” (Mariconda, 2004, p. 650, nota 77).

Como vimos até aqui, a concepção de uma queda vertical aparente numa Terra em movimento exige a compreensão de conceitos que não fazem parte da física aristotélica, como o de composição de movimento. Mas há também outro conceito importante dessa nova mecânica, que também não está presente na física aristotélica, que é a conservação do movimento. Enquanto que na composição de movimento Galileu se utiliza de vocabulários e conceitos compartilhados com a física aristotélica, a saber, a ideia de movimento natural, a conservação de movimento exige a concepção de uma nova ideia, a de inércia⁷. Como veremos no terceiro capítulo, a introdução de uma ideia de inércia tem consequências epistemológicas importantes, pois foi a partir da ciência moderna, resultante da revolução científica, que ideias contraintuitivas e abstratas passaram a ocupar um lugar importante nas conceituações físicas.

Para introduzir o princípio de conservação do movimento, Salviati propõe pensarmos numa experiência que ele divide em três passos, ilustrada na figura abaixo:

⁶ Esse tipo de abordagem é comum ao longo do *Diálogo* de Galileu, onde Salviati geralmente propõe imaginar o mesmo fenômeno, mas a partir de um princípio físico diferente. O que essa estratégia procura evidenciar é que o fenômeno observado é o mesmo, estando a Terra parada ou girando, algo que os peripatéticos não assumem ao expor seus argumentos. Para estes, se a Terra estivesse em movimento, os fenômenos deveriam ser diferentes do que são. O que Galileu tenta mostrar é que, se os fenômenos forem os mesmos, como eles explicam, então, a imobilidade da Terra?

⁷ É importante ressaltar que Galileu nunca chegou a formular a lei de inércia como a temos hoje na mecânica clássica, mas entendemos que há uma noção de inércia na formulação do princípio de conservação de movimento exposta por Galileu.

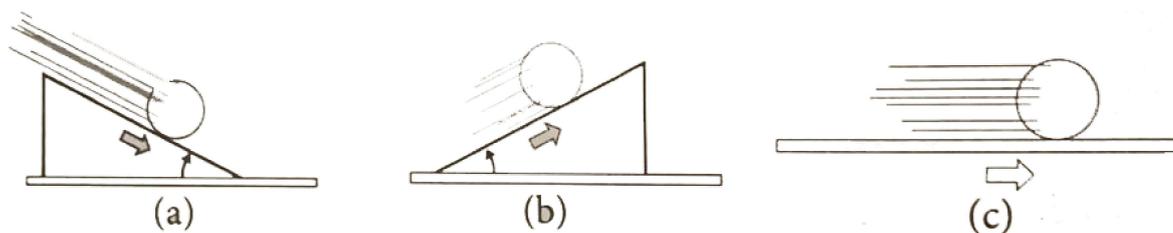


Figura 1. Imagem retirada de Mariconda; Vasconcellos, 2021, p. 184

Primeiro, pensemos numa superfície plana, inclinada e muito polida. Se soltássemos um corpo do repouso de cima daquela superfície, situação (a), o corpo desceria. Ao questionar Simplicio sobre a duração do movimento, dado que o plano era polido e a esfera perfeitamente redonda, Simplicio diz que a mesma mover-se-ia indefinidamente, até que chegasse ao fim do plano. Ao lançar a bola de cima do plano, ela descia de forma acelerada e ao lançar o objeto de maneira a fazê-lo subir o plano inclinado, situação (b), em algum momento o objeto pararia e mudaria o sentido do movimento, passando a descer. Note que tanto na situação (a) quanto na (b), é necessária uma força para manter a bola em repouso sobre a superfície.

Um segundo momento é diminuir, cada vez mais, a inclinação do plano até que se torne horizontal, eliminando assim o efeito da gravidade, situação (c). O que se percebe é que o objeto, que tem tendência a subir ou descer, estando agora nesse plano horizontal, fica parado. No entanto, se lhe for dado um impulso, por mínimo que seja, e estando na ausência de uma resistência externa, tende a conservar o movimento que lhe foi impresso de maneira indefinida, em movimento retilíneo uniforme.

O passo seguinte da argumentação de Salviati é transpor o raciocínio do plano para a circunferência, para que as conclusões do plano possam ser feitas com a circunferência, pois o intuito da argumentação é conseguir explicar o caso do movimento da Terra numa situação inercial. A circunferência é uma superfície sem auge ou declive, tendo todos os seus pontos equidistantes do centro, direção na qual corpos graves se movem, conforme mostra a figura a seguir⁸:

⁸ Conforme ressaltam os autores Mariconda e Vasconcellos (2021), a representação está dramatizada para melhor compreensão da argumentação.

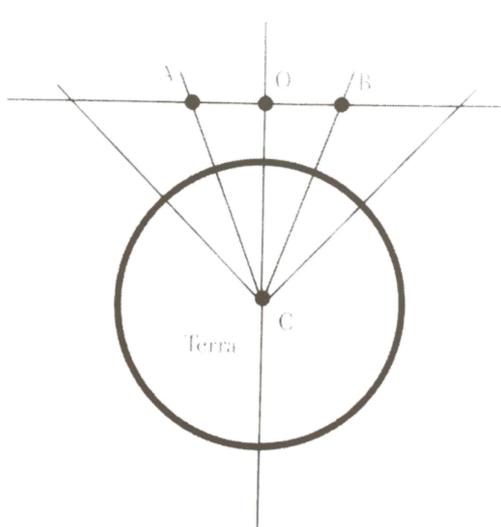


Figura 2. Imagem retirada de Mariconda; Vasconcellos, 2021, p. 186

Se um corpo se move em uma superfície sem impedimentos internos ou externos conserva seu movimento, com mostra a figura 1c, então esse corpo se moveria de maneira indefinida ao ser solto em uma superfície circular, dado que essa superfície também não possui aclives e declives, como mostra a figura 2.

Salviati - Portanto, uma superfície que não fosse nem declive nem aclive deveria necessariamente ser em todas as suas partes igualmente afastada do centro. Mas existe alguma superfície assim no mundo?

Simplicio - Não faltam: existe aquela de nosso globo terrestre, se ela fosse porém bem polida e não, como é, áspera e montanhosa; mas existe aquela da água, quando está calma e tranquila.

Salviati - Portanto, um navio que navegue na calmaria do mar é um daqueles móveis que transita sobre uma daquelas superfícies que não são nem declives nem aclives, e por isso está em condição, quando lhe fossem removidos todos os obstáculos acidentais e externos, de mover-se em contínua e uniformemente com o impulso que lhe foi dado.

(GALILEI, 2004, p. 229).

A partir dessa conclusão, a de que um corpo posto em movimento circular assim permanece caso não haja nenhum impedimento, Salviati sustenta a ideia de um movimento partilhado entre a Terra e os corpos na Terra, assim como as dos corpos dentro do navio e o navio. Segundo Clavelin, um dos grandes erros dos físicos tradicionais era assumir que um corpo em movimento precisa partir do repouso e não de um estado primário de movimento (Clavelin, 1974, p. 229). Estando todos os corpos na Terra já com um movimento inicial, imprimindo no corpo um outro movimento além desse movimento que já lhe é inicial, configura-se, então, uma composição de movimentos.

Segundo Feyerabend (2011), o exercício proposto por Salviati para Simplicio é novo e ousado e requer um “enorme salto de imaginação” por parte do peripatético. Aos poucos, Simplicio, nos exercícios de pensamento propostos por Salviati, é levado a conceber ideias como movimento “sem limites” e “perpétuo” para corpos que se movem em uma esfera

concêntrica à Terra (Feyerabend, 2011, p. 110). Até agora, essa concepção de movimento perpétuo era atribuída apenas ao movimento dos corpos celestes, como vimos anteriormente. No terceiro capítulo veremos como esse tipo de exercício se torna importante para o desenvolvimento das novas teorias físicas.

O problema de conservação de movimento então é introduzido no *Diálogo*, pois apesar de Simplicio concordar que, sem impedimentos, um corpo conserva o seu movimento, para o peripatético a própria queda vertical já configura um impedimento e, por isso, o movimento do navio na queda da pedra do alto do mastro não poderia ser conservado e, sem a conservação desse movimento não é possível falar de composição do movimento. No entanto, Sagredo, ao organizar o pensamento e alinhar as conclusões que estavam sendo feitas com a argumentação, explicita a principal consequência do princípio de composição do movimento, na qual dois movimentos distintos têm as propriedades que os movimentos correspondentes possuem isoladamente (Mariconda, 2004, p. 655, nota 85).

Sagredo - Quando seja verdade que o ímpeto com o qual se move o navio fica indelevelmente impresso na pedra, depois que ela se separa do mastro e se, além disso, for verdade que esse movimento não causa impedimento ou retardamento ao movimento retilíneo para baixo, natural para a pedra, é necessário que disso se siga um efeito maravilhoso da natureza (GALILEI, 2004, p. 236).

Dessa forma, o movimento real executado pela pedra, a partir da composição do movimento vertical com o movimento horizontal seria a de um movimento transversal. E para explicar a ausência de percepção do movimento circular na pedra, Salviati retoma ao princípio de relatividade:

(...) não vemos outra coisa que o movimento simples para baixo, posto que o outro circular, comum à Terra, à torre e a nós, permanece imperceptível e como nulo, e somente podemos notar aquele da pedra, do qual não participamos (...) (GALILEI, 2004, p. 244).

Notamos que Galileu, nesse enunciado, mistura uma abordagem óptica, como exposta na primeira enunciação do princípio de relatividade, ao referir-se a nossa percepção ou não percepção do movimento, a uma abordagem mecânica desenvolvida posteriormente no *Diálogo*, ao manter na formulação a ideia de movimento como algo que se dá na relação entre móveis, considerando-o como que nulo quando os partícipes compartilham o mesmo movimento. E para mostrar essa nulidade sobre a percepção do movimento participado, Salviati reintroduz a analogia do navio e a Terra. Primeiro, Salviati propõe pensar o movimento das coisas dentro do navio estando o mesmo parado no porto:

Fechai-vos com algum amigo no maior compartimento existente sob a coberta de algum grande navio, e fazei que aí existam moscas, borboletas e semelhantes animaizinhos voadores; seja também colocado aí um grande recipiente com água, contendo pequenos peixes; suspenda-se ainda um balde, que gota a gota verse água em outro recipiente de boca estreita, que esteja colocado por baixo: e, estando em repouso o navio, observai diligentemente como aqueles animaizinhos voadores com igual velocidade vão para todas as

partes do ambiente (...); e vós, lançando alguma coisa para o amigo, não a deveis lançar com mais força para este que para aquela parte, quando as distâncias sejam iguais (...)
(GALILEI, 2004, p. 268).

Em seguida, sugere que se mova o navio em movimento uniforme e afirma que, estando o navio em movimento uniforme ou parado, não é possível reconhecer nenhuma mudança em relação aos efeitos mencionados com o navio parado. Segundo Salviati: “E a razão de toda esta correspondência de efeitos é ser o movimento do navio comum a todas as coisas contidas nele e também no ar...” (GALILEI, 2004, p. 269).

A crítica anterior de Galileu à analogia do navio, que havia sido usada por Simplicio como argumento a favor do repouso da Terra, e sua retomada agora, mas sendo usada a favor da ideia de mobilidade da Terra, tem uma consequência importante. A crítica de Galileu a essa analogia, quando expressa por Simplicio, foi ressaltar seu aspecto negativo, o de que o movimento do navio era um movimento violento e o movimento da Terra seria um movimento natural. No entanto, se o princípio de relatividade funciona para um sistema cujo movimento seria violento, então ele *a fortiori* funciona para a Terra, cujo movimento de rotação é natural.

A questão da queda vertical configura, então, dois problemas distintos: primeiro, para os peripatéticos, a queda vertical dos corpos prova que a Terra não gira, pois se girasse, o movimento executado pelo corpo não seria uma linha vertical perpendicular. Essa problema é resolvido a partir dos novos conceitos mecânicos referidos por Galileu no *Diálogo*. O outro problema é o engano dos sentidos, no qual se o movimento real da pedra fosse misto, resultando numa trajetória transversal, então nossos sentidos, por ver a queda de modo vertical, estariam enganados. Simplicio, então, lança uma crítica, representando a objeção de Chiaramonti⁹, onde, para aceitar o princípio da relatividade e a composição de movimento, seria preciso negar os sentidos.

Simplicio - (...) Pois esse princípio pelo qual giramos com a Terra, ou é nosso intrínseco, ou é externo a nós, ou seja, um transporte da mesma Terra: e se é este segundo, como não sentimos esse transporte, deve-se dizer que o sentido do tato não sente o próprio objeto que lhe está unido, nem sua impressão no sensorio; mas, se o princípio é intrínseco, não sentiremos um movimento local derivante de nós mesmos, e nunca perceberemos uma propensão que nos está perpetuamente unida
(GALILEI, 2004, p. 336-37).

Para o peripatético, independentemente de ser um princípio externo ou interno à Terra, nós deveríamos sentir o movimento da mesma, caso existisse. Como não sentimos nada, essa percepção seria a prova de que a Terra está imóvel. Em nota (Mariconda, 2004, p. 721, nota 193), Mariconda, ressalta que essa fala de Simplicio evoca a teoria aristotélica da percepção, na qual o estagirita faz uma distinção entre *sensibilia communia* e *sensibilia propria*. O

⁹ Autor contemporâneo a Galileu, conhecido por sua posição anticopernicana.

primeiro termo refere-se às sensações comuns a todos os sentidos, como o movimento, e o segundo termo se refere ao domínio próprio de cada sentido no qual este é o juiz da sensação. Segundo a crítica de Simplicio, então, nós somos enganados inclusive pelos sensíveis próprios, pois “...no caso do movimento da Terra ser intrínseco, não percebemos internamente qualquer alteração, seja porque, no caso dele ser extrínseco, o tato não percebe o movimento daquilo que está diretamente ligado a nosso corpo.” (Mariconda, 2004, p. 721, nota 193).

A crítica de Galileu ao que se chama “empirismo ingênuo”, na qual a principal fonte de conhecimento advém da observação direta, assenta-se na distinção entre o que Galileu chamou de qualidades primárias e qualidades secundárias. As qualidades secundárias são categorizadas como subjetivas e estão ligadas à experiência sensível do sujeito, e, portanto, não havendo um sujeito que percebe, essas qualidades não se sustentam. Enquanto que as qualidades primárias se relacionam àquilo que pode ser mensurado e matematizado e está presente no objeto independente da percepção do observador.

A delimitação das qualidades sensíveis às qualidades primárias, ao que pode ser matematizado e esquematizado em termos geométricos evidencia a importância do uso da razão como mediadora das nossas experiências sensíveis em relação à obtenção de conhecimento. Segundo Salviati, não há engano dos sentidos em relação ao movimento da Terra, pois como mostra a experiência da navegação, nós só sentimos o movimento quando há mudanças de movimento em relação aos corpos no sistema.

Na analogia do barco, como exposto alguns parágrafos acima, onde Galileu pede a Simplicio para imaginar-se com algum amigo dentro do barco, inicialmente em repouso e depois com o barco em movimento, Galileu mostra que a posição que o observador ocupa no sistema é de fundamental importância para os fenômenos observados nesse sistema.

Salviati - (...) se se tivesse na coberta do navio e ao ar livre que não segue o curso do navio, ver-se-iam diferenças mais ou menos notáveis em alguns dos efeitos mencionados: e não existe dúvida de que a fumaça ficaria para trás, como o próprio ar; do mesmo modo as moscas e as borboletas, impedidas pelo ar, não poderiam acompanhar o movimento do navio, quando se separassem dele por um espaço bastante considerável; mas mantendo-se próximas, posto que o próprio navio, enquanto construção anfractuosa, leva consigo parte do ar que lhe está próximo, sem obstáculo ou cansaço seguiriam o navio... (GALILEI, 2004, p. 269).

Da mesma forma que acontece com a fumaça mencionada na fala de Salviati, um observador dentro do navio veria a pedra cair do mastro de forma vertical enquanto que um observador fora do navio, isto é, fora do sistema, veria a pedra cair rasando o mastro do navio, seguindo, portanto, o curso do navio, e realizando um movimento transversal.

Com isso, quando o observador participa do sistema, a componente horizontal do movimento da queda da pedra do mastro é não-operativo, isto é, não é percebido. Quando o

observador não participa do sistema, a componente horizontal é operativa e, dessa forma, percebe que movimento da queda da pedra do mastro do navio é uma composição de movimentos, um horizontal e outro vertical, configurando um movimento oblíquo, apesar da aparência observada por um observador externo ser a mesma do observador dentro do navio.

Podemos perceber, então, que o princípio de relatividade do movimento rebate uma das principais objeções tradicionais, a de que o movimento da Terra está em contradição com nossa observação direta dos fenômenos, isto é, da observação da queda vertical de objetos soltos do alto de algum lugar, seja este lugar uma torre ou o mastro do navio. Segundo o PR, a nossa não percepção do movimento misto ocorreria devido a invisibilidade do caráter relativístico do movimento e, por isso, o resultado observacional do fenômeno é o mesmo, o de que o corpo cai verticalmente.

O princípio de relatividade nos permite, então, interpretar os fenômenos observados. Como o movimento da Terra é participado por todos os objetos que estão nela, não é possível percebermos esse movimento misto, dado que nós só percebemos os movimentos dos quais não participamos. Dessa forma, o PR mostra que não é a nossa percepção que decide se a Terra está em repouso ou movimento, dado que tanto na Terra em movimento quanto em repouso, o fenômeno observado é o mesmo. Segundo Salviati, “(...) Será melhor, portanto, que, deixada de lado a aparência, com a qual todos estamos de acordo, esforcemo-nos com o raciocínio, ou para confirmar a realidade daquela, ou para descobrir a sua falácia” (GALILEI, 2004, p. 338).

Dessa forma, o princípio da relatividade mecânica, junto com a conservação de movimento e a composição do movimento, constituem os três pilares da nova física de Galileu (Drake, 1988, p. 89). A partir dele, outros argumentos contra a mobilidade da Terra como os tiros de artilharia e o voo dos pássaros puderam ser igualmente rebatidos. Segundo Feyerabend, o que Galileu faz é introduzir na ciência uma nova linguagem observacional (Feyerabend, 2001, p. 95) na qual os sentidos não são mais entendidos como produtores de “relatos corretos de eventos reais” (Feyerabend, 2001, p. 95), mas que a nossa percepção da realidade deve ser mediada pela razão e, portanto, interpretada.

Com isso, o único movimento perceptível é o movimento retilíneo porque dele nós, observadores, não participamos. Mas participar de um movimento que não se sente, o circular ao redor do centro da Terra, parece absurdo para aqueles que concebem a realidade sob um empirismo ingênuo, onde os fenômenos correspondem a uma realidade que se apresenta diretamente aos sentidos. A introdução da ideia de um movimento que se conversa indefinidamente, gerando uma ideia que, posteriormente, com Descartes, culmina na concepção de inércia, assim como o entendimento de que a percepção precisa ser interpretada,

dado que a realidade dos fenômenos não corresponde diretamente à sua aparência, foram os primeiros passos para o desenvolvimento de uma física contraintuitiva.

CAPÍTULO 2

AS ANOMALIAS PLANETÁRIAS E O MOVIMENTO DE TRANSLAÇÃO DA TERRA

A Terceira Jornada do *Diálogo* se ocupa em pensar o segundo movimento atribuído à Terra pelo modelo copernicano, o movimento de translação. A questão dos movimentos planetários introduz novos componentes à defesa do heliocentrismo, pois enquanto o movimento de rotação da Terra está ligado a problemas mecânicos concernentes à física no interior da Terra, o movimento de translação relaciona-se com as chamadas anomalias planetárias, a saber, as irregularidades observadas nos céus. Essas anomalias, que são as consideradas tradicionais, são irregularidades observadas pelos astrônomos há milênios e estão todas ligadas à cinemática do céu. Apesar de serem anomalias observadas a olho nu, a introdução do telescópio nas observações celestes não só trouxe novas evidências para esses problemas da tradição como também inseriu novas aparências no movimento dos corpos celestes. No entanto, a observação mediada por aparelho traz novas questões como a confiabilidade no aparelho óptico e uma mudança na forma como devemos encarar nossos sentidos e sua eficiência entram em cena.

A grande resistência na aderência do novo instrumento de observação se dá porque o uso do telescópio traz à tona um problema que os antigos não tinham com a observação a olho nu, que é a maior precisão na determinação do tamanho das estrelas. Como veremos mais adiante, o problema de tamanho das estrelas sai de uma análise de brilho para uma análise de diâmetro. O telescópio muda, portanto, a interpretação do tamanho das estrelas.

No entanto, uma parte do problema de confiabilidade no novo aparelho vem, inicialmente, de problemas antigos, como o uso, por parte dos peripatéticos, do princípio de autoridade. Segundo Salviati:

(...) Eles, como reverendíssimos e humilíssimos servos de Aristóteles, negariam todas as experiências e todas as observações do mundo, e recusar-se-iam até em vê-las, para não ter que reconhecê-las, e diriam que o mundo é como escreveu Aristóteles, e não como quer a natureza (GALILEI, 2004, p. 406).

Ainda aqui podemos perceber que parte do problema se encontra em superar o comportamento dogmático que os peripatéticos assumem em relação aos ensinamentos de Aristóteles e que, por mais que tenha sido debatido na Segunda Jornada, a questão da autoridade retorna, neste segundo movimento da Terra, e se coloca como um obstáculo a ser vencido. Como vimos no capítulo anterior, os peripatéticos, na discussão sobre a origem dos

nervos, ainda assim escolheram acreditar nos textos de Aristóteles apesar do que seus olhos viam. Aqui, há também uma reluta em olhar para o céu, através do telescópio, e acreditar no que o aparelho óptico mostra. Mas, na questão do movimento de translação, a autoridade de conhecimento não vem só dos textos de Aristóteles, pois o texto bíblico também desempenha um papel importante na contra-argumentação sobre as observações celestes.

Com isso, podemos dividir em dois grupos as objeções levantadas contra o movimento anual da Terra. No primeiro grupo estão os argumentos de autoridade, referentes a Aristóteles e à Sagrada Escritura, e no segundo os argumentos de cunho astronômico-observacional.

2.1 O problema da autoridade das Sagradas Escrituras

A questão da autoridade aristotélica foi discutida no primeiro capítulo, na qual os argumentos peripatéticos ou caíam em falácias de autoridade, ou os recortes e montagens feitos nos textos do estagirita acabam levando a uma trivialidade do conhecimento. A solução que Galileu traz para esse problema, como vimos, é a necessidade do uso de uma atitude crítica perante o conhecimento. No que diz respeito aos argumentos de cunho religioso, Simplicio cita passagens bíblicas, evocando o princípio de autoridade religiosa. Segundo o peripatético:

Simplicio - (...) nessas constituições fantásticas do mundo, é necessário afirmar solenes tolices: ou seja, que o Sol, Vênus e Mercúrio estão abaixo da Terra, e que as matérias pesadas vão naturalmente para cima e as leves para baixo, e que Cristo, nosso Senhor e Redentor, subiu aos infernos e desceu ao céu, quando se aproximou do Sol, e que quando Josué ordenou ao Sol que se parasse, foi a Terra que se parou, ou antes, o Sol que se moveu em sentido contrário ao da Terra, e que quando o Sol está em Câncer, a Terra passa por Capricórnio... (GALILEI, 2004, p. 441).

Para Mariconda (Mariconda, 2004, p. 767, nota 101), as passagens de Josué eram comumente usadas como contra-argumentação ao sistema copernicano. Em carta a Cristina de Lorena, ao referir-se às passagens de Josué, Galileu argumenta que a intenção das Sagradas Escrituras nunca foi a de ensinar as ciências astronômicas (Galilei, 1983, p. 120). A defesa que Galileu faz no *Diálogo* em relação à autonomia da ciência sustenta-se na afirmação de que o discurso científico possui valor em si mesmo e que, por isso, não precisa apoiar-se em nenhum outro conhecimento de nenhuma outra esfera.

Sendo portanto, assim, parece-me que, nas discussões de problemas concernentes à Natureza, não se deva começar com a autoridade de passagens das Escrituras, mas com as experiências sensíveis e com as demonstrações necessárias. (...) sendo, além disso, adequado nas Escrituras, para adaptar-se ao entendimento da generalidade das pessoas, dizer muitas coisas distintas, na aparência e quanto ao significado nu das palavras, da verdade absoluta, mas ao contrário sendo a Natureza inexorável e imutável e jamais ultrapassando os limites das leis a ela impostas, como aquela que em nada se preocupa se suas recônditas razões e modos de operar estão ou não estão ao alcance da capacidade dos homens; parece, quanto aos efeitos naturais, que aquilo que deles a experiência sensível nos coloca diante dos olhos, ou as demonstrações necessárias nos fazem concluir, não deve de modo nenhum ser revocado em

dúvida, menos ainda condenado, através de passagens da Escritura que tivessem aparência distinta nas palavras (GALILEI, 1983, p. 103).

Dessa forma, no que concerne à investigação dos fenômenos naturais, não só a experiência e matemática devem ser os métodos utilizados para se chegar às hipóteses como também devem servir de base para a interpretação da Sagrada Escritura. (Mariconda, 1989, p. 132). Podemos perceber aqui que Galileu faz uma inversão dos papéis epistemológicos. Não mais a ciência procura explicar o mundo a partir do que está escrito na Bíblia, mas agora a Bíblia precisa interpretar seus textos a partir do que a ciência revela sobre a natureza e o mundo.

No século XIV, Oresme já havia apontado para a possibilidade de a Sagrada Escritura se referir a uma percepção humana e, por isso, de estar assentada num discurso comum. Mas foi com Galileu que a defesa da autonomia da ciência diante do discurso religioso ganhou força, estabelecendo, portanto, uma demarcação entre ciência e teologia.

Do que se segue que toda vez que alguém ao expô-la [a Sagrada Escritura], quisesse ater-se sempre ao som literal nu, poderia, errando este alguém, fazer aparecer nas Escrituras não só contradições e proposições afastadas da verdade, mas graves heresias e mesmo blasfêmias. Posto que seria necessário dar a Deus pés, mãos, olhos não menos que afecções corporais e humanas tais como de ira, de arrependimento, de ódio e até certa vez o esquecimento das coisas passadas e a ignorância das futuras (Galilei, 1983, p. 102).

A famosa passagem do seu livro *O Ensaaiador*, onde Galileu diz que a natureza está escrita em caracteres matemáticos, procura enfatizar que as linguagens de compreensão do mundo usadas pela ciência e pela religião são diferentes e que, apesar de ser uma só a verdade, a forma como essa verdade é expressa difere. A introdução da linguagem matemática proporciona à linguagem científica uma exatidão e rigor que a linguagem comum não é capaz de alcançar.

Renunciar, no âmbito da investigação da natureza, à linguagem usada por Deus na Bíblia, não significa renunciar à Bíblia, mas antes passar de um tipo de discurso a outro, este também usado por Deus, não quando falava aos homens, mas quando escrevia o livro da natureza (MARICONDA, 2004, p. 29).

O uso da matemática nas ciências naturais permite que a investigação científica desenvolva seus próprios métodos e, por isso, não necessita apoiar-se em nenhuma autoridade que esteja fora do seu escopo. De acordo com Mariconda (2004), há dois componentes na autonomia da ciência defendida por Galileu: primeiro, a defesa da liberdade de pesquisa científica, que está pautada na concepção de que o método científico é auto suficiente, isto é, a combinação entre experiência sensível e o raciocínio matemático são suficientes para nos permitir entender a natureza. Segundo, a defesa da universalidade da razão científica, isto é, o conhecimento científico é obtido pela via racional e a interpretação dos textos bíblicos devem se adequar à ciência e não o contrário (Mariconda, 2004, p. 32). A defesa da autonomia da ciência pode ser percebida na seguinte fala de Salviati:

Salviati - Isso então é o pior de tudo, porque mostra que existem coisas mais eficazes e concludentes que a autoridade das Sagradas Escrituras. Mas, por favor, reverenciemos estas, e passemos aos argumentos naturais e humanos: e nestes, se ele não apresentar entre as razões naturais coisas de melhor sentido que estas até aqui produzidas, poderemos deixar de lado toda essa empresa, porque eu, certamente, não estou aqui para gastar palavras respondendo a tolices tão simplórias (GALILEI, 2004, p. 442).

Podemos perceber que Galileu faz uso, mais uma vez, do recurso retórico da ironia ao lidar com a questão da autoridade¹⁰. A fala de Salviati no trecho acima citado é uma resposta a Simplicio, que comenta que, embora sejam confusas, os copernicanos conseguem oferecer respostas a algumas questões levantadas pela tradição. E, para Salviati, o “pior” disso tudo é que isso mostra que os métodos desenvolvidos pela ciência são, sim, mais eficazes que as Sagradas Escrituras no que concerne ao conhecimento da natureza. E, por isso, é melhor então continuar as discussões astronômicas com uso de argumentos naturais e não mais pautados em alguma autoridade.

Os argumentos de cunho astronômico-observacional foram, então, o principal desafio com o qual o modelo copernicano se defrontou na defesa do sistema heliocêntrico, estando eles relacionados às anomalias planetárias tradicionais, as quais constituem um problema milenar da astronomia. Segundo a apresentação de Kuhn (2020), elas são:

- 1) A anomalia de brilho: consiste na diferença de brilho dos planetas Vênus e Marte que, ora brilham mais e ora brilham menos;
- 2) Anomalia de velocidade: os planetas Marte e Vênus ora são mais rápidos e ora mais lentos em suas órbitas;
- 3) A retrogradação dos planetas: ao serem observados em suas trajetórias, os planetas ora parecem estar avançando no céu, ora parecem parar e ora parecem andar para trás.

As novas aparências, observadas pelo telescópio, advém das observações de Galileu e referem-se às fases de Vênus e às manchas solares¹¹. Este trabalho não tem como objetivo adentrar na problemática das novas aparências, pois cada um destes itens compreenderia um trabalho por si só. Por isso, escolhemos tratar dos problemas tradicionais: **(1)** a retrogradação dos planetas, pois a sua explicação no modelo copernicano reforça o caráter sistemático do copernicanismo e **(2)** a anomalia de brilho e velocidade porque a discussão dessas anomalias no *Diálogo* envolve as observações mediadas pelo telescópio.

¹⁰ Também apontados o uso da ironia como recurso retórico numa fala de Sagredo no primeiro capítulo desta dissertação, p. 8

¹¹ Falaremos um pouco mais sobre as manchas solares no terceiro capítulo

2.2 A retrogradação dos planetas e o princípio de relatividade óptica

A retrogradação dos planetas envolve a questão geométrica de representação dos movimentos planetários e o princípio de relatividade óptica. Desde a Grécia Antiga que a astronomia mantém um posicionamento metodológico importante, que só será questionado em Kepler com suas leis dos movimentos planetários. Esse posicionamento metodológico influencia na forma como todas as três anomalias planetárias tradicionais são tratadas e também no desenvolvimento da astronomia ao longo dos séculos e refere-se ao axioma platônico dos movimentos circulares. Segundo Simplicio¹²:

Platão admite, em princípio, que os corpos celestes se movem com um movimento circular, uniforme e constantemente regular; ele coloca então este problema aos matemáticos: quais são os movimentos circulares, uniformes e perfeitamente regulares que convém tomar como hipótese, a fim de poder salvar as aparências apresentadas pelos planetas? (Simplicio *apud* Duhem, 1984, p. 7).

Como podemos perceber na fala de Simplicio, o axioma platônico postula que os movimentos planetários são trajetórias que ocorrem em torno de um centro num movimento de natureza circular e esses corpos percorrem arcos de mesmo tamanho com velocidades iguais, configurando, então, a uniformidade do movimento. Dessa forma, as irregularidades observadas no céu, ao serem tratadas matematicamente e geometricamente pelos astrônomos, em suas combinações de movimentos circulares e uniformes, método conhecido como salvar o fenômeno, precisam ser representadas de tal forma que o fenômeno irregular proveniente da observação seja explicado por uma regularidade, isto é, uma combinação de movimentos circulares e uniformes.

Essa importância de se atribuir movimento circular e uniforme ao movimento dos corpos celestes possui dois componentes, sendo um metafísico e outro técnico. O componente metafísico se refere à crença que os gregos tinham de que o movimento circular e uniforme configurava o movimento mais perfeito de todos. Segundo Koyré:

“As teorias cosmológicas nos levam necessariamente à Grécia, pois parece ter sido na Grécia que, pela primeira vez na história, surgiu a oposição do homem ao cosmo, que redundou na desumanização deste último. Certamente, ela nunca terá sido completa e, em suas grandes metafísicas, como as de Platão e Aristóteles, e até na própria noção de cosmo, estaremos em presença de ideias de perfeição, de ordem e harmonia que o penetram, ou da noção platônica do reino da proporção, tanto no cósmico quanto no social e humano, isto é, em presença das concepções unitárias” (KOYRÉ, 1991, p. 81).

Já o componente técnico da importância do axioma platônico refere-se a uma certa praticidade e aplicabilidade que esse tipo de movimento proporciona para uma astronomia que, até Copérnico, é puramente cinemática, isto é, uma astronomia preocupada apenas em representar o movimento dos fenômenos celestes de maneira regular, sem se preocupar com as

¹² Trata-se aqui de Simplicio o filósofo grego, e não o personagem do *Diálogo* de Galileu.

causas físicas que levam à ocorrência desses fenômenos. Dessa forma, os astrônomos utilizaram-se de artifícios matemáticos, como os deferentes e epiciclos, para construir órbitas e tornar as irregularidades observadas em fenômenos regulares matematicamente. No entanto, essa combinação de movimentos em epiciclos e deferentes permite que se forme qualquer tipo de órbita, até mesmo triangular e quadrada, como podemos ver na figura abaixo:

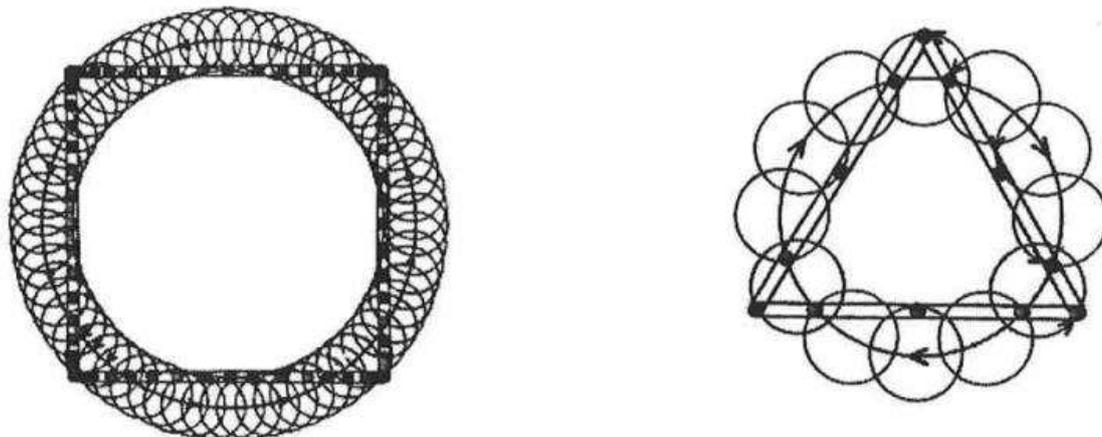


Figura 3: à esquerda órbita quadrada obtida a partir da combinação de movimentos circulares em epiciclos e deferentes; à direita órbita triangular obtida pelo mesmo artifício geométrico¹³

Foi a partir dessas inúmeras possibilidades de construção de órbitas que Hiparco conseguiu construir um modelo matemático que concordava com as observações. Esse modelo foi utilizado e aprimorado por Ptolomeu com boa precisão e adotava tanto o axioma platônico como os princípios físicos vigentes da época, a saber, a centralidade da Terra. Para conseguir conceber uma representação do fenômeno de retrogradação pensando em termos de movimentos circulares, foi necessário fazer os planetas girarem sobre mais de um círculo, de diâmetros diferentes, de maneira que o círculo menor tem seu centro na circunferência do círculo maior. O círculo grande, que dá suporte ao movimento do círculo menor, é chamado de Deferente. O círculo menor, que possui seu centro na circunferência do Deferente é chamado de epiciclo.

¹³ Hanson, N. R., *Constelaciones y Conjeturas*, p. 125 *apud* ROQUE TOSSATO, 1997

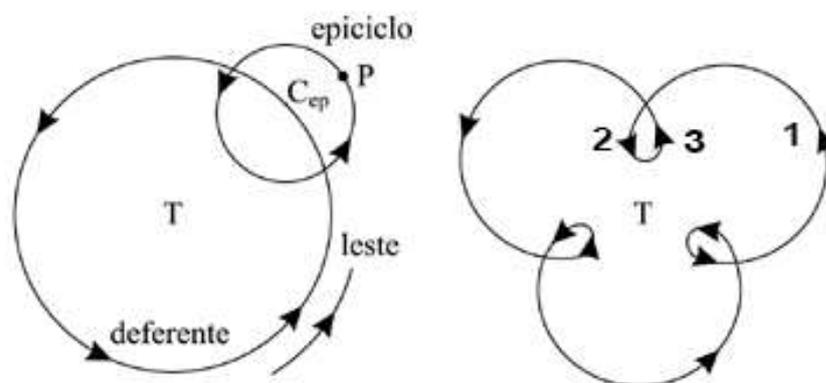


Figura 4. Imagem retirada de PILLING; DIAS, 2007, p. 615

Como podemos perceber na imagem à direita, a combinação desses movimentos circulares faz com que um observador localizado na Terra imóvel, ponto T, veja o planeta parecer andar para frente em 1, retroceder em 2 e voltar a andar para frente em 3, como é observado no céu. No entanto, nesse sistema de Epiciclo-Deferente, o movimento dos planetas não era uniforme em relação aos seus centros do Deferente. Isso era um problema grave, pois baseada nas metafísicas de Platão e Aristóteles, era muito importante para a tradição grega que a noção de cosmos e tudo que o envolvia estivesse atrelado a uma ideia de perfeição, de ordem e harmonia. Para resolver o problema, Ptolomeu sugeriu o Equante, um ponto que, assim como a Terra, dista equivalentemente ao centro do Deferente, conforme mostra a figura abaixo.

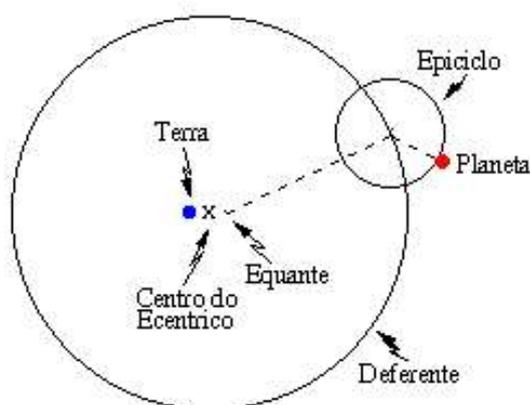


Figura 5. Imagem retirada de <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/Aula5-132.pdf>¹⁴

¹⁴ Aula dos professores Maria de Fátima Oliveira Saraiva, Kepler de Souza Oliveira Filho e Alexei Maxhado Mülle.

Dessa forma, o movimento dos corpos celestes se torna uniforme em relação ao Equante¹⁵ e não mais aos centros das circunferências. O uso do Equante para conseguir dar conta de manter o movimento na categoria de movimento uniforme foi um fator que trouxe muito incômodo a Copérnico, dado que o artifício era um ponto não-físico, e sim puramente matemático. De acordo com Salviati, no *Diálogo*:

Salviati - Em Ptolomeu são as doenças; e em Copérnico, seus remédios. E primeiro, não considerarão todas as seitas filosóficas ser uma grande inconveniência que um corpo com movimento naturalmente circular mova-se irregularmente sobre o seu próprio centro, e regularmente sobre um outro ponto? E, contudo, tais movimentos disformes existem na construção de Ptolomeu, mas em Copérnico todos os movimentos são uniformes em torno do próprio centro (GALILEI, 2004, p. 426).

Galileu, na voz de Salviati, refere-se nesse primeiro inconveniente do modelo Ptolomaico à necessidade de se acrescentar cada vez mais círculos ao movimento dos planetas para conseguir salvar os fenômenos. Esse inconveniente configura o que Copérnico chamou de monstruosidade do sistema ptolomaico. Continuando sua fala sobre os inconvenientes do modelo Ptolomaico:

Salviati - (...) Em Ptolomeu, é necessário atribuir aos corpos celestes movimentos contrários, e fazer que todos se movam individualmente de levante para poente e todos juntos de poente para levante, enquanto em Copérnico todas as revoluções celestes são numa única direção, de ocidente para oriente (GALILEI, 2004, p. 426-27).

A crítica de Galileu está assentada no princípio de maior simplicidade, referido anteriormente neste trabalho, onde a natureza não faz por muitos meios o que pode fazer por poucos. No sistema ptolomaico, o movimento diurno, que é executado pelos planetas e estrelas, ocorre de leste para oeste, enquanto o movimento anual, também executado pelos planetas e pelo Sol, ocorre de oeste para leste. Mais uma vez, o modelo ptolomaico exige a concepção de uma combinação de movimentos, como se fossem engrenagens, funcionando em conjunção para conseguir representar os movimentos planetários. Já o modelo copernicano consegue unir o movimento diurno e anual numa única direção: de oeste para leste. Por fim:

Salviati - (...) Mas o que diremos do movimento aparente dos planetas, tão disforme que não somente se movem ora velozmente, ora mais lentamente, mas às vezes ficam totalmente parados, e depois voltam para trás por um longo espaço? Para salvar esta aparência, Ptolomeu introduziu epiciclos grandíssimos, adaptando-os um a um a cada um dos planetas, com algumas regras de movimentos incongruentes, os quais desaparecem todos com um movimento simplíssimo da Terra (GALILEI, 2004, p. 427).

Essa fala de Salviati resume o problema levantado nas duas últimas passagens comentadas. Há a objeção ao que Copérnico chamou de monstruosidades geométricas criadas pelo sistema ptolomaico, que não se limitam a um caráter estético, no sentido de que cada vez mais círculos e pontos devem ser introduzidos para representar o fenômeno de retrogradação,

¹⁵ Segundo Koyré, a introdução do Equante significou a ruptura entre astronomia matemática e astronomia física, pois levava ao abandono do princípio de movimento circular e uniforme (Koyré, 1991, p. 85).

mas infringem também a ordem dos planetas. Se, a medida que o raio de distância de um planeta em relação à Terra aumenta, sua velocidade de rotação em torno da Terra diminui, como pode a esfera das estrelas fixas, sendo a última, executar uma revolução em 24 horas? Há também na fala de Salviati o apelo ao princípio de simplicidade, dado que com um único movimento, o da Terra, todo o problema de retrogradação não só é representado como também explicado, a partir da aplicação do princípio de relatividade óptica.

Aplicando-se o princípio de relatividade óptica, o fenômeno de retrogradação é tratado como uma ilusão de óptica resultante do movimento relativo entre os planetas. Isto é, o que vemos no céu, o planeta ora parece estar movendo-se para frente, ora para trás e ora parece estar parado, é causado pela percepção do observador dentro de uma Terra em movimento em relação ao movimento do planeta.

Além destes inconvenientes, o modelo de Ptolomeu não oferecia uma sistematização do Cosmo, dado que o movimento de cada planeta em particular era representado de forma isolada, ou seja, cada planeta tinha o seu número de artificios matemáticos que dessem conta de regularizar, com base no axioma platônico, as irregularidades observadas. Segundo Salviati:

Mas o que diremos do movimento aparente dos planetas, tão disforme que não somente se movem ora velozmente, ora mais lentamente, mas às vezes ficam totalmente parados, e depois voltam para trás por um longo espaço? Para salvar esta aparência, Ptolomeu introduziu epiciclos grandíssimos, adaptando-os um a um a cada um dos planetas, com algumas regras de movimentos incongruentes, os quais desaparecem todos com um movimento simplíssimo da Terra. E não consideráreis, Sr. Simplicio, um enorme absurdo se, na construção de Ptolomeu, onde a cada planeta atribui-se um orbe próprio, um superior ao outro, fosse preciso dizer, com frequência, que Marte, situado acima da esfera do Sol, desce tanto que, rompendo o orbe solar, desce abaixo desse, aproximando-se mais da Terra que o corpo solar, para depois elevar-se enormemente acima do Sol? E, entretanto, esta e outras anomalias são remediadas por meio única e simplesmente do movimento anual da Terra (GALILEI, 2004, p. 427).

O modelo de Ptolomeu comprometia-se com o ideal descritivo predominante na astronomia até Copérnico, onde a construção de um modelo astronômico não tinha um compromisso com a realidade física, tendo como objetivo apenas “salvar o fenômeno”, isto é, descrevê-los da forma mais precisa possível. A obra de Copérnico diferencia-se, portanto, por seu caráter sistemático e o que seu sistema oferece, ao colocar o Sol no centro das revoluções planetárias, é uma “imagem coerente da realidade cósmica” (Koyré, 1991, p. 85), simplificando a estrutura geral do Universo tanto por conseguir representar toda a complexidade dos movimentos planetários a partir de um único fator, o movimento da Terra, quanto por conseguir explicar as irregularidades planetárias colocando-as na categoria de aparência. A retrogradação dos planetas, a partir do sistema proposto por Copérnico, consegue ser explicada a partir das relações que os corpos celestes, dentro desse sistema, possuem entre si, baseando, portanto, a

observação no princípio da relatividade óptica (PRO). Relembrando o que Copérnico diz sobre o PRO:

De uma maneira geral, toda a mudança de posição que se vê ou é devida ao movimento da coisa observada, ou do observador, ou então seguramente de um e de outro. Na verdade, entre objetos que se movem igualmente na mesma direção, não se nota qualquer movimento, isto é, entre a coisa observada e o observador. Ora a Terra é o lugar de onde aquela rotação celeste é observada e se apresenta à nossa vista. Portanto, se algum movimento for atribuído à Terra, o mesmo movimento aparecerá em tudo que é exterior à Terra, mas na direção oposta. É o caso em primeiro lugar da rotação diurna (Copérnico, 2014, p. 29).

Percebemos, portanto, que a partir da aplicação do PRO, o movimento retrógrado dos planetas passa a ser explicado como uma aparência no céu dos movimentos relativos dos planetas em suas órbitas e não mais por movimentos isolados dos planetas em seus epiciclos. A retrogradação em Copérnico se torna um efeito óptico do sistema, que compreende o movimento dos planetas nas suas relações entre si. Como podemos ver na figura abaixo:

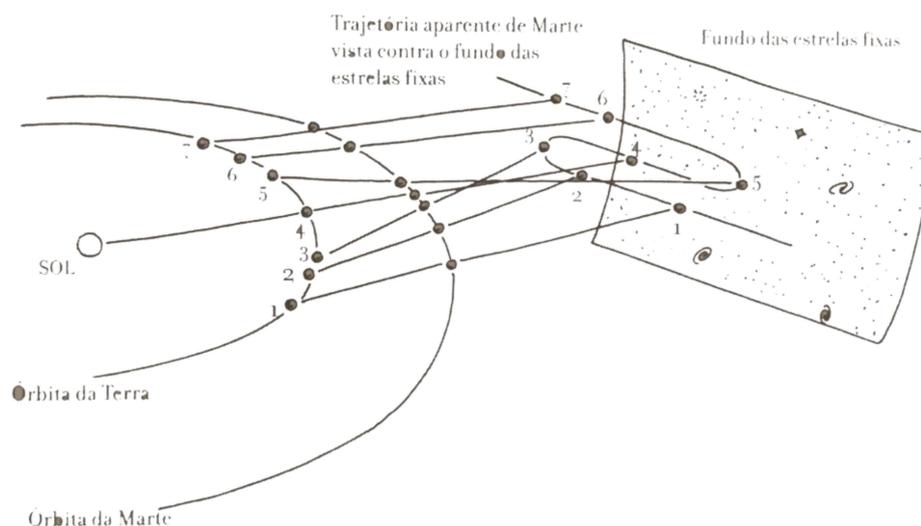


Figura 6. Imagem retirada de Mariconda; Vasconcellos, 2020, p. 99

A figura 6 ilustra a retrogradação de Marte, planeta de órbita externa à Terra. Nos pontos 1, 2 e 3, a Terra está atrás de Marte e o planeta parece mover-se para frente. Nos pontos 4 e 5 são os momentos que a Terra, por ter uma órbita menor e, conseqüentemente, maior velocidade angular, alcança Marte e a consequência disso é que o planeta parece estar parado, em 4, pois Terra e Marte estariam andando juntos, e depois parece que Marte anda para trás, em 5, visto que a Terra ultrapassou o planeta externo. Em seguida, a aparência de que Marte está andando para trás desaparece, em 6 e 7.

Assim, no modelo copernicano, Mercúrio e Vênus são planetas internos à Terra e, por isso, possuem órbitas menores e, conseqüentemente, velocidades angulares maiores. Por este motivo, os planetas internos ultrapassam a Terra em determinados momentos de suas

translações ao redor do Sol e, por isso, vemos o efeito de retrogradação. Já os planetas considerados externos, Marte, Saturno e Júpiter, o fenômeno da retrogradação advém da ultrapassagem da Terra nesses planetas. Podemos perceber, portanto, que o fenômeno de retrogradação se torna uma consequência natural do princípio de relatividade óptica que está fundamentado numa nova geometria astronômica, a qual agora possui seu centro ocupado pelo Sol, e leva em conta o movimento do observador na aparência do fenômeno observado.

2.3 A anomalia de brilho dos planetas e o telescópio

A outra anomalia tradicional tratada no *Diálogo* refere-se às anomalias de brilho dos planetas, na qual a introdução das observações por telescópio trouxe novas componentes para o debate. Telescópio, do grego *tele*, distante, e *skopos*, observar, tem sua criação creditada a três nomes: Jacob Metius, Hans Lipperhey e Sacharias Jansen. Apesar da incerteza de quem foi o primeiro a construir o instrumento óptico, é sabido que sua construção ocorreu no final do século XVI e a notícia sobre o dispositivo logo se espalhou pela Europa no ano de 1609.

Os primeiros telescópios, no entanto, não mostravam mais do que algumas estrelas, que não podiam ser vistas a olho nu, em constelações já conhecidas pelos astrônomos, como as Plêiades. O aprimoramento que Galileu deu no construto do aparelho óptico¹⁶, com lentes mais lixadas e polidas, possibilitou um aumento de 20 e até 30 vezes dos objetos celestes (van Helden, 1977, p. 26). Segundo Van Helden:

Galileu conseguiu não só fazer telescópios com ampliações muito maiores, como também adaptou o dispositivo para uso astronômico ao fornecer suas objetivas com bastante abertura. Isso tornou possível observar os corpos celestes brilhantes sem interferência incapacitante causada por imperfeições ópticas (VAN HELDEN, 1977, p. 26).

O telescópio distingue-se dos instrumentos de observação utilizados até então pela tradição, a saber, os instrumentos matemáticos que são o compasso, o quadrante, entre outros, inaugurando, então, uma nova categoria de instrumento, a de instrumento científico.

Segundo Malet (2005), os instrumentos matemáticos possibilitavam a medição de ângulos, comprimentos, posições astronômicas, dentre outros, baseados no modelo astronômico estabelecido na época. Já o telescópio possibilitou a descoberta de novas informações sobre a natureza dos corpos celestes que não estavam disponíveis anteriormente, revolucionando a forma na qual a observação da natureza era mediada (Malet, 2005, p. 238).

¹⁶ O telescópio de Galileu era composto por uma lente objetiva convexa e uma lente ocular côncava. O que depois veio a ser conhecido como telescópio astronômico foi desenvolvido por Kepler, cujo arranjo de lentes se dá por duas lentes convexas (Van Helden, 1977, p. 16).

Essas novas informações que o uso do telescópio trazia foi o motivo da publicação do *Sidereus nuncius* (*A mensagem das estrelas*) de Galileu,¹⁷ em 1610, que falava:

(1) Sobre os relevos presentes na Lua, mostrando que a superfície lunar não era polida e lisa como aparenta ser a olho nu. Essa observação cria uma identidade de natureza entre a lua e a Terra, reforçando a tese de que não existe diferença de natureza entre o mundo sublunar e supralunar;¹⁸

(2) As estrelas no céu são incontáveis e estão a grandes distâncias umas das outras, de modo que não é plausível que exista uma esfera última de estrelas fixas. Essa observação introduz a questão do limiar da visão e o problema do tamanho do universo, os quais falaremos mais adiante;

(3) Júpiter possui quatro luas, nomeadas de “estrelas mediceias” por Galileu. As luas de Júpiter, apesar de não apresentarem uma prova do movimento da Terra, são evidências a favor da translação, pois mostram que um planeta pode mover-se ao redor do Sol e ter satélites que se movem ao seu redor, invalidando o argumento de que se a Terra se movesse, a Lua ficaria para trás.

Além dessas quatro observações publicadas no *Sidereus Nuncius*, houve também um debate entre Galileu e o padre jesuíta Christopher Scheiner sobre as manchas solares. Enquanto Scheiner pretende explicar o fenômeno a partir da ideia de sombra projetada por pequenos corpos na superfície do sol, a fim de salvar a ideia cosmológica de incorruptibilidade dos céus, Galileu considera as manchas como manifestações solares que configuram, para ele, provas irrecusáveis de que os corpos celestes são passíveis de alterações (Mariconda, 2004, p. 18-9).

As evidências encontradas por Galileu, no entanto, só teriam valor se fosse aceito a implementação do telescópio como instrumento de observação, afinal, o status das novas evidências dependia da aceitação das observações feitas pelo aparelho óptico (Finocchiaro, 1997, p. 239). Mas, segundo Finocchiaro (1997, p. 57), muitas foram as objeções ao uso do telescópio. Primeiro, havia questionamentos sobre a legitimidade metodológica do aparelho, um de cunho empírico e outro de cunho religioso. O primeiro argumenta que não havia lugar na investigação científica para aparelhos que nos fazem ver coisas que não podem ser vistas a

¹⁷ Este trabalho não vai se adentrar em todas as descobertas de Galileu. Das descobertas citadas, para a presente dissertação, escolhemos tratar mais adiante apenas sobre a distância das estrelas, pois está ligada ao problema de paralaxe estelar, que faz parte dos argumentos debatidos por Galileu no *Diálogo* na defesa do movimento de translação da Terra.

¹⁸ O debate sobre a distinção de natureza entre céu e Terra está presente na 1ª Jornada do *Diálogo* e não é o foco do presente trabalho. Como dito no 1º capítulo desta dissertação, toda a discussão aqui presente parte das conclusões assumidas no final da 1ª Jornada, que foi mencionada de forma resumida na página 14 deste trabalho, isto é, que não há diferença de natureza entre céu e Terra.

olho nu. O segundo argumenta que admitir a necessidade de uma observação mediada por aparelho implica considerar que os sentidos humanos são falhos. Mas dado que os sentidos humanos foram criados por Deus, então se o criador quisesse que enxergássemos essas descobertas, ele teria nos dado visão para isso. Para contra-argumentar a tradição, foi necessário introduzir uma nova forma de pensar a visão. Segundo Salviati:

Essas coisas não podem ser compreendidas senão pelo sentido da visão, o qual não foi pela natureza atribuído aos homens de modo tão perfeito, que se possa chegar a discernir tais diferenças; pelo contrário, o próprio instrumento da visão produz por si mesmo um impedimento: mas depois que, em nossa época, quis Deus conceder ao engenho humano tão admirável invenção, que pode aperfeiçoar nossa visão multiplicando-a 4, 6, 10, 20, 30 e 40 vezes, infinitos objetos que, ou pela sua distância ou pela sua extrema pequenez, eram-nos invisíveis, fizeram-se visibilíssimos por meio do telescópio (GALILEI, 2004, p. 420).

Essa passagem traz duas características importantes que são ressaltadas por Salviati: a primeira é que nossa visão é limitada e, portanto, não consegue ver bem coisas muito pequenas ou muito distantes. A segunda característica é que nossos olhos são instrumentos cujo funcionamento está sujeito a perturbações (Finocchiaro, 1997, p. 238). A abordagem de olho como instrumento parece ter sido introduzida nos estudos de Kepler e Giambattista della Porta sobre os mecanismos da visão, ao encontrarmos a analogia do olho humano com a “câmara escura”.

A câmara escura é um aparato na qual há um pequeno orifício numa caixa fechada, por onde passa a luz. Na parede oposta ao orifício está uma tela onde é projetada a imagem do objeto que está na frente do orifício, como podemos ver na imagem a seguir.

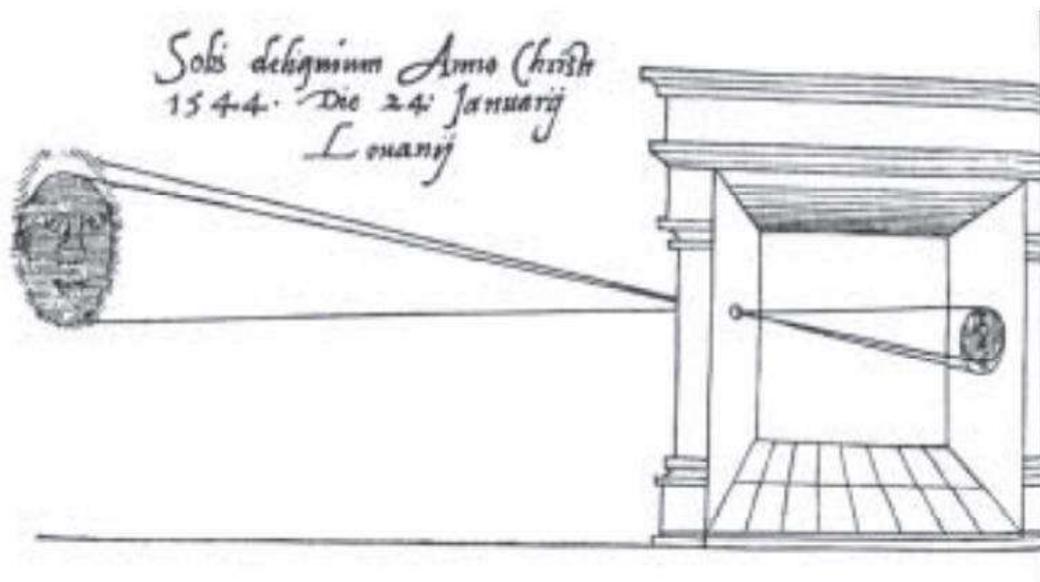


Figura 7. Imagem retirada de Tossato, 2007, p. 487

A analogia com o olho humano funciona de maneira que a pupila é como o orifício da câmara, por onde passa a luz, o interior do olho seria o interior da caixa e a tela onde a imagem é projetada, de forma invertida, seria a nossa retina. Segundo Tossato (2007), Kepler faz uma análise dióptrica do olho humano, e o diferencial dos estudos de Kepler foi perceber que a imagem não se forma no cristalino, como acreditava della Porta ou Alhazen, mas sim na nossa retina. Para o desenvolvimento da sua geometria óptica, Kepler utilizou-se dos conhecimentos anatômicos de Plater, um anatomista Suíço, que defendia a formação das imagens na retina.

No modelo euclidiano, o olho é entendido como um órgão receptor que representa fielmente as imagens vistas; por isso, o olho não é visto como um mecanismo, um artefato, mas como um órgão “vivo”, capaz de expressar realmente as imagens dos objetos; desta forma, o ápice do cone pode estar no olho, como receptor, e a base no objeto visto. No enfoque kepleriano, ao contrário, o olho é um artefato mecânico, que recebe informações, que são os raios visuais, e atua sobre elas segundo as suas características, isto é, de acordo com as funções de cada um dos seus componentes (partes do olho) e da relação entre eles. Assim, no modelo de olho kepleriano, é analisada a quantidade de raios que entra pela pupila e de como esses raios passam ao interior do olho, por refrações de cada raio, a primeira na córnea, a segunda no cristalino, obtendo-se a imagem, uma pintura, do objeto na retina (Tossato, 2007, p. 490).

Descartes, então, adota o mecanismo de visão elaborado por Kepler e publica, em sua *Dióptrica*, uma representação do processo de visão.

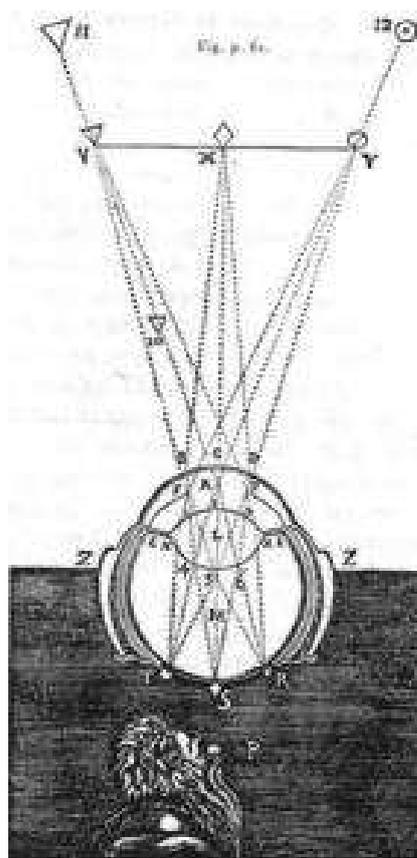


Figura 8. Imagem retirada de Descartes, 2018, p. 156

Como podemos ver na imagem acima, os raios que passam pelo objeto VXY sofrem refrações no olho humano e formam a imagem TSR , invertida, na retina. Assim, o cone de

visão, ao contrário do modelo euclidiano, tem sua base no olho humano e não mais no objeto, assim como o cone formado na câmara escura, como mostra a figura 7, tem a sua base na imagem formada na tela. Dessa forma, a analogia do olho humano com a câmara escura possibilitou a abordagem do olho como um aparato mecânico, onde ocorrem fenômenos ópticos, como refrações da luz, e, dessa forma, o olho seria um instrumento de visão. A consequência epistemológica do olho como instrumento é que, a partir de então, não condiz mais pensar a visão como uma expressão fiel do objeto visto, pois as imagens mentais que temos dos objetos são representações das imagens que se formam na retina e, por isso, são passíveis de correção.

É no âmbito da correção e aprimoramento da visão que o telescópio ocupa um lugar importante na discussão óptica. Segundo Descartes, em sua *Dióptrica*, compreendido o mecanismo de visão mostrado acima, aperfeiçoar a visão só é possível com intervenção dos órgãos externos, dado que a distância a certos objetos não é passível de mudança, como as observações das estrelas, por exemplo, e em relação aos órgãos internos, como os nervos e o cérebro, nada se pode fazer também na época de Descartes. Portanto, o aperfeiçoamento da visão se dá pela intervenção nos órgãos externos naturais, considerado por Descartes a parte transparente do olho, e por órgãos externos artificiais, que seriam as lentes. É pelo aperfeiçoamento que as lentes proporcionam à visão que Descartes argumenta a favor da ideia do telescópio, que ele chama de luneta de alcance, como um prolongamento dos olhos.

Segundo Descartes, o telescópio funciona como um tubo que contém lentes e os raios luminosos, ao entrarem no tubo, se curvam de modo a se reunirem num único ponto, onde se encontrará o meio do fundo do olho, quando alguém estiver observando pelo aparelho óptico de tal maneira que esses raios, ao entrarem no olho, não pareçam ter sido dobrados e curvados, “mas somente viesse de algum lugar que fosse mais próximo” (Descartes, 2018, p. 185). Para o filósofo francês, quando se trata de objetos inacessíveis¹⁹, como os objetos astronômicos, quanto maior o tubo e maior a abertura da sua objetiva, maior seria a ampliação gerada pelo telescópio.

Dessa forma, funcionando como uma extensão do olho humano que nos permite ver como de perto objetos que estão distantes, o telescópio introduz dois aspectos importantes para a observação, um aspecto perceptivo e um aspecto epistemológico. Do ponto de vista perceptivo, há um aumento do limiar da visão, à medida que se consegue perceber mais longe.

¹⁹ Os objetos inacessíveis, para Descartes, são aqueles que não podem ser aproximados, pois estão muito distantes, como os objetos astronômicos. Já os objetos acessíveis são aqueles na qual é possível fazer uma aproximação do objeto ao olho e olhar de perto.

A questão do limiar da percepção passa a configurar, então, como um problema da subjetividade humana, pois relaciona-se com a forma na qual percebemos, através da visão, o céu.

Um ponto importante a se destacar na questão do limiar da visão é a relação entre tamanho do objeto e distância. Segundo Euclides, em sua quarta definição da Óptica “(...) a partir de um ângulo maior, aquilo que é visto aparece maior, a partir de um menor, menor, e a partir de ângulos de visão iguais, igual.” (Rodrigues Neto, 2013, p. 883). De acordo com essa definição, o tamanho aparente de um objeto é diretamente proporcional ao ângulo visual pelo qual ele é visto. No entanto, com o desenvolvimento da perspectiva e da óptica geométrica, na Renascença, a relação entre tamanho do objeto e o fator responsável pelo mesmo se altera. Para Descartes, a proporcionalidade existente é, na verdade, entre o tamanho do objeto e a distância deste objeto em relação ao olho.

E vedes, assim, que as estrelas, ainda que pareçam muito pequenas, aparecem, entretanto, muito maiores do que deveriam em razão de suas extremas distâncias. E embora elas não sejam perfeitamente redondas, não deixarão de aparecer como tal. (...) Enfim, quanto ao julgar a distância pelo tamanho, ou pela figura, ou pela cor, ou pela luz, as pinturas em perspectiva mostram-nos como é bastante fácil enganar-se. Pois, muitas vezes, porque as coisas que nelas são pintadas são menores do que imaginamos que elas devem ser, e seus contornos mais confusos, e suas cores mais vivas ou mais tênues, elas nos parecem mais afastadas do que são (Descartes, 2018, p. 176-7).

A postura de Descartes evidencia a contradição entre o que Panofsky (1993) chamou de “perspectiva antiga”, também entendida como *perspectiva naturalis* e a “perspectiva renascentista”, ou *perspectiva artificialis*, dado que, se o tamanho do objeto é diretamente proporcional ao ângulo visual, então ele não pode ter relação, com a distância do objeto ao olho, pois isso levaria a uma contradição, como vemos na figura a seguir:

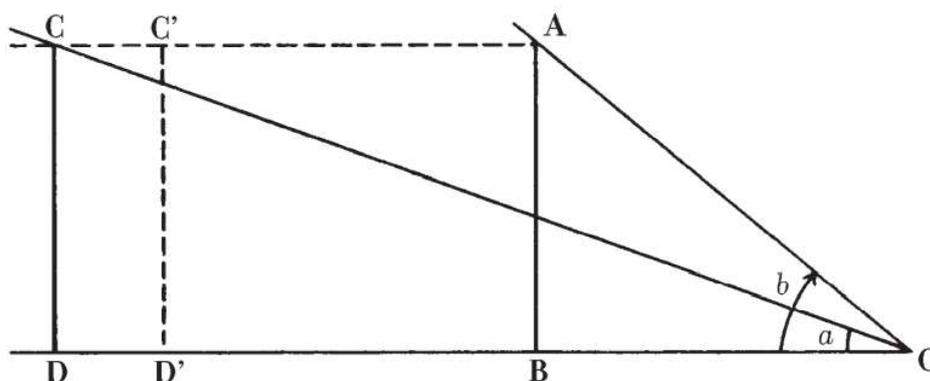


Figura 9. Imagem retirada de Rodrigues Neto, 2013, p. 886

De acordo com a Óptica de Euclides, estando o olho em O , o objeto AB possui determinado tamanho sob o ângulo visual b . Alterando-se o ângulo visual de b para a , que é metade do ângulo inicial, o objeto encontra-se em CD e possui metade do tamanho de AB .

Dessa forma, o ângulo como fator decisório do tamanho do objeto percebido faz com que as distâncias OB e OD não tenham importância para a percepção de tamanho. Sob a perspectiva *artificialis*, isto é, a perspectiva renascentista, para o objeto que está em AB tenha metade do tamanho aparente, ele deveria estar, na verdade, em $C'D'$, pois a distância OD' é o dobro da distância OB . A abordagem de Euclides, cujo objetivo é o de encontrar leis para a visão natural (Panofsky, 1993), se dá por sua formulação do cone visual, onde a base do cone está no objeto visto. Descartes, no entanto, vê o funcionamento do olho como o da câmara escura e, assim, a relação imagem e olho se dá por semelhança de triângulo, como podemos ver na figura a seguir:

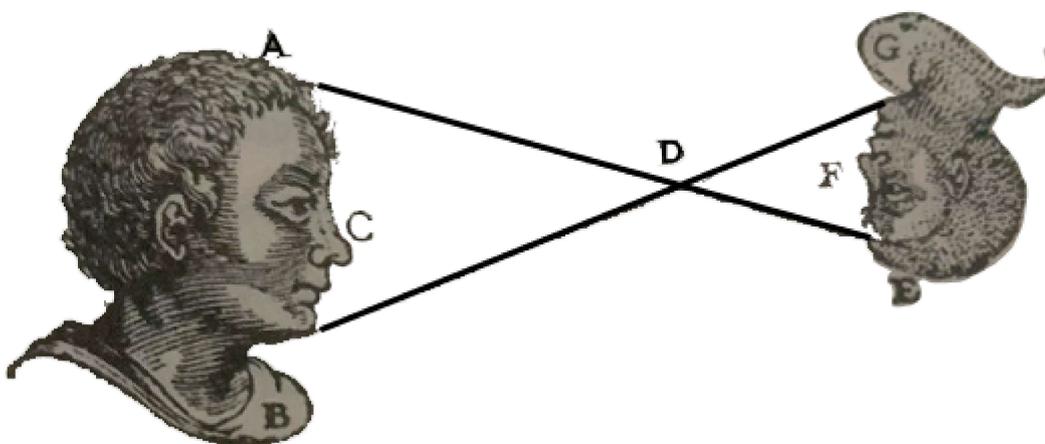


Figura 10. Imagem retirada de Descartes, 2018, p. 161

Na imagem, a razão entre o objeto AB e a distância CD é proporcional à razão da imagem GE e a distância FD , sendo D o orifício por onde passa a luz, no caso da câmara escura, ou a pupila, no caso do olho humano.

Pelo aspecto epistemológico, o telescópio aumenta a precisão das observações, o que traz consequências matemáticas importantes como a possibilidade de argumentação sobre o diâmetro dos planetas, como veremos mais adiante. É a precisão advinda das observações pelo telescópio, assim como o surgimento da noção de limiar da visão, que muda a forma como o problema do tamanho das estrelas é tratado e interpretado, passando de um problema de brilho para um problema de diâmetro.

Como mencionado anteriormente, o aspecto mecanicista do olho humano como um instrumento traz também implicações metodológicas. Ao assumirmos que o olho é um instrumento de visualização como qualquer outro, cujo funcionamento é análogo ao de construções ópticas como a câmara escura, desconstrói-se a percepção ingênua de que o que vejo é uma representação fiel da realidade vista, implicando que os fenômenos, mesmos os

vistos a olho nu, precisam ser interpretados, dado que a observação é mediada por uma teoria.

Segundo Duhem:

(...) aquilo que o físico enuncia como resultado de uma experiência não é o relato de fatos constatados. É a interpretação desses fatos, é a sua transposição para o mundo ideal, abstrato, simbólico, criado pelas teorias que ele toma como estabelecidas (Duhem, 2014, p. 199).

Vimos, alguns parágrafos acima, como a introdução da linguagem matemática foi importante no processo de autonomia da ciência. Ela permitiu que a física desenvolvesse seus próprios métodos e operasse num mundo mais simbólico. As ideias contraintuitivas, como a ideia de inércia que vimos aparecer na concepção de conservação do movimento²⁰ no primeiro capítulo, reforçam esse caráter abstrato que a matemática também proporciona. Mas tanto o uso da matemática quanto a formulação de ideias contraintuitivas são possíveis apenas quando, a partir dos fatos, concebe-se uma interpretação dos mesmos. A interpretação dos fatos é, segundo Duhem, o que diferencia a experiência em física da observação ingênua do senso comum. O caráter interpretativo dos fenômenos, tanto os celestes quanto os terrestres, como vimos no primeiro capítulo, é peça fundamental para a nova ciência.

Como discutido no primeiro capítulo, a crítica de Galileu ao empirismo ingênuo é justamente porque, para o italiano, há a necessidade da intervenção da razão na elaboração das ideias acerca do movimento. É o uso da razão crítica que nos permite interpretar os fenômenos. Para Duhem, “(...) é a interpretação teórica que permite à experiência científica penetrar bem mais longe que o senso comum na análise detalhada dos fenômenos” (Duhem, 2014, p. 204).

Assim, uma das argumentações tradicionais contra o sistema copernicano são os argumentos das aparências de tamanho e forma aparente, que se assentam na falta de mudança na aparência dos astros como Marte e Vênus que, de acordo com o modelo Copernicano, deveriam parecer muito maiores quando se aproximam da Terra. No entanto, na observação a olho nu, essas diferenças de diâmetro são quase imperceptíveis. Isso mostra a precisão que o telescópio introduz na ciência, que não é possível a olho nu. Segundo Salviati, em resposta à não observação das mudanças de diâmetro de Marte e Vênus:

(...) o impedimento do nosso próprio olho, o qual não nos apresenta os objetos resplendentes e afastados de modo simples e claro; mas o oferece ornados de raios adventícios e estranhos, tão comprimidos e espessos, que o pequeno corpo nu do astro mostra-se aumentado 10, 20, 100 e mil vezes mais do que se apresentaria quando fosse eliminada a cabeleira radiosa que não é dele (GALILEI, 2004, p. 420-1).

²⁰ É importante ressaltar que, como vimos no primeiro capítulo, a conservação de movimento é diferente de inércia. Galileu não chegou a formular um conceito de inércia. Mas em passagens como a da página 33 desta dissertação (ver GALILEI, 2004, p. 229), podemos ver que há uma ideia de inércia nas formulações de Galileu sobre a conservação de movimento.

Esse argumento exposto por Salviati é importante na explicação de por que as observações a olho nu diferem das observações no telescópio. Segundo Galileu, na observação de um objeto brilhante, feita pelo olho nu, forma-se um halo de luz que nos engana em relação ao real tamanho da imagem. Esse halo luminoso é gerado pela umidade dos nossos olhos que refrata e reflete luz. O telescópio, portanto, ao ampliar o tamanho dos objetos, enche nossos olhos com a imagem dos corpos celestes e, com isso, não há espaço para os raios adventícios, possibilitando, dessa forma, a visualização da imagem característica do objeto em questão.

(...) se o despirmos dos raios adventícios, encontrá-lo-emos [Marte] precisamente aumentado na devida proporção: para remover-lhe a cabeleira, o telescópio é o único e ótimo meio, o qual, aumentando o seu disco 900 ou mil vezes, mostra-o nu e limitado como aquele da Lua, e diferente de si mesmo nas duas posições exatamente na devida proporção. (GALILEI, 2004, p. 423)

Nesta passagem, Salviati comenta sobre o tamanho de Marte que, visto a olho nu, quando está próximo a Terra, aumenta apenas 4 ou 5 vezes seu tamanho, enquanto que pelo modelo copernicano, esse aumento deveria ser de 50 vezes. Apenas com o uso do telescópio, que remove a cabeleira, é possível ver tal aumento. Vale ressaltar que esse problema, tradicionalmente, era tratado como um problema de brilho dos planetas que, quando mais próximos da Terra, tinham seu brilho aumentado e, quando distantes, tinham seu brilho diminuído. A introdução do telescópio trouxe, então, mudanças significativas para essa questão do brilho dos planetas.

Os estudos de Galileu sobre Vênus, por exemplo, permitiram perceber que, primeiro, o brilho do planeta era devido à reflexão da luz do Sol e não porque o planeta tinha luz própria, como o próprio Sol e as estrelas fixas. Segundo, o uso do telescópio mostrou que Vênus possuía fases e que essas fases eram as responsáveis pela mudança de brilho do planeta nas observações a olho nu.

“Saiba, portanto, que eu, há cerca de três meses, comecei a observar Vênus com o instrumento, e que a vi de figura redonda e bastante pequena; foi de dia em dia crescendo de tamanho e mantendo ainda sempre a mesma redondeza, até que, finalmente, chegando a uma distância muito grande do Sol, começou a perder a rotundidade pelo lado oriental, e em poucos dias reduziu-se ao semicírculo...” (Galilei *apud* Galilei, 2004, p. 752, nota 69 de Finocchiaro).

Assim, Vênus brilha mais quando está em sua fase cheia e brilha menos nas suas fases crescente e minguantes. A consequência das observações das fases de Vênus é que o planeta deve, portanto, girar em torno do Sol, dado que suas fases são relativas à posição do planeta em sua órbita tanto em relação ao Sol quanto em relação à Terra, corroborando o modelo copernicano, conforme figura abaixo.

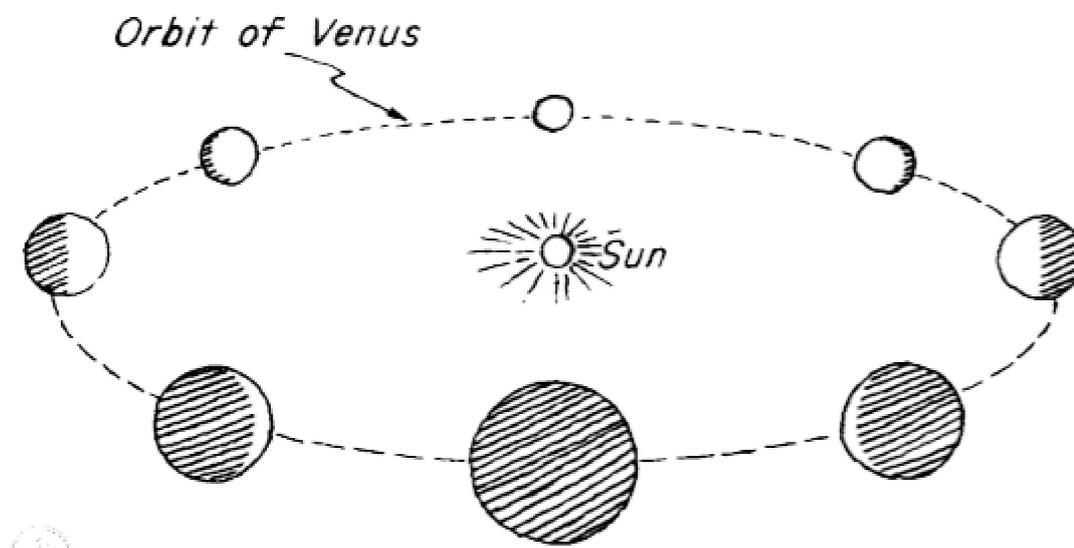


Figura 11. Imagem retirada de Cohen, p. 73

No entanto, se, por um lado, as observações pelo telescópio confirmavam as previsões do modelo copernicano concernentes ao comportamento de Vênus e Marte, por outro lado, questões como a paralaxe das estrelas permaneciam abertas.

2.4 A paralaxe estelar

A argumentação sobre as paralaxes estelares configura o problema mais delicado da discussão acerca do movimento de translação da Terra, pois introduz a dificuldade do tamanho do universo. Uma primeira dificuldade sobre o tamanho do universo diz respeito ao seu centro. Este problema é, na verdade, a maior dificuldade de se pensar o movimento anual da Terra. Segundo Simplício: “A primeira e máxima dificuldade é a aversão e incompatibilidade existente entre o estar no centro e o estar afastado do centro...” (GALILEI, 2004, p. 404)

Se a Terra se move ao redor de uma circunferência ao longo de um ano, ela não pode estar no centro dessa circunferência e, segundo o peripatético, a centralidade da Terra já foi provada por Aristóteles, Ptolomeu e outros. Por isso, a incompatibilidade de se estar no centro e girar em torno do centro ao mesmo tempo. No entanto, o problema do centro do universo se torna mais complexo quando, primeiramente, há que se analisar a existência do mesmo. Segundo Salviati:

Ainda que eu pudesse muito razoavelmente colocar em controvérsia se existe na natureza um tal centro, posto que nem vós nem outros jamais provaram se o mundo é finito e possui uma forma ou infinito e ilimitado (GALILEI, 2004, p. 405)

Mas adentrar neste problema do tamanho e forma do universo iria complexificar demais o debate, pois é um problema composto de muitas partes. Em primeiro lugar, a dúvida em relação à existência de um centro está relacionada à forma que teria o universo. Na conversa em questão da Terceira Jornada, Galileu não entra nos méritos da discussão, porém na primeira jornada, por meio de Salviati, Galileu é mais incisivo no que se refere a sua posição de dúvida em relação ao centro do universo.

Salviati - (...) para que queiram que nos deixemos persuadir que o instinto natural desses movimentos não é aquele de dirigir-se para o centro da Terra, mas para o centro do universo, o qual não sabemos onde está, nem se existe, e que ainda que existisse, não seria outra coisa que um ponto imaginário e um nada sem nenhuma propriedade. (GALILEI, 2004, p. 117)

É importante destacar que, na defesa que Galileu apresenta do heliocentrismo, há uma clara distinção entre centro do universo e centro das revoluções planetárias. O problema do centro é importante porque é a partir da existência do mesmo que é possível tratar matematicamente o movimento dos planetas, dado que a partir de um centro é possível tratar matematicamente as distâncias a partir de um ponto. Então, no *Diálogo*, Galileu ocupa-se de desenvolver argumentos a favor de um centro das revoluções planetárias. Segundo Mariconda, em nota (Galilei, 2004, p. 588, nota 52), as questões que levaram o autor italiano a adotar esse tipo de postura deve-se às suas preocupações em relação às questões religiosas. O debate sobre a infinidade do universo e pluralidade de mundos já haviam levado à condenação e execução de Giordano Bruno (1548-1600). Dessa forma, Galileu não se atém à discussão do tamanho do universo no *Diálogo*, dado que o conceito chave para compreender o heliocentrismo não é o centro do universo, mas sim o centro das revoluções planetárias.

Resta, então, saber o que está nesse centro do universo que, neste caso, coincide com o centro das revoluções planetárias. Salviati, então, pede a Simplicio para dizer o que ele acha que Aristóteles escolheria:

Salviati - (...) Dizei-me agora, Sr. Simplicio: quando Aristóteles fosse obrigado por experiências evidentiíssimas a mudar em parte esta sua disposição e ordem do universo, e a confessar ter-se enganado em uma destas duas proposições, ou seja, ou ao colocar a Terra no centro, ou ao afirmar que as esferas celestes se movem em torno desse centro, qual das duas confissões acreditais que ele escolhesse? (GALILEI, 2004, p. 405)

A fala de Salviati mais uma vez reforça a ideia de que Galileu defende ao longo das jornadas do *Diálogo*, que é a recusa do princípio de autoridade. É muito melhor entender o raciocínio do autor, no caso Aristóteles, para poder entender como o autor pensaria as questões atuais com os dispositivos disponíveis e que não tinha na época, do que aceitar cegamente as palavras do autor sem questionar nada. Segundo Finocchiaro:

(...) o ponto de Galileu é que autoridades científicas não devem ser meramente citadas em relação às conclusões que chegaram, mas elas devem ser estudadas para que nós entendamos suas evidências e raciocínios; seus argumentos são mais importantes que suas conclusões.

Um motivo é que se nós entendemos seus argumentos, nós seremos capazes de dizer como eles argumentariam em outras situações. (FINOCCHIARO, 1997, p. 61, tradução nossa)

No entanto, Simplicio é retratado no *Diálogo* como um peripatético, isto é, alguém que argumenta através do princípio de autoridade. Por isso, Simplicio não consegue decidir qual das duas alternativas Aristóteles escolheria. Salviati, então, propõe examinar qual das duas opções é mais razoável, pois esta seria a escolha de Aristóteles, um homem de grande engenho²¹. A primeira conclusão que ambos, tanto Salviati quanto Simplicio chegam, é que as revoluções dos planetas ocorrem em relação a um centro comum.

Simplicio - Quando pudéssemos apoiar-nos sobre este único pressuposto, e estivéssemos certo de não poder encontrar alguma outra coisa que nos perturbasse, eu diria que é muito mais razoável dizer que o continente e as partes contidas movem-se todos em torno de um centro comum, que dizer que se movem em torno de centros diferentes. (GALILEI, 2004, p. 406)

Por isso, cabe, então, discutir o que está nesse centro comum das revoluções planetárias: a Terra ou o Sol. Segundo Salviati, as observações nos fornecem a conclusão de que é o Sol e não a Terra que está no centro das revoluções planetárias, dado a variação da distância de alguns planetas, como Vênus e Marte, em relação à Terra, ora estando mais perto, ora mais distante. Segundo Mariconda, em nota (GALILEI, 2004, p. 745, nota 51), a variação de brilho dos planetas, ocasionada pela variação das suas distâncias à Terra, foi o que levou os astrônomos a abandonar o modelo homocêntrico²² adotado por Aristóteles, substituindo-o pelo modelo com epíclis-deferentes e excêntricos.

Simplicio, então, questiona o que leva Salviati a concluir que esses planetas se movem ao redor do Sol. A resposta de Salviati é sobre as distâncias dos planetas em relação à Terra e ao Sol.

Salviati - Isso se conclui, para os três planetas superiores, Marte, Júpiter e Saturno, a partir deles se encontrarem sempre muito próximo à Terra quando estão em oposição ao Sol, e muito distantes quando estão em conjunção; e esta aproximação e afastamento tem tanta importância que, quando Marte está próximo, vê-se 60 vezes maior que quando está afastadíssimo. De Vênus e de Mercúrio tem-se certeza de que giram em torno do Sol, porque nunca se afastam muito dele e porque os vemos ora acima, ora abaixo, como se conclui necessariamente da mudança de figura de Vênus (GALILEI, 2004, p. 407).

Vale ressaltar que as mudanças referidas por Salviati da figura de Vênus refere-se às fases de Vênus, algo que só foi passível de conhecimento por causa das observações com o

²¹ O comportamento de Salviati nesse momento da argumentação se refere ao princípio de caridade, na qual, na ausência de evidências textuais, você atribui ao autor a escolha da concepção mais razoável. Essa passagem mostra também que a crítica de Galileu permanece não em cima dos textos de Aristóteles, mas sim sobre o comportamento dogmático adotado pelos peripatéticos e suas argumentações baseadas no princípio de autoridade (Galilei, 2004, p. 743-4, nota 46).

²² O modelo homocêntrico foi desenvolvido por Eudoxo e considera a Terra no centro do universo, a uma distância fixa das esferas concêntricas que forneciam as órbitas dos corpos celestes.

telescópio. Salviati, então, conclui, a partir de observações, ser mais razoável atribuir o repouso ao Sol, no centro, e não à Terra.

Salviati - Conclui-se a partir de observações evidentiíssimas, e por isso mesmo necessariamente concludentes; das quais as mais palpáveis, para excluir a Terra desse centro e colocar nele o Sol, são o encontrarem-se todos os planetas ora mais próximos e ora mais afastados da Terra, com diferenças tão grandes, que, por exemplo, Vênus, quando afastadíssima, encontra-se seis vezes mais distante de nós que quando está mais próxima, e Marte eleva-se quase oito vezes mais numa posição que em outra (GALILEI, 2004, p. 407).

Mas retirar a Terra do centro do universo evoca o problema das paralaxes. O principal argumento dos tradicionalistas em defesa do repouso da Terra se encontra na ausência de observação das paralaxes estelares. Segundo Simplicio:

Simplicio - Mas ainda assim ficamos nas mesmas dificuldades, já que não se percebe existir nem mesmo aquela pouca diferença que deveria existir [na aproximação e afastamento da Terra a uma estrela fixa]; e se ela é nula, nulo também é necessário confessar que seja o movimento anual pelo orbe magno, atribuído à Terra (GALILEI, 2004, p. 461).

No modelo copernicano, se a Terra tivesse um movimento de translação ao redor do Sol, segundo os anticopernicanos, o céu deveria parecer diferente, dado que a cada noite a Terra estaria numa posição diferente em relação à noite anterior e, como as estrelas são corpos fixos, a posição de observação do observador terrestre em relação a uma estrela específica estaria transladada o mesmo tanto de distância que foi percorrido pelo movimento da Terra, como mostra a figura a seguir.

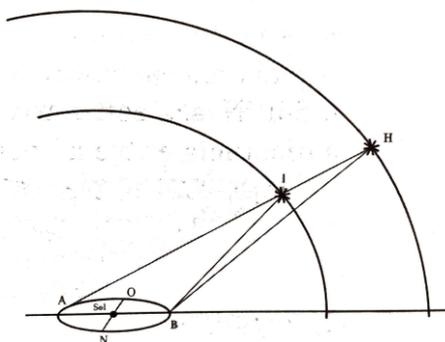


Figura 12. Imagem retirada de Mariconda; Vasconcellos, 2020, p. 193

Se o movimento da Terra fosse real, ao longo da órbita *ANBO*, quando a Terra estivesse em *A*, as estrelas *I* e *H* deveriam parecer alinhadas com a Terra e quando a Terra estivesse em *B*, seis meses depois, deveria haver um ângulo de afastamento referente à nova posição do observador. Por esse motivo, os peripatéticos afirmavam que:

Simplicio - (...) quando se supusesse que as estrelas de sexta grandeza são tão grandes quanto o Sol (o que me parece bem difícil de acreditar), ainda assim continuaria sendo verdadeiro que o orbe magno deveria causar na esfera estelar mudanças e variações similares àquela variação que o semidiâmetro da Terra produz no Sol e que é observável; donde, como não se

observa uma tal mudança, nem mesmo uma menor, nas estrelas fixas, parece-me que isto também arruine e destrua o movimento anual da Terra (GALILEI, 2004, p. 449).

Num primeiro momento da crítica de Galileu ao argumento da ausência de paralaxe das estrelas, Salviati, no *Diálogo*, comenta a respeito do comportamento daqueles que se debruçam a encontrar no céu essas diferenças, limitando-se a um comportamento genérico. É necessário, primeiro, saber como procurar essas mudanças, que não são as mesmas para todas as estrelas.

Salviati - (...) porque sei que o movimento anual atribuído por Copérnico à Terra, quando deva fazer-se sensível na esfera estelar, não produziria mudanças igualmente aparentes em todas as estrelas, mas tal aparência deve fazer-se maior em algumas, menor em outras, ainda menor em outras e, finalmente, para algumas ser absolutamente nula, por maior que fosse considerado o círculo desse movimento anual. As mudanças, que se deveriam ver, são assim de dois gêneros: um é a mudança na grandeza aparente dessas estrelas, e o outro é a variação das alturas no meridiano (...) (GALILEI, 2004, p. 462)

A ausência de padrão nas mudanças observadas nas estrelas fixas citada por Salviati se dá pela crença do autor de que as estrelas fixas não estejam espalhadas sobre uma superfície esféricas, todas equidistantes do centro, mas que suas distâncias sejam variadas, estando umas mais próximas e outras mais distantes. Dessa forma, para as estrelas muito distantes, as diferenças de posição aparente são imperceptíveis, o que levanta a questão do tamanho do universo. Mas aumentar dessa forma o tamanho do universo implica aumentar, também, o tamanho das estrelas. Afinal, se estão tão distantes e, mesmo assim, conseguimos vê-las, seus diâmetros devem ser muito maiores do que pressuposto pelo modelo astronômico vigente. Porém, aceitar que as estrelas estão muito distantes e que, por isso, não é possível observar as paralaxes traz consequências cosmológicas.

A segunda questão levantada pela fala de Simplicio refere-se a elementos importantes na argumentação dos tradicionalistas a favor do repouso da Terra. Primeiro, ao mencionar as variações que os semidiâmetros da Terra produzem no Sol, o peripatético refere-se à paralaxe solar. Em carta a Ingoli (Galilei, 2005), Galileu argumenta que a nossa visão se constrói por linha reta, que vai do olho do observador até o objeto observado. Há, portanto, duas posições possíveis do planeta no firmamento²³: uma posição aparente, configurada pela linha reta do olho do observador ao planeta, e a posição verdadeira, traçada pela linha reta do centro da Terra ao centro do planeta. Quando o observador está no zênite, as duas linhas coincidem e, quando o observador se encontra em outro ponto, estabelece-se um ângulo entre a posição aparente e a posição verdadeira. Esse ângulo configura a paralaxe. Segundo Galileu:

(...) a paralaxe não é outra coisa que aquele espaço no céu [515] que está compreendido entre as duas linhas do lugar verdadeiro e do visto, é manifesto que segundo as duas linhas sejam mais ou menos separadas, a paralaxe tornar-se-á maior ou menor; de modo que, em suma, a

²³ O termo firmamento refere-se, geralmente, a todo o céu.

quantidade da paralaxe é regulada e determinada pela quantidade do ângulo que é constituído no centro da estrela por essas duas linhas; ângulo o qual, porque é sempre igual ao outro que lhe é oposto pelo vértice, podemos com a mesma verdade determinar a quantidade da paralaxe do ângulo que as duas linhas traçadas, uma do centro da Terra e a outra do olho do observador, constituem no centro da estrela (GALILEU, 2005, p. 481-2).

Há duas variações no movimento aparente do Sol, uma vertical e outra horizontal, ambas relacionadas às estações do ano. A primeira é que a altura do Sol sobre o meridiano, ou seja, ao meio-dia, varia 47 graus entre o verão e o inverno. A segunda variação refere-se aos observadores que estão fora do equador, local onde o horizonte é oblíquo, na qual há uma variação de ângulo, a depender da estação do ano, entre o nascer e o pôr do Sol (Mariconda, 2004, p. 776, nota 140). Dessa forma, a questão que se levanta é como pode haver essas diferenças angulares em relação ao Sol, mas não em relação às estrelas fixas? Simplicio, então, utiliza-se das dificuldades encontradas na detecção de paralaxe estelar para concluir a imobilidade da Terra. Segundo o peripatético:

Simplicio - Aristóteles viu a mesma dificuldade, e serviu-se dela para repreender alguns filósofos antigos os quais queriam que a Terra fosse um planeta: contra os quais argumenta que, se assim fosse, seria necessário que também ela, como os outros planetas, tivesse mais que um movimento²⁴, do que se seguiria essa variação nos nascimentos e nos ocasos das estrelas fixas, e igualmente nas alturas meridianas. E como ele levantou a dificuldade sem resolvê-la, é necessário que ela seja, senão impossível, pelo menos difícil de desatar (GALILEI, 2004, p. 463).

Como podemos notar, o que diferencia a concepção de uma paralaxe da outra é justamente o seu caráter observacional. Conceber a ideia de uma paralaxe estelar sem que a mesma seja observada implica a concepção de um universo muito grande, grande o suficiente para que as estrelas estejam tão longe que não se consegue perceber o ângulo nas observações. Dessa forma, a fala de Simplicio evidencia a grande dificuldade do problema de paralaxe estelar, que se refere a imaginar o tamanho do Universo.

Se a Terra possui um movimento de translação ao longo do orbe magno e diferenças nas posições aparentes das estrelas não são observadas, então o tamanho da esfera estelar²⁵ deveria ser algo na magnitude da imensidão, de maneira que esse movimento da Terra seja insensível às diferenças de posição das estrelas. Mas para Simplicio, essa distância que afasta a Terra das estrelas fixas deveria ser inimaginável para que tal efeito ocorra, isto é, para que haja ausência de observação das paralaxes estelares (GALILEI, 2004, p. 442). Ora, se essas estrelas estão nessa distância que, para o peripatético, é inimaginável, e mesmo assim conseguimos vê-las daqui, então seus diâmetros devem ser maiores que o do Sol, o que também

²⁴ No primeiro capítulo desta dissertação foi falado sobre a impossibilidade aristotélica de conceber dois movimentos para a Terra, ver p. XXX

²⁵ Segundo os tradicionalistas, é a distância da Terra às estrelas fixas que define o tamanho e o raio da esfera estelar, dado que na configuração do Cosmo aristotélico, a esfera das estrelas fixas configura a última esfera.

configura algo não concebível para o peripatético. A crítica de Galileu ao argumento peripatético se divide em dois momentos. O primeiro tange a dificuldade da tradição, que vem desde a defesa do movimento de rotação da Terra, de ir além da observação ingênua:

Salviati - (...) dissésseis-me sinceramente se acreditais que eles compreendam em espírito aquela grandeza que depois julgam, devida a sua imensidade, não poder ser atribuída ao universo: porque eu, no meu modo de entender, acredito que não, e parece-me que, do mesmo modo como acontece com a apreensão dos números, quando se começa a passar dos milhares e milhões, a imaginação confunde-se nem pode mais formar um conceito, assim também acontece ao apreender grandezas e distâncias imensas; (...) E finalmente eu te pergunto, oh! estúpido autor! Compreender com a imaginação aquela grandeza do universo, que tu julgas depois ser excessivamente vasta? (GALILEI, 2004, p. 450-1).

Como podemos observar, não só nesse trecho, mas em outras passagens citadas ao longo deste trabalho, há uma grande dificuldade para a tradição em trabalhar com ideias que requerem imaginação. É importante notar que essa dificuldade de se conceber um universo tão grande vai além da questão religiosa e configura também a um problema epistemológico, afinal a imensidão, seja ela referente a grandezas ou aos números, são, como aponta Salviati, de difícil compreensão para o intelecto.

Salviati - (...) parece-me que, do mesmo modo como acontece com a apreensão dos números, quando se começa a passar dos milhares de milhões, a imaginação confunde-se nem pode mais formar um conceito, assim também acontece ao apreender grandezas e distâncias imensas. (...) Compreendes com a imaginação aquela grandeza do universo, que tu julgas depois ser excessivamente vasta? Se a compreendes, queres tu estimar que a tua apreensão seja maior que a potência divina, queres tu dizer-te capaz de imaginar coisas maiores do que aquelas que Deus pode realizar? Mas se não a compreendes, por que queres julgar coisas que não entendes? (GALILEI, 2004, p. 451).

O apelo à imaginação, sendo esta entendida aqui como a capacidade de conceber ideias e imagens abstratas sem uma referência direta com a realidade perceptiva, é uma importante consequência epistemológica da defesa do heliocentrismo que marca o desenvolvimento da ciência clássica e ganha importância exponencial na ciência moderna, como veremos com mais detalhes no próximo capítulo. Em resposta à fala de Salviati, Simplicio argumenta que:

Estes argumentos são todos muito bons, e não se nega que o céu não possa superar em grandeza a nossa imaginação, como tampouco que Deus possa criá-lo mil vezes maior do que é: mas devemos admitir que nenhuma coisa foi criada em vão e é ociosa no universo. Ora, enquanto vemos esta bela ordem dos planetas, dispostos em torno da Terra a distâncias proporcionadas para produzir sobre ela seus efeitos para o nosso benefício, para que fim interpomos depois entre o orbe supremo de Saturno e a esfera estelar um espaço vastíssimo sem qualquer estrela, supérfluo e vão? (GALILEU, 2004, p. 451).

Essa fala de Simplicio refere-se ao que Finocchiaro (1997) chama de “princípio teleológico”, o qual sustenta a crença de que tudo no universo tem um propósito. No entanto, os aristotélicos utilizam-se desse princípio sob o viés dos interesses humanos. A crítica de Galileu a esse antropocentrismo teológico é em relação à ideia de que o propósito do universo

estaria relacionado à sua exclusiva utilidade ao homem. Talvez, supõe Galileu na voz de Sagredo, nós não saibamos para que serve.

Sagredo - Dizei, antes, e acredito que diríeis melhor, *que nós não sabemos que nos sirva*: e acredito que uma das maiores arrogâncias, ou melhor, loucuras, que se possa introduzir, é o dizer: ‘porque não sei para que me servem Júpiter e Saturno, estes são, portanto, supérfluos; logo, não existem na natureza’; enquanto que, oh! estultíssimo homem!, eu não sei nem mesmo para que servem as artérias, as cartilagens, o baço ou a bÍlis, antes nem saberia que existe a bÍlis, o baço ou os rins, se não me tivessem sido mostrados em muitos cadáveres dissecados, e, somente então, quando ele me fosse retirado, eu poderia entender para que me serve o baço. (...) Além disso, quem pretenderá dizer que o espaço que essas pessoas chamam de enorme e inútil, entre Saturno e as estrelas fixas, esteja desprovido de outros corpos do mundo? Talvez por que não o vemos? Portanto, os quatro planetas mediceus e os companheiros de Saturno apareceram no céu quando começamos a vê-los, e não antes? E, do mesmo modo, as outras inumeráveis estrelas fixas não existiam antes que os homens as vissem? As nebulosas eram anteriormente pequenas praças esbranquiçadas, mas depois, com o telescópio, não as fizemos tornarem-se aglomerados de muitas estrelas brilhantes e lindíssimas? Presunçosa, e ainda mais temerária, a ignorância dos homens! (GALILEI, 2004, p. 452-3).

No entanto, o peripatético mantém a sua resistência frente ao uso da imaginação. Simplicio menciona (Galilei, 2004, p. 469) sentir uma grande aversão na concepção de uma distância tão grande das estrelas fixas, de modo a conseguir explicar a ausência de observação de paralaxe das mesmas. O problema de ausência de observação das paralaxes estelares se manteve aberto até o desenvolvimento de telescópios mais potentes, no qual o fenômeno pode ser observado. Apesar de Galileu, no *Diálogo*, não conseguir oferecer uma solução observacional para o problema em questão, ele indica o caminho. Segundo o italiano, as estrelas fixas não estão espalhadas de maneira equidistante do centro do sistema heliocêntrico, isto é, não há uma esfera das estrelas fixas. Algumas estrelas estão mais próximas da Terra e outras mais distantes.

Dessa forma, Galileu propõe tratar a questão da paralaxe de maneira similar ao tratamento observacional dado aos planetas, pois, se fosse possível encontrar mudanças em relação a duas estrelas com distâncias distintas da Terra, como ocorre com os planetas, seria um indício a favor do movimento anual da Terra.

“Salviati - (...) de modo que, quando se encontrasse com o telescópio alguma estrela pequeníssima muito próxima a alguma das maiores, e que, porém, aquela fosse altíssima, poderia acontecer que alguma mudança sensível acontecesse entre elas, correspondente àquela dos planetas superiores.” (Galilei, 2004, p. 466)

Pensando nas estrelas que estão fora do plano da eclíptica, Galileu argumenta que a estrela que estiver, por exemplo, na posição E da figura abaixo, terá uma determinada variação de distância em relação à Terra quando esta está em A e em B.

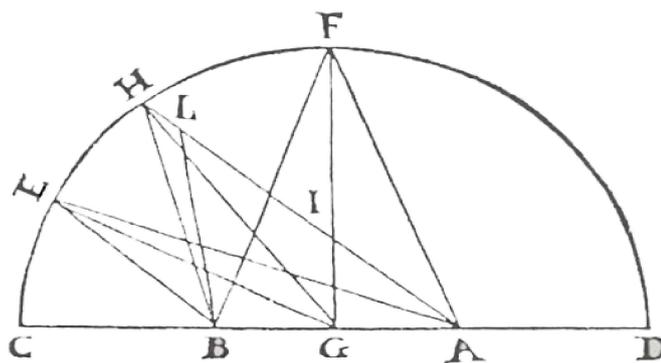


Figura 13. Retirada de Galilei, 2004, p. 467

O ângulo EAC é menor que o ângulo EBC e, por isso, será possível observar alterações na distância da estrela E até a eclíptica. Quanto maior a distância da eclíptica, como por exemplo em H, maior será a diferença observada nas diferentes posições da Terra, que ora está em A e ora está em B. O ângulo de diferença que ocorre nas observações nessas diferentes posições da Terra é justamente o que vai configurar a paralaxe estelar, de acordo com a argumentação de Galileu. Segundo Salviati:

“Salviati - (...) Concluimos, portanto, que a diversidade de aparência (a qual com termos apropriados à arte podemos chamar de paralaxe das estrelas fixas) é maior ou menor, segundo as estrelas observadas mais ou menos próximas ao polo da eclíptica; de modo que, finalmente, das estrelas que estão na própria eclíptica, tal diversidade reduz-se a nada.”
(Galilei, 2004, p. 468)

Dessa forma, Galileu elabora um programa de pesquisa para detectar a paralaxe estelar que, segundo Finocchiaro (1997), foi utilizado pelo astrônomo Friedrich W. Bessel (1784-1846) para detectar a paralaxe estelar da estrela 61 Cygni (Mariconda, 2004, p. 778, nota 149).

Como podemos perceber, grande parte da argumentação tradicionalista ao longo da Segunda e Terceira Jornada, não só em relação às paralaxes, se pauta em compreender a realidade através dos sentidos, do que podemos ver e observar. No diálogo estabelecido entre Salviati e Simplicio em relação às paralaxes, a observação das mesmas é algo que, como constata Salviati, parece ser necessário ao peripatético (Galilei, 2004, p. 470).

O grande trabalho de Galileu na defesa do heliocentrismo, do qual falaremos mais a fundo no próximo capítulo, é o de introduzir ideias que necessitam de imaginação para serem concebidas, que se referem a uma realidade que não nos é dada de maneira imediata, como a conservação de movimento abordada no primeiro capítulo, e, agora, a imensidão do universo, de maneira que a percepção ingênua seja substituída pelo uso da razão crítica e da observação científica.

CAPÍTULO 3

PERSPECTIVA E EXPERIMENTOS MENTAIS COMO ELEMENTOS CONTRAITUITIVOS DA NOVA FÍSICA

Como vimos nos dois primeiros capítulos, o trabalho de Galileu ao longo das Jornadas I e II do *Diálogo* é triplo. Além de introduzir a concepção de ideias que necessita da imaginação para serem concebidas, na medida em que falamos de uma realidade que não está em contato direto com a nossa percepção, com a nova física desenvolvida por Galileu, pautada nos pilares do princípio de relatividade mecânica, conservação do movimento e composição do movimento, surge a ideia de uma realidade subjacente responsáveis pelos fenômenos observados, de maneira que a observação ingênua não é capaz de dar conta da realidade. Os fenômenos estariam numa categoria de aparência e a compreensão da realidade por trás dessa aparência só é possível se imaginada.

Concomitante à noção de aparência, há também a defesa de Galileu no uso de instrumentos ópticos que aprimoram a visão, de maneira que, além de possibilitar uma melhor discussão das anomalias planetárias tradicionais como a anomalia de brilho que, com o telescópio se torna um problema de diâmetro, introduz também novas aparências, só possíveis de serem percebidas com o instrumento óptico, como a questão do movimento aparente das manchas solares. A introdução de instrumentos ópticos nas observações científicas elabora uma nova metodologia observacional na qual Galileu teve o trabalho de defender e evidenciar a importância. Além disso, Galileu também se defrontou com os princípios de autoridade de Aristóteles e das Sagradas Escrituras ao longo da sua argumentação.

A polêmica de Galileu com o padre Scheiner acerca das manchas solares, além de configurar para Galileu uma prova observacional irrefutável da corruptibilidade do céu, o que se defrontava com a autoridade de Aristóteles, também evidencia a discussão sobre a aparência ou realidade do fenômeno (Mariconda, 2004, p. 19), evidenciando a importância da perspectiva e, conseqüentemente, da noção do lugar do observador. É importante ressaltar que a observação das manchas solares não foi inédita de Galileu. Segundo Van Helden (1992), os astrônomos medievais já haviam observado a ocorrência dessas manchas²⁶. No entanto, eles atribuíram a esse fenômeno como consequência da passagem de Mercúrio e Vênus sobre o disco solar.

²⁶ Embora os chineses já houvessem observado as manchas solares, seus trabalhos não tiveram influência nos de Galileu, visto que o italiano não teve conhecimento dos mesmos no período em que trabalhou nas observações das manchas solares.

O que tornou a discussão sobre as manchas solares importante é que, com Galileu, além do fenômeno colocar em xeque a crença da imutabilidade do céu, também evidenciava a metodologia proposta por Galileu ao tratar dos fenômenos, metodologia essa que consiste de uma observação cuidadosa dos fenômenos, seguido de uma elaboração racional, uma interpretação dos fenômenos, com princípios e conceitos que conseguem explicar o fenômeno observado. Dessa forma, podemos perceber aquilo que Galileu busca mostrar, ao longo da sua argumentação acerca do movimento de rotação e translação da Terra, expostos nos dois primeiros capítulos, é que é necessária uma mente científica para interpretar as observações feitas. Segundo Clavelin:

“A razão, portanto, do porque nenhum problema científico nunca mais foi o mesmo desde a abordagem de Galileu se encontra em grande parte na sua redefinição de inteligibilidade científica e nos meios pelos quais se alcança essa inteligibilidade: só um novo ideal explicativo e uma habilidade sem precedentes de combinar razão com observação poderia ter mudado a filosofia natural de maneira tão radical.” (Clavelin, 1974, p. 383, tradução nossa)

Um exemplo dessa nova metodologia defendida por Galileu pode ser encontrado no seu trabalho com as manchas solares, como veremos a seguir.

3.1 As manchas solares

A tradição acreditava que essas manchas correspondiam ou a sombras de corpos celestes próximos à superfície do Sol ou a ilusões de óptica provocadas pelo telescópio. Galileu rebateu a tradição mostrando que as manchas não eram ilusões de óptica nem sombras de outros corpos celestes próximas à superfície solar, pois caso fossem, esses corpos teriam que estar em velocidades diferentes da velocidade uniforme, característica importante para manter a incorruptibilidade do céu defendida pelos aristotélicos. A prova de Galileu de que as manchas solares eram reais e estavam na superfície do Sol foi proveniente de uma observação minuciosa e contínua da forma, posição e relações que essas manchas apresentavam no corpo celeste.

“A disputa sobre a possibilidade de se conhecer a essência das manchas solares evidencia uma das mais importantes diferenças entre Galileu e seus opositores tradicionalistas: enquanto Scheiner pretende descrever a essência das manchas, Galileu não acredita que ela seja acessível para nós. Para ele, apenas afecções – lugar, figura, movimento, grandeza, opacidade, mutabilidade, produção, dissolução – podem ser observadas e conhecidas.” (Moschetti, 2006, p. 324)

O grande problema da tradição era seu ideal explicativo estar assentado na ideia de essência. Segundo Clavelin (1974), seria necessário um poder intuitivo sobre-humano para conseguir descobrir a essência das coisas. Assim, um dos problemas de tentar explicar os fenômenos com base numa crença de essência é que a tradição confundiu essência com o reflexo das nossas percepções sensíveis. As essências ditas pela tradição eram, na verdade, meros reflexos da observação cotidiana e, por isso, se mostravam frágeis diante de qualquer

avanço na observação. Por esse motivo a tradição negou tantas vezes as novas descobertas. Essa recusa sobre as novas descobertas fica clara com as novas descobertas astronômicas feitas por Galileu com o telescópio, como as irregularidades na superfície lunar e as manchas solares. O telescópio abriu uma nova fronteira para a observação. Junto com o novo método desenvolvido por Galileu de observações sistemáticas, seguidas de uma conceituação a partir dos dados obtidos da observação, que permitiram que a ciência pudesse transcender a nossa percepção, afastando-se de uma percepção ingênua, os fenômenos não mais seriam explicados a partir de um mero reflexo da nossa percepção.

O maior representante da tradição, no caso das manchas solares, foi o jesuíta Scheiner, que se utilizava do pseudônimo Apelle. Scheiner, ancorado na crença da imutabilidade celeste vinda da tradição peripatética, alegava que as manchas solares não estavam na superfície solar. Segundo a argumentação do jesuíta, se as manchas estivessem na superfície do Sol, isso implicaria que o astro tinha uma rotação em torno do próprio eixo e isso implicaria que as manchas retornariam à visibilidade, quinze dias depois, na mesma ordem e posição de que são vistas antes de rotacionarem para a parte de trás do Sol, em relação ao observador terrestre. Segundo as observações de Scheiner, isso não ocorre. O que o jesuíta deixou de levar em consideração, no entanto, era que a forma e o tamanho das manchas mudavam, algumas a ponto de se tornarem irreconhecíveis (Shea, 1970, p. 499-500).

Para Scheiner, as manchas solares eram causadas pela agregação dos planetas ou estrelas que circundavam o Sol. A movimentação aparente observada nas manchas seria causada pelo distanciamento entre esses planetas ou estrelas e as diferenças de velocidades de suas revoluções (Moschetti, 2006, p. 317). No entanto, segundo Galileu, se as manchas correspondessem à movimentação dos planetas, elas deveriam ter um comportamento que se relacionava às órbitas desses planetas e não movimento próprio, como as observações evidenciaram. Segundo Moschetti, “se as manchas fossem planetas girando ao redor do Sol, apresentariam fases, como a Lua e Vênus, e sua velocidade, ao atravessar o disco solar, deveria ser constante, o que não se observa” (Moschetti, 2006, p. 322).

Segundo a argumentação de Galileu nas cartas trocadas com Welser, o argumento de Scheiner caía em uma petição de princípio. Como vimos no primeiro capítulo, a argumentação peripatética no problema da queda vertical também culminava em petição de princípio, dado que para provar que a Terra estava em repouso, assumia-se que os corpos caíam de maneira vertical, mas a queda vertical dos objetos estava sendo usada para provar justamente o repouso da Terra. No terceiro momento da argumentação da queda vertical, novamente o problema da petição de princípio aparece na formulação do argumento da torre, numa premissa

subentendida de que a Terra começaria a se mover no momento que a pedra fosse solta do alto da torre. Dessa forma, vemos que a ocorrência retórica de petição de princípio é comum na argumentação peripatética. No caso das manchas solares, a petição de princípio aparece quando Scheiner argumenta que as manchas não podem estar na superfície solar, pois o mesmo, sendo um corpo celeste, é inalterável. No entanto, a inalterabilidade do Sol é o que se pretende provar retirando as manchas da sua superfície.

Galileu, observando a superfície solar com o telescópio, percebeu que as manchas, se observadas isoladamente, pareciam ter um comportamento desordenado. No entanto, se observadas em conjunto, apresentavam movimentos regulares e contínuos (Moschetti, 2006, p. 315). A elaboração do problema das manchas solares ocorre, então, em duas partes. Num primeiro momento, as observações de Galileu sobre a trajetória de duas manchas na superfície do sol com sua troca de cartas com Welser em 1612 refere-se ao problema da distância das manchas solares à superfície do Sol. Superada as dificuldades desse primeiro momento, Galileu adentra na segunda parte, que se refere a um corpo esférico em rotação em torno do seu próprio eixo. A partir da descoberta da inclinação do eixo solar, surgem novas evidências a favor da realidade das manchas solares na superfície do sol.

Segundo Scheiner, as manchas moviam-se de leste para oeste e Galileu percebeu que, para que isso acontecesse, as manchas deveriam apenas passar sobre o disco solar cuja face estivesse voltada para os observadores terrestres e, dessa forma, as manchas não estariam circundando a superfície solar. No entanto, o método de observação de Scheiner do fenômeno consistia em olhar diretamente para o Sol, com uma lente azul ou verde, em dois momentos distintos, o nascer e pôr do Sol, e observar as manchas, além de espiar o corpo celeste ao meio-dia (Shea, 1970, p. 499). Para elucidar o real comportamento das manchas, Galileu adotou como metodologia a observação de uma mancha desde o momento que ela surge, de um lado do Sol, até o momento em que desaparece, no outro lado do Sol e, a partir da observação, projetar numa folha de papel, onde ele já havia desenhado uma circunferência com determinado diâmetro, a imagem observada do Sol. Quando a projeção coincidiu com a circunferência desenhada, Galileu demarcou as manchas solares diretamente no papel.

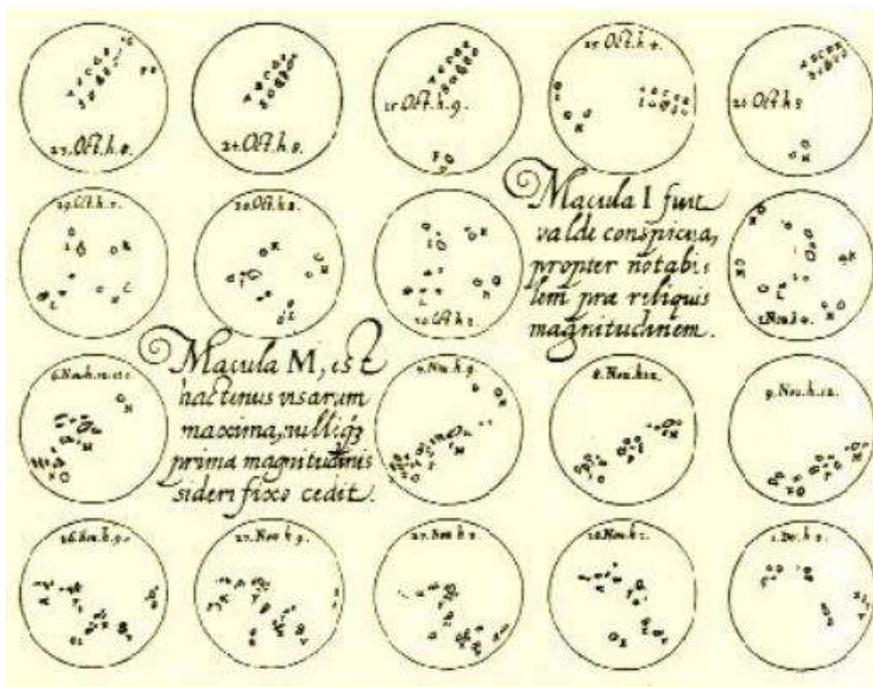


Figura 14. Retirada de Moschetti, 2006, p. 327

Durante o percurso da mancha, Galileu observou a variação de velocidade, a forma e suas relações com outras manchas (Moschetti, 2006, p. 322). Segundo o italiano:

“Devemos observar diligentemente a proporção de aumento e diminuição da velocidade das manchas desde sua primeira até sua última aparição, pois essa proporção nos permitirá demonstrar se o movimento é na superfície do corpo solar ou em um círculo destacado.”
(GALILEI apud SHEA, 1970, p. 507)

Dessa forma, Galileu observou duas manchas em particular na superfície do Sol, chamadas por ele de *A* e *B*, que se moviam ao longo do disco solar até desaparecerem do outro lado, algo que acontecia em pouco menos de duas semanas. A partir de suas observações, Galileu também percebeu que a distância entre as manchas *A* e *B* era menor quando ambas estavam próximas da borda do Sol e era maior quando estavam próximas do centro da superfície esférica. Segundo Clavelin (1974, p.399-400) essas informações foram importantes para que o italiano conseguisse provar a contiguidade das manchas solares à superfície solar. O desenho abaixo esquematiza o raciocínio.

do eixo solar, o fenômeno era não só explicado como também se tornava possível prever o comportamento de manchas futuras (Clavelin, 1974, p. 404-05). Segundo Salviati²⁷:

“Salviati - (...) Pois, girando em torno dele o globo terrestre com o movimento anual, será primeiramente necessário que para nós, levados por ele, os percursos das manchas solares apareçam algumas vezes feitos por linhas retas, mas isto somente duas vezes por ano, e em todos os outros tempos mostrar-se-ão feitos por arcos sensivelmente encurvados.”
(GALILEI, 2004, p. 431-2)

Esse trecho refere-se ao fato de que a Terra possui um eixo de inclinação chamado eclíptica, inclinado $23^{\circ} 26' 58''$ com relação ao equador terrestre, como mostra a figura a seguir.

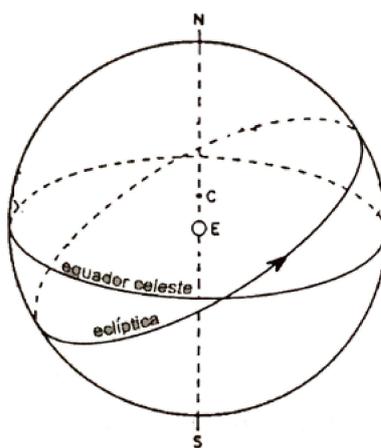


Figura 16. Imagem retirada de Galilei, 2004, p. 763, nota 91

Durante seu movimento de translação ao redor do Sol, que também possui uma inclinação em relação ao eixo da eclíptica, haverá dois momentos em que o percurso das manchas terá a aparência de uma linha reta. Ademais, haverá uma diferença angular da posição de observação aqui na Terra em relação à superfície do Sol e, por isso, a aparência do percurso das manchas solares será de arcos ao longo da superfície solar. Continuando:

“Salviati - Em segundo lugar, a curvatura de tais arcos, durante metade do ano, aparecer-nos-á infletida em sentido inverso ao que se verá na outra metade do ano: ou seja, durante seis meses o convexo dos arcos estará na direção da parte superior do disco solar, e para os outros 6 meses na direção da parte inferior. Em terceiro lugar, como as manchas começam a aparecer e, por assim, dizer, a nascer ao nosso olho na parte direita, as extremidades orientais, ou seja, aquelas que aparecem primeiro, durante seis meses serão mais baixas que as extremidades opostas das ocultações, e para os outros seis meses acontecerá o contrário, ou seja, que nascendo essas manchas de pontos mais elevados e a partir deles descendo, durante os seus cursos irão ocultar-se em pontos mais baixos, e somente em dois dias de todo o ano serão essas extremidades, do nascimento e do ocaso, equilibradas; depois desses equilíbrios começa pouco a pouco a inclinação das viagens das manchas, e aumentando dia após dia, em três meses chega à máxima obliquidade, e começando a diminuir a partir de então, em idêntico tempo chega ao outro equilíbrio.” (GALILEI, 2004, p. 432)

²⁷ Toda a argumentação elaborada por Galileu na voz de Salviati sobre o movimento das manchas solares pressupõe uma Terra em movimento.

Esse trecho refere-se à trajetória oblíqua exercida pelas manchas solares. Com o Sol inclinado em relação ao nosso meridiano, quando a Terra estiver de frente para um dos hemisférios do Sol, as passagens das manchas ocorrerão de maneira ascendente, de F para G, como mostra a imagem abaixo:

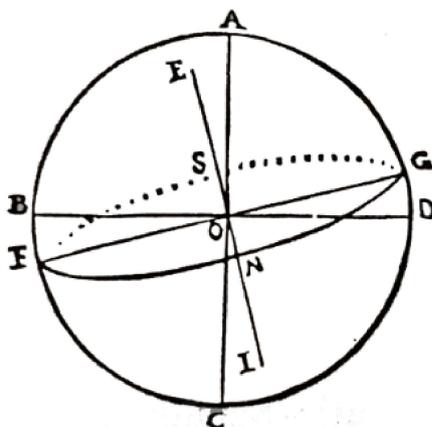


Figura 17. Retirada de Galilei, 2004, p. 435

Mas quando a Terra estiver de frente para o hemisfério oposto, as manchas terão uma trajetória descendente, de G para F. As manchas terão um movimento aparente retilíneo quando a Terra estiver passando pelos polos E e I, fato que ocorre duas vezes no ano. Os argumentos levantados por Galileu mostram, novamente, a importância da perspectiva e da noção da posição do movimento do observador diante das observações dos fenômenos. Caso as manchas solares fossem planetas, como acreditava Scheiner, girariam em torno do Sol com movimentos uniformes, distâncias regulares umas das outras e não apresentariam variações de tamanho padronizadas, isto é, mais largas ao passar pelo centro e mais estreitas ao aproximarem-se das bordas (Moschetti, 2006, p. 330). Por fim, em sua argumentação no *Diálogo* sobre a contiguidade das manchas solares à superfície solar e reforço do movimento de translação da Terra, Galileu faz uso, mais uma vez, do argumento da simplicidade. Segundo Salviati:

“Salviati - De modo que, finalmente, para manter a Terra estável no centro, será necessário atribuir ao Sol dois movimento em torno do próprio centro, sobre dois diferentes eixos, um dos quais acabe a sua rotação em um ano, e o outro a sua rotação em menos de um mês: assunto esse que se apresenta ao meu intelecto muito difícil e quase impossível; (...) Ora, quando esses quatro movimentos [dois do sol em torno da Terra - movimento anual e diurno - e dois do Sol em relação ao seu centro] (os quais por necessidade deveriam ser todos atribuídos ao próprio corpo do Sol), possam ser reduzidos a um só e simplíssimo, atribuído ao Sol sobre um eixo que jamais se altera, e quando, sem inovar coisa alguma nos movimentos atribuídos ao globo terrestre por tantas outras observações, possa-se tão facilmente salvar tantas aparências estranhas nos movimentos das manchas solares...”
(GALILEI, 2004, p. 439)

Como podemos perceber na passagem acima, adotando-se uma Terra estacionária, a explicação do movimento aparente das manchas solares torna-se complexo. Primeiro, pois o

Sol teria que ter um movimento de rotação em torno do próprio eixo, dado que essa é a única forma das manchas atravessarem o disco solar. No entanto, além de atravessarem o disco solar, as manchas em determinada época do ano têm um movimento aparente retilíneo e em outros momentos têm um movimento aparente curvilíneo. Para explicar isso do ponto de vista ptolomaico, além de uma inclinação do eixo solar à eclíptica, esse eixo deveria variar de direção, pois se a inclinação estivesse sempre apontando para a mesma direção, o caminho percorrido pelas manchas solares na superfície do Sol não deveria mudar de trajetória. Por esse motivo, além do Sol ter o movimento diurno e anual em torno da Terra, ainda deveria ter mais dois movimentos de rotação em torno do seu centro com dois eixos distintos. Enquanto que utilizando-se do modelo copernicano, todas as aparências são explicadas com o simples movimento de translação da Terra em torno do Sol com um único eixo fixo de inclinação.

Como pudemos perceber, os argumentos levantados por Galileu, seja na defesa do movimento de rotação da Terra, exposto no primeiro capítulo, seja na defesa do movimento de translação da Terra, exposto no segundo capítulo, e também na argumentação acerca das manchas solares, apontam para uma característica estrutural da nova física, a existência de processos inobserváveis²⁸ sendo o principal deles, o que é responsável por todos os fenômenos observados, o movimento da Terra. Assim, a partir de Galileu, a física começa a introduzir no seu escopo teórico processos e entidades inobserváveis para referir-se a fenômenos observados, afastando a física da nossa percepção ingênua e aproximando-a de uma ciência contra-intuitiva, no sentido de que o inobservado é aquilo que não consegue ser intuído pelos nossos sentidos, mas precisa ser imaginado e racionalizado. A isso, Feyerabend chamou de metafísica do movimento, pois a experiência agora passa a ser entendida a partir do que o autor chamou de ingredientes metafísicos (Feyerabend, 2011, p. 111). Segundo Finocchiaro:

“Esse problema [do uso de entidades inobserváveis na investigação científica] era ainda mais problemático porque a introdução de entidades que não são diretamente observadas tinha pouco precedente na história da ciência, então esse era um passo cheio de incertezas e requeria grande coragem intelectual” (Finocchiaro, 1997, p. 56)

A fala de Finocchiaro diz respeito ao fato de que no período que compreende o fim da Antiguidade e ao longo da Idade Média, era inconcebível a existência de processos inacessíveis ao homem, de maneira que a nossa percepção do mundo não admitia discrepância na relação observação e coisa observada. Por isso, Finocchiaro enfatiza a não precedência na história da ciência para essa nova conceituação de realidade baseada na existência de inobserváveis. Para

²⁸ Nos referimos, neste trabalho, especificamente a *processos* inobserváveis, dado que entidades inobserváveis, como o átomo, já haviam sido teorizadas desde a Grécia Antiga com Demócrito. Não entraremos na discussão acerca da aceitação do atomismo.

Feyerabend, essa mudança epistemológica causada pela introdução da noção de uma experiência mediada por inobserváveis pode ser considerada uma mudança de experiência, pois os conceitos não mais pertencem à nossa percepção de mundo, que Feyerabend chama de interpretações naturais, que estão associados de maneira direta às nossas sensações. Essa mudança de experiência faz com que a mesma deixe de ser o fundamento imutável do nosso conhecimento para tornar-se uma coisa “fluida” (Feyerabend, 2011, p. 107).

A partir dessa estrutura inobservada da realidade, responsável pelos fenômenos aparentes, Galileu buscou o que Feyerabend chama de nova espécie de fatos, de maneira que pudessem dar suporte à hipótese heliocêntrica. O primeiro suporte veio com o telescópio, que “alterou o *núcleo sensorial* da experiência e substituiu-a por fenômenos intrigantes e inexplicados” (Feyerabend, 2011, p. 161, grifo do autor). A utilização do telescópio nas observações celestes foi responsável pela introdução da perspectiva nas observações, que nos leva à noção de estado do observador e engano dos sentidos. O segundo suporte veio dos novos componentes conceituais da física, compostos pelo princípio de relatividade, composição de movimento e conservação de movimento, elaborados por Galileu com a utilização de experimentos mentais.

Esses dois elementos, a saber, a perspectiva e os experimentos mentais, compõem o que consideramos, neste trabalho, a contraintuição da nova física, dado que nossa intuição sensível, diretamente relacionada à nossa percepção ingênua, assume uma correspondência imediata do fenômeno com a realidade. Dado que a nova física, que nasce com Galileu, não tem como base primária do conhecimento a nossa percepção imediata do mundo, mas sim depende da observação sistemática dos fenômenos, acompanhado ou não de instrumentos, e da noção do estado do observador, consideramos esta nova física como sendo contra-intuitiva. Falaremos, agora, de cada um desses componentes contraintuitivos da nova física.

3.2 - Perspectiva e o engano dos sentidos

O desenvolvimento da perspectiva, palavra latina para “ver através de” (Panofsky, 1993, p. 19), revolucionou não só a arte renascentista, mas teve também grande impacto epistemológico na nova física. A perspectiva é uma técnica criada a partir da introdução de regras geométricas para a construção dos espaços pictóricos e essa técnica mudou a nossa percepção visual e a forma como nos relacionamos com o espaço. Segundo Edgerton (2009), a nossa observação cotidiana do mundo é feita em perspectiva, mas a aplicação das técnicas de perspectiva não é algo inato ao homem, pois a representação imagética em perspectiva exige do observador uma determinada postura epistemológica.

Segundo Gombrich, um fato incontestável da nossa experiência cotidiana é o fato de que não conseguimos, por exemplo, enxergar o que está depois de uma esquina. Nós vemos apenas uma parte dos objetos, sendo a outra parte imaginada (Gombrich, 1984, p. 201). Podemos perceber que, dessa maneira, a perspectiva introduz uma necessidade de racionalização do espaço a partir do momento que implica uma construção mental daquilo que não pode ser visto diretamente pelos olhos. Essa nova organização espacial que a perspectiva introduz nos leva ao entendimento do engano dos sentidos, como veremos melhor mais adiante.

Se a perspectiva implica numa construção mental dado que o que é observado não pode ser observado em seu todo, podemos entender que a perspectiva introduz uma quebra epistemológica em relação à correspondência direta entre “o que vejo” e “o que é”. Vimos no segundo capítulo a argumentação de Galileu sobre a questão da retrogradação dos planetas. O que vemos aqui da Terra, que é o planeta parecer andar para trás, nada mais é do que fruto do movimento relativo entre planetas. O que vemos a partir do nosso estado como observador não corresponde ao que de fato acontece na trajetória dos planetas, isto é, há um engano dos sentidos.

Além da quebra epistemológica na correspondência direta entre fenômeno observado e realidade, a perspectiva também contribuiu com a matematização e geometrização da natureza. Como falamos no segundo capítulo, a matematização foi um dos elementos essenciais que permitiu o afastamento da nossa percepção sensível, pois é com o uso da matemática que os fatos observados se tornam evidências a partir da interpretação matemática. A matemática permite o emprego de juízos rigorosos que a nossa linguagem comum, estruturada sobre os dados dos nossos sentidos, não conseguem. A linguagem comum, atrelada às incertezas da nossa percepção, que é limitada, permite enunciações com certa vaguidade enquanto os enunciados matemáticos permitem uma precisão ilimitada (Duhem, 2019, p. 187).

Segundo Moschetti (2006), a importância da matemática na compreensão da natureza evidencia-se na sua utilização para interpretar as imagens telescópicas em termos geométricos, de maneira que a transposição da linguagem empírica para a linguagem geométrica obedeça às leis da perspectiva. O que a perspectiva coloca em questão é, portanto, a confiabilidade do que vemos.

Segundo Arnheim, ver um objeto implica em determinar uma posição no todo para esse objeto, pois não o percebemos de maneira única ou isolada. Por isso, observar um objeto é também observar sua localização no espaço, sua escala de tamanho em relação aos outros objetos ao redor, sua distância e nitidez (Arnheim, 2005, p. 04). Isso evidencia não só a importância do estado do observador nas observações como também revela a importância da

interpretação daquilo que se vê, dado que da observação ingênua não se pode extrair conclusões imediatas.

Portanto, duas técnicas, introduzidas pelo desenvolvimento da perspectiva, se mostraram importantes para a mudança epistemológica das observações dos fenômenos. A primeira é baseada na geometria de Euclides, na qual linhas paralelas convergem em profundidade para um único ponto, dando origem ao ponto de fuga (PF) (Figura 17), e a segunda é baseada na teoria óptica de Ptolomeu, isto é, na propagação linear dos raios de luz. (Caldas, 2010).

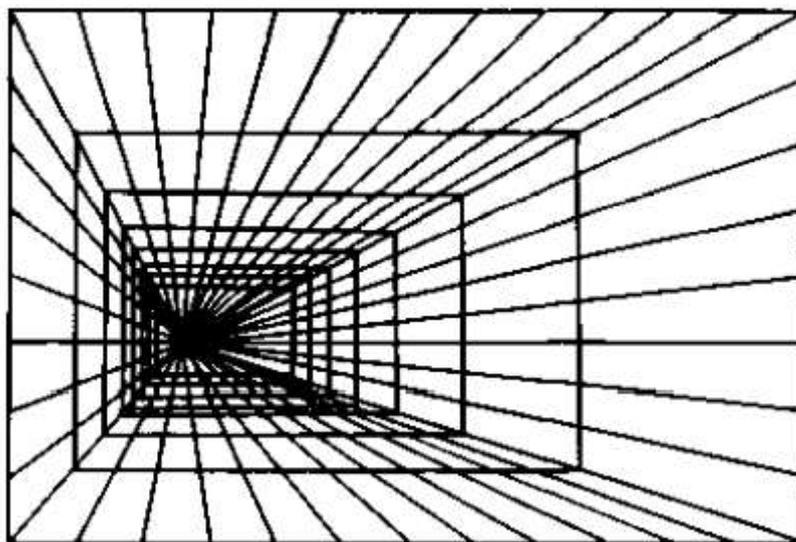


Figura 18, retirada de Arnheim, p. 279

O desenvolvimento do ponto de fuga, conforme mostra imagem acima, foi fundamental para fundamentar a noção de estado do observador, pois tal ponto determina a existência de uma distância entre observador e objeto observado. A perspectiva, através do desenvolvimento da técnica de ponto de fuga, gera a noção de distância entre seres humanos e as coisas. Essa distância ocorre tanto para situar o observador a quão distante está do objeto estudado como também para aproximar o observador de tal objeto. Segundo Dürer, “Primeiro temos o olhar que vê, em segundo lugar o objeto visto, em terceiro lugar a distância que há entre olhar e objeto” (Dürer *apud* Panofsky, 1993, p. 63).

Essa concepção de distância existente entre objeto e observador tira o observador de uma imersão no objeto observado, posicionando-o num lugar fora dele. Esse novo posicionamento do observador, agora a uma determinada distância do objeto, cria o que podemos chamar de um lugar de observação, que é único e singular, e o qual afeta aquilo que é observado (Caldas, 2010, p. 23).

“Com a constituição do ponto de vista na perspectiva linear, o observador deixou de estar imerso, mergulhado num mundo de que tinha sensações tácteis, visuais, auditivas, de corpos separados por espaço vazio, mas ganhou distância, privilegiou o olhar e organizou o espaço visual segundo uma geometria que homogeneizou os corpos e o antigo vazio num espaço estruturado.” (Caldas, 2010, p. 43)

Com a introdução do princípio de relatividade óptica de Copérnico, não só o lugar do qual se observa interfere na percepção do objeto observado, mas também o estado do observador, isto é, se em movimento ou em repouso. A noção de estado do observador foi fundamental para a argumentação da retrogradação dos planetas, assim como das manchas solares, dado sua interferência na observação. A figura abaixo mostra a projeção do mesmo objeto sendo observado em três posições diferentes.

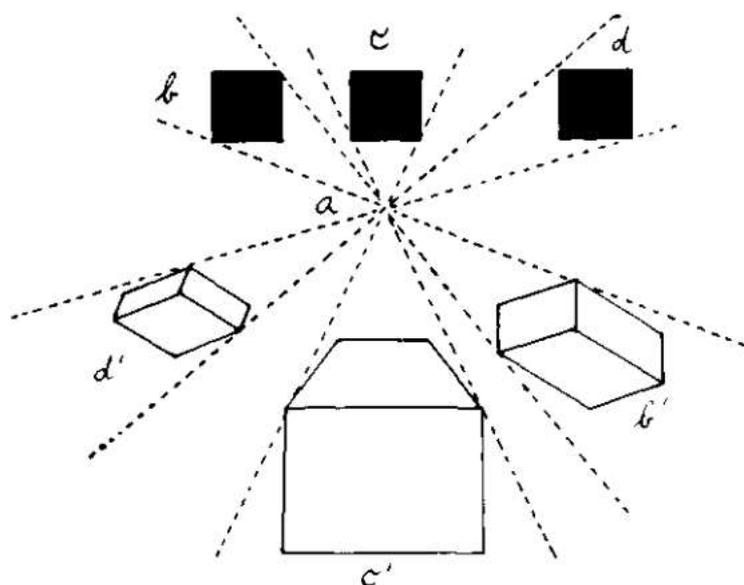


Figura 19, retirada de Arnheim, p. 98

Como podemos observar, os quadrados b, c e d correspondem aos objetos reais e em b', c' e d' estão suas projeções a partir do observador localizado no ponto a. Dessa forma, podemos perceber que se configura uma diferença considerável em olhar para um objeto e olhar para a imagem desse objeto. As imagens, de acordo com Gregory, são importantes por nos fornecerem visualmente coisas que podem estar ausentes, nos fornecendo perspectivas que não são possíveis no mundo real. Para o autor, as imagens fornecem estímulos imaginários e a habilidade humana de responder a esses estímulos imaginários, que estão ausentes nas imagens, representa um passo importante na elaboração desses pensamentos abstratos (Gregory, 1970, p. 32). Consideramos que essa elaboração imagética de abstrações corresponde a um aspecto importante para o desenvolvimento da ciência moderna.

“A habilidade de ler realidades não-ópticas das imagens ópticas nos olhos é o milagre da percepção visual. O que nós vemos vai muito além das evidências disponíveis pelo olho.

Quando lemos um tipo de realidade das imagens, nós estamos realizando um tipo memorável de resolução de problemas, que é apenas parcialmente similar em entender a realidade de objetos dados pelas imagens da nossa retina. Imagens não são objetos normais; mas elas são extraordinariamente interessantes de considerar como objetos especiais da percepção.” (Gregory, 1970, p. 33)

Segundo Gombrich, ao recebermos um estímulo visual, nós sempre registramos e agrupamos as impressões visuais, de maneira que um olhar imparcial é um mito. Para o autor:

“O ideal indutivista da pura observação provou ser uma miragem na ciência não menos do que na arte. A própria ideia de que deve ser possível observar sem expectativa, de que você pode fazer de sua mente um inocente vazio no qual a natureza registrará seus segredos, veio para um forte criticismo. Cada observação, como Karl Popper sublinhou, é o resultado de uma pergunta que fazemos à natureza, e cada pergunta implica uma tentativa de hipótese. Procuramos algo porque nossa hipótese nos faz esperar certos resultados.” (Gombrich, 1984, p. 258, tradução nossa).

Podemos, mais uma vez, perceber a situação descrita por Gombrich no caso das manchas solares. O jesuíta Scheiner, a partir da crença do cosmo aristotélico, olhou para as manchas solares como algo externo à superfície do Sol, de maneira que sua existência não invalidasse a sua crença na incorruptibilidade do céu. Scheiner não levou em consideração que a forma e o tamanho das manchas mudavam, pois, na verdade, Scheiner não concebeu tal realidade. Seu olhar parcial sobre o fenômeno era na tentativa de explicá-lo a partir da sua concepção de cosmo aristotélico. Já Galileu buscou nas manchas solares justamente uma prova observacional dessa corruptibilidade do céu, mostrando que as manchas solares eram contíguas à superfície solar.

A metodologia adotada por Galileu, de representar as manchas por projeções no papel, permitiu que essas representações tivessem uma certa independência da subjetividade da nossa percepção, visto que nós só conseguimos enxergar um objeto cujos raios de luz refletidos pelo mesmo, em linha reta, alcançam nossa retina. Para Shea:

“Foi o que Galileu chamou de perspectiva que lhe permitiu compreender o significado do fato de que as manchas [solares] eram mais finas perto da borda, que sua velocidade aumentava à medida que se aproximavam do centro e que o intervalo entre elas aumentava à medida que se afastavam do membro. Galileu insistiu que as proporções matemáticas fossem estudadas com cuidado.” (Shea, 1970, p. 507)

Assim, percebemos que nossa observação está dependente da nossa percepção de tamanho e forma ao olhar para a circunferência do Sol. Essa noção de que, estando numa mesma posição, a projeção de um objeto em lugares distintos traz deformações a esses objetos (conforme exemplificado na figura 18) foi o que permitiu a Galileu argumentar que a deformação das manchas solares (seu afinamento perto da borda do Sol) se dava pelo fato de que essa mancha se encontrava em posição diferente na superfície do Sol. Segundo Arnheim (2005), a deformação envolve uma mudança na estrutura espacial do objeto e “...sempre envolve uma comparação entre o que *é* e o que *deve ser*” (Arnheim, 2005, p. 248, grifo do

autor). Com isso, a partir da perspectiva, a forma de um objeto, assim como seu lugar no espaço ganham um novo olhar. A perspectiva não só mudou a relação entre a visão humana e o espaço, à medida que o espaço agora é retratado de maneira homogênea e existe independente da presença de objetos, mas também incentivou a elaboração de abstrações. É preciso interpretar e imaginar o que *deve ser* a partir da observação do que se *é*.

Com isso, podemos perceber que o estado do observador introduzido pela perspectiva na ciência consiste não apenas numa posição geográfica, isto é, numa localização do observador em determinado ponto espacial, mas também numa posição de subjetividade. Enquanto a posição geográfica pode ser determinada, medida e representada por representações geométricas em um plano, a posição subjetiva precisa ser aprendida, dado que compreende, primeiro, a consciência de que a posição geográfica assim como o estado do observador, se em repouso ou em movimento, afetam a percepção daquilo que é observado. O olhar em perspectiva é um olhar aprendido na qual treinamos a mente a entender as imagens e a, principalmente, imaginar o que está para além daquilo que é visto. Os estímulos visuais que chegam até nossos olhos são, então, interpretados a partir do que nós supomos, é o conhecimento que nos permite interpretar o que é visto. Segundo Gombrich, a psicologia chama a leitura de imagens de “percepção de material simbólica” (Gombrich, 1984, p. 161). Dessa forma, tanto as imagens em si quanto a imagem formada pela nossa retina são projeções planas de objetos.

Enquanto que na observação a olho nu, a perspectiva da visão, que parte de onde está o observador, é algo inerente, do qual não podemos nos desvencilhar, a consciência da sua ocorrência acontece com as demonstrações geométricas dos corpos celestes. A introdução feita por Galileu da perspectiva geométrica permitiu, então, que as observações fossem abordadas de forma quantitativa, atingindo sua expressão máxima com Descartes, como sendo relações entre distâncias e pontos e deixando de lado um tratamento qualitativo, referindo-se às formas e figuras. Dessa forma, vemos que o tratamento geométrico dos fenômenos objetiva o nosso olhar, amenizando a subjetividade perceptiva da visão e possibilitando estímulos imaginários que se mostraram necessários para as teorizações físicas da realidade. Podemos perceber que ocorre, aqui, uma cisão entre o que podemos chamar de mundo das aparências, que configura a realidade que chega a nós pelos sentidos, e o que seria o mundo verdadeiro, que é aquele que está subjacente às aparências e que conseguimos alcançar a partir de abstrações.

Se o que vemos não é o que é, dado que o que vemos depende da nossa posição em relação ao objeto de observação, da nossa distância em relação a esse objeto e depende do nosso estado em relação ao mesmo, então nossos sentidos, em relação a uma correspondência

direta, não podem ser confiados, configurando, portanto, o engano dos sentidos. Como vimos no primeiro capítulo, o problema da queda vertical está diretamente ligado a essa questão do engano dos sentidos. Para os peripatéticos, o fato de vermos a pedra cair verticalmente para baixo de cima da torre é uma prova da imobilidade da Terra. Para corrigir essa questão, foi necessário introduzir o princípio de relatividade do movimento, a partir da analogia do navio, um experimento mental, para mostrar que o nosso sentido da visão só percebe os movimentos dos quais não participamos, isto é, o vertical para baixo.

Assim, a perspectiva retira o caráter de correspondência direta das observações e mostra que nossas observações dos fenômenos estão diretamente relacionadas ao estado do observador, isto é, se em repouso ou movimento. Podemos perceber aqui a importância de o movimento ter perdido o caráter transitório que tinha com Aristóteles, como discutido no capítulo 1, e ter se tornado um estado assim como o repouso. É a partir da noção de que existem dois estados possíveis, o repouso e o movimento, e do entendimento que todo movimento é movimento relativo, que podemos entender o efeito perspectiva nas observações.

Segundo Panofsky (1993), o plano de projeção da perspectiva é um espaço imaginário. Dessa forma, a perspectiva não nos permite ver, necessariamente, a realidade como é, mas nos permite imaginar uma realidade que corresponde aos fatos observados. A perspectiva coloca a realidade, portanto, num espaço imaginário, onde fica evidente a necessidade de interpretação do que é observado. Esse espaço imaginário corresponde, na nova física, aos experimentos mentais que tem a função de corrigir os erros advindos da observação ingênua.

3.3 - Os experimentos mentais e as condições ideais da experiência

O segundo elemento contraintuitivo da nova física são os experimentos mentais. Segundo Brown e Yiftach (2022), os experimentos mentais são dispositivos da imaginação utilizados para investigar a realidade. Esse artifício epistemológico ganhou sua importância no desenvolvimento da nova física e permanece até hoje como um elemento importante no desenvolvimento das teorias físicas.

“O século XVII viu alguns dos mais brilhantes praticantes da experimentação do pensamento em Galileu, Descartes, Newton e Leibniz, todos perseguindo o projeto de ‘filosofia natural’. E em nosso próprio tempo, a criação da mecânica quântica e da relatividade é quase impensável sem o papel crucial desempenhado pelos experimentos mentais, a maioria dos quais se relaciona com questões filosóficas importantes que surgem dessas teorias científicas” (Brown; Yiftach, 2022, tradução nossa)²⁹.

²⁹ “The 17th century saw some of the most brilliant practitioners of thought experimentation in Galileo, Descartes, Newton, and Leibniz, all of whom pursued the project of “natural philosophy.” And in our own time, the creation of quantum mechanics and relativity are almost unthinkable without the crucial role played by thought experiments, most of which relate to important philosophical issues that arise from these scientific theories.”

Na nova física, os experimentos de pensamento ocupam um lugar importante tanto no desenvolvimento de teorias físicas como na interpretação dos fenômenos, pois se tornam um elemento chave para superar o engano dos sentidos. Dentre os experimentos de pensamento mais conhecidos na história da física, podemos citar, além da analogia do navio de Galileu, o experimento do balde de Newton, o experimento do elevador de Einstein, o gato de Schrödinger, o demônio de LaPlace, entre outros.

Ao longo do *Diálogo*, encontramos alguns experimentos mentais elaborados por Galileu. Na sua argumentação sobre a composição de movimento, por exemplo, Galileu propõe o seguinte experimento sob um plano inclinado:

“Salviati - (...) Por isso, digei-me: quando tivésseis uma superfície plana, polidíssima como um espelho e de matéria dura como o aço, e que não fosse paralela ao horizonte, mas um pouco inclinada, e sobre a qual se colocasse uma bola perfeitamente esférica e de matéria pesada e duríssima, como, por exemplo, de bronze, deixada em liberdade, o que acreditais que ela faria? Não acreditais (assim como eu) que ela ficasse parada?” (Galilei, 2004, p. 226-7)

Mais à frente, quando elabora o argumento da extrusão, Salviati propõe mais um exercício de pensamento a Simplicio, o de imaginar uma pedrinha encaixada na cavidade de uma cana, de onde será lançada.

“Salviati - Com qual movimento, portanto, se move ela?
Simplicio - Permiti que eu pense um pouco, porque nunca *imaginei* qual seria seu movimento.” (Galilei, 2004, p. 273, grifo nosso)

Neste trabalho, nos debruçamos sobre o experimento mental do navio, dado que este tem sido trabalhado e considerado, desde o primeiro capítulo, como o principal argumento a favor do movimento de rotação da Terra.

Primeiro, no entanto, se faz importante ressaltar o elemento retórico de persuasão presente na argumentação de Galileu. Segundo Finocchiaro, o uso de instrumentos de persuasão e argumentação tiveram um papel importante na racionalidade científica que se formou a partir da Revolução Científica (Finocchiaro, 1980, p. VII). Nos experimentos mentais propostos por Galileu, conseguimos não só perceber claramente a presença desses elementos retóricos de persuasão, como muitas vezes essa atitude é confessada pelo personagem Salviati, como na passagem a seguir:

“Salviati - Eu, sem experiência, estou certo de que o efeito seguir-se-á como vos digo, porque assim é necessário que se siga; e acrescento diferentemente, ainda que finjais, ou simuleis fingir não saber. *Mas eu sou tão bom domador de cérebros*, que farei que o confesseis com toda a força.” (Galilei, 2004, p. 226, grifo nosso)

A fala de Salviati se refere ao experimento do navio, o experimento mental considerado neste trabalho como mais importante do *Diálogo*, pois é o experimento que, no capítulo 1, resolve o problema que consideramos como decisivo para o problema da queda vertical, dado que ele reúne na sua formulação os três pilares da nova física desenvolvida por Galileu, a saber,

a conservação de movimento, a composição de movimento e o princípio de relatividade do movimento. Parte dessa confiança que Salviati demonstra ao longo de todo o *Diálogo*, como podemos perceber pela citação acima, se encontra no fato de que ele é o único personagem que domina os dois sistemas de mundo.

Essa postura de Salviati configura o que chamamos de argumento de conversão. O argumento de conversão evidencia uma assimetria, que Mariconda & Lacey (2001) chamam de “assimetria de conversão”, na qual todos os defensores de Copérnico foram, um dia, defensores de Aristóteles e Ptolomeu, mas nenhum defensor de Aristóteles e Ptolomeu foi, primeiramente, defensor de Copérnico. Essa assimetria, segundo os autores (2001), apresenta uma vantagem metodológica importante, pois Salviati demonstra conhecimento acerca do modelo ptolomaico e também do copernicano.

“Isto posto, são os copernicanos e não os defensores de Aristóteles e Ptolomeu que estão melhor colocados para fazer as avaliações comparativas da evidência e dos argumentos a favor e contra os dois lados. Segundo Galileu, os copernicanos mostram que os argumentos em favor de sua teoria são muito mais convincentes do que aqueles em favor de seus oponentes e que os argumentos contra seus oponentes são devastadores; mas o importante é que os defensores da teoria oposta não estão dispostos numa perspectiva metodológica apropriada para responder ao desafio.” (Mariconda & Lacey, 2001, p. 58)

Esse domínio traz credibilidade às falas de Salviati e faz com que ele consiga conduzir a argumentação a favor do sistema que defende, sabendo exatamente onde atacar o sistema ptolomaico e nunca ficando sem resposta em relação às contra-argumentações de Simplicio.

Outra característica importante dos experimentos mentais de Galileu é seu caráter narrativo, altamente descritivo, que permite, ao ouvinte Simplicio, ambientar-se na experiência proposta pelo pensamento. Este caráter descritivo traz, num primeiro olhar, um valor estético ao texto de Galileu, que muitas vezes se aproxima de um texto literário (a começar pela própria estrutura dialógica) que pode estar atrelado à uma intenção de popularizar, no sentido de alcançar leitores não científicos, e prender a atenção desses leitores, como podemos observar no trecho abaixo:

“Salviati - (...) Fechai-vos com algum amigo no maior compartimento existente sob a cobertura de algum grande navio, e fazei que aí existam moscas, borboletas e semelhantes animaizinhos voadores; seja também colocado aí um grande recipiente com água, contendo pequenos peixes; (...) e, estando em repouso o navio, observai diligentemente como aqueles animaizinhos voadores com igual velocidade vão para todas as partes do ambiente, ver-se-ão peixes os peixes nadar indiferentemente para todos os lados...” (Galilei, 2004, p. 268)

Mas, para além do valor estético, a ambientação da experiência elaborada por Galileu possui um objetivo retórico importante, a saber, a elaboração das condições da experiência, que aproximam as condições do experimento das condições ideais, a saber, as condições geométricas de aplicação. Os experimentos de pensamento acontecem na imaginação, onde as condições ideais podem funcionar, isto é, onde é possível eliminar a resistência do ar, o balanço

do navio, considerando-o em movimento retilíneo uniforme. Essa distância entre realidade e imaginação foi apontada por Simplicio em *Duas Novas Ciências*, na discussão do movimento parabólico dos projéteis. Segundo o peripatético:

“Simplicio - (...) Além disso, penso que é impossível suprimir a resistência do meio, de modo que não se altere a uniformidade do movimento transversal e a lei da aceleração na queda livre. Todas essas dificuldades tornam assim sumamente improvável que os resultados demonstrados com proposições tão frágeis possam ser verificados por meio de experimentos realizados na prática.” (Galileu, 1988, p. 251)

Em resposta, Salviati concorda que as condições idealizadas que ocorrem nos experimentos mentais não ocorrem na realidade empírica, isto é, existe resistência do ar ao soltar a pedra de cima do mastro do navio, o navio balança quando está no mar. É necessário, portanto, ao fazer a correspondência com a realidade, aplicar correções.

“Salviati - (...) para poder tratar cientificamente esta matéria, é necessário abstrair essas propriedades e, após ter encontrado e demonstrado as conclusões que prescindem das resistências, completá-las, no momento de aplicá-las concretamente, com aquelas limitações que a experiência nos ensina.” (Galileu, 1988, p. 253)

As abstrações elaboradas nos experimentos mentais são importantes, segundo Galileu, para conseguir aproximar a experiência das demonstrações matemáticas, onde é possível ter um maior controle da natureza. Dessa forma, a realidade não é mais explicada por um empirismo ingênuo. A elaboração de experimentos mentais no texto de Galileu, que exigem o uso da imaginação, e que veio a se consolidar epistemologicamente como imaginação científica, é, segundo Feyerabend, um aspecto epistemológico importante.

Uma terceira característica importante dos experimentos mentais de Galileu são as analogias, como podemos observar no trecho abaixo, referente à experiência da pedra solta de cima do mastro do navio.

“Simplicio - Então, não fizestes cem provas e nem mesmo uma, e afirmais tão fracamente que ela é certa? Retorno à minha incredulidade e à mesma certeza que a experiência tenha sido feita pelos principais autores que dela se servem, e que ela mostre o que eles afirmam.

Salviati - Eu, sem experiência, estou certo de que o efeito seguir-se-á como vos digo, porque assim é necessário que se siga...” (Galileu, 2004, p. 226)

Como argumentado no capítulo 1, os aristotélicos acreditavam que, se a Terra estivesse em movimento, a pedra ficaria para trás. Kuhn (1977, p. 252) comenta sobre um aspecto relativo à eficácia de um experimento de pensamento que é a sua familiaridade, isto é, que o experimento tenha elementos conhecidos de experiências anteriores para que aqueles que vão analisá-lo se sintam capazes de fazê-lo.

Como vimos, o experimento do navio foi apresentado, primeiramente, por Simplicio como um argumento a favor da imobilidade da Terra. Para o peripatético, se uma pedra fosse solta do alto do mastro de um navio em movimento, a pedra ficaria para trás. Nesse primeiro

momento, a contra-argumentação de Galileu consiste em ressaltar o aspecto negativo da analogia. No entanto, Galileu, posteriormente, retoma o experimento mental do navio, utilizando-se, portanto, dessa familiaridade dita por Kuhn (1977, p. 252), introduzindo, no entanto, os elementos da nova física necessários para entender o movimento da pedra solta do alto do mastro, a saber, o princípio de relatividade mecânica, a composição de movimentos e a conservação de movimentos.

Para Kuhn, a função do experimento de pensamento não é produzir um conhecimento acerca da natureza, mas sim aprimorar o aparato conceitual do cientista, eliminando supostas confusões e assistindo no reconhecimento de contradições inerentes (Kuhn, 1977, p. 242). Os experimentos de pensamento exercem, portanto, a função de corrigir o engano dos sentidos. Como podemos perceber ao longo da argumentação de Galileu, seus experimentos de pensamento carregam justamente essa função de eliminar as confusões de Simplicio sobre a física por trás dos fenômenos comentados. Em relação ao experimento do navio, o grande conflito está em, por um lado, vermos a pedra cair rente ao mastro do navio e, por outro, conseguir explicar o porquê vemos a pedra cair de maneira retilínea se o seu movimento não é, de fato, retilíneo. Segundo Simplicio, “(...) os sentidos e a experiência são nossos guias no filosofar...” (Galilei, 2004, p. 330). Portanto, ao ser questionado por Salviati sobre o efeito que acontece em si, Simplicio, que o faz perceber o movimento retilíneo da pedra, o peripatético responde:

“Simplicio - Compreendo a sua descida em relação à torre, porque ora a vejo próxima a um certo lugar dessa torre, depois a um mais abaixo, e assim sucessivamente, até que a percebo chegar ao solo.” (Galilei, 2004, p. 331)

Salviati percebe, então, que aquilo que guia a percepção do movimento retilíneo da pedra é o movimento do órgão da visão, o olho, que ora está voltado para cima e, ao final do movimento, está voltado para o chão do navio. Vimos que a introdução da perspectiva no tratamento dos fenômenos físicos leva à elucidação de que os sentidos nos enganam, por isso, a nossa percepção ingênua não é eficaz em nos fornecer um conhecimento seguro acerca do mundo. O experimento mental desenvolvido por Galileu na analogia do navio evidencia a insuficiência do empirismo ingênuo da tradição. Salviati propõe, então, que Simplicio se imagine em um navio em movimento e, com o olhar fixado na ponta do mastro, Salviati pergunta se seria necessário mover o olho para que o mesmo permanecesse observando a ponta do mastro. A resposta negativa de Simplicio, isto é, que não é necessário mover o olho para que a visão permaneça fixada na ponta do mastro é o necessário para Salviati introduzir a razão

não só pela qual nossos sentidos nos enganam, mas por que observamos o mesmo fenômeno, estando o navio parado ou em movimento. Segundo Salviati:

“Salviati - E isso acontece porque o movimento que o navio confere ao mastro confere-o também a vós e a vosso olho, de modo que não vos convém movê-lo para olhar a ponta do mastro; e, conseqüentemente, ela aparece-vos imóvel. (...) Transferi agora este argumento para a rotação da Terra e a pedra colocada no alto da torre, na qual não podeis discernir o movimento, porque tendes em comum com a Terra aquele movimento que é necessário para segui-la, nem é necessário mover o olho; quando depois lhe advém o movimento para baixo, que é particular dela, e não vosso, e que se mistura com o circular, a parte do circular que é comum à pedra e ao olho continua a ser imperceptível, e somente se faz sensível o movimento reto, porque, para segui-la, deveis mover o olho abaixando-o.” (Galilei, 2004, p. 332)

Os sentidos nos enganam, dentre muitos aspectos relacionados à limitações fisiológicas, porque são capazes de perceber apenas movimentos não participados. Assim como o olho e o mastro do navio possuem o mesmo movimento e, por isso, não é necessário mover o olho para observar a ponta do mastro, uma pedra solta dessa ponta do mastro também possui o movimento do navio. Dessa forma, vemos apenas o movimento do qual não participamos, que é o retilíneo.

A conceituação de composição do movimento, que transforma a trajetória retilínea observada da pedra em uma trajetória oblíqua não percebida pelos nossos sentidos, evidencia o caráter contraintuitivo da nova física. A trajetória oblíqua é uma abstração, uma racionalização matemática, que explica o fenômeno, mas essa explicação não pode ser vista, mostrando que as formulações teóricas e conceituais são indispensáveis para interpretação e atribuição de sentido da experiência. Isto é, não é suficiente constatar ostensivamente um fato, mas sim analisar de maneira conceitual os aspectos envolvidos nos fatos observados (Mariconda, 2004, p. 651, nota 77).

O aspecto imaginativo dos experimentos mentais com a elaboração de condições ideais da experiência, retira parcialmente, segundo Feyerabend, a teoria do plano observacional, dado que se refere a uma realidade que não está acessível à nossa percepção, e, por isso, só pode ser concebida pela razão.

Além disso, há também uma função didática ao propor a Simplicio os experimentos de pensamento, pois, dessa forma, Galileu proporciona ao peripatético a experiência de interpretar os fenômenos junto com o personagem Salviati. Os experimentos de pensamento de Galileu funcionam como um exercício epistemológico, uma introdução a uma nova maneira de olhar e pensar a realidade, a partir de uma racionalidade crítica. Feyerabend chama esse movimento

de pensar e introduzir hipóteses que vão contra teorias e fatos bem estabelecidos de um comportamento contraindutivo³⁰ (Feyerabend, 2011, p. 43).

A primeira questão do empirismo ingênuo, como apontamos anteriormente, é assumir que a realidade é exatamente como a percebemos. Feyerabend comenta que ao sustentarmos essa posição, assumimos pressupostos como o de que o meio material entre o objeto e nós não influencia ou deturpa o fenômeno observado e que a entidade física que nos permite observar o fenômeno, a luz, transmite uma imagem verdadeira (Feyerabend, 2011, p. 45). No entanto, é sabido que em algumas situações nossos sentidos não podem ser confiáveis, como, por exemplo, na determinação de um objeto em um ambiente de iluminação precária. A introdução da perspectiva na arte e na física mostra que nossos sentidos nos enganam, por isso, a confiabilidade dos sentidos foi um argumento de fundamental importância na defesa do movimento de translação da Terra, quando a introdução do telescópio evidenciou a limitação da visão humana.

“Salviati - Essas coisas não podem ser compreendidas senão pelo sentido da visão, o qual não foi pela natureza atribuído aos homens de modo tão perfeito, que se possa chegar a discernir tais diferenças; pelo contrário, o próprio instrumento da visão produz por si mesmo um impedimento...” (Galilei, 2004, p. 420)

Como falamos anteriormente, a perspectiva mostra que não só os nossos sentidos nos enganam como também coloca em evidência a influência do estado do observador nas suas observações. Então, além dos limites fisiológicos dos sentidos, há também um componente subjetivo que não possui, segundo Feyerabend, um correlato objetivo. Esse subjetivismo pode introduzir na teoria sensações não analisadas, dado que muitas vezes não conseguimos discernir o sujeito que percebe do que é percebido. A introdução da noção de distância na perspectiva, por exemplo, foi fundamental para o discernimento entre sujeito que percebe e o objeto percebido.

O que Galileu e Copérnico mostram é que a observação precisa ser acompanhada de pressupostos que não são dependentes dos sentidos, isto é, pressupostos externos aos sentidos. Temos, por exemplo, em Copérnico, o pressuposto epistemológico que regula a aparência do movimento, que é o princípio de relatividade óptica. Então, a partir do entendimento de que o estado do observador afeta a percepção de movimento, os fenômenos como retrogradação dos planetas e alternância de brilho dos planetas deixam de ser entendidos como uma

³⁰ O termo contraindutivo de Feyerabend não tem exatamente o mesmo uso que o termo contraintuitivo usado neste trabalho. Ambos os conceitos estão envolvidos com a observação, mas o contraindutivo de Feyerabend diz respeito às inferências indutivas, nas quais se faz uma generalização antes de fazer a indução, sendo, portanto, a generalização que leva à indução. Já o termo contraintuitivo diz respeito à não confiabilidade ingênua das nossas intuições sensíveis.

correspondência direta do comportamento do planeta e passam a ser interpretados a partir do pressuposto em questão.

O engano dos sentidos também foi analisado no problema da queda vertical, onde observamos a pedra cair de maneira retilínea no mastro do navio, sendo que sua trajetória não é, de fato, retilínea. A explicação de porque nossos sentidos nos enganam, neste caso, é dada pela conceituação da conservação de movimento, composição de movimento e o princípio de relatividade do movimento. Esses três pilares conceituais formam os pressupostos epistemológicos nos quais todo fenômeno na realidade terrestre será interpretado a partir de então. Esses pressupostos externos aos nossos sentidos são alcançados a partir da razão crítica e da imaginação.

“Temos de inventar um novo sistema conceitual que suspenda os resultados de observação mais cuidadosamente estabelecidos ou entre em conflito com eles, conteste os princípios teóricos mais plausíveis e introduza percepções que não possam fazer parte do mundo perceptual existente.” (Feyerabend, 2011, p. 46)

A suspensão de uma teorização da realidade pautada na observação advinda da percepção ingênua é justamente um componente chave defendido por Galileu ao longo do *Diálogo*. É possível perceber a argumentação do italiano sobre a importância da predominância da razão aos sentidos em passagens como:

“Salviati - (...) que me deixam admirado de como Aristarco e Copérnico, que não pode ser que não as tenha observado, não tendo depois podido resolvê-las, e em todo caso depois de outras confrontações surpreendentes, tenham confiado tanto naquilo que lhes ditava a razão, que com confiança tenham afirmado que a estrutura do universo não podia ter outra forma que aquela que lhes atribuíam.” (Galilei, 2004, p. 420)

O trecho acima refere-se à questão da ordem planetária referente ao modelo ptolomaico, falada anteriormente, na qual à medida que aumenta o raio de distância da Terra, mais lento é o tempo de revolução do planeta em torno da mesma. No entanto, a esfera das estrelas fixas, que é a última esfera, completa uma revolução em 24 horas. A solução desse problema está na aceitação do movimento de rotação da Terra que transforma o dia e a noite num fenômeno planetário, não mais um fenômeno universal. Dessa forma, não é a esfera das estrelas fixas que gira em torno da Terra e dos outros planetas, mas sim a Terra que gira em torno do próprio eixo, fazendo com que parte da sua superfície esteja ora voltada para o Sol, ora não.

No entanto, na época de Copérnico e Aristarco, o modelo predominante era o geocêntrico, que contava com uma física que lhe dava suporte e, mesmo assim, os dois astrônomos foram capazes de confiar na razão em detrimento do que os sentidos mostravam nas observações a olho nu. Para Feyerabend, essa atitude de agir a partir do domínio da razão em detrimento dos sentidos é que configura o agir contrainutivo. A experiência passa a

exercer um papel de confronto das concepções científicas, mas não mais ocupa um lugar de correspondência direta de onde advém as conceituações físicas. Para o filósofo austríaco:

“Hoje, depois que o êxito da ciência moderna levou à crença de que a relação entre o homem e o universo não é tão simples como pressupunha o realismo ingênuo, podemos dizer que essa foi uma conjectura correta, que o observador está, de fato, separado das leis do mundo pelas condições físicas especiais de sua plataforma de observação, a Terra em movimento (...), pelas idiossincrasias de seu instrumento básico de observação, o olho humano (...), bem como por concepções mais antigas que invadiram a linguagem observacional e fizeram-na falar a linguagem do realismo ingênuo.” (Feyerabend, 2011, p. 149-50)

Essa noção de que há uma separação entre observador e as leis da natureza, que permite o agir contraintuitivo, é o que configura um novo sistema conceitual na física. A partir da introdução dos processos inobserváveis, a realidade passa a ser imaginada e os fenômenos interpretados. Essa interpretação, segundo Duhem (2019), é o que permite substituir os fatos concretos por representações abstratas e simbólicas, que dominam as teorias físicas desde então.

Ao conceituar o movimento como um estado, assim como o repouso, e, a partir do princípio de relatividade, conceber que é possível e plausível a existência de movimentos que não sejam percebidos, pois o movimento percebido é aquele não participado, Galileu separa as leis do mundo da nossa “plataforma de observação”, como diz Feyerabend na citação acima.

A nova metodologia observacional introduzida por Galileu com o uso de instrumentos ópticos, evidencia os limites fisiológicos dos nossos sentidos e permitiu uma nova abordagem dos fenômenos, com o uso da perspectiva e da geometrização e matematização, quando transformou, por exemplo, o problema de brilho dos planetas em um problema de diâmetro. Ou quando mostrou geometricamente que, independentemente da percepção visual, as manchas solares eram contíguas à superfície do sol. Dessa forma, como dito por Feyerabend, com a introdução de uma nova linguagem, a matemática e geométrica, a nova física consegue falar dos fenômenos de maneira mais objetiva e precisa, coisa que a linguagem comum, imersa numa subjetividade perceptiva, não consegue.

O que podemos perceber ao longo da argumentação exposta, é que, desta forma, o aspecto contraintuitivo da física gera um afastamento dessa nova física da nossa realidade sensorial, da nossa percepção ingênua. Esse afastamento das nossas percepções e do nosso subjetivismo aproxima a nova física de uma realidade imaginada, onde as situações da experiência são elaboradas de maneira ideal, utilizando-se de abstrações matemáticas, e onde a aparência dos fenômenos da nossa realidade sensorial são interpretados e racionalizados, de maneira que possam ser explicados a partir de abstrações matemáticas. Esse tipo de tratamento dos fenômenos, introduzido por Galileu na defesa do heliocentrismo, traz consigo uma

vantagem metodológica de maior controle da natureza e predição de fenômenos, que se tornou, na física clássica com Newton e o desenvolvimento da mecânica newtoniana, um de seus principais expoentes.

CONCLUSÃO

Vimos que a defesa do modelo heliocêntrico e, conseqüentemente, do movimento de rotação e translação da Terra foi decisivo para o desenvolvimento de uma nova física, física essa que procuramos demonstrar ao longo da argumentação ser contraintuitiva devido à importância do uso da imaginação, ocorrendo através do desenvolvimento da perspectiva e experimentos mentais. Esses dois elementos do caráter contraintuitivo da nova física só foram possíveis com a elaboração e a partir da aceitação do modelo heliocêntrico.

No modelo geocêntrico, que estava fundamentado na física de Aristóteles e era representado por Ptolomeu através do uso de epiciclos e deferentes, os fenômenos observados correspondiam à realidade dos mesmos. Assim, se observamos uma pedra cair de maneira retilínea do alto de uma torre, tal fenômeno acontece porque a Terra está parada e a pedra assim o faz. A trajetória observada corresponde à trajetória real. Esse tipo de olhar para realidade está assentado no que Galileu chamou de empirismo ingênuo, na qual nossos sentidos são “juízes infalíveis” (Mariconda, 2004, p. 721, nota 193) da realidade que nos cerca.

Colocar a Terra em movimento numa concepção de realidade pautada no realismo ingênuo trazia sérios problemas, pois, se o motivo da pedra cair de maneira retilínea à torre é porque a Terra está parada, com a Terra em movimento, a pedra deveria ficar para trás e, no entanto, não é isso que observamos. Para resolver tal problema, que culminou no problema do engano dos sentidos, isto é, de que o que vemos deve corresponder ao que é, caso contrário, nossos sentidos estariam nos enganando, Galileu precisou delimitar uma distinção entre qualidades primárias e secundárias, onde a segunda assume um caráter subjetivo. O papel fundamental que Galileu atribui à razão para compreender a realidade, através do uso da linguagem matemática, permitiu não só a autonomia da ciência como também a independência da realidade em relação aos nossos sentidos. O mundo físico está para além do que podemos perceber imediatamente dele. Assim, o mundo físico passa a funcionar a partir de processos inobserváveis e, por conta disso, a realidade passa a ser imaginada e os fenômenos precisam ser interpretados.

Vimos que o que os três pilares da nova física desenvolvidos por Galileu na defesa do movimento de rotação da Terra, a saber, a composição de movimento, a conservação de movimento e o princípio de relatividade do movimento (Clavelin, 1974), fizeram foi fundamentar epistemologicamente essa realidade não observada. A nova física passa a trabalhar com o conceito de aparência, que se refere ao fenômeno observado, que aparece aos nossos sentidos, mas que não tem mais uma correspondência direta com o fenômeno real. A

realidade do fenômeno se encontra numa realidade subjacente que não é acessível aos nossos sentidos. Como pudemos acompanhar na argumentação de Galileu sobre a queda vertical da pedra solta do alto do mastro do navio, a aparência do movimento com a Terra em repouso ou em movimento permanece a mesma, mas a trajetória real da pedra não é a que percebemos com nossos sentidos, a trajetória real só pode ser alcançada e visualizada na imaginação.

Assim, os pilares conceituais da nova física não só dão conta de explicar o fenômeno como também explicam o porquê independente da Terra ser dotada ou não de movimento, a experiência visual é a mesma. O princípio de relatividade do movimento mostra que nós só podemos perceber movimentos dos quais não participamos e, por isso, o único movimento que vemos na pedra é o de queda vertical.

No entanto, essa fundamentação da nova física não foi um processo fácil. Ao longo do *Diálogo*, acompanhamos Galileu superar muitos obstáculos na implementação da nova física. O primeiro obstáculo a ser vencido por Galileu, tanto na defesa do movimento de rotação quanto no de translação, foi a autoridade de Aristóteles e, no caso do movimento de translação, autoridade também das Sagradas Escrituras. A defesa que Galileu fez do uso de uma atitude crítica diante do conhecimento, em relação à autoridade de Aristóteles, e da autonomia da ciência, em relação à autoridade das Sagradas Escrituras, foi de fundamental importância para demarcação do conhecimento científico em relação à teologia e para o desenvolvimento do primeiro. Como vimos, segundo Mariconda (2004), a autonomia da ciência defendida por Galileu comporta dois componentes importantes, que são a defesa da liberdade científica, sustentada na autossuficiência do método científico, e a universalidade da razão científica (Mariconda, 2004, p. 32). Esses dois componentes permitiram que a física tivesse liberdade de desenvolver uma linguagem própria, a matemática e geométrica, que, por sua vez, permitiram a introdução de um dos elementos contraintuitivos na nova física, a saber, a perspectiva.

Foi a introdução desses elementos contraintuitivos que permitiu Galileu superar os outros obstáculos em relação aos movimentos da Terra, a saber, a física vigente na sua época e as anomalias planetárias.

No primeiro capítulo, acompanhamos todo o desenvolvimento da argumentação de Galileu sobre o problema da queda vertical e sua resolução com a analogia do navio. Num primeiro momento, a argumentação peripatética culmina numa petição de princípio, pois para observar a pedra cair rasante à torre seria uma prova de que a Terra estava parada. No entanto, a explicação para a pedra cair rasante à torre depende da crença de que a Terra está parada. Após a reformulação de Galileu, o problema fica evidente: numa Terra em movimento, para a

pedra cair rasando a torre a mesma deveria ter dois movimentos, o vertical para baixo, em direção ao centro, e o circular em torno do centro e isso, na física aristotélica, não era possível.

A solução para o problema de rotação da Terra se encontra, então, nos três pilares da nova física desenvolvidos por Galileu. O movimento real da pedra é um movimento parabólico, dado que a mesma possui um movimento composto, o movimento vertical para baixo e o movimento em torno do centro, esse segundo devido à conservação de movimento. O motivo de só observarmos o movimento vertical para baixo é porque, de acordo com o princípio de relatividade do movimento, nós só percebemos os movimentos não participados e o movimento em torno do centro é partilhado por todos os corpos da superfície terrestre. Assim, podemos perceber que a argumentação levantada no primeiro capítulo foi importante para a introdução e aceitação de processos inobserváveis que fundamentam a realidade da nova física.

No segundo capítulo, acompanhamos a argumentação de Galileu acerca do movimento de translação da Terra. Vimos que o copernicanismo oferece um sistema de representação e explicação do fenômeno de retrogradação dos planetas, ao invés do ptolomaico que representa o movimento dos planetas de maneira independente um do outro. A retrogradação, a partir de uma Terra em movimento, passa a ser uma consequência do movimento relativo entre os planetas, que giram todos em torno do Sol, no centro, cada um com velocidade própria. Vimos que a introdução do telescópio nas observações planetárias transformou o que antes era um problema de brilho dos planetas em um problema de diâmetro. A observação mediada por aparelhos, foi importante para confirmação de que nossos sentidos são limitados e que os fenômenos devem ser interpretados, além da introdução da perspectiva no tratamento dos fenômenos.

Assim, a nova física que emerge de uma realidade que não pode ser acessada de maneira direta pelos nossos sentidos precisa de novos elementos que ajudem a construí-la. São esses elementos, que chamamos de contraintuitivos, pois não são intuídos pela nossa percepção, que buscamos elaborar no terceiro capítulo. Esses elementos, buscamos mostrar, estão presentes ao longo da argumentação de Galileu que foi exposta tanto no primeiro quanto no segundo capítulo. A introdução da perspectiva foi de importância fundamental para a defesa do movimento de translação da Terra e da contiguidade das manchas solares, exposta no terceiro capítulo, e os experimentos mentais foram de fundamental importância para a defesa de movimento de rotação da Terra na argumentação da analogia do navio.

A perspectiva introduz na nova física um posicionamento epistemológico importante que é o estado do observador. O vemos não só depende da nossa posição geográfica referente ao objeto observado como também do nosso estado, se em repouso ou movimento. Vimos que

a perspectiva, e as diversas imagens que podemos obter de um mesmo objeto, dependendo do nosso estado em relação a eles, evidencia o engano dos sentidos. A realidade não pode ser uma fonte imediata do conhecimento. Na perspectiva, os pontos não possuem conteúdo, são simplesmente expressão de relações ideais. A homogeneidade do espaço, segundo Panofsky, “implica unicamente semelhança de estrutura”. Segundo o autor, o espaço criado pela perspectiva é um espaço criado pela representação (Panofsky, 1993, p. 33). Aquilo que percebemos do mundo precisa ser interpretado, racionalizado. A perspectiva traz, segundo Arnheim (2005), a noção de distinção entre o que *é* e o que *parece ser*. Por isso, os experimentos mentais têm a função de corrigir o engano dos sentidos.

A narrativa de Galileu ao longo do *Diálogo*, tem uma função retórica importante que é a de ambientação, cria uma realidade de condições ideais onde os fenômenos acontecem. Os experimentos mentais, como vimos, operam numa realidade onde esferas são perfeitamente polidas, planos não possuem atritos. A física começa a operar numa realidade ideal, com cenários ideais. Por isso a imaginação se torna um elemento tão importante na nova física, pois passamos a criar a realidade em que vivemos. O real passa a ser concebido pelo que Einstein chamou de “pensamento puro”, onde a realidade só é possível na imaginação. Para o físico alemão, esse aspecto imaginativo das teorias físicas é denominado “invenções do espírito humano”, pois não podem ser explicados ou justificados a priori ou reduzidos a uma lógica estrita (Einstein, 2011).

“A natureza deve ser ordenada e dotada de unidade, mas não se espera que essa imagem do mundo seja passivamente descoberta nem tampouco sensivelmente observada. Cabe à razão concebê-la, de modo ativo. (...) As teorias, tal como grandes construções, não se limitam a refletir a realidade como espelhos. Antes, o que nos exige outras metáforas, elas projetam a realidade sob uma tela branca, elas representam o real, tal como a criação dos pintores.” (Da Silva, 2021, p. 16)

Portanto, ao longo deste trabalho pudemos perceber que os elementos contraintuitivos perspectiva e experimentos mentais foram fundamentais na argumentação de Galileu na defesa dos movimentos da Terra. A nova física que se forma a partir desse novo modelo astronômico não poderia sustentar-se sem a elaboração de uma realidade subjacente, que não estivesse acessível à nossa percepção imediata. O que defendemos é que sem a elaboração de uma realidade ideal, que só existe na imaginação, os conceitos básicos do que posteriormente ficaria conhecido como mecânica clássica como o de conservação de movimento, que posteriormente é desenvolvido para o conceito de inércia, o de composição de movimento e o do princípio de relatividade do movimento, não poderiam ser desenvolvidos.

Foi a partir da noção de que o olhar sobre a realidade é um olhar em perspectiva, e que devemos sempre interpretar esse olhar, ver para além do que está diante dos nossos olhos, e

que para isso é necessário construir, na imaginação, essa realidade que está para além dos nossos sentidos que a nova física se estrutura como uma ciência de caráter contraintuitivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNHEIM, R. *Arte e percepção visual: uma psicologia da visão criadora*. Tradução de Ivone Terezinha de Faria. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.
- BROWN, H. I. Galileo on the telescope and the eye. *Journal of the History of Ideas*, 46, p. 487-501, 1985.
- BROWN, J. R.; YIFTACH, F. Thought Experiments. In: The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Edição de Edward N. Zalta, 2022. Disponível em: <<https://plato.stanford.edu/archives/spr2022/entries/thought-experiment/>>. Acessado em 08/09/2022.
- CALDAS, P. *Perspectiva e Conhecimento*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Lisboa, 2010.
- CLAVELIN, M. Galileo et le refus de l'équivalence des hypothèses. In: V.V.A.A. *Galilée. Aspects de sa vie et son œuvre*. Paris: PUF, 1968. p.127-52.
- _____. *The natural philosophy of Galileo*. Massachusetts: MIT Press, 1974
- _____. A revolução galileana: revolução metodológica ou teórica. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 9, p. 35-44, 1986.
- COHEN, I. B. *The birth of a new physics*. England: Penguin Books, 1992.
- COPÉRNICO, N. *As revoluções dos orbes celestes*. 3ª edição. Tradução A. Dias Gomes e G. Domingues. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2014.
- DA SILVA, Vinícius Carvalho. Introdução. In: SIMÕES, E. *A concepção física do mundo: como os seres humanos criam o universo em que vivem*. São Paulo: Livraria da Física, 2021.
- DESCARTES, R. A dióptrica. In: MARICONDA, P. R. (Org). *Discurso do Método & Ensaios*. São Paulo: Editora Unesp, 2018. p. 125-238.
- DRAKE, S. The case against “circular inertia”. In: *Galileo studies: personality, tradition and revolution*. University of Michigan, 1970. p. 257-77.
- _____. The tower argument in the Dialogue. *Annals of Science*, 45, p. 295-302, 1988.
- DUHEM, P. *A teoria física: seu objeto e sua estrutura*. Tradução R. S. da Costa. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2014.
- _____. *Ensaios de Filosofia da Ciência*. Tradução, introdução e notas F. R. Leite. São Paulo: Scientiae Studia, 2019.
- _____. Salvar os fenômenos: ensaio sobre a noção de teoria física de Platão a Galileo. *Caderno de História e Filosofia da Ciência*, suplemento 3, p. 57-61, 1984.

- EDGERTON, S. Y. *The mirror, the window and the telescope: how Renaissance linear perspective changed our vision of the universe*. New York: Cornell University, 2009.
- EINSTEIN, A. *Como vejo o mundo*. Tradução H. P. de Andrade. Edição Especial. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2011.
- FEYERABEND, P. *Contra o método*. Tradução C. A. Mortari. São Paulo: Editora UNESP, 2011.
- FINOCCHIARO, M. *Galileo and the art of reasoning: rhetorical foundations of logic and scientific method*. Dordrecht, Holland; Boston, USA; London, England: D. Riedel Publishing Company, 1980.
- _____. *Galileo on the world systems*. Berkeley/Los Angeles/London: University of California Press, 1997.
- GALILEI, G. Galileu Galilei: Carta a Cristina de Lorena. Tradução e introdução C. A. R. do Nascimento. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 5, 1, p. 91-123, 1983 [1613].
- _____. A mensagem das estrelas. Tradução, introdução e notas C. Z. Camenietzki. Rio de Janeiro: Museu de Astronomia e Ciências Afins, 1987 [1610].
- _____. *Duas Novas Ciências*. Tradução e nota L. Mariconda e P. R. Mariconda. Rio de Janeiro: Museu de Astronomia e Ciência Afins; São Paulo: Nova Stella, 1988.
- _____. Carta de Galileu Galilei a Fortunio Liceti em Pádua. Tradução P. R. Mariconda. *Scientiae Studia*, 1, 1, p. 75-80, 2003.
- _____. *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo Ptolomaico e Copernicano*. Tradução, introdução e notas de P. R. Mariconda. São Paulo: Discurso Editorial; Imprensa Oficial, 2004.
- _____. Carta de Galileu Galilei a Francesco Ingoli. Tradução P. R. Mariconda. *Scientiae Studia*, 3, 3, p. 477-516, 2005.
- GREGORY, R. L. *The intelligent eye*. London: Weidenfeld & Nicolson, 1970.
- GOMBRICH, E. *Art and Illusion: a study in the pictorial representation*. London: Phaidon Press, 1984.
- KOYRÉ, A. As etapas da cosmologia científica. In: KOYRÉ, A. *Estudos de história do pensamento científico*. Tradução M. Ramalho. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1991 [1951], p. 80-90.
- KUHN, T. A function for thought experiments. In: KUHN, T. *The Essential Tension*. Chicago: Chicago University Press, 1977, p. 240-65.
- _____. *A revolução copernicana*. Tradução M. C. Fontes. Lisboa: Edições 70, 2020.

- MALET, A. Early Conceptualizations of the Telescope as an Optical Instrument. *Early Science and Medicine*, 10, p. 237-62, 2005.
- MARICONDA, P. R. A contribuição filosófica de Galileu. In: CARNEIRO, F. L. (Org). *350 anos dos “Discorsi intorno a due nuove scienze” de Galileu Galilei*. Rio de Janeiro: Marco Zero/Coppe, 1989, p. 127-137.
- _____. Introdução: O Diálogo e a condenação. In: GALILEU, G. *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo Ptolomaico e Copernicano*. Tradução P. R. Mariconda. São Paulo: Discurso Editorial, 2004, p. 15-70.
- _____. *Lógica, experiência e autoridade na carta de 15 de setembro de 1640 de Galileu a Liceti*. *Scientiae Studia*, 1, 1, p. 63-73, 2003.
- MARICONDA, P; LACEY, H. A águia e os estorninhos: Galileu e a autonomia da ciência. *Tempo Social; Revista de Sociologia da USP*, São Paulo, 13, 1, p. 49-65, 2001.
- MARICONDA, P; VASCONCELOS, J. *Galileu e a nova física*. São Paulo: Associação Filosófica Scientiae Studia, 2020.
- MOSCHETTI, M. Galileu e as cartas sobre as manchas solares: a experiência telescópica contra a inalterabilidade celeste. *Cadernos de Ciências Humanas - Especiaría*, 9, 16, p. 313-40, 2006.
- PANOFSKY, E. *A perspectiva como forma simbólica*. Tradução E Nunes. Lisboa: Edições 70, 1993.
- PILLING, D. P. Andrade; DIAS, P. M. C. A hipótese heliocêntrica na Antigüidade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, 29, 4, p. 613-23, 2007.
- PORTO, C. M. A revolução copernicana: aspectos históricos e epistemológicos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, 42, 2020.
- RODRIGUES NETO, G. Euclides e a geometria do raio visual. *Scientiae Studia*, 11, 4, p. 873-90, 2013.
- SACRINI, M. *Introdução à análise argumentativa: teoria e prática*. São Paulo: Paulus, 2016.
- SHEA. Galileo, Scheiner, and the interpretation of the sunspots. *Isis*, v. 61, p. 498-519, 1970.
- TOSSATO, C. R. *O processo de elaboração das duas primeiras leis keplerianas dos movimentos planetários*. Dissertação de Mestrado. USP, 1997.
- _____. Os fundamentos da óptica geométrica de Johannes Kepler. *Scientiae Studia*, v. 5, n. 4, p. 471-99, 2007.
- VAN HELDEN, A. The Invention of the Telescope. *Transactions of the American Philosophical Society*, v. 67, p.1-67, 1977.

VAN HELDEN, A.; WINKLER, M. G. Representing the heavens - Galileo and visual astronomy. *Isis*, 83, p. 195-217, 1992.

ZIK, Y. Science and Instruments: the Telescope as a Scientific Instrument at the Beginning of the Seventeenth Century. *Perspectives on Science*, 9, p. 259-84, 2001.