

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS – CAMPUS BAURU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA

MARIA FERNANDA BIANCO GUÇÃO

SOBRE A PERCEPÇÃO DO MOVIMENTO DA
TERRA EM GALILEU: O REFERENCIAL DE
MOVIMENTO E O ENSINO DE CIÊNCIAS

BAURU – SP

2012

MARIA FERNANDA BIANCO GUÇÃO

**SOBRE A PERCEPÇÃO DO MOVIMENTO DA
TERRA EM GALILEU: O REFERENCIAL DE
MOVIMENTO E O ENSINO DE CIÊNCIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Área de Concentração em Ensino de Ciências, Faculdade de Ciências, UNESP – Universidade Estadual Paulista – Campus de Bauru, como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Carbone Carneiro

**BAURU – SP
2012**

Gução, Maria Fernanda Bianco.

Sobre a percepção do movimento da Terra em Galileu: o referencial de movimento e o ensino de ciência/ Maria Fernanda Bianco Gução, 2012

109 f.

Orientador: Marcelo Carbone Carneiro

Dissertação (Mestrado)–Universidade Estadual

Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2012

1. Heliocentrismo. 2. Referencial de movimento. 3. Historiografia da ciência. 4. História e filosofia da ciência no ensino de ciências. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II. Título.

MARIA FERNANDA BIANCO GUÇÃO

**SOBRE A PERCEPÇÃO DO MOVIMENTO DA
TERRA EM GALILEU: O REFERENCIAL DE
MOVIMENTO E O ENSINO DE CIÊNCIAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Área de Concentração em Ensino de Ciências, Faculdade de Ciências, UNESP – Universidade Estadual Paulista – Campus de Bauru, como requisito parcial à obtenção do título de mestre.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Carbone Carneiro
UNESP – Campus Bauru

Prof. Dr. Carlos Arthur Ribeiro do
Nascimento
UNICAMP/PUC – São Paulo

Prof. Dr. João José Caluzi
UNESP – Campus Bauru

Bauru, 31 de Março de 2012.

DEDICO

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente àquela que me ensinou o real valor da vida, o conhecimento; incentivou cada segundo que dediquei aos estudos: minha mãe, Edna!

Ao meu pai, Celso, que me ensinou a buscar sempre o melhor em todas as fases da minha vida, ainda, a reconhecer os resultados obtidos, mas nunca tê-los como o melhor possível.

Às minhas irmãs, Laura e Ana Cláudia, pela confiança e pelo companheirismo.

Ao professor Marcelo, que me ensinou que orientar é mais que indicar, acompanhar, selecionar... É ensinar, permitir conhecer, participar, fazer da minha a sua pesquisa. Pelas incansáveis conversas sobre os estudos, também sobre as angústias, ansiedades e anseios. Hoje é parte da minha vida, é meu amigo!

Aos amigos Danilo, Samira, Rita, Aline, Josi e Rafa pelo incentivo e paciência.

Aos amigos Serginho e Moacir pela dedicação e atenção nos trabalhos que escrevemos juntos e nas ajudas incansáveis.

Aos professores do departamento de Física, Beth, Rosa, Sardella, Pablo, Renato, Deyse, Beto, Vicente, Momotaro, Lavarda, Paulo, Neusa e Graef, que, além da dedicação em minha formação, são exemplos para a vida acadêmica.

Aos professores Carlos Arthur e Caluzi, pelas sugestões e correções em suas participações nas bancas de qualificação e defesa. Suas contribuições foram de extrema relevância no presente trabalho. Ainda, à professora Silvia, que dispôs-se a colaborar como nosso trabalho.

À Denise, Andressa e Gethiely, pela atenção e dedicação prestadas desde minha inscrição no processo seletivo até hoje.

Aos funcionários da biblioteca, principalmente Fátima, Eduardo e Breno, responsáveis pelo EEB.

Enfim, a todos que fizeram parte deste início de caminhada na carreira acadêmica, esperando sempre poder contar com a mesma atenção e dedicação.

GUÇÃO, M. F. B. *Sobre a percepção do movimento da Terra em Galileu: o referencial de movimento e o ensino de ciências*. 2012. 109 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, Bauru, 2012.

RESUMO

A inclusão da história da ciência no ensino é hoje alvo de intensa discussão no meio acadêmico, haja vista os inúmeros estudos realizados que apontam para a real contribuição que esta abordagem pode ter no entendimento do conhecimento científico. A ciência galileana é, para nós, um exemplo que pode ser explorado de maneira frutífera neste âmbito e dá subsídios para diferentes discussões. No presente trabalho analisamos o *Diálogo sobre os dois máximos sistemas de mundo ptolomaico e copernicano*, de Galileu Galilei, sob a perspectiva científica e filosófica com o objetivo de discutir as suas possíveis contribuições para o entendimento de ciência e de historiografia da ciência, mais especificamente, de movimento e de referencial de movimento por meio da discussão sobre os modelos de sistema de mundo propostos desde a antiguidade até o sec. XVII. Além disso, apresentamos parte da historiografia galileana com as leituras de Alexandre Koyré, Paul Feyerabend e Maurice Clavelin. Focamos nossa discussão no ensino superior, pensando em sua relevância para a formação do futuro professor de física.

PALAVRAS-CHAVE: heliocentrismo; referencial de movimento, historiografia da ciência, história e filosofia da ciência no ensino de ciências

ABSTRACT

The inclusion of history of science in teaching today is the subject of intense debate in the academy, given the numerous studies that point to the real contribution that this approach may have to the understanding of scientific knowledge. The Galilean science is for us an example that can be fruitfully explored in this area and gives grounds for various discussions. In this paper we analyze the Dialogue on the Two World Systems Ptolemaic and Copernican, Galileo Galilei, in the philosophical and scientific perspective in order to discuss their possible contributions to the understanding of science and historiography of science, more specifically, movement and movement referential through the discussion on standardized systems of the world from antiquity to the 17th century. In addition, we present part of historiography with the Galilean readings of Alexandre Koyré, Maurice Clavelin and Paul Feyerabend. We focus our discussion on higher education, considering its relevance to the education of future teachers of physics.

KEY-WORDS: heliocentrism; referential movement, history of science, history and philosophy of science in science teaching

SUMÁRIO

Introdução.....	08
Capítulo 1- Diálogo sobre os dois máximos sistemas de mundo – ptolomaico e copernicano.....	22
Primeira jornada	24
Segunda jornada	28
Terceira jornada.....	37
Quarta jornada	48
Capítulo 2 – A historiografia da ciência galileana	51
O Galileu de Koyré.....	56
O Galileu de Feyerabend	61
O Galileu de Clavelin	64
Capítulo 3 – A ciência galileana: considerações e apontamentos para o ensino de ciências	69
Considerações finais.....	84
Referências	89
Anexos.....	92
Anexo 1	93
Anexo 2	100
Anexo 3	104
Anexo 4	106

INTRODUÇÃO

Um dos períodos mais estudados da história da ciência é a passagem do século XVI para o XVII, marcada pelas intensas discussões filosóficas¹ e, sobretudo, pelos questionamentos ao conhecimento elaborado até aquele momento.

Para Alexandre Koyré², o século XVII é marcado principalmente pela inovação do método científico, segundo a qual a natureza passa a ser entendida por meio da geometria euclidiana que procura geometrizar as explicações dadas para os fenômenos e o universo. Alguns estudos históricos produzidos sobre a época caracterizam uma “ruptura” com a forma aristotélica de pensar a natureza. Segundo Koyré (1991), a novidade apresentada na teoria copernicana promove, mais que uma “revolução” no âmbito da filosofia natural, uma “revolução” de dimensão muito significativa no pensamento humano. Além disso, alguns pensadores desses séculos não só propunham uma maneira matematicamente sistemática de explicar a natureza como também destruíram a representação do mundo presente e substituíram-na por outra. Com o novo conhecimento, o entendimento humano sofreu uma reestruturação, encarando o ser de outra maneira. (KOYRÉ, 1991). Essa “revolução” constrói uma nova percepção dos fenômenos e dos objetos, um novo observador, um novo referencial, uma nova explicação do mundo. Nesse sentido, o maior problema a ser enfrentado pelos defensores do copernicanismo, entre eles Galileu, ultrapassou o âmbito das autoridades e da tradição, e esbarrava “na visão comum de mundo”, pois o conceito de movimento da Terra é contraintuitivo³.

¹ A constituição da física como ciência autônoma ocorrerá somente no século XIX, a discussão sobre o movimento é feita no interior da filosofia natural.

² Nascido na Rússia, em Taganrog, em 1892, Alexandre Koyré seguiu entre 1908 e 1911 os cursos de Husserl e Hilbert, em Göttingen, vivendo depois em Paris, onde acompanhou os cursos de Bergson e Brunschwig. Começou por elaborar uma tese sobre Jacob Böhme e publicar vários estudos filosóficos (sobre St. Anselmo, Spinoza), dedicando-se seguidamente à história da ciência, área onde produziu várias obras fundamentais, nomeadamente *Études galiléennes* (1939), *From the closed World to the infinite Universe* (1957), *La Révolution astronomique* (1961) e *Études newtoniennes* (1964), dentre outros. Consideramos sua interpretação da ciência galileana como fundamental no presente estudo.

³ Contrário ao mundo vivido e percebido.

A leitura de Feyerabend⁴ sobre a ciência de Galileu é interpretada, ao longo de sua obra, como defensora da teoria copernicana, e tem por base o questionamento do método utilizado, tanto pelos defensores do geocentrismo quanto pelos do heliocentrismo. O enredo do *Diálogo* tem por objetivo principal discutir as explicações dadas por ambas as partes, de maneira que a defesa de Galileu, Feyerabendiana, é feita a partir de diferentes metodologias, para cada situação de experimentação discutida. Para Feyerabend, o procedimento de Galileu torna-se exemplo de que, da existência de uma contradição entre uma nova e interessante teoria de um lado e um conjunto de fatos bem estabelecidos de outro, o procedimento adequado não é abandonar a teoria, por se chocar com tais fatos, mas de utilizá-la mais uma vez para descobrir, aí, os elementos implícitos que são responsáveis pela contradição. (SOUZA, 2003, p. 249).

Na leitura de Clavelin⁵, a dificuldade encontrada pelo heliocentrismo na antiguidade consiste em como conciliar o possível movimento da Terra, e especialmente o movimento diurno, com a experiência de senso comum. Para ultrapassar esta objeção, Galileu inaugura uma abordagem totalmente original: enunciar os argumentos tradicionais contra o movimento diurno na forma de problemas mecânicos. Em seguida, apresenta uma maneira de descrevê-los que os torna falseáveis, permitindo em cada caso a reconciliação da rotação da Terra com a experiência mecânica cotidiana. (STEIN, 1974, p. 390). Argumenta ainda que os princípios considerados no *Diálogo* e nos *Discursos* não são comparáveis nem em sua formulação nem na maneira pela qual eles intervêm no raciocínio. (STEIN, 1974, p. 391).

No entanto, há leituras historiográficas e filosóficas que argumentam sobre a inexistência de ciência durante os séculos que separam Ptolomeu de Copérnico, sustentando a idéia de que apenas a teoria geocêntrica prevalecia nos estudos de cosmologia e cosmografia. Kuhn considera que “a atividade científica, embora

⁴ Paul Karl Feyerabend, nascido em Viena, 13 de janeiro de 1924, foi um filósofo da ciência austríaco que viveu em diversos países como Reino Unido, Estados Unidos, Nova Zelândia, Itália e Suíça. Seus maiores trabalhos são *Against Method* (1975), *Science in a Free Society* (1978) e *Farewell to Reason* (uma coleção de artigos publicados em 1987). Feyerabend tornou-se famoso pela sua visão anarquista da ciência e por sua suposta rejeição da existência de regras metodológicas universais. É uma figura influente na filosofia da ciência, e também na sociologia do conhecimento científico.

⁵ Nascido em 1927, Maurice Clavelin cursou o ensino médio no Lycée Rouget de Lisle em Lons-le-Saunier. Em 1952 torna-se professor de Filosofia. Defende sua tese em 1968 sobre a filosofia natural de Galileu, e no ano seguinte obtém uma cadeira de filosofia na Universidade de Rennes. Em sua obra busca identificar questões, conceitos e metodologias que permitiram a Galileu uma teoria baseada na releitura da física aristotélica.

intermitente, foi muito intensa durante esta época e desempenhou um papel essencial na preparação do terreno para o nascimento e posterior triunfo da revolução copernicana.” (KUHN, p. 117, 1957).

Pensar a novidade trazida por Galileu por meio de sua defesa do copernicanismo implica em fazer uma leitura que preste atenção à questão da historiografia acerca de suas obras. Especificamente na presente pesquisa detivemo-nos em sua principal obra, a mais famosa, o *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*, com o intuito de compreender as diferentes interpretações sobre esta visão de mundo sob o ponto de vista da questão do movimento e do referencial do movimento. Julgamos extremamente relevante a leitura contextualizada e também a análise de diferentes leituras realizadas por historiadores e filósofos da ciência. A partir deste estudo, fazemos apontamentos sobre sua relevância e implicações que poderiam ter esse estudo na formação do entendimento de ciência que o aluno de graduação tem. Ainda, para destacar a importância da inclusão da história e filosofia da ciência no ensino de ciências na formação inicial de professores, sob a perspectiva de leitura realizada por nós no presente trabalho, de maneira a possibilitar uma abordagem da ciência elaborada por Galileu, ressaltando suas contribuições a respeito do conceito de movimento, sob um outro olhar, para um outro observador, através de outro referencial de observação.

Por meio do estudo da historiografia sobre Galileu pudemos identificar a relação entre as correntes de pensamento e interpretação da teoria galileana e o alcance desta, segundo a interpretação de Koyré, enquanto novo olhar; para Feyerabend, novo método, e, interpretação de Clavelin, uma nova forma de enfrentar as questões, sem abandonar por completo a tradição. Assim, sob diferentes focos de análise, podemos entender a importância da historiografia no estudo da história da ciência.

Breve histórico da discussão sobre o movimento

Na teoria aristotélico-ptolomaica o conceito de universo é entendido como finito e completo, compreendendo dois mundos, o celeste e o terrestre, para o primeiro são observados movimentos perfeitos e uniformes, enquanto que o segundo é dotado, também, de movimentos violentos e irregulares. No mundo celeste (supralunar), nada

existe além do céu, considerado único e completo e é impossível a existência de um espaço vazio.



Figura 1 - Sistema geocêntrico

O universo aristotélico é organizado por um conjunto de esferas cristalinas, ocas e homocêntricas que têm como centro geométrico o centro da Terra, sua estrutura básica é o Universo das duas esferas. A esfera maior, que contém as estrelas fixas, move-se ao redor de uma pequena esfera, a Terra, que permanece imóvel suspensa no centro da esfera que delimita o Universo. (ÉVORA, 1987). Envolvendo a esfera da Terra, as primeiras esferas

Correspondem aos três elementos terrestres, água, ar e fogo respectivamente, seguidas de outras cinquenta e cinco esferas interconectadas, cujo centro comum é a Terra. Cada um dos sete planetas, Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno, se encontra no interior de um grupo destas esferas, cada uma das quais completa uma revolução axial em intervalos de tempos diferentes reproduzindo assim, com boa aproximação, o movimento planetário e explicando os movimentos irregulares, as estações do ano e o movimento retrógrado dos planetas, observados temporariamente. (ÉVORA, 1987, p. 29-30)

Os dois mundos são ocupados por materiais distintos e governados por leis distintas. Estrelas, planetas e esferas cristalinas são constituídos de éter e tudo o que é terrestre pelos quatro elementos fundamentais (terra, ar, fogo e água) ou da combinação deles. (ÉVORA, 1987).

A teoria ptolomaica não representa uma total ruptura ou revolução, porém é uma leitura fundamentalmente distinta da teoria aristotélica, diferencia-se pela visão matemática em confronto com a fundamentação filosófica de Aristóteles; sua perspectiva prevê algumas adequações e elementos que preservam a teoria das esferas, explicando-a de maneira mais plausível; bem como os problemas qualitativos relacionados ao movimento irregular dos planetas e as variações de brilho dos mesmos. Ptolomeu explica os fenômenos celestes como produtos de movimentos regulares e circulares; incluindo os epiciclos e deferentes e combinando círculos excêntricos e epiciclos a um deferente básico, faz a adequação de sua proposta de sistema à teoria aristotélica. (ÉVORA, 1987).

No fim da Idade Média, o sistema educacional escolástico estava fortemente difundido e estruturava o ensino nas universidades. Dentro deste quadro, temas discutidos eram questionados e provocavam inquietações a respeito das explicações dos fenômenos terrestres e celestes. Neste contexto, são elaboradas discussões sobre a possibilidade do vácuo e do movimento no vácuo, a teoria do *impetus*, a rotação diurna da Terra, a possibilidade de existência de outros mundos similares ao nosso e a existência de um espaço infinito além da esfera celeste foram alguns dos principais temas que intensificavam a busca por explicações dos estudiosos da época. Além disso, com os estudos e traduções dos originais antigos, ressurgiu na Antiguidade Tardia a filosofia platônica, nas escolas neo-platônicas do pensamento, defendendo que “... no processo do conhecimento os órgãos dos sentidos fornecem meramente um estímulo impelindo a mente a compreender as formas universais”. (ÉVORA, p. 111, 1987).

Segundo Crombie,

A concepção neo-platônica da natureza irá influenciar fortemente uma das principais contribuições feitas durante a Idade Média ao método científico e ao desenvolvimento da ciência na Europa: a extensão das matemáticas a toda a ciência física, ao menos em princípio. Aristóteles tinha restringido o uso das matemáticas, na sua teoria da subordinação de uma ciência a outra, ao distinguir nitidamente as funções explicativas das matemáticas e físicas. O efeito desta mudança foi não só destruir essa distinção, mas antes mudar o tipo de questão respondida pelos cientistas. (CROMBIE, 1979, p. 118, apud ÉVORA, 1987, p. 112-113).

O exemplo histórico evidenciado é a discussão sobre a novidade do pensamento de Copérnico, objeto de pesquisa desta dissertação, que com relação aos ptolomaicos

viola os “princípios fundamentais” acerca da uniformidade e regularidade dos movimentos celestes (ÉVORA, 1987). Para Paolo Rossi⁶, Copérnico “apresentou a sua doutrina como uma tentativa de fazer reviver as antigas teses de Pitágoras e de Filolau.” (ROSSI, 2001, p. 115). Como uma leitura oposta à idéia de Évora, Rossi defende um paralelismo entre as obras de Copérnico e Ptolomeu – *De revolutionibus orbium caelestium* e *Almagesto*. (ROSSI, 2001).

A partir de outra visão historiográfica, Koyré aponta para um dos motivos que guiaram o pensamento de Copérnico como o motivo físico (a impossibilidade de uma explicação física ou mecânica da astronomia ptolomaica) e defende a tese que, seguindo a lógica do pensamento copernicano sobre sua astronomia, chegaria-se à astronomia de Tycho Brahe. (KOYRÉ, 1991). O sistema de mundo de Tycho mantém a Terra no centro do universo, porém difere do sistema aristotélico-ptolomaico ao colocar os planetas orbitando em torno do Sol, e não mais da Terra. Desta maneira, apresenta a Terra estacionária no centro do universo sendo orbitada pela Lua e pelo Sol e este é o centro das revoluções dos planetas. Este sistema é proposto de maneira a prever os dados de observação que subsidiam também a teoria copernicana, embora sua proposta não tenha tido a mesma repercussão que a de Copérnico. Dentro deste contexto, existem algumas discussões em torno das possíveis influências de seu sistema nesse outro olhar para o mundo.

Entendemos a tese de Koyré como uma defesa da real possibilidade de Copérnico ter reorganizado (nova percepção) os dados de observação dos seus antecessores sob uma outra perspectiva para localizar o observador e seu papel no universo, na tentativa de buscar uma nova forma de conhecer, tendo em vista que as explicações dadas pelas teorias vigentes na astronomia não eram suficientes para esclarecer as incoerências sobre o movimento irregular e as variações de brilho dos planetas em determinados períodos. A defesa galileana da teoria copernicana tem sua base no novo sistema de mundo proposto por Copérnico, no entanto, traz algumas ousadas possibilidades de explicação acerca da finitude do universo, pensando a

⁶ Nascido em Urbino, Itália, em 1923, Paolo Rossi lecionou História da Filosofia na Universidade de Florença. Entre outros livros, publicou: *Francesco Bacone. Dalla magia alla scienza* (1957); *Clavis Universalis Arti della memoria e logica combinatoria da Lullo a Leibniz* (1983); *I ragni e le formiche: un'apologia della storia della scienza* (1986); *Il passato, la memoria, l'oblio* (1991) e *Un altro presente* (2000). É sócio nacional da Academia dos Linces. Em 1985 foi condecorado pela American History of Science Society com a medalha Sarton por sua obra sobre história da ciência.

possibilidade de existência de um universo infinito e não mais delimitado por uma figura geométrica, a esfera do céu, o que não é observado em Copérnico. Os fenômenos observados são os mesmos, porém vistos sob outra perspectiva, sob um outro referencial, de maneira que Galileu procura mostrar a plausibilidade de sua defesa partindo dos princípios da própria teoria aceita até então, a teoria aristotélico-ptolomaica. A nosso ver a interpretação de Koyré está em concordância com a afirmação de Évora de que “Copérnico não observou novos fatos, nem sentiu falta de explicação de fatos antigos; mas antes a inovação introduzida pela Revolução Copernicana nasceu de uma reinterpretação neo-platônica de fatos bastante conhecidos pelos astrônomos do século XV.” (ÉVORA, 1987, p. 124). Dessa forma, Kuhn irá afirmar que “a revolução copernicana foi uma revolução de idéias, uma transformação do conceito que o homem tinha do universo e de sua própria relação com ele”. (KUHN, 1957, p. 17).

Em sua teoria, Copérnico atribui à Terra movimento em torno do Sol (a Terra se move). Dedicou-se aos problemas celestes, explorando as conseqüências matemáticas do movimento da Terra e as conseguiu “ajustar” ao conhecimento do céu e dos movimentos celestes. (GAIÃO, 1998). Com base no argumento de que seu sistema era mais simples e harmonioso do que o sistema ptolomaico, seus seguidores punham em relevo a ideia de que:

Todos os movimentos dos planetas podem ser explicados mediante o movimento uniforme do globo terrestre. Se o Sol for colocado no centro do universo e a Terra girando ao redor dele como um corpo excêntrico ou um universo maior, a verdadeira compreensão das coisas celestes passa a depender somente dos movimentos regulares e uniformes do *globo terrestre*. (ROSSI, 2001, p. 118).

Publicado em 1543, sua obra “*De Revolutionibus Orbium Caelestium*” é dividida em seis livros, traz ainda um universo esférico e finito, a Terra também esférica e as concepções de movimento um tanto atreladas ao defendido durante os últimos treze séculos: o movimento dos corpos celestes é circular, uniforme e perpétuo, enquanto que os movimentos aparentemente irregulares podiam ser explicados pela composição de movimentos circulares. Tendo o Sol ocupado o lugar da Terra, o centro de translação terrestre não coincide com o centro do Sol, mas localiza-se em um ponto próximo dele. O movimento aparente não uniforme dos outros planetas pode ser explicado pelo movimento da Terra e do próprio planeta. (ÉVORA, 1987). Temos neste ponto da teoria

copernicana os indícios de sua fundamentação no, hoje denominado, movimento relativo dos planetas; “toda 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.” (COPÉRNICO, 1996, p. 29). Sua argumentação para o movimento e a descentralização terrestre é que os planetas são observados algumas vezes mais próximos dela (da Terra) e, outras vezes, mais distantes; concluindo não ser esta o centro de suas órbitas.

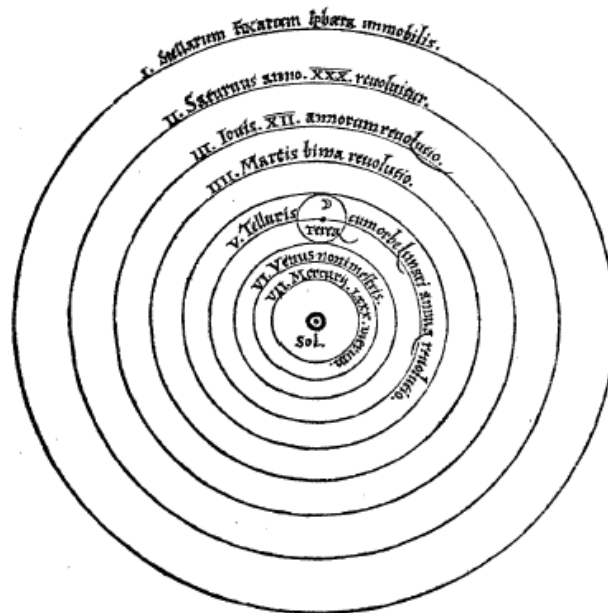


Figura 2 - Sistema Heliocêntrico Copernicano

A teoria copernicana apresenta alguns pontos que evidenciam sua distinção da teoria aceita até então; por exemplo, com a ideia de que o movimento circular é restrito aos objetos celestes, ao concebê-lo como natural para os fenômenos da Terra, ou seja, rompe com a divisão do Cosmo em dois mundos distintos, ao aplicar as leis da “mecânica celeste” aos fenômenos terrestres. Desta maneira, o movimento diurno terrestre passa a ser considerado natural e não violento; passando a Terra a não mais ocupar a posição central e “ganhando” dois movimentos anuais e um diário, denominados movimento tríplice da Terra: são estes o movimento de rotação, responsável pelos dias e noites, de oeste para leste; o movimento anual do centro ao redor do Sol, completando o círculo do zodíaco, de oeste para leste e o movimento inclinado, uma revolução anual de leste para oeste. Pela atribuição destes três movimentos à Terra, Copérnico explica porque os solstícios, equinócios e a obliquidade da eclíptica sofrem certo desvio em relação à esfera das estrelas fixas.

No novo sistema do mundo, o Universo é limitado pela esfera das estrelas fixas, que permanece imóvel; tendo situado perto do centro dos orbes celestes o Sol, que é rodeado pelas esferas cristalinas que contêm Mercúrio, Vênus, Terra (com a Lua orbitando ao seu redor), Marte, Júpiter e Saturno; cada um ocupa sua respectiva esfera e o movimento delas é efeito do contato de uma com as outras. Todo movimento que aparece como sendo do Sol é na realidade devido ao movimento da Terra. “Mesmo com o “cessar” do movimento do Sol, tornando-o terrestre, o nascimento e ocaso dos signos do Zodíaco e das estrelas fixas matutina e vespertina aparecerão da mesma forma”. (ÉVORA, p.143, 1987). Como dissemos, a proposta de Copérnico ainda impossibilitada de romper com a filosofia aristotélica, é o primeiro passo fundamental para uma mudança do conhecimento científico astronômico, sendo retomada e reelaborada por Galileu, Kepler e Newton, constituindo uma “forma de percepção” diferente dos movimentos dos astros, sobretudo, para o nosso estudo, do movimento da Terra.

O conceito de movimento é fundamental nas discussões que aconteceram entre os séculos XVI e XVII, nos quais é repensado o movimento terrestre. Proposições sobre a possibilidade deste são feitas em outros momentos anteriores, como pode ser observado no século XIV, por meio de teorias de Jean Buridan e Nicole Oresme, por exemplo. Estas proposições são alvo de estudos nos dias atuais, podendo citar-se Campos (2008), que discute as teorias sobre o conceito de *impetus* da época, sob a perspectiva da questão de ser plausível pensar sobre um movimento para o lugar que habitamos. Para o presente trabalho o objetivo é pensar o movimento como tema central da forma de olhar o mundo proposta por Galileu, não por acaso considerada por algumas leituras da historiografia como propulsora da “revolução científica” do século XVII. Galileu propõe a mobilidade terrestre como explicação do que vemos no céu (movimento aparente dos astros), na Terra (queda dos corpos) e até mesmo das marés, buscando argumentar como um novo referencial para o movimento permite pensar essa nova percepção dos movimentos produzidos pelos fenômenos terrestres que observamos no nosso cotidiano.

O objetivo maior de Galileu é argumentar que a Terra não ocupa o centro do universo e que tem movimentos como os dos outros planetas, devendo ser considerado desta maneira que o Sol ocupa o centro do sistema. Galileu discorre nas três primeiras jornadas sobre outra forma de olhar o mundo, apresentando as argumentações que

tornam plausíveis a possibilidade e aceitação da teoria copernicana, que, para ele, tem sua prova final apresentada na quarta jornada, na qual se justifica o efeito das marés pelos movimentos terrestres. Hoje sabemos que sua explicação para tal fenômeno não era adequada, embora para o período fosse plausível e isso porque na época não se dispunha da dinâmica newtoniana dos movimentos, sendo seus argumentos fundados na cinemática dos movimentos. Seu objetivo final, o de provar a mobilidade terrestre pelo efeito das marés não é suficiente conforme sua proposta; seu livro deu base, porém, a outras discussões sobre a possibilidade de mobilidade terrestre mostrando como um novo referencial para os movimentos tornava a proposta de sistema de mundo de Copérnico totalmente possível.

Dessa forma, ler Galileu significa recorrer ao seu texto (no caso desta dissertação a uma análise do *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo*) à luz de diferentes leituras na historiografia sobre o autor (nesta dissertação utilizaremos Koyré, Feyerabend e Clavelin).

Consideramos fundamental esta análise do texto na sua fonte primária e as diferentes possibilidades de leitura que se apresentam (historiografia). Vemos que não há um Galileu, mas diferentes leituras e interpretações de um autor que tanto colaborou para a discussão das questões cinemáticas na física (ou filosofia natural para ser mais exato) do século XVII e seu legado para os séculos vindouros.

Consideramos a abordagem histórico-filosófica imprescindível para o ensino de física e de ciências. Acreditamos que a aprendizagem de conceitos básicos deve acontecer de maneira contextualizada, possibilitando uma imagem de ciência enquanto construção histórica, em especial para as finalidades desta dissertação, o conceito de movimento deve ser estudado sob esta visão para que se possa compreender as dificuldades enfrentadas no estudo da cinemática e da dinâmica dos movimentos.

Alguns trabalhos apontam que a história da ciência possibilita a discussão, na sala de aula, das influências que fatores sociais, políticos, econômicos, éticos, culturais e religiosos têm do conhecimento produzido pela ciência e vice-versa. Indicam também a importância de problematizar questões filosóficas e metodológicas da ciência, como a impossibilidade de provar teorias, a mutabilidade e provisoriedade do conhecimento científico e outras questões que dizem respeito à construção de uma visão crítica sobre a

ciência, possibilitando a compreensão da atividade científica e explicitando a dinâmica do processo de construção do conhecimento. Sob esta perspectiva o uso da história da ciência é um dos possíveis caminhos para um ensino de ciências que contribua para a construção da cidadania e da democracia. (BASTOS, 1998, p. 33-4; SILVA DIAS; MARTINS, 2004, p. 517; VANNUCCHI, 1996, p. 19).

A abordagem de conteúdos contextualizados historicamente difere de uma abordagem pseudo-histórica. Esta última que é frequentemente encontrada nos livros didáticos, refere-se a um breve relato pautado em nomes e datas, sem conexão ou exposição do quadro teórico em que determinado conceito foi desenvolvido. A nosso ver, essa perspectiva não contribui para a compreensão do processo de construção da ciência, nem para um melhor entendimento dos conteúdos específicos. É preciso promover uma reflexão sobre o conhecimento produzido pela ciência e também sobre a ciência. Portanto, a utilização da história e filosofia da ciência no ensino de ciências possibilita a identificação da concepção de ciência subjacente e suas relações com cada momento do contexto histórico.

A metodologia de análise em história da ciência deveria, assim, incluir uma análise interna das teorias científicas, que buscasse manter-se atenta às concepções da época e à lógica dos conceitos no interior da teoria. Concebemos a análise internalista como imprescindível para a história da ciência; é, porém, relevante no interior do conhecimento científico em correspondência com a análise externalista, a consideração do contexto externo ao texto. A pesquisa historiográfica procuraria levar em conta o texto (fonte primária) e realizar uma leitura das argumentações (idéias internas ao texto). O objetivo da pesquisa tem características de uma análise mais internalista que externalista, por meio do estudo da teoria exposta na fonte primária, como maneira de evidenciar a preocupação do estudioso em compreender a “física” proposta no próprio texto.

Em meio a estas discussões, algumas questões merecem bastante atenção por parte dos pesquisadores, pois podem questionar a utilização da história da ciência e o alcance dos objetivos propostos por sua inserção no ensino de ciências. Uma destas questões é o tipo de fonte histórica que pesquisadores e professores têm disponível para o trabalho com a história da ciência em sala de aula. Há carência de material histórico

em português de bom nível que possa subsidiar a inserção da história da ciência no ensino de ciências (MARTINS, 2006, p. 24). Além disso, existe uma falta de conteúdo adequado de história da ciência em livros texto. Isto tem sido apontado por trabalhos que mostram a má qualidade de parte do material histórico disponível para o ensino e os muitos equívocos no conteúdo histórico presente em livros texto do ensino básico e superior, ao discutirem a importância do material histórico para o ensino (MARTINS, 2001; MEDEIROS; MONTEIRO, 2002; OSTERMANN; RICCI, 2004; MARTINS, 2006; CALUZI et al., 2007; HOTTECKE; SILVA, 2011, p. 295; HOTTECKE; HENKE; RIESS, 2010, apenas para citar alguns).

Ao procurar referências para tratar a história da ciência em sala de aula o professor se depara com diversas histórias, trazidas pelos livros didáticos, baseadas em divergentes leituras na historiografia não explicitadas e não articuladas, sendo que muitas vezes ele não tem preparo para lidar com esta situação.

Convencidos da importância que a abordagem e contextualização histórica e filosófica tem para que a história da ciência possa contribuir de fato com o ensino de ciências, procuramos identificar a presença desta proposta nos livros didáticos a fim de investigar como a questão do movimento é exposta sob esta perspectiva e, principalmente, como é apresentada a teoria de Galileu Galilei sobre o movimento, sendo este autor considerado para nós fundamental no desenvolvimento deste conceito. Para isso, realizamos um levantamento nos livros didáticos de Física para o Ensino Médio relacionados ao conteúdo histórico sobre o movimento - compreendendo as abordagens por meio da figura de Galileu. “A análise de livros didáticos não é apenas uma forma de levantar pontos positivos e negativos que auxiliam quem deve selecioná-lo”, mas “uma maneira de evidenciar uma tendência do ensino que está chegando aos alunos” (BORGES, 1982, p. 7). Percebemos que a inclusão da história e filosofia das ciências é feita no material didático por meio de um capítulo inicial que faz uma breve narração histórica partindo de Aristóteles e chegando a Einstein, considerando a figura de Galileu como fundador do método científico e que, a partir dos estudos deste, passou-se a praticar na ciência a matematização e experimentação no conhecimento da natureza, o que acaba configurando também a “revolução científica” como causada apenas por essa maneira de explicar os fenômenos.

Consideramos que a grande novidade galileana não é uma metodologia de investigação; é antes um outro olhar, ora interpretado como revolução ora não como necessariamente ruptura absoluta com a tradição filosófica anterior, sobre os mesmos fenômenos, uma outra maneira de encarar o objeto, um novo observador; Galileu, ao propor a mobilidade terrestre prevê esse olhar. As experiências são as mesmas, mas o que ele propõe é pensar o movimento tomando outro referencial. A partir desta idéia, propõe a explicação e descrição, por exemplo, dos movimentos da esfera ao cair do mastro do navio ou rolando sobre o plano inclinado; da trajetória e dos movimentos de um projétil, propondo a relatividade e a independência dos movimentos. Nas leituras das ciências galileanas podemos observar algumas vezes a atribuição do desenvolvimento destes conceitos a sua figura, de maneira a propor sua imprescindível contribuição no âmbito da cinemática dos movimentos. Nosso entendimento de sua ciência diz respeito também a esses conceitos, mais ainda, a outra perspectiva de observação, que pressupõe um novo referencial no estudo dos movimentos.

A tese que defendemos é que a idéia de “revolução copernicana” implica em uma outra forma de percepção do universo, que está em Copérnico e é retomada por Galileu. Consideramos essa idéia de extrema relevância ao se considerar o conceito de movimento por meio de Galileu. Dessa forma, no primeiro capítulo apresentamos uma leitura das quatro jornadas do *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*, de maneira a visualizar, principalmente, o conceito de movimento desenvolvido nas discussões, com o intuito de apresentar uma mudança e como se constitui a organização do cosmo ou o olhar para o mundo. Procuramos evidenciar os conceitos e considerações acerca da possibilidade do movimento terrestre, baseados nesta outra maneira de explicar os fenômenos percebidos. O objetivo do capítulo é pensar a utilização da obra de Galileu na introdução do conceito de movimento no ensino e, mais especificamente, o que há de novidade nesse outro referencial para o movimento.

No segundo capítulo apresentamos três estudos sobre a filosofia natural de Galileu, a fim de considerar a problematização introduzida por nós na introdução acerca das diversas leituras que se produziram na historiografia sobre uma mesma figura da história da ciência, Galileu Galilei, e da sua proposta teórica. Seleccionamos para estudo as leituras de Alexandre Koyré, Paul Feyerabend e Marcel Clavelin. A análise de suas

exposições possibilita uma reflexão sobre as diversas leituras metodológicas e também sobre as influências e intenções que podem ser percebidas de maneira evidente na defesa do copernicanismo apresentada por Galileu. O objetivo da pesquisa é um estudo fundamentado na historiografia sobre o autor do *Discurso sobre os dois sistemas máximos do mundo*, interpretando este texto como a apresentação de uma outra forma de percepção do movimento da Terra.

No terceiro capítulo realizamos uma análise dos livros didáticos do PNLD e de como é abordada a teoria de Galileu. A partir desta análise, apresentaremos o conceito e o referencial de movimento da teoria de Galileu, fundamentados na abordagem da história e filosofia da ciência no ensino de ciências, como fundamentais na formação inicial de professores de física.

CAPÍTULO 1

DIÁLOGO SOBRE OS DOIS MÁXIMOS SISTEMAS DE MUNDO – PTOLOMAICO E COPERNICANO

O “Diálogo” publicado em 1632 é a obra mais conhecida e citada de Galileu, que apresenta a construção de uma nova forma de percepção do universo (defesa da teoria copernicana). Como diz Nascimento:

Não se restringe a ser um tratado de astronomia, mas envereda por considerações filosóficas e metodológicas, contendo mesmo um viés propagandístico ou, se se preferir, uma pedagogia para aceitação do copernicanismo. (NASCIMENTO, 2003, p. 11)

Está dividido em um prefácio e quatro jornadas, que procuram apresentar de forma didática o universo copernicano proposto por Galileu. Como dissemos, consideramos que a novidade está em considerá-lo como uma outra forma de percepção do universo, na qual o observador e o mundo são repensados e reposicionados. O objetivo maior de Galileu é provar que a Terra não ocupa o centro do universo e que tem movimentos como os dos outros planetas, devendo ser considerada como tal; e que o Sol é que ocupa o centro dos orbes das revoluções dos planetas. Mas, nos seus dizeres e ao longo dos diálogos, é manifesta a preocupação em afirmar que sua intenção é expor os motivos e argumentos tanto da teoria geocêntrica como da heliocêntrica, de maneira imparcial, sendo que Salviati é seu porta-voz e defende a teoria copernicana de mundo; Simplicio é um peripatético, seguidor das idéias de Aristóteles e defensor da teoria ptolomaica e Sagredo é um homem culto não adepto de nenhuma das teorias que tem a função de mediar as discussões.

Galileu discorre nas três primeiras jornadas sobre outra forma de olhar o mundo, apresentando as argumentações que tornam plausíveis a possibilidade e aceitação da teoria copernicana, ou seja, refutação dos argumentos para a imobilidade da Terra, que, para ele, tem sua prova final apresentada na quarta jornada, por meio da qual se justifica o efeito das marés pelos movimentos terrestres. Hoje, sabemos que sua

explicação para tal fenômeno não era adequada e isso porque na época não se dispunha de uma dinâmica dos movimentos para a Terra em movimento e não mais ocupando o centro dos orbes, sendo seus argumentos todos fundados na cinemática dos movimentos. Claro, que ao fazermos esta leitura, desconsideramos a complexidade e os problemas colocados na época – o que os historiadores chamam de leitura presentista. Seu objetivo final, o de provar a mobilidade terrestre pelos efeitos das marés, não é alcançado conforme sua proposta; seu livro deu base, porém, a outras discussões sobre a possibilidade de mobilidade terrestre, mostrando como um novo referencial para os movimentos tornava a proposta de sistema de mundo de Copérnico uma possibilidade plausível.

Façamos uma análise das jornadas:

PRIMEIRA JORNADA

O tema discutido na primeira jornada é a concepção geral do universo. Partindo da distinção entre céu e Terra, tem o objetivo de refutar a idéia antiga e medieval de um mundo de dois andares (mundo celeste diferente do mundo terrestre ou os mundos supra e sublunar). Galileu ataca a concepção aristotélica de uma Terra imóvel no centro do mundo e dotada de uma natureza inteiramente diversa da dos astros. (NASCIMENTO, 2003; MOSCHETTI, 2002). A idéia principal é colocar em questão as concepções aceitas até então, por meio da teoria aristotélico-ptolomaica, e romper com a convicção de um mundo celeste diferente do e superior ao mundo terrestre. A primeira questão colocada em pauta é o número de dimensões do universo. Para Aristóteles as três dimensões (comprimento, largura e profundidade) expressam a perfeição do mundo, que se completa nas três dimensões. Os mundos supra e sublunar são explicados por princípios diferentes pelo fato de serem compostos de elementos diferentes. O primeiro é constituído da quinta essência (o éter) o segundo de terra, ar, fogo e água ou da combinação deles; formando assim os mundos celeste e sublunar.

A primeira jornada do Diálogo abre para discussão as divergências e pressupostos de duas teorias que exprimem diferentes maneiras de visualizar o mundo, causando indiretamente uma discussão sobre a posição do homem na natureza. Mariconda afirma que

(...) o que se questiona no processo [do Santo Ofício, em 1633] é que Galileu trata da questão cosmológica sob o ponto de vista filosófico, isto é, como se a questão fosse sobre a posição entre as duas visões do Universo, do lugar do homem e do papel da ciência e não simplesmente uma oposição entre teorias astronômicas, ou seja, entre hipóteses matemáticas diferentes. (GALILEU, p. 621, 2004, nota 1)

Em outra nota, Mariconda indica ainda que os motivos do processo de 1633 passam pela questão de que

(...) para além de uma evidente afirmação da verdade e realidade da hipótese copernicana do movimento da Terra, é bem o confronto entre duas concepções da ciência: entre, de um lado, a concepção tradicionalista que separa, no estudo da natureza, a matemática, concebida apenas como instrumento de adequação dos princípios supostos pelo físico (filósofo natural) com os dados fornecidos pela observação, e a física (filosofia natural) que trata da essência e realidade do universo e dos acontecimentos da natureza, e, de outro

lado, a concepção de Galileu, para quem, no estudo da natureza, a matemática e a física não se distinguem, tratando ambas de uma mesma realidade, que se manifesta no mundo da experiência pelo respeito a leis inexoráveis e imutáveis. (GALILEI, 2004, p. 621, nota 1)

Depois de discutidas as questões sobre a divisão do universo em duas partes diferentes é iniciada uma discussão a partir de argumentações fundadas na questão do movimento, bem como a maneira de interpretar os fenômenos terrestres. A defesa aristotélica, feita pelo interlocutor Simplicio é que nas provas naturais não se deve buscar a exatidão geométrica. Os movimentos locais são três: reto, circular e misto. Apenas o movimento circular é natural, e somente ele pode ser conservado (linha circular = perfeita e linha reta = imperfeita). O movimento violento é o que vai contra a natureza; o movimento natural deriva da própria natureza dos elementos; na Terra, corruptível e alterável, admite-se o movimento retilíneo, são exemplos a queda para a terra, a ascensão para o ar e o fogo, ambos os movimentos para a água. Sendo o mundo celeste perfeito, Aristóteles prevê o movimento circular dos astros e estrelas.

A argumentação de Salviati, porta-voz de Galileu, assume a premissa de que para um mundo perfeitamente ordenado o movimento reto é impossível; sendo infinito é impossível. A única fonte natural de movimento é a queda, “...toda velocidade⁷ horizontal conferida artificialmente a um corpo, corresponde a uma altura (sublimidade) a partir da qual o corpo deveria cair livremente de modo a adquirir uma velocidade vertical igual.(GALILEI, 2004, p. 574, nota 22). Sendo o repouso um grau de lentidão infinita e o ímpeto o que faz o corpo voltar a um ponto de repouso. A tendência de ímpeto é tanto maior quanto mais afastado de um centro de inclinação o corpo está, “...são iguais os ímpetos de móveis igualmente próximos do centro.” (GALILEI, 2004, p. 103). Assumindo essas concepções, a argumentação galileana está baseada na idéia de que sobretudo o movimento circular é uniforme e apenas o repouso e o movimento circular podem ser conservados. (GALILEI, 2004, p. 112).

A contra-argumentação de Simplicio prevê que as teorias devem partir das experiências sensíveis; “Aristóteles, que não prometia de seu engenho, ainda que extremamente perspicaz, mais que o que convinha, estimou no seu filosofar que as

⁷ O termo *velocita* (velocidade) tem, no contexto do Diálogo, significado diferente do termo *velocidade* na física atual. Tem aqui sentido de rapidez do movimento, grau de celeridade. (GALILEI, 2004, p. 575-6, nota 24).

experiências sensíveis deveriam antepor-se a qualquer discurso fabricado pelo engenho humano.” (GALILEI, 2004, p. 113). A questão da experiência sensível é discutida novamente nas jornadas seguintes, no que podemos perceber a influência teórica nas observações realizadas por Galileu. O termo experiência sensível tem diferentes significados sob os pontos de vista dos aristotélicos e dos copernicanos; para os primeiros tem invariavelmente o significado de “experiência bruta dos sentidos” e para os adeptos da teoria copernicana significa “observação inteligente” ou “experimento” ou “experiência de pensamento”. (GALILEI, 2004, p. 583, nota 39). Na visão aristotélica a experiência tem um papel fundamental para a aceitação de uma teorização, por isso a teoria aristotélica é considerada empirista.

A defesa de Galileu baseia-se na idéia de uma Terra móvel; portanto, explica os movimentos terrestres como aparentemente retilíneos, mas, na verdade, circulares. Para uma preparação da defesa do copernicanismo, a primeira questão que Salviati coloca à prova é sobre a defesa de um mundo celeste corruptível e alterável, assim como a Terra o é, na teoria aristotélica. Um exemplo de alteração celeste citado por Galileu é o fato das manchas solares mudarem de forma e, em alguns momentos, desaparecerem. Coloca em dúvida se a geração e a corrupção tais como existem na natureza terrestre, estão ausentes dos corpos celestes. O mundo celeste nos é desconhecido pelo fato de não termos contato com as coisas dele. Assim, pode haver a possibilidade de “coisas” diferentes na Lua, por exemplo. (GALILEI, 2004, p. 141-2). A partir deste momento são enumeradas algumas características da Lua que podem ser comparadas com as da Terra: 1) Semelhante à Terra quanto à figura (forma); 2) Tenebrosa como a Terra; 3) Densa e montanhosa como a Terra; 4) Distinção em duas partes pela clareza e obscuridade, como na Terra seriam o mar e a terra vistos de longe; 5) Mutações de figura da Terra são similares àsquelas da Lua e feitas no mesmo período; 6) A Terra e a Lua iluminam-se mutuamente e 7) A Terra e a Lua eclipsam-se mutuamente.

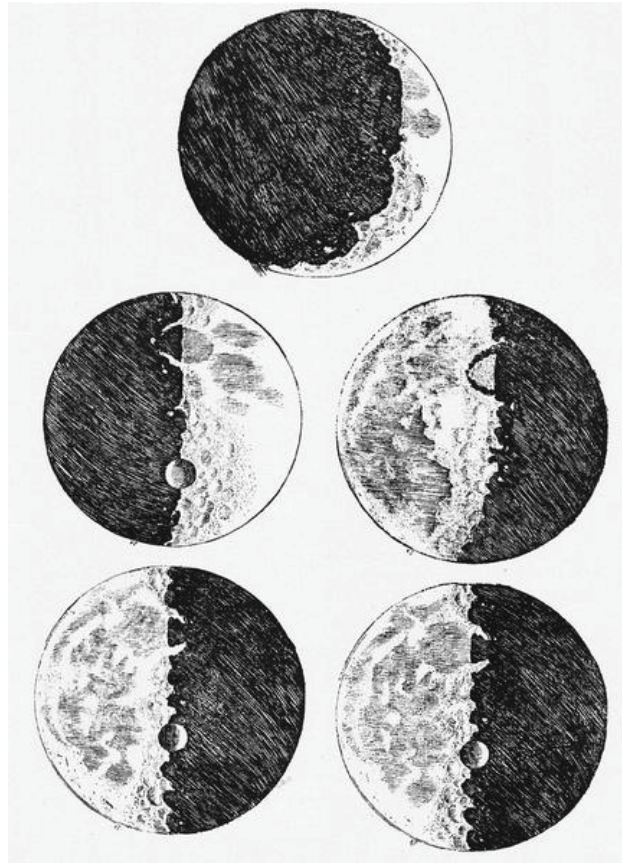


Figura 3- Ilustrações da paisagem da Lua

Simplício admite para a Lua uma superfície polida como um espelho, considerando a luz secundária ser da própria Lua. (GALILEI, 2004, p. 149).

A idéia principal introduzida na primeira jornada é a de que pode haver diferentes interpretações para as observações da natureza e que estas devem ser debatidas. Uma fala de Sagredo expressa essa intenção de Galileu ao término do primeiro dia de discussões: “... não existe efeito algum na natureza, (...), ao qual possam chegar a um conhecimento completo os engenhos mais especulativos.” (GALILEI, 2004, p. 181-2). Nascimento aponta para a conclusão da primeira jornada do Diálogo:

O geocentrismo não pode invocar nenhum privilégio cosmológico ante o heliocentrismo. Ambos são representações do mundo igualmente plausíveis e decidir entre elas é tarefa da observação e do raciocínio. (NASCIMENTO, 1990, p. 30)

SEGUNDA JORNADA

O objetivo da segunda jornada é o de neutralizar os argumentos tradicionais contra a rotação diurna da Terra, desqualificando as experiências terrestres que visavam estabelecer a imobilidade terrestre.

Os fatos de experiência continuam os mesmos, quer se suponha que a Terra está imóvel, quer se suponha que ela gira em 24h em torno do seu eixo. (NASCIMENTO, 1990, p. 23)

As primeiras falas da segunda jornada do Diálogo mostram a preocupação de Galileu em colocar-se como mero expositor das idéias trazidas nas duas teorias. Trata-se de uma estratégia para colocar Sagredo como convencido das idéias do copernicanismo e Salviati apresentando-se como expositor, imparcial. (GALILEI, 2004, p. 622, nota 4).

Salviati apresenta os argumentos a favor do movimento diurno da Terra, como previstos pela teoria de Copérnico:

- É mais concebível a Terra girar em torno do seu eixo do que um número imenso de astros, a alta velocidade, em torno da Terra.
- A rotação diária do céu acontece na direção contrária à dos movimentos próprios dos planetas, de Ocidente para Oriente. Admitindo a rotação da Terra desfaz-se essa contrariedade e concorda-se com os resultados e dados de observação.
- A rotação da Terra prevê a ordem perfeita nos movimentos dos corpos celestes, sendo o movimento mais veloz o da Lua, aumentando sua lentidão até Saturno, cujo movimento tem a menor velocidade dentre os planetas⁸. Considerar a Terra fixa implicaria em “saltar” da esfera de Saturno, mais lenta, para a das estrelas, extremamente mais rápida.
- A rotação da Terra, permanecendo a esfera das estrelas estacionária, evita a dificuldade de ter que atribuir às estrelas diferenças enormes de velocidades, conforme mais ou menos próximas dos pólos.

⁸ As astronomia e astrologia tradicionais consideravam a existência de sete planetas, contando a Lua que era tida como o planeta mais próximo da Terra. São eles Lua, Mercúrio, Venus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno; e a Terra ocupando o centro do Universo. (GALILEI, 2004, p. 205)

- Considerando a esfera das estrelas em movimento tem-se que as estrelas variariam de posição em relação aos pólos, ao longo do tempo e também da velocidade. Além disso, se a esfera das estrelas é sólida esta imprimiria uma resistência inimaginável para que possa arrastar as estrelas com velocidades diferentes. A última esfera (1º móvel) deveria ser dotada de uma força extraordinária para arrastar a esfera das estrelas e dos planetas e em sentidos opostos. E ainda assim, o pequeno globo da Terra permaneceria fixo e indiferente a tanta força, o que é absurdo comparando-se as dimensões. No entanto, se o céu é fluido, o que manteria todas as estrelas na mesma posição?
- É mais simples supor estrelas imóveis e a Terra girando. (GALILEI, 2004, p. 193-201).

Depois de expostos os argumentos de Salviati a favor do movimento de rotação diurna, Simplicio passa a apresentar argumentos baseados na doutrina aristotélico-ptolomaica contra a possibilidade de movimento terrestre; iniciando com a discussão sobre o comportamento dos corpos graves, exemplo de experiência que embasa toda a defesa do geocentrismo, feita por meio de experiências terrestres, como as defendidas por Ptolomeu e Tycho Brahe. A primeira experiência discutida é sobre a pedra cadente do alto de uma torre, na qual Galileu dá exemplo da impossibilidade de definição da trajetória do movimento pela experiência sensível; aparentemente o movimento tem trajetória retilínea, mas na realidade o movimento é misto de vertical e circular, já que a pedra move-se juntamente com a Terra no movimento de rotação. A argumentação aristotélica é de que, se fosse assim, a pedra não cairia ao pé da torre, mas afastada dele. Galileu salienta a necessidade de se levar em consideração que todos, pedra, torre e observador compartilham do mesmo movimento circular, portanto a pedra cai em um local à frente de onde estava o pé da torre, mas esta também se deslocou com mesmo movimento. Por isso não observamos deslocamento horizontal da pedra com relação à torre. Acrescenta ainda, que por participarmos também do movimento de rotação, visualizamos uma trajetória aparentemente retilínea⁹. Galileu propõe então uma analogia com uma pedra caindo do mastro de um navio. Um observador, dentro do navio, vê a pedra cair na vertical paralelamente ao mastro. Mas, um observador, fora do

⁹ Sobre esse experimento há muitas discussões sobre a real execução por ambas as partes.

navio, na margem, veria que a pedra descreve um arco. Questiona-se, se Galileu teria efetivamente realizado tal experimento ou se ele apenas baseou-se nos pressupostos da teoria defendida para exemplificar. A questão é que a ideia de relatividade do movimento dá subsídios para se pensar na aplicação. Sobre isso, Mariconda aponta para divergentes interpretações sobre a questão da experimentação em Galileu. (GALILEI, 2004, p. 650-2, nota 77). A ideia da relatividade do movimento não é exclusiva da época de Galileu. Temos, no século XIV, discussões que se pautam na impossibilidade de definir se um corpo está em repouso ou em movimento. Nicole Oresme (séc. XIV) e Giordano Bruno (séc. XVI) são exemplos. Ambos baseavam suas discussões em torno das teorias aristotélica e ptolomaica sobre a imobilidade terrestre na relação entre as experimentações vivenciadas e os referenciais de movimento adotados para tal observação e justificação. (MARTINS, 1986, p.69-86).¹⁰

Dando continuidade às discussões, Galileu utiliza o exemplo do comportamento de uma esfera posta no alto de um plano inclinado para questionar Simplicio sobre o que acontecerá com ela. O exemplo é proposto excluindo as interferências possíveis do meio, como ar, atrito e também da própria esfera, com o intuito de chegar juntamente com Simplicio à conclusão de que seu movimento independe do meio. São pensadas então as situações para o plano inclinado em declive, acline e paralelo em relação ao horizonte. Assim, chega-se à conclusão de que o movimento com o plano em declive independe de um ímpeto imposto, mas tem continuidade tanto quanto o plano tem continuidade de comprimento, e é maior a velocidade quanto maior for o ângulo de inclinação do plano. Para o plano em acline, chegam a um consenso de que há necessidade de um ímpeto impresso na esfera para que essa suba com movimento retardado até que o ímpeto impresso se anule e esta comece a cair. A ideia final a que Galileu quer chegar é a de que para o caso do plano paralelo ao horizonte, ou seja, sem acline nem declive, dado um ímpeto à esfera e desconsiderando os efeitos do meio, esta se moverá infinitamente [quando infinito também for o plano]. O questionamento de Galileu frente a essas conclusões é sobre a não interferência do meio no movimento de um corpo pesado, ou seja, não é pela ação do ar que a esfera se move. (GALILEI, 2004, p. 226-236). Essa ideia contradiz a teoria aristotélica que prevê o movimento do projétil pelo meio, e não pela virtude impressa. A partir deste ponto temos dois conceitos

¹⁰ A respeito dessas discussões ver anexo 1.

galileanos fundamentais para a compreensão de sua defesa ao copernicanismo, os movimentos inercial e natural e o princípio de conservação do movimento.

Pela teoria de Aristóteles, o movimento não natural tem o meio como causa motriz e a velocidade é diretamente proporcional à massa. O movimento para Galileu independe do meio e depende da “virtude impressa”¹¹. Galileu apresenta como sua toda a crítica a Aristóteles desenvolvida durante a Idade Média, no entanto, parece bastante notável a influência de outros pensadores no que diz respeito ao conceito de *impetus*, por exemplo. “Apesar de alguma oposição, as teorias da força impressa exerceram uma contínua influência até o século XVI, quando o próprio Galileu se tornou seu entusiástico defensor no início da sua carreira na Universidade de Pisa.” (GRANT, 2002, p. 115). A variação das velocidades age do mesmo modo no movimento natural, de queda, e no movimento horizontal, de projeção, não havendo interferência entre eles; age a todo momento de igual maneira. “A pedra, caindo da torre, vem movendo-se com o movimento comum circular e pelo seu próprio retilíneo.” (GALILEI, 2004, p. 247). O movimento circular da pedra é uniforme e não acelerado, ficando sobre a torre ou caindo dela. A apresentação sobre a trajetória da queda de um corpo grave que acompanha o movimento terrestre composta um ponto a ser discutido; pela teoria galileana: “um observador fora da Terra veria um movimento composto por um movimento vertical acelerado em direção ao centro da Terra e pelo movimento circular uniforme de rotação para leste.” (GALILEI, 2004, p. 658-61, nota 94).

Referindo-se a isso, Mariconda, em nota, levanta a questão de se tratar o movimento de rotação do corpo como circular, quando um observador constataria uma trajetória tangencial à Terra. Aponta que este erro foi enfrentado desde Galileu até Newton; a crença de que os corpos em queda devem chegar ao centro da Terra só foi questionada por Hooke. (GALILEI, 2004, p. 658, nota 94). A questão da trajetória de um projétil foi pensada também no exemplo do movimento de uma bala que sairia de uma peça de artilharia perpendicular à Terra. Sagredo argumenta que a bala não

¹¹ As teorias sobre a virtude impressa (ou *impetus*) já eram conhecidas no século XIII, desde Fillopono (séc. VI), mas tornaram-se populares, especialmente por Jean Buridan que define *impetus* como “força motriz transmitida do motor inicial ao corpo posto em movimento. A velocidade e a quantidade de matéria de um corpo eram consideradas como medidas da intensidade do *impetus* produtor do movimento.” (GRANT, 2002, p. 112). Suas características principais são a permanência e infinitude, permaneceria indefinidamente enquanto não fosse afetada por resistências externas ou pela tendência do corpo a retornar ao seu lugar natural.

descreveria uma trajetória perpendicular à Terra pois, estando a Terra a girar, a bala compartilha deste movimento também. A partir deste argumento, Galileu inicia uma demonstração sobre a independência dos efeitos dos movimentos de um movimento composto. Mariconda, em nota, salienta esta ideia como a verdadeira revolução galileana na física; “a ideia de independência dos efeitos dos movimentos componentes de um movimento composto: a análise pode tratar cada movimento como independente e inoperante para o outro, ou seja, quando dois movimentos se compõem, cada um deles guarda todas as propriedades que tinha independentemente.” (GALILEI, 2004, p. 662, nota 99). Esse conceito está implícito nas discussões trazidas pelo Diálogo, mas em certo trecho percebe-se a dificuldade de Galileu em pensar o movimento da bala de um canhão como composto “de um movimento retilíneo com o movimento circular de rotação da Terra; essa dificuldade decorre, em parte, do pressuposto cosmológico de que o movimento circular é natural e simples e, em parte, de uma análise fisicamente insuficiente do movimento circular.” (GALILEI, 2004, p. 663, nota 100). Nas páginas 201 a 205, Sagredo passa a ser a voz principal, pois Salviati comete erros conceituais sobre as trajetórias descritas por projéteis atirados em diferentes direções e sentidos com relação à superfície terrestre. Mariconda, em nota, considera também este fato como decorrente da incerteza de uma clara definição da trajetória da bala. (GALILEI, 2004, p. 662-665, nota 100).

Sobre os tiros de peças de artilharia conclui que o desvio sofrido pela bala não interfere na experiência tendo em vista a não exatidão dos tiros; “no movimento ou no repouso da Terra, (...) a variação é pequeniníssima, não pode mais que ficar submersa nas grandíssimas variações que acontecem continuamente devido a muitos acidentes.” (GALILEI, 2004, p. 264).

O princípio de relatividade do movimento introduzido por Galileu anula todas as objeções contra o movimento da Terra; argumentos como, por exemplo, a sensação de vento que teríamos estando a superfície em que nos encontramos em movimento. Participando o observador e também tudo o que está na Terra, de seu movimento, este nos parece não existir, não podendo ser constatado por meio das sensações e das experiências sensíveis. Se pensarmos as experiências discutidas, partindo deste princípio, os peripatéticos não têm mais com o que argumentar ou porque questionar. Mariconda, em nota, indica como consequência central do princípio de relatividade do

movimento a indiscernibilidade entre movimento e repouso para as experiências realizadas no interior de um sistema mecânico. (GALILEI, 2004, p. 666, nota 104).

Galileu chama a atenção para o fato de que os peripatéticos falam sobre a mobilidade terrestre como se a Terra tivesse estado parada e posteriormente iniciasse um movimento; em contrapartida, Ptolomeu afirma que, se a Terra estivesse movendo-se desde sempre, nada poderia ter sido criado nela; homens, animais, edifícios...pois estes seriam lançados pra fora dela. A explicação para a não fuga pela tangente dos corpos presentes na Terra é dada pela tendência de queda dos corpos. A partir deste momento, Galileu lança as bases de uma cinemática não aristotélica. (NASCIMENTO, 1990, p. 46). A questão da extrusão é discutida sob o ponto de vista de dois objetos, A e B, movendo-se sobre rodas com diâmetros diferentes, a tendência à extrusão é tanto maior quanto menor for o raio da roda. A proposta de Galileu é que se ambos os corpos percorrem arcos iguais em tempos iguais, a velocidade linear de ambos seja igual, $V_A = V_B$. Se A percorre um ângulo maior que B, então a velocidade angular de A é maior do que a de B, $\omega_A > \omega_B$.

Diz Salviati:

[...] o movimento circular é natural para o todo e para as partes, enquanto estão em ótima disposição: o movimento reto serve para reconduzir à ordem as partes desordenadas; (...) nem as ordenadas, nem as desordenadas, movem-se com movimento reto, mas com um movimento misto, que também poderia ser circular simples; mas para nós fica visível e observável somente uma parte desse movimento misto [...] (GALILEI, 2004, p. 324)

Ou seja, do movimento misto não vemos a parte circular, porque dela somos participantes. As críticas de Chiramonti acusam que a opinião de Copérnico abala gravemente o critério da filosofia natural visto que

os sentidos e a experiência são nossos guias no filosofar; mas na posição de Copérnico os sentidos se enganam enormemente, quando, estando próximos, percebem visivelmente em meios puríssimos que os corpos pesados descem perpendicularmente em linha reta, nem jamais se desviam por um só cabelo da linha reta; e contudo, para Copérnico, a visão de coisa tão clara se engana, e aquele movimento não é absolutamente reto, mas misto de reto e circular. (GALILEI, 2004, p. 330)

Uma nota de Mariconda, assinala uma discussão metodológica acerca do “engano dos sentidos”, que fundamenta uma objeção radical ao copernicanismo: “sua

premissa básica consiste em mostrar que o movimento da Terra contradiz a observação direta.” (GALILEI, 2004, p. 718, nota 186). O exemplo da queda vertical é o mais utilizado para argumentar sobre a imobilidade terrestre. Em resposta à crítica de Chiaramonti, Galileu volta a argumentar, baseado do princípio de relatividade do movimento: “... o movimento comum a nós e aos outros móveis é como se não existisse.” (GALILEI, 2004, p. 330-1). Galileu refere-se à perspectiva aristotélica defendida por Chiaramonti como “empirismo ingênuo”. (GALILEI, 2004, p. 722-3, nota 195). Diz Salviati:

Oh! Quisera eu deduzir preceitos mais úteis e mais seguros, aprendendo a ser mais circunspecto e menos confiante acerca daquilo que nos é primeiramente representado pelos sentidos, que nos podem facilmente enganar; e não desejaria que esse autor se afligisse tanto em fazer-nos compreender com os sentidos que esse movimento dos graves descendentes é simplesmente reto e não, de outro tipo, nem se ressentisse e exclamasse, porque uma coisa tão evidentemente manifesta e patente é colocada em dificuldade; porque, desse modo, dá sinal de acreditar que aqueles que dizem que tal movimento não é de outro modo reto mas, ao contrário, circular, parecem ver sensivelmente aquela pedra mover-se em arco, já que ele convida mais seus sentidos que sua razão para elucidar esse efeito: o que não é verdade, Sr. Simplicio, porque assim como eu, que sou indiferente a essas opiniões e somente à guisa de ator uso a máscara de Copérnico nessas nossas representações, jamais vi, nem me aconteceu de ver, cair aquela pedra de outro modo que perpendicularmente, assim também acredito que, aos olhos de todos os outros, se represente o mesmo. 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 sua falácia. (GALILEI, 2004, p. 338)

Sobre esta fala de Salviati, Mariconda, em nota, comenta sobre as diferentes interpretações que enquadram Galileu de um lado como “empirista crítico” e, de outro lado, como “racionalista”. (GALILEI, 2004, p.722-3, nota 195).

A partir deste momento, Simplicio passa a apresentar os argumentos contra o movimento da Terra, tomados da natureza das coisas. O primeiro argumento é o de que a Terra não pode mover-se por sua natureza com três movimentos enormemente diferentes, ou então, seria preciso refutar muitos axiomas evidentes.

Axioma 1: todo efeito depende de uma causa.

Axioma 2: nenhuma coisa produz a si mesma, do que se segue que não é possível que o movente e aquilo que é movido sejam totalmente a mesma coisa...,

enquanto o movente é causa e o movido, efeito, o mesmo seria totalmente causa e efeito.

Axioma 3: nas coisas sujeitas aos sentidos, um, enquanto um, produz somente uma coisa; [...] percebe-se que nas coisas sensíveis as diferentes operações derivam da diversidade existente na causa; visão, ouvido, olfato, geração.

Destes axiomas podemos inferir que “um corpo simples, como é a Terra, não se pode mover com três movimentos diferentes.” (GALILEI, 2004, p. 339-40).

A contra-argumentação de Salviati baseia-se no próprio argumento de Chiaramonti, apresentado por Simplicio; “da mesma forma que no animal um só princípio produz diferentes operações, na Terra, de um só princípio, derivam-se diferentes movimentos.” (GALILEI, 2004, p. 340).

Continua Simplicio apresentando um outro axioma:

Axioma 4: a natureza não tem falta, nem excesso, nas coisas necessárias. As articulações são necessárias nos animais para a diversidade de seus movimentos.

O segundo argumento contra o movimento tríplice da Terra fia-se na idéia de que

ou o corpo uno e contínuo, sem estar ligado por nenhuma articulação, pode executar diferentes movimentos; ou não pode executá-los sem ter as articulações; se pode fazê-lo sem estas, então terá a natureza construído em vão as articulações nos animais, o que é contra o axioma; mas se não pode sem aquelas, portanto, a Terra, corpo uno e contínuo e privado de articulações e ligamentos, não pode, por sua natureza, mover-se com vários movimentos. Vedes agora com que argúcia ele se opõe a vossa resposta, que parece tê-la previsto.” (GALILEI, 2004, p. 340-1)

A resposta de Salviati afirma que, para o movimento terrestre, não são necessárias articulações: “a natureza fez as juntas, as articulações e os ligamentos dos animais para que o animal possa mover uma ou mais de suas partes, ficando imóvel o resto. Os movimentos dos animais são todos de um tipo.” (GALILEI, 2004, p. 341). Sendo os movimentos anual e diurno na mesma direção, a função do terceiro movimento é a de manter o eixo da Terra sempre paralelo a si mesmo durante todo o movimento anual. Este movimento é refutado pela maior parte dos seguidores de

Copérnico: “[...] esse suposto movimento da Terra não é, em verdade, um movimento, mas um repouso.” (GALILEI, 2004, p. 724, nota 200).

Outra objeção de Simplicio é sobre a questão da pureza ou impureza, existente nos corpos celestes, estando a última somente na Terra. (GALILEI, 2004, p. 350). Galileu, mais uma vez, parte desses pressupostos aristotélicos para chegar à conclusão da segunda jornada do Diálogo; a partir das discussões apresentadas, tem-se em conta uma indeterminação da doutrina aristotélica, pois “os corpos do mesmo gênero possuem movimentos concordantes em gênero ou concordam no repouso.” (GALILEI, 2004, p. 725, nota 202). Neste caso, a decisão da mobilidade terrestre ou solar é quanto à natureza: sendo a Terra tenebrosa, assim como os seis planetas, e o Sol e as estrelas fixas luminosos, conclui-se que corpos de naturezas iguais tenham a mesma condição de movimento ou de repouso. (GALILEI, 2004, p. 349).

TERCEIRA JORNADA

As discussões presentes na terceira jornada partem da análise do livro sobre as estrelas novas, de Chiaramonti, no qual estão apresentados argumentos contra o movimento terrestre anual, baseados nas observações sobre as estrelas novas. O objetivo da terceira jornada é, então, atacar os argumentos contra o movimento terrestre de translação. A conclusão para as discussões acerca dos fenômenos observados nas estrelas é a de que deveria observar-se a paralaxe de tais estrelas e são observados desvios mínimos, mas o ângulo que mede a paralaxe tende a zero, para distâncias que tendem ao infinito. (GALILEI, 2004, p.734, nota 14).

Galileu propõe-se demonstrar os seguintes pontos: 1) Que a estrela nova não era sublunar, mas antes que se encontrava muito além do céu da Lua; 2) que em tal distância um erro de poucos minutos, compatível com as medidas da época, leva a estrela a uma distância infinita; 3) que os cálculos que conduzem a estrela para além do infinito, ou mesmo sob a Terra, provêm de erros de observação; 4) que, enfim, a referida estrela deve estar no céu das fixas. (GALILEI, 2004, p. 735). A defesa de Chiaramonti quanto às observações de outros astrônomos, que concordam em colocar a estrela nas regiões celestes mais altas é a de que as paralaxes são diminuídas, devido às refrações. Defesa que Galileu julga ser fraca: “A mesma refração atuará do mesmo modo na estrela nova que na antiga, sua vizinha, elevando ambas igualmente, motivo pelo qual o intervalo entre elas fica inalterado.” (GALILEI, 2004, p. 402).

A partir deste momento retoma-se a discussão sobre o movimento anual da Terra:

(...) toma-se em consideração o movimento anual comumente atribuído ao Sol, mas depois, primeiramente por Aristarco de Samos, e posteriormente por Copérnico, é tirado do Sol e transferido para a Terra: posição contra a qual sinto que o Sr. Simplício está poderosamente armado, particularmente com a arma e escudo do livreto de conclusões ou investigações matemáticas, cujas objeções será oportuno começar a examinar. (GALILEI, 2004, p. 404).

Trata-se do livro de Locher. (GALILEI, 2004, p. 741, nota 41). Passam a ser apresentados os argumentos contra a ideia de que a Terra, do mesmo modo que os outros planetas, possa mover-se em torno de um centro estável.

A primeira dificuldade é a de encontrar-se a Terra ao mesmo tempo no centro e afastada dele. Salviati questiona a posição da Terra, partindo do que Aristóteles define como centro: o ponto em torno do qual todas as esferas giram, no qual situou a Terra. O que não sustenta as diferentes distâncias dos planetas em relação ao planeta Terra, colocando à prova a finitude e infinitude do mundo; partindo da ideia de mundo esférico, seria a Terra o seu centro? (GALILEI, 2004, p. 405). Aristóteles admite um mundo finito, a partir da ideia de que ele é móvel. Negando-se sua mobilidade, cai a teoria; se se puder provar que o Sol é o centro das revoluções dos orbes celestes, então terá sido provado que ele é o centro do universo. (GALILEI, 2004, p. 744, nota 48). Os argumentos a favor da ideia de que o Sol ocupa o centro do universo baseiam-se nas posições dos planetas, que variam de acordo com certos períodos; os planetas encontram-se ora mais próximos, ora mais afastados da Terra. Por exemplo, Venus, quando afastadíssima, encontra-se seis vezes mais distante de nós do que quando está mais próxima. Ainda, Marte eleva-se¹² quase oito vezes mais numa posição que em outra. Marte, Júpiter e Saturno estão muito distantes da Terra quando estão em oposição¹³, e muito próximos quando em conjunção¹⁴. Marte, quando mais próximo de nós, aparenta ser sessenta vezes maior do que quando afastado. Vênus e Mercúrio nunca se afastam muito do Sol e ora estão acima e ora abaixo dele. Para a Lua percebe-se um movimento em torno da Terra, nunca se afastando dela. (GALILEI, 2004, p. 407).

A partir dessas considerações, Simplicio é solicitado a desenhar o sistema, baseando-se nas premissas concordantes para ambas as partes: as trajetórias de Venus e Mercúrio contêm o Sol mas não a Terra; Marte contêm o Sol e a Terra; a Lua contém apenas a Terra e Júpiter e Saturno contêm a Terra e o Sol. A partir disso conclui-se ser o Sol o centro das revoluções planetárias, excluindo a Lua. (GALILEI, 2004, p. 747, nota 60). Galileu consegue mostrar que, admitindo-se as mesmas premissas por ambas as partes, pode-se tomar como possível o sistema de mundo proposto por Copérnico:

Sendo verdade que todos os orbes dos planetas, digo de Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, movem-se em torno do Sol, como seu centro, parece igualmente razoável atribuir o repouso a esse Sol, e não à Terra, e manter fixo o centro das estrelas móveis, e não um outro lugar afastado desse centro; portanto, quanto à Terra, a qual está

¹² Ver glossário no anexo 2.

¹³ Ver glossário no anexo 2.

¹⁴ Ver glossário no anexo 2.

situada em meio a partes móveis, digo entre Vênus e Marte, dos quais um faz sua revolução em nove meses e o outro em dois anos, com muita propriedade pode-se-lhe atribuir o movimento de um ano, deixando o repouso para o Sol. E, se assim for, segue-se como consequência necessária, que também o movimento diurno é da Terra: porque, se, estando parado o Sol, a Terra não girasse sobre si mesma, mas só tivesse o movimento anual em torno do Sol, o nosso ano não seria outra coisa que um dia e uma noite, ou seja, seis meses de dia e seis meses de noite, como já se disse em outra ocasião. Vede, portanto, com quanta propriedade, é retirado do universo o movimento vertiginoso das 24 horas e como as estrelas fixas, que são outros tantos sóis, conforme o nosso Sol, desfrutam de um repouso perpétuo. Vale, além disso, quanta facilidade encontra-se neste primeiro esboço, para produzir as razões de aparências tão grandes nos corpos celestes. (GALILEI, 2004, p. 411-2).

Aristarco e Copérnico, “(...) pela força da inteligência fizeram tal violência a seus próprios sentidos que preferiram o que a razão lhes ditava àquilo que as experiências sensíveis lhes mostravam abertamente ao contrário.”[355] (NASCIMENTO, 1990, p. 66). São três as razões plausíveis para o movimento terrestre: é mais apropriado que seja imóvel o centro das revoluções, que, para Galileu, já se provou ser o Sol, ao invés de um ponto fora desse centro (a Terra); a Terra está posicionada entre outros dois corpos – Vênus e Marte – que realizam revoluções orbitais; o período de um ano da revolução orbital da Terra é intermediário entre os períodos de nove meses e de dois anos de Vênus e Marte respectivamente, assim como o tamanho de sua órbita é intermediário entre os tamanhos das órbitas de Vênus e Marte. (GALILEI, 2004, p. 747, nota 61).

Sagredo apresenta mais duas objeções contra o movimento diurno:

A primeira objeção era que, se fosse verdade que o Sol e as outras estrelas não se elevassem acima do horizonte oriental, mas que a parte oriental da Terra se abaixasse, ficando aqueles primeiros imóveis, seria preciso que daí a poucas horas as montanhas situadas a oriente, inclinando-se para abaixo devido à rotação do globo terrestre, ficassem em tal posição, que onde há pouco para subir até seus cumes devia-se fazer uma subida íngreme, seria necessário depois, para chegar lá em cima, fazer uma descida íngreme. A outra objeção era que, se o movimento diurno fosse da Terra, deveria ser tão veloz, que alguém que estivesse no fundo de um poço não poderia ver, a não ser por um instante, uma estrela que lhe estivesse no vértice, não a podendo ver senão por aquele brevíssimo tempo no qual ela passa as 2 ou 3 braças da circunferência da Terra, que tanta é a largura do poço: contudo, vê-se pela experiência que a passagem aparente da tal estrela, ao atravessar o poço, emprega um tempo muito longo; argumento necessário de que a boca do poço não se move finalmente com aquela

fúria que conviria à rotação diurna, e, por consequência, que a Terra está imóvel. (GALILEI, 2004, p. 415)

Galileu desfaz a confusão da segunda objeção pela relatividade dos movimentos. A confusão acontece porque não se tem em conta que tudo o que está na Terra, observador ou objeto de observação participa do mesmo movimento, por isso, estando o observador na Terra, não poderá observar o movimento de rotação a ela referente.

Salviati aponta para os inconvenientes da teoria ptolomaica; a desuniformidade dos movimentos dos planetas e os “movimentos contrários, fazendo com que todos se movam individualmente de levante para poente e todos juntos de poente para levante.” (GALILEI, 2004, p. 426). Em contrapartida, Copérnico prevê movimentos circulares uniformes para todos os corpos celestes e as revoluções são em uma só direção, de oeste para leste. A disformidade do movimento dos planetas é salva por Ptolomeu por meio dos equantes. Assumindo-se o movimento anual da Terra toda essa disformidade se explica; “esta e outras anomalias são remediadas por meio única e simplesmente do movimento anual da Terra.” (GALILEI, 2004, p. 427). Com o heliocentrismo o equante pode ser descartado. O movimento anual dá conta também das características apresentadas pelo movimento de rotação das manchas solares.

Admitindo-se a Terra estacionária no centro do universo, o Sol, cujo movimento se dá em torno da Terra, fica responsável pelas causas de todas as diferenças que se observam nos movimentos das manchas solares, por meio do seu próprio movimento, subentendendo-se um movimento de girar sobre si mesmo levando consigo as manchas, que são aderentes à sua superfície. Outra condição é

dizer que o eixo da rotação solar não é paralelo ao eixo da eclíptica, o que significa dizer que não é perpendicular ao plano da eclíptica, porque, se assim fosse, os trajetos dessas manchas nos apareceriam feitos por linhas retas e paralelas à eclíptica: esse eixo é, portanto, inclinado, porque os trajetos aparecem na maior parte feitos por linhas curvas. Em terceiro lugar, será necessário dizer que a inclinação desse eixo não é fixa e voltada continuamente em direção ao mesmo ponto do universo, mas que, ao contrário, muda de direção de momento em momento: porque, se a inclinação estivesse dirigida continuamente em direção aos mesmo ponto, os trajetos das manchas nunca mudariam de aparência, mas uma vez que aparecessem retos ou curvos, inclinados para cima ou para baixo, ascendentes ou descendentes, assim apareceriam sempre. (GALILEI, 2004, p. 438)

Os movimentos atribuídos ao Sol pela teoria ptolomaica são introduzidos para dar conta do trajeto das manchas na superfície solar e os outros movimentos eram

previstos na teoria independentemente das manchas; o movimento anual pela eclíptica para explicar a variação das estações do ano e o movimento diário do Sol em planos paralelos ao equador para fazer com que ele gire em torno da Terra em vinte e quatro horas¹⁵. A dificuldade da discussão está em estabelecer relação do movimento diário com os demais movimentos. (GALILEI, 2004, p. 763, nota 94)

Salviati ressalta que não decidirá entre as teorias por ele apresentadas, já que sua intenção é

somente a de propor aquelas razões naturais e astronômicas que podem por mim (ele) se aduzidas em favor de uma ou de outra posição, deixando para outros a determinação, a qual não deverá por último ser ambígua, pois, sendo uma das duas constituições necessariamente verdadeira e a outra necessariamente falsa, é impossível que (mantendo-nos nos limites das doutrinas humanas) as razões apresentadas a favor da parte verdadeira não se apresentem tão concludentes quanto as contrárias vãs e ineficazes. (GALILEI, 2004, p. 440-1)

Retomando-se as discussões sobre as objeções apresentadas por Locher, que afirma que o movimento terrestre acontece em sentido oposto ao previsto para o Sol nas teorias aristotélica e ptolomaica, Salviati logo esclarece seu erro, pois

o movimento anual aparente do Sol, tal como observado da Terra, faz-se na direção de ocidente para oriente ou segundo a ordem dos signos do zodíaco (Aquário, Peixes, Áries etc.). No sistema ptolomaico, que iguala a aparência à realidade, o Sol realiza sua revolução anual na mesma direção. O sistema copernicano, de sua parte, transfere a revolução anual do Sol para a Terra, mas não inverte a direção do movimento, nem precisa invertê-la, pois o movimento anual é relativo entre a Terra e o Sol e deve ser projetado contra a faixa zodiacal de fundo da esfera celeste. (GALILEI, 2004, p. 767)

A primeira objeção, apresentada de maneira irônica, subentendendo que nessa constituição, prevista pela teoria, o Sol, Vênus e Mercúrio situam-se abaixo da Terra, por estarem mais próximos do Sol do que a própria Terra, levaria a uma subversão de todo o curso do mundo. A outra objeção é que uma estrela fixa seria maior que o próprio tamanho do Sol e estariam a uma distância da Terra que iria além do orbe magno, uma distância inimaginável, inacreditável, além de supor que este orbe seria pouco denso. O problema dos astrônomos que estudaram e criticaram a teoria

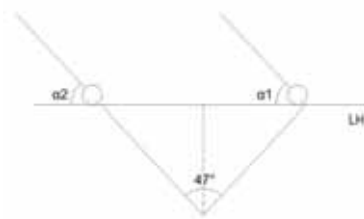
¹⁵ Mariconda, em nota, coloca em questão as várias interpretações e desfechos que se podem ter; em uma delas, a de Koestler (1959), são apontados argumentos sobre a fundamentação da teoria ptolomaica que pode ser observada na teoria copernicana, por meio de algumas explicações fundadas em um mesmo pressuposto. (GALILEI, 2004, p. 763-6, nota 96)

copernicana era quanto às relações entre dimensão e distância e entre brilho (irradiação) e tamanho. Das discussões sobre os métodos, as imprecisões e as comparações para se medir a dimensão das estrelas, pode-se concluir que a esfera estelar é muito maior do que se considerara até então. Considerando-se estarem relacionados diretamente o tamanho do orbe com a velocidade das rotações, e comparando-se as proporções com relação ao Sol e aos planetas, o afastamento das estrelas fixas deve ser muito maior do que o considerado pelos astrônomos até então.

Sagredo argumenta que a importância dos efeitos das estrelas para nós seria percebida por nós se uma delas fosse retirada do céu, ainda que possam existir coisas no céu que são invisíveis para nós e, o que antes era tido de uma maneira, após observação, possa ser reconsiderado e reexplicado. Locher e qualquer outro estudioso que ignorasse isso deveria ser encarado como ignorante. (GALILEI, 2004, p. 452-3). Salviati alerta sobre a necessidade de interpretar fundamentando-se, além do significado de cada coisa proposta, na realidade dos termos; “grande, pequeno, imenso, mínimo etc. são termos não absolutos, mas relativos, de modo que a mesma coisa, comparada com várias outras, poderá chamar-se ora imensa, ora mais pequena ou insensível.” (GALILEI, 2004, p. 453). Por exemplo, vista de uma grande distância, toda a esfera estelar poderia parecer tão pequena quanto uma única estrela. Uma dificuldade apresentada por Sagredo sobre a teoria copernicana é quanto às mudanças observadas no Sol e nas estrelas fixas terem sua explicação pautada no movimento terrestre:

Copérnico supõe imóvel a esfera estelar, e o Sol no centro da mesma, igualmente imóvel; portanto, toda mudança que nos apareça feita no Sol ou nas estrelas fixas, é necessário que seja da Terra, ou seja, nossa: mas o Sol se eleva e se abaixa no nosso meridiano por um arco grandíssimo de quase 47 graus¹⁶, e por arcos sempre maiores variam as suas amplitudes ortivas¹⁷ e ocíduas¹⁸ nos horizontes oblíquos: ora,

¹⁶ Os efeitos de elevação e abaixamento do Sol se devem à inclinação de, aproximadamente 23,5°, com relação à linha do horizonte na observação dos dois efeitos.



¹⁷ Nascente; oriental.

¹⁸ Poente; ocidental.

como pode a Terra inclinar-se e elevar-se tão notavelmente com relação ao Sol, e nada com relação às estrelas fixas, ou tão pouco que seja uma coisa imperceptível? (GALILEI, 2004, p. 462).

A resposta de Copérnico sobre as variações que ocorrem nas estrelas por causa da translação terrestre, e que se tornam inobserváveis, é que isto é devido à distância enorme entre a Terra e a esfera estelar. Há uma grande distância entre o orbe de Saturno e a esfera das estrelas fixas, e este espaço pode ser ocupado por corpos, para a observação dos quais não dispomos de instrumentos. Por exemplo, os satélites de Júpiter não foram observados antes da luneta, assim como o anel de Saturno e as estrelas da Via Láctea. Copérnico, não dispondo de uma luneta, reconhece não haver variação na esfera estelar, conduzindo à necessidade de atribuir às estrelas um tamanho inadmissível. Salviati argumenta que, realmente, essas são dificuldades do sistema copernicano. No entanto, afirma serem essas previsões observáveis por meio do uso da luneta, instrumento que não estava disponível para a utilização por Copérnico¹⁹. A luneta elimina o efeito de irradiação, permitindo a observação dos planetas sem sua ‘coroa radiante’, permitindo a observação das variações de grandeza de Marte e Vênus nas proporções indicadas e também podem observar-se as fases de Venus. As mesmas variações de grandeza devem ser apresentadas por Júpiter, Saturno e Mercúrio. Salviati afirma tê-las observado, com exceção de Mercúrio devido a sua posição em relação ao Sol.

O argumento de Aristóteles contra a idéia de tomar a Terra um planeta repousa na necessidade de esta ter “mais que um movimento, do que se seguiria essa variação nos nascimentos e nos ocultos das estrelas fixas, e igualmente nas alturas meridianas.” (GALILEI, 2004, p. 463)

Galileu passa a apresentar as mudanças e diferenças que deveriam ser observadas nas estrelas fixas devido ao movimento anual:

Retomando os dois movimentos atribuídos à Terra (e digo dois, porque o terceiro não é de modo algum um movimento, como explicarei a seu tempo), ou seja, o anual e o diurno, aquele deve entender-se feito pelo centro da Terra na circunferência do orbe magno, ou seja, de um círculo máximo descrito no plano da eclíptica, fixa e imutável; o outro, ou seja, o diurno, é feito pelo globo da Terra sobre si mesmo em torno do próprio centro e do próprio eixo, não na vertical, mas inclinado com relação ao plano da eclíptica, com uma

¹⁹ Sobre paralaxe ver anexo 2.

inclinação de aproximadamente 23 graus e meio, inclinação essa que se mantém por todo o ano e, o que se deve principalmente notar, mantém-se sempre dirigida para a mesma parte do céu, de modo que o eixo do movimento diurno mantém-se perpetuamente paralelo a si mesmo: de modo que, se imaginarmos esse eixo prolongado até as estrelas fixas, enquanto o centro da Terra circunda num ano toda a eclíptica, esse mesmo eixo descreve a superfície de um cilindro oblíquo, que tem como uma de suas bases o mencionado círculo anual, e como outra um círculo similar descrito imaginariamente a partir de sua extremidade, ou queremos dizer, pólo, entre as estrelas fixas; e é esse cilindro oblíquo ao plano da eclíptica segundo a inclinação do eixo que o descreve, que dissemos ser de 23 graus e meio, inclinação essa que se conserva perpetuamente a mesma (a não ser que em muitos milhares de anos faz alguma pequeníssima mudança, que tem pouca importância no presente caso), faz que o globo terrestre jamais se incline nem se eleve, mas se conserve imutável: do que se segue que, quanto às mudanças a serem observadas nas estrelas fixas, dependentes unicamente do movimento anual, acontecerá para qualquer outro ponto da superfície terrestre o mesmo que acontece com o próprio centro da Terra; e por isso na presente explicação servir-nos-emos do centro, como se fosse qualquer outro ponto da superfície. (GALILEI, 2004, p. 463-4)²⁰

As estrelas fixas se aproximam e afastam da Terra devido ao movimento anual desta, não variando jamais de elevação, “as sempre se verá na mesma superfície; mas certamente a Terra aproximar-se-á e afastar-se-á delas por tanto espaço quanto é o diâmetro do orbe magno.” (GALILEI, 2004, p. 464). O máximo que se pode perceber em qualquer estrela colocada na eclíptica é o aumento ou diminuição de sua grandeza aparente, devido à aproximação ou afastamento da Terra. Sagredo argumenta que as observações dos movimentos dos planetas são feitas com relação às estrelas fixas, de maneira que o referencial no estudo do movimento, das paradas, avanços e retrogradações dos planetas são as estrelas fixas. Salviati relembra que as estrelas fixas são tomadas como ocupando alturas diferentes com relação a nós, podendo uma estrela pequena, porém mais próxima de nós, aparentar-se-nos de mesma dimensão que outra muito maior, mas que se encontra mais distante. Possibilitando à mesma estrela aparentar diferentes dimensões de acordo com a posição da Terra, ou seja, o ângulo formado entre a posição da estrela vista da Terra e o plano do equador celeste varia, apresentando elevações e abaixamentos com relação à sua distância da eclíptica.

Concluimos, portanto que a diversidade de aparência (a qual com termos apropriados à arte poderemos chamar paralaxe das estrelas fixas) é maior ou menor, segundo as estrelas observadas estejam mais

²⁰ Ver anexo 3.

ou menos próximas ao pólo da eclíptica; de modo que, finalmente, das estrelas que estão na própria eclíptica, tal diversidade reduz-se a nada. Quanto depois ao fato de que nesse movimento a Terra aproxima-se ou afasta-se das estrelas, a Terra aproxima-se ou afasta-se daquelas que estão na eclíptica pela totalidade do diâmetro do orbe magno, como acabamos de ver; mas para as estrelas que estão em torno do pólo da eclíptica tal aproximação ou afastamento é quase nulo, e para as outras essa diferença faz-se maior, segundo elas estejam mais próximas da eclíptica. (GALILEI, 2004, p. 468)

Sagredo conclui a discussão apresentando sua compreensão sobre as duas aparências diferentes que podemos observar nas estrelas fixas devido ao movimento anual da Terra:

Uma refere-se às variações de suas grandezas aparentes, à medida que nós, levados pela Terra, aproximemo-nos ou afastemo-nos daquelas; a outra (que também depende do mesmo afastamento ou aproximação) é mostrarem-se elas no mesmo meridiano, ora mais elevadas, ora menos. Além disso, vós nos dizeis (e eu o entendo perfeitamente) que uma e outra dessas mudanças não acontece igualmente em todas as estrelas, mas são maiores em algumas, menores em outras, e em outras nulas. A aproximação e a distância, pela qual a mesma estrela deve aparecer-nos ora maior e ora menor, é insensível e quase nula nas estrelas próximas ao pólo da eclíptica, mas é máxima nas estrelas postas nessa eclíptica, e média nas intermediárias; acontece o contrário com a outra diferença, a saber, que nula é a elevação²¹ ou o abaixamento nas estrelas colocadas na eclíptica, máxima nas circunvizinhas ao pólo dessa eclíptica, médias nas intermediárias. Além disso, ambas diferenças são mais sensíveis nas estrelas que estejam mais próximas, nas mais afastadas são menos sensíveis e, finalmente, nas extremamente distantes desapareceriam. (GALILEI, 2004, p. 469)

São quatro as proposições sobre o movimento da Terra:

- 1) A Terra esférica gira em torno do seu próprio eixo e pólos. A trajetória de um ponto marcado em sua superfície é uma circunferência, que é tanto menor quanto mais próximo de um dos pólos ele estiver; a máxima trajetória é a de um ponto que esteja igualmente distante dos pólos. Todas essas circunferências são paralelas entre si.
- 2) Por sua forma esférica e por ser a Terra opaca, sua iluminação pelo Sol é sempre parcial, ou seja, a parte iluminada é sempre a metade da superfície terrestre; sendo o círculo que separa a parte escura da iluminada um círculo máximo, chamado *círculo terminadouro da luz*.

²¹ Ver anexo 2.

- 3) Quando o círculo terminadouro da luz passa pelos pólos terrestres, temos os paralelos cortados em partes iguais; caso contrário, cortará os paralelos em partes desiguais, com exceção do círculo máximo, que sempre a divide em partes iguais.
- 4) Com o movimento diário, os dias e as noites são determinados pelos arcos dos paralelos cortados; a duração do dia depende do arco no hemisfério iluminado, e o restante estipula a duração da noite.

Em cada momento do movimento anual vemos o Sol em diferentes posições, aparentando-nos descrever um movimento na eclíptica, percorrendo o zodíaco em um ano. O movimento diário acontece sempre paralelo ao seu eixo, sem nunca mudar sua inclinação com relação ao plano da eclíptica, nunca variando também sua direção, de maneira que mantenha-se sempre dirigido para as mesmas partes do universo.

E toda esta mudança não se deriva do inclinar-se ou elevar-se da Terra, mas, ao contrário, dela jamais inclinar-se ou elevar-se e, em suma, de conservar-se ela sempre na mesma disposição com respeito ao universo, apenas com circundar o Sol, situado no meio do mesmo plano no qual ela se move circularmente com o movimento anual. (GALILEI, 2004, p. 477-8)

A contra-argumentação de Galileu assenta-se na idéia de que a suposição dos movimentos terrestres não é obstaculizada pela não observação da inclinação ou abaixamento das estrelas fixas, mas antes prescinde deste fato:

Assim como o eixo da Terra, ao conservar a mesma direção para o universo, ou melhor dizendo, para a esfera altíssima das estrelas fixas, faz que o Sol nos apareça elevar-se e inclinar-se por tanto espaço, ou seja, por 47 graus, e que nada se inclinem ou elevem as estrelas fixas, assim, ao contrário, quando esse mesmo eixo da Terra se mantivesse continuamente com a mesma inclinação em direção ao Sol, ou melhor dizendo, em direção ao eixo do zodíaco, nenhuma mudança apareceria fazer-se na elevação e abaixamento do Sol, de modo que os habitantes do mesmo lugar sempre teriam as mesmas diferenças dos dias e das noites e a mesma disposição das estações, ou seja, alguns sempre inverno, outros sempre verão, outros primavera etc., mas ao contrário, apareceria grandíssima para nós a mudança de elevação e inclinação das estrelas fixas, que importariam nos mesmos 47 graus. (GALILEI, 2004, p. 478)

Sobre o terceiro movimento da Terra, Galileu argumenta que este movimento contrário convém à Terra pelos outros dois movimentos, mas que na realidade “ele não é uma coisa real, mas uma simples aparência, e o que vos parecia ser uma rotação sobre

si mesmo, é um não se mover e um conservar-se totalmente imutável com respeito a tudo aquilo que fora de vós fica imóvel.” (GALILEI, 2004, p. 482)

Salviati passa a indagar Simplicio a respeito da composição terrestre. Fala sobre a existência tanto de terra quanto de pedras na sua composição, tornando plausível a afirmação de uma constituição também de pedras, além de terra. Atendendo a Terra aos mesmos efeitos observados em experiências com pedaços de calamita, pode-se tomar como hipótese pertinente ser a composição terrestre de tal matéria.

QUARTA JORNADA

Na quarta jornada, Galileu apresenta uma revisão do *Discurso sobre o fluxo e refluxo do mar* (1616). A tese fundamental é que se a Terra estivesse em repouso, não existiriam movimentos nos mares (as marés seriam inexistentes). “A explicação de Galileu é estritamente cinemática e pode ser, sem dúvida, considerada como um exemplo de teoria mecanicista estrita, no sentido de não fazer referência a forças ou a influências externas ao sistema mecânico tomado em consideração.” (GALILEI, 2004, p. 794 nota 2).

As marés²² são um resultado de interferências mútuas dos movimentos de rotação e translação, que dariam conta de três tipos de marés:

Diárias (de aproximadamente seis horas são as mais notáveis)

Mensais (devido às fases da Lua)

Anuais (influência do Sol pelas modificações nos solstícios e equinócios) (NASCIMENTO, 1990, p. 101).

A tese defendida por Galileu baseia-se na idéia de que o fluxo e refluxo do mar não existiriam com a Terra imóvel. Para isto, segue-se uma discussão na qual Galileu compara o comportamento da água dentro de um recipiente que é acelerado ou “freado” ao comportamento de um pêndulo quando posto em movimento, justificando o fluxo e refluxo do mar como a tendência do pêndulo a voltar a sua posição inicial de equilíbrio. Comparando ainda os períodos de oscilação da água e do pêndulo como diretamente proporcionais ao comprimento do recipiente e do fio, respectivamente. (GALILEI, 2004, p. 511-2).

Simplício defende que o movimento das águas marinhas depende do movimento do céu, “por ser fluida e não estar presa à imobilidade da Terra.” (GALILEI, 2004, p. 525). Sendo assim, o movimento do céu arrasta além do ar também as águas; o fluxo e refluxo do mar pode depender do movimento diurno do céu.

²² Ver anexo 4.

A teoria das marés de Galileu é uma das justificativas de sua defesa do copernicanismo; assim, Galileu apresenta a teoria copernicana como solução para algumas das dúvidas que foram objeto das investigações dos astrônomos;

(...) quanto à ordem dos corpos do mundo e à estrutura integral das partes do universo por nós conhecidas, ficou-se em dúvida até a época de Copérnico, o qual nos indicou finalmente a verdadeira constituição e o verdadeiro sistema segundo o qual essas partes estão ordenadas; de modo que estamos seguros de que Mercúrio, Vênus e outros planetas giram em torno do Sol, e de que a Lua gira em torno da Terra. (GALILEI, 2004, p. 538)

O fenômeno das marés é entendido por Galileu como a confirmação do movimento terrestre:

(...) as marés proporcionam uma prova conclusiva do movimento terrestre, diferentemente dos argumentos das outras três jornadas que, (...), são tomados como razões plausíveis, uma vez que todos os fenômenos examinados até aqui, sejam celestes, sejam terrestres, mostram que eles “devem aparecer-nos feitos sob as mesmas aparências”, seja quando se supõe a Terra imóvel, seja quando a supomos em movimento. (GALILEI, 2004, p. 794, nota 2)

No entanto, o mecanismo das marés diárias entra em conflito com o princípio de relatividade do movimento de Galileu, segundo o qual a Terra é considerada um sistema inercial. Além disso, prevê mudanças de doze em doze horas e não com intervalos de seis horas como é observado. Portanto, não é pouco o que Galileu deve enfrentar para elaborar uma nova percepção dos fenômenos e dos objetos da natureza (contra a tradição, o magistério da igreja e o senso comum), um novo observador (que está em movimento quando observa), um novo referencial (a terra é móvel), um novo mundo a ser inventado (o universo visto pela “teoria”).

Julgamos, assim, que para o estudo da teoria galileana, é imprescindível uma análise da historiografia a respeito, de maneira a atender ao que propomos como relevante neste trabalho em que se visa a abordagem da História e Filosofia das Ciências no Ensino de Ciências – a idéia de construção do conhecimento de História da Ciência a partir das diversas leituras e das diversas correntes que subsidiaram tais leituras. Admitindo esta relevância, apresentamos uma análise historiográfica de três diferentes construções da figura de Galileu e, mais especificamente, de sua ciência. Selecionamos então as propostas de Alexandre Koyré, Paul Feyerabend e Marcel Clavelin. A análise de seus trabalhos possibilita uma reflexão sobre as diversas estratégias metodológicas e

também sobre as influências e intenções, que podem ser percebidas de maneira evidente na defesa do copernicanismo apresentada por Galileu.

CAPÍTULO 2

A HISTORIOGRAFIA DA CIÊNCIA GALILEANA

O historiador da ciência é um pesquisador que investiga o problema da construção da ciência, isto é, procura explicar o processo de elaboração e construção de conceitos científicos que são compreendidos se dominarmos os argumentos internos da teoria e seu contexto histórico.

A história da ciência que trata a ciência como modelo de progresso cumulativo parte da idéia que a finalidade das descobertas é chegar ao estado atual de conhecimento. No entanto, determinada explicação é elaborada a partir das questões de seu tempo e o futuro é imprevisível e se articula ao sabor das circunstâncias. Cada explicação científica possui seu valor intrínseco, por mais distante que esteja da explicação atual da ciência. O estudo histórico busca, tanto a compreensão das diferentes explicações como o contexto histórico de sua produção.

A metodologia de análise em história da ciência deve incluir uma análise interna das teorias científicas, que busca manter-se o mais fiel a certas concepções de sua época e à lógica dos conceitos no interior da teoria. A análise internalista é importante para o trabalho em história da ciência, mas deve-se articular com as condições sócio-econômicas de sua produção.

Nesse sentido, devemos descartar a idéia de erro na ciência e interpretarmos como leitura que fazemos do passado a partir do presente. Santo Agostinho²³ considerava o tempo passado como presente do passado, pois o entendimento do passado é a partir dos elementos do presente. Em história da ciência procuramos entender as coisas passadas a partir da mentalidade do presente. O exercício do historiador da ciência é a procura de aproximar-se do passado buscando entender os elementos vigentes naquele período histórico, que se expressa no interior da teoria.

²³Santo Agostinho. **Confissões**. São Paulo: Nova Cultural, 1987. Sobre o Livro XI: O Homem e o Tempo. "...os tempos são três: presentes das coisas passadas, presentes das presentes, presentes das futuras." (p. 222)

A história da ciência é escrita por diferentes historiadores, que imprimem uma variedade de interpretações históricas; isso implica em diferentes perspectivas e finalidades. Fica difícil fazer um julgamento quanto à qualidade dos produtos historiográficos. Há um inevitável enredamento entre os fatos e as interpretações. Provas documentais são interpretadas, ignoradas ou investidas de uma importância desproporcional, sofrendo forte influência e determinação social. Isso torna a história escrita ideológica²⁴. Surge, desta forma, a criação de mitos - doutrinas socialmente úteis relacionadas indiretamente com fatos históricos - culminando na mitificação da história da ciência. (KRAGH, 2001, p. 119-120).

À divulgação da ciência denomina-se hoje instrumento na globalização do conhecimento científico. Tem ainda a finalidade de viabilizar o entendimento de ciência por meio do processo de desenvolvimento pelo qual passa. O acesso à história da ciência é feito por meio de documentos (*e.g.*, cartas, livros, periódicos – fontes primárias).

As barreiras enfrentadas com a escrita da história possibilitam a construção de historiografias que buscam discutir o que é o fazer histórico, em especial, na ciência.

As obras produzidas por diferentes historiadores, embora possam ter as mesmas fontes de informações, carregam os traços característicos da interpretação e principalmente do contexto social, filosófico e político no qual estão inseridas. Há ainda um processo de constante reescrita da história, pelo fato de se revelarem novos fatos, provindos de novas fontes, ou ainda pelo simples fato de que releituras são feitas por historiadores de épocas distintas: “O mais importante é que a interpretação do passado constitui, em certa medida, uma função do presente.” (KRAGH, 2001, p. 51).

A “revolução científica”, como proposta por alguns intérpretes da história da ciência, é alvo de intensa discussão sob a perspectiva da historiografia: “Os historiadores da ciência têm discutido até que ponto a chamada “revolução científica” é ou não real, isto é, se houve um período natural, histórico, desde Copérnico a Newton, durante o qual a filosofia natural se transformou na ciência moderna.” (KRAGH, 2001, p. 86). A análise e produção da história da ciência passam por diversas vertentes que

²⁴ Ideologia é como uma doutrina que legitima as opiniões e interesses de um determinado grupo social. (KRAGH, 2001, p. 119).

apontam para visões múltiplas de um mesmo fato ou episódio; Kragh (2001) escreveu que

o historiador não se vê confrontado com uma escolha entre uma perspectiva diacrônica ou sincrônica. Geralmente, ambos os elementos deviam estar presentes, dependendo a sua importância relativa do tema particular a ser investigado e da intenção da investigação. (KRAGH, 2001, p. 118).

Consideramos a ciência²⁵ um trabalho de construção e cabe ao historiador – fundamentado nos documentos (fontes primárias) – compreender a lógica interna da teoria e os aspectos institucionais e sócio-econômicos que estão diretamente ligados à produção e desenvolvimento científico²⁶. A metodologia de análise em história da ciência deve incluir uma análise interna das teorias científicas, que busca manter-se fiel às concepções de sua época e à lógica dos conceitos no interior da teoria. O estudo sobre as diferentes interpretações da teoria de Galileu Galilei neste contexto é um exemplo da diversidade historiográfica que se pode produzir a partir de uma mesma teoria. Kragh (2001) cita-o como uma fonte inesgotável de estudos históricos e considera que as diversas apresentações advêm dos diversos indícios fornecidos por ele sobre a sua forma de olhar o mundo e buscar explicações. Salienta que a questão do método em Galileu é o alvo principal das diferentes visões que se tem sobre ele:

O debate sobre o método de Galileu e o papel da experimentação na sua ciência prosseguirá. Este é o tipo de questão que não pode ser decidido pela simples análise das fontes e que não parece oferecer qualquer tipo de resposta definitiva. Mas o debate, longo e erudito, parece ter servido pelo menos para esclarecer que Galileu não era um apóstolo da ciência empíricoindutivista, nem um inequívoco pensador hipotético-dedutivo. Tais imagens do grande italiano não têm base na realidade histórica, sendo antes o resultado de ideais científicos de épocas mais recentes. Além disso, grande parte dos estudos sobre Galileu parte do pressuposto que Galileu tinha uma metodologia claramente definida e trabalhava de acordo com ela, que sua atitude para com o papel das experiências era inequívoca e consistente. Como noutros casos, este pressuposto não está bem fundamentado e parece até ser baseado no mito da coerência. Em parte, a falta de clareza que rodeia o método de Galileu é indubitavelmente devida ao fato de que

²⁵ As características do saber científico elaborado após a crítica positivista da filosofia são: 1. Elaboração de um saber científico emancipado. 2. Divisão da ciência em ciências. 3. Busca de fatos observados para as ciências ligadas à empiria.

²⁶ Esse segundo aspecto caracteriza uma forma de analisar a história da ciência que é influenciada pela historiografia marxista e pela sociologia alemã (sobretudo Weber). A história da ciência de caráter externalista contribui para compreender a inserção da atividade científica na sociedade.

Galileu não era claro. O historiador terá de aceitar este fato. (KRAGH, p. 165, 2001)

Se pensarmos a questão de um estudo da história presentista, temos um fator extremamente relevante no produto historiográfico final. Frequentemente, analisa-se Galileu a partir do que veio depois dele e do que ele não tinha conhecimento. Julgamos imprescindível também um estudo que tenha como fundamentação indireta a ideia do “[...] porquê e como, na nossa época, nos referimos aos autores do passado.” (CHÂTELET, 1977. P. 26). O desenvolvimento do conhecimento da história da ciência tem seu perfil determinado pelo que se apresenta e pela maneira como se apresenta. De maneira que, um professor, por exemplo, dispõe de uma liberdade de escolher ou mesmo enaltecer aquela posição mais aceitável nos dias atuais. Se pensarmos no caso dos estudos historiográficos sobre Galileu, encontramos diferentes leituras, sob diferentes focos, que, por vezes, colocam-no apenas como parte da cronologia da filosofia natural. Cada doutrina existente no plano histórico deve ser analisada em seu plano, dentro do espaço/tempo ao qual acontece. (CHÂTELET, 1977, p. 42). A conclusão de Châtelet em sua discussão sobre a história da filosofia pode ser pensada também sobre a história de todas as ciências:

[...] uma história da filosofia, seja ela global ou refira-se apenas a uma filosofia determinada, é necessariamente um história política, uma história política do passado que pode ser constantemente reativada pela nossa história política atual. (CHÂTELET, 1977, p. 39)

As múltiplas apresentações de Galileu são objeto de intensa reelaboração e reinterpretação. Podemos citar MOSCHETTI (2004), que faz uma comparação entre as diferentes figuras historiográficas de Galileu, com o intuito de expor a variedade de interpretações de um mesmo estudioso da natureza: “cada um desses “Galileus” está comprometido com a concepção de ciência particular de quem o criou, como não poderia deixar de ser, pois não existe uma interpretação neutra.” (MOSCHETTI, p. 79, 2004). Ainda, (ZYLBERSZTAJN, 1988, p. 36) apresenta algumas das principais versões a fim de evidenciar a necessidade de atenção ao fato de que a história da ciência passa por estes quesitos historiográficos que ele julga necessários estar presente nos materiais didáticos como forma de transmitir a ideia de ciência conforme os pressupostos assumidos para a abordagem histórico-filosófica no ensino de ciências. (ZYLBERSZTAJN, 1988, p. 36)

Diante do problema assim apresentado vemos a necessidade de se pensar a questão da historiografia da ciência no desenvolvimento de nossa proposta, pois as diferentes versões de Galileu ajudam na articulação da interpretação que teremos do autor.

O GALILEU DE KOYRÉ

A interpretação proposta por Alexandre Koyré para a “revolução científica” do século XVII descreve a física moderna a partir do estudo do movimento dos corpos pesados, tendo origem nos estudos dos problemas astronômicos. O abandono da concepção clássica e medieval do cosmo – unidade fechada num todo qualitativamente determinado e hierarquicamente ordenado – implica em uma nova concepção de universo – conjunto aberto e indefinidamente extenso – dando identidade às leis fundamentais que governam a fusão das físicas celeste e terrestre; esta última utiliza e aplica a seus problemas os métodos matemáticos hipotético-dedutivos desenvolvidos pela física celeste. (KOYRÉ, 1991, p. 182)

Para Koyré a física moderna nasceu com Galileu e completou-se com Einstein, tendo como lei fundamental a lei da inércia. A ciência moderna tende a explicar tudo “pelo número, pela figura e pelo movimento”. Koyré considera justa a menção de Galileu quanto ao princípio de inércia: “embora Galileu nunca tenha formulado explicitamente o princípio de inércia, sua mecânica está, implicitamente baseada nele.” (KOYRÉ, 1991, p. 182). Koyré aponta como o maior obstáculo enfrentado pelo conceito o fato de que o senso comum é medieval e aristotélico. O princípio de inércia pressupõe: a) a possibilidade de isolar um dado corpo de todo o seu entorno físico e de considerá-lo simplesmente como existente no espaço; b) a concepção do espaço que o identifica com o espaço homogêneo infinito da geometria euclidiana; c) uma concepção do movimento e do repouso que os considera como estados e os situa no mesmo nível ontológico do ser (a ideia de movimento relativo parecia obscura e contraditória para os aristotélicos). (KOYRÉ, 1991, p. 185). Em contrapartida, os fundamentos da física aristotélica são: a) heterogeneidade entre os conceitos matemáticos e os dados da experiência sensível; b) incapacidade das matemáticas em explicar a intensificação e remissão das qualidades e em deduzir o movimento (não há nem qualidade nem movimento no reino intemporal das figuras e dos números) e c) movimento como um processo de mudança; apenas o repouso pode ser concebido como um estado: a meta do movimento. (KOYRÉ, 1991, p. 186)

Para Koyré, esta mudança de visão sobre as coisas da natureza causou uma revolução no pensamento humano, que depende de uma radical “mutação” intelectual; a concepção mecanicista da natureza é marcada pela procura do homem moderno por dominar a natureza, de maneira que a filosofia, a ética e a religião modernas dão ênfase à ação, à *práxis*²⁷. A ciência de Galileu e Descartes não é produto de engenheiros ou de artesãos, mas de teóricos e filósofos e “raramente ultrapassou o domínio da teoria.” (KOYRÉ, 1991, p. 153). Os traços característicos da ciência moderna são a observação e a experimentação. Estas afirmações de Koyré é que caracterizam sua apresentação de Galileu como platônico e é alvo de intensas discussões dentro da historiografia da ciência de Galileu, tornando-o um de seus principais e controversos autores. Sua leitura prevê que a observação é guiada pela teoria, de maneira que os apelos à observação e à experiência, que podem ser observados na obra galileana, ultrapassam a experiência de senso comum, tornando-se uma interrogação metódica da natureza – a experimentação. As respostas da natureza são formuladas em linguagem geométrica. (KOYRÉ, 1991, p. 154).

A revolução espiritual do século XVII tem dois traços principais: 1) a destruição do cosmo, que passa a ter um novo significado e 2) geometrização do espaço, na qual o espaço cósmico, qualitativamente diferenciado e concreto, é substituído pelo espaço homogêneo e abstrato da geometria euclidiana²⁸. Segundo Koyré, essa dissolução do cosmo destrói a ideia de mundo de estrutura finita, hierarquicamente ordenado e qualitativamente diferenciado do ponto de vista ontológico e a substitui por um universo aberto, infinito, indefinido e unificado (governado pelas mesmas leis universais), pressupondo um mesmo nível para o ser. As leis do céu e da Terra se fundem; a astronomia e a física são interdependentes, unificadas e unidas, passando-se a aplicar os métodos da pesquisa matemática ao estudo dos fenômenos do mundo sublunar e causando o desaparecimento das considerações baseadas no valor, na perfeição, na harmonia, na significação e no desígnio. O ser passa a ser encarado de outra maneira e

²⁷ O sentido de *práxis* em Koyré é o de ação do homem sobre a natureza.

²⁸ Podemos perceber aqui a justificativa para alguns estudiosos considerarem a interpretação de Koyré como controversa. Ao mesmo tempo em que ele pressupõe a geometrização do espaço como característica principal do espírito do século XVII, caracteriza Galileu, segundo algumas interpretações, como platônico; pressupondo experimentação como a base de seus argumentos. Devemos atentar ao fato de que, nas entrelinhas da obra de Koyré, a experimentação não deve ser comparada ao senso comum, trata-se, para ele, de uma indagação direcionada da natureza.

esse caráter de conhecer o mundo de maneira diferente é o motivo pelo qual custou tanto a gênios como Galileu e Descartes, “descobrir” as leis que hoje são consideradas triviais. (KOYRÉ, 1991, p. 154-6)

Koyré divide o pensamento científico em três etapas – física aristotélica; física do *impetus* (pensamento grego e do século XIV pelos nominalistas parisienses) e a física moderna – matemática de Galileu e Arquimedes. Por Aristóteles a ciência começa precisamente quando se procura explicar as coisas que parecem naturais, traduzindo a intuição do senso comum. Sua ciência transpõe a ideia de exprimir na sua linguagem “o fato” de senso comum. “A distinção entre movimentos “naturais” e movimentos “violentos” se situa numa concepção de conjunto da realidade física.” (KOYRÉ, 1991, p. 157). No universo, as coisas devem ser distribuídas e dispostas numa certa ordem determinada e o movimento é uma desordem cósmica. O movimento é transitório e só pode resultar de um movimento anterior – o movimento natural (de voltar ao lugar natural) ocorre depois de um movimento violento ter agido. Considerando o universo finito, o movimento circular é o único movimento uniforme que pode persistir indefinidamente. “Movimento não é um estado; é um processo, um fluxo, um vir a ser, no qual as coisas se constituem, atualizam e se realizam. O movimento é o ser (*actus*) de tudo o que não é Deus.” (KOYRÉ, 1991, p. 159)

O movimento local (deslocamento) pode ser dominado pelo ser; “o corpo tende a seu lugar natural, mas não é atraído por esse lugar.” (KOYRÉ, 1991, p. 160). A teoria aristotélica não admite movimento a distância, as causas para o movimento são por pressão ou tração.

A Física aristotélica não se deixa perturbar pelo senso comum, de maneira que “se encontra um “fato” que não se enquadra em sua teoria, nega-lhe a existência.” (KOYRÉ, 1991, p. 160). Um exemplo disso é a negação do vácuo e do movimento no vácuo; o movimento no vácuo é um movimento sem motor, o que é impossível de existir, já que no vácuo não pode haver lugares naturais. A ideia de espaço vazio (o da geometria) destrói inteiramente a concepção de uma ordem cósmica, pois assim não poderia haver lugares de espécie alguma. Neste ponto fia-se o alerta aristotélico sobre o perigo em misturar geometria e física, e aplicar um método e um raciocínio puramente geométricos ao estudo da realidade física.

A concepção que sustenta e apóia a física do *impetus* é completamente diferente da concepção da teoria aristotélica. O movimento não é uma atualização; o *impetus* é um efeito produzido pela causa; é essa causa imanente que produz o movimento – o *impetus* produz o movimento, vencendo a resistência que o meio opõe ao movimento. Estas duas proposições para o *impetus* se contradizem, se pensarmos na idéia de movimento circular ou no vácuo, para os quais o *impetus* parece imortal; primeiro, embora compatível com o vácuo, é incompatível com a idéia de inércia; e, segundo, a dinâmica do *impetus* é incompatível com um método matemático. (KOYRÉ, 1991)

Em Galileu há uma forma de desenvolver um conceito novo e original do movimento. Em sua teoria o corpo tem estados, de movimento e de repouso, e estes são colocados no mesmo nível ontológico. Na dinâmica aristotélica e do *impetus* a idéia de força é que produz o movimento, enquanto que na moderna²⁹ a força produz aceleração. O movimento retilíneo e uniforme é impossível na física moderna, só podendo ser produzido no vácuo. (KOYRÉ, 1991, p. 162-5)

O assunto do *Diálogo*, na interpretação de Koyré, “é o direito da ciência matemática, da explicação matemática da natureza, em oposição à explicação não matemática do senso comum e da física aristotélica, muito mais do que o enfrentamento de dois sistemas astronômicos.” (KOYRÉ, 1991, p. 166). O *Diálogo* não é tanto um livro sobre a ciência quanto um livro sobre a filosofia; a solução do problema astronômico depende da constituição de uma nova física, por meio de uma nova maneira de pensar, as quais, por sua vez, implicam a solução da questão filosófica do papel que desempenham as matemáticas na constituição da ciência da natureza. Neste sentido, a oposição entre Aristóteles e Platão é quanto à “questão” do papel e da natureza das matemáticas, já que Platão considerava as matemáticas particularmente apropriadas às pesquisas da física. (KOYRÉ, 1991, p. 167). Em Platão, as matemáticas têm posição superior e é decisiva na física. Por Aristóteles as matemáticas são consideradas como uma ciência abstrata, tendo menor valor do que a física e a metafísica “... a física não precisa de outra base senão da experiência e deve edificar-se diretamente sobre a percepção”; a matemática tem papel secundário e subsidiário de

²⁹ Entenda-se por dinâmica moderna aquela que é introduzida por meio das leis de Newton. Não se admite em Galileu os conceitos de força e aceleração, pelo menos não com os significados que têm na atualidade, a partir da dinâmica dos movimentos.

simples auxiliar. A grande questão neste ponto não é a geometria em si, mas o ser entendido como estrutura da natureza, estrutura do ser. A justificativa do aristotélico é que a natureza do ser físico é qualitativa e vaga para a ciência do real – a filosofia.

Descartes foi obrigado a suprimir a noção de qualidade (como subjetiva), a banila do domínio da natureza; suprimir a percepção dos sentidos como fonte e declarar que o conhecimento intelectual e até *inato ou a priori*, é nosso único e exclusivo meio de apreender a essência do real. Galileu dá soluções matemáticas a problemas físicos concretos (queda dos corpos, movimento de projéteis), no qual “o movimento é governado pelos números”, o que refuta o argumento aristotélico. “... surge como necessário um duplo trabalho de destruição e de educação: destruição dos preconceitos (*préjugés*) e dos hábitos mentais tradicionais e do senso comum; criação, em seu lugar, de novos hábitos, de uma nova aptidão para o raciocínio.” (KOYRÉ, p. 265, 1986). A interpretação de Galileu como platônico por Koyré baseia-se na ideia de conhecer como sinônimo de compreender matematicamente. Nas suas obras, Galileu faz numerosas alusões a Platão, menciona repetidamente a maiêutica socrática e a doutrina da reminiscência. (KOYRÉ, 1991, p. 170). “O *Diálogo* e os *Discursos* nos contam a história da descoberta ou redescoberta da linguagem que fala a natureza.” (KOYRÉ, 1991, p. 172). A experiência é substituída pela observação guiada; a nova ciência é uma prova experimental do platonismo.

O que os fundadores da ciência moderna, entre os quais Galileu, tinham de fazer não era criticar e combater certas teorias erradas, para corrigi-las ou substituí-las por outras melhores. Tinham de fazer algo inteiramente diverso. Tinham de destruir um mundo e substituí-lo por outro. Tinham de reformar a estrutura de nossa própria inteligência, reformular novamente e rever seus conceitos, encarar o ser de uma nova maneira, elaborar um novo conceito do conhecimento, um novo conceito da ciência, e até substituir um ponto de vista bastante natural – o do senso comum – por outro que, absolutamente, não o é.

O GALILEU DE FEYERABEND

A leitura feyerabendiana de Galileu está baseada em uma análise de sua metodologia sob a ótica do anarquismo metodológico³⁰. O exemplo alegado em todo o livro *Contra o método*, de Paul Feyerabend³¹ é a ciência de Galileu, de maneira a elaborar uma argumentação que corrobore sua filosofia da ciência; “cai bem em Galileu o papel de transgressor das regras e teorias estabelecidas, de opositor da razão dominante, de introdutor de procedimentos pluralistas, de novas visões e linguagens e de novos princípios.” (SOUZA, p. 246-7, 2003). Feyerabend interpreta a proposta de Galileu, em especial no *Diálogo*, como a intenção de travar uma discussão crítica com o objetivo de se decidir entre as interpretações, ptolomaica e copernicana, qual deve ocupar o lugar como interpretação válida, isto é, verdadeira, por corresponder ao que as coisas apresentam. (FEYERABEND, 1977). Mostra então que sua argumentação exprime, indiretamente, um propósito de utilizar a teoria vigente como forma de convencer os defensores desta de que há outra forma de olhar para os fenômenos. Aponta o método de reminiscência como tendo “o propósito de criar a impressão de que nada se alterou e de que continuamos a exprimir nossas observações segundo velhas e familiares maneiras.” (FEYERABEND, 1977, p. 108); assim, seu intuito é o de “examinar a validade das interpretações naturais que se acham de tal modo ligadas às aparências que não mais podemos vê-las como pressupostos distintos.” (FEYERABEND, 1977, p. 108).

Para Feyerabend, o procedimento de Galileu torna-se exemplo de que, no caso de se ter uma contradição entre uma nova e interessante teoria de um lado e um conjunto de fatos bem estabelecidos de outro, o procedimento adequado não é de abandonar a teoria por se chocar com tais fatos, mas de utilizá-la mais uma vez para descobrir, aí, os elementos implícitos que são responsáveis pela contradição. (SOUZA,

³⁰ Feyerabend defende a não existência de um padrão metodológico e, quando sua existência é suposta, as violações sofridas configuram o progresso científico, sendo as diversas etapas da história da ciência marcadas pelo pluralismo metodológico. (SOUZA, p. 244, 2003)

³¹ FEYERABEND, P. *Contra o método*; tradução de Octanny S. da Mota e Leonidas Hegenberg. Rio de Janeiro, F. Alves, 1977.

p. 249, 2003). Feyerabend pressupõe para o conceito de movimento em Copérnico a ideia de referencial do movimento:

Por ‘movimento da pedra’, entende-se não apenas seu movimento com relação a um marco visível, situado dentro do campo visual do observador, ou movimento observado, mas também seu movimento no sistema solar ou no espaço (absoluto), isto é, o *movimento real*. (FEYERABEND, 1977, p. 108-9)

Supondo que o conceito de movimento deve ser entendido como pressupondo um movimento absoluto, com referência no espaço pode-se, desta maneira, discutir a respeito do movimento; mas, a teoria aristotélica não tinha essa dimensão, não podendo chegar à mesma percepção do fenômeno. “O conteúdo de um conceito é também determinado pela maneira como ele se relaciona com a percepção” (FEYERABEND, 1977, p. 111).

Só há um meio de fugir ao círculo vicioso: consiste em usar *medida externa de comparação*, inclusive maneiras novas de relacionar conceitos e dados de percepção. Retirada do domínio do discurso natural e afastada de todos os princípios, hábitos e atitudes que constituem sua forma de vida, essa medida externa se afigurará, sem dúvida, estranha. (FEYERABEND, 1977, p. 112)

O exemplo da torre é utilizado por Feyerabend como evidência de que a concepção copernicana foge a um acordo com ‘os fatos’³². Pensar o movimento terrestre com um referencial na própria Terra é impossível, o que exprime sua ideia de que a concepção copernicana está fundada em um movimento absoluto; o que não é permitido e nem pensado nos ‘fatos’ da experiência diária. “Galileu substitui uma interpretação natural por uma interpretação muito diferente e, até aquela data (1630), pelo menos parcialmente antinatural.” (FEYERABEND, 1977, p. 121). Galileu não só argumenta como também faz propaganda e usa artifícios psicológicos lançando, segundo Feyerabend, “obscuridade sobre a nova atitude em relação à experiência” (FEYERABEND, 1977, p. 121), dando a ideia de uma experiência inventada.

³² Fatos entendidos dentro da interpretação de que a experiência percebida no cotidiano, como em Aristóteles, se não atendem ao que se apresenta como explicação, esta deve ser desconsiderada.

A experiência deixa, agora, de ser o fundamento imutável em que se constituía, tanto na concepção apoiada no senso comum, quanto na filosofia aristotélica. A tentativa de defender a teoria de Copérnico transforma a experiência em algo ‘fluido’, de maneira análoga à como torna fluidos os céus ‘de sorte que as estrelas giram por si mesmas’. (FEYERABEND, 1977, p. 129-30)

Para Feyerabend, a idéia principal da relatividade de movimento em Galileu é a de que “nossos sentidos só notam o movimento relativo, permanecendo inteiramente insensíveis a movimentos que os objetos tenham em comum.” (FEYERABEND, 1977, p. 130).

Sua leitura de Galileu fala de uma redução do conteúdo da dinâmica, passando de uma teoria geral da mudança, incluindo a locomoção, a alteração qualitativa, a geração e a corrupção, à dinâmica de Galileu restringe-se a explicar o movimento da matéria, com sentido estrito de locomoção. Uma teoria do movimento empírica e ampla é substituída por outra que prevê uma metafísica do movimento, abrangendo elementos especulativos:

As experiências que frontalmente contradizem o movimento anual [o movimento da Terra em torno do Sol] são tão mais poderosas que, repito, não tem limites meu espanto quando recordo que Aristarco e Copérnico foram de tal maneira hábeis no levar a razão a sobrepor-se aos sentidos que, em detrimento destes últimos, aquela se transformou em reitora de suas convicções. (GALILEI, p. 143 *apud* FEYERABEND, p. 155, 1977)

Segundo a visão feyerabendiana, Galileu, quando se posicionou em favor da doutrina copernicana, opôs-se à razão e à experiência de sua época. Criou uma nova gramática, investigou novos fatos, buscando relacioná-los às teorias associadas com novos princípios (o da relatividade e da inércia circular) por ele introduzidos. (SOUZA, p. 250-1, 2003)

O GALILEU DE CLAVELIN

O objetivo principal do livro *La Philosophie Naturelle de Galilée: Essai sur les origines et la formation de la mécanique classique*, de Maurice Clavelin, é a investigação da maneira como Galileu criou a ciência moderna do movimento. (STEIN, 1974, p. 375). Clavelin aponta para o trabalho de Galileu como uma singularidade histórica, de maneira a ver como seus princípios foram compreendidos e utilizados. (STEIN, 1974, p. 376-7). A questão de como a mecânica clássica tomou forma é um dos centros das discussões de Clavelin, que considera uma não identificação entre esta e a ciência galileana. (STEIN, 1974, p. 377).

Clavelin faz, na primeira parte do livro, um estudo sobre as relações entre a tradição Aristotélica do estudo do movimento e o que há de novo na teoria de Galileu (capítulos I, II e III). Na segunda parte (capítulos IV e V), expõe a constituição de uma ciência do movimento. Nesta parte Clavelin discute a formação da mecânica clássica e a constituição de uma cosmologia copernicana em Galileu. Apresenta os argumentos de crítica à heterogeneidade dos movimentos celestes e terrestres (o mundo unificado), a importância da invenção da luneta astronômica etc. Clavelin aborda, em seu livro, a questão do movimento, partindo de Aristóteles e da tradição do século XIV e sua relação com o trabalho inicial de Galileu. Posteriormente, discute a relação entre a cosmologia de Copérnico e a ciência do movimento de Galileu. Na terceira parte, trata dos princípios da dinâmica de Galileu. A quarta parte é um exame da teoria galileana no seu interior.

A objeção ao copernicanismo é, inicialmente, filosófica. O movimento proposto e a posição terrestre, dentre os demais corpos celestes, opõe-se a uma das propostas mais importantes da filosofia natural tradicional: a diferença entre a Terra e os demais corpos celestes. A perturbação da representação de céu envolveu, ainda, uma declaração física que se justificasse pela razão. A aproximação da Terra aos demais corpos celestes rompe com a teoria aristotélica ao tirar da Terra seu lugar de destaque; a imobilidade e a centralidade são essenciais para a coesão da doutrina aristotélica. Assim, a cosmologia copernicana prevê uma compreensão renovada do movimento, que, posteriormente, Galileu apresenta de maneira filosoficamente plausível. (CLAVELIN, 1968, p. 187). Na

perspectiva de Clavelin, a dificuldade encontrada pelo heliocentrismo na antiguidade é em como conciliar o possível movimento da Terra, e especialmente o movimento diurno, com a experiência de senso comum. Para ultrapassar esta objeção, Galileu inaugura uma abordagem totalmente original: enunciar os argumentos tradicionais contra o movimento diurno na forma de problemas mecânicos. Em seguida, apresenta uma maneira de formulá-los que os torna falseáveis, permitindo em cada caso a reconciliação da rotação da Terra com a experiência mecânica cotidiana. (STEIN, 1974, p. 390). Argumenta ainda que os princípios considerados no *Diálogo* e nos *Discursos* não são comparáveis nem em sua formulação e nem na maneira pela qual eles intervêm no raciocínio. (STEIN, 1974, p. 391).

A teoria aristotélica combina dados gerais da experiência sensorial com a ideia da perfeição geométrica do círculo e da reta. O movimento local e a estrutura do cosmos são definidos pensando para o primeiro os movimentos circulares e lineares (para cima ou para baixo ou em direção ao centro) e, para o segundo, os movimentos circulares (ao redor do centro). A ideia de movimento circular como perfeito permite a generalização para o entendimento dos conceitos de corruptibilidade e variabilidade, previstos apenas para os movimentos locais. Aristóteles considera um único centro ao qual todos os movimentos se referem. (CLAVELIN, 1968, p. 188-9). A dificuldade na defesa copernicana realizada por Galileu pauta-se no entendimento de que alguns apontamentos feitos sobre inconsistências na teoria aristotélica refutam-na; porém, isto não garante ainda que a teoria que se opõe seja verdadeira. Não podemos atribuir a Galileu o privilégio de originalidade; há uma série de pensadores antigos, como o atomista Plutarco, e modernos, como Nicolau de Cusa e Bruno, que já haviam declarado de forma inequívoca a sua oposição aos argumentos aristotélicos. Alguns estudiosos sugerem claramente que Galileu tinha conhecimento desta tradição.

Galileu tinha conhecimento direto da filosofia tradicional através de obras recentes; e também (...) obtinha seu conhecimento essencialmente através das obras e manuais utilizados no Collegio Romano, onde se ensinava então um aristotelismo esclarecido, dominado pela influência de São Tomás, com elementos de Scotus e de Averroes. (CLAVELIN, 1986, p. 35)³³.

³³ Clavelin cita como propulsores deste pensamento os historiadores Alistair C. Combric e Adriano Carugo

Quanto ao movimento terrestre, duas principais questões norteiam as discussões: a incompatibilidade entre tal movimento e a experiência cotidiana; a dificuldade em exemplificar, por meio de um fenômeno, uma explicação que validasse tal movimento. No *Diálogo*, o peripatético Simplicio argumenta segundo duas principais ideias: a necessidade de conclusões feitas a partir de uma dedução *a priori* e a partir da experiência sensível. Pensadores como Nicolau de Cusa e Bruno legislam as explicações para os fenômenos envolvendo o universo direcionando-as também à experiência para endossar as teorias desenvolvidas sob outra perspectiva, gerando resultados divergentes. Neste ponto, não se pode negar a identidade fundamental do método. (CLAVELIN, 1968, p. 194). A discussão em torno do método galileano na defesa do copernicanismo relaciona-o à busca da verdade:

nas ciências onde o conhecimento dos princípios se baseia na *demonstratio quia*³⁴, começa-se raciocinando *ex suppositione*, ou seja, postulando o princípio ou os princípios capazes de dar conta dos efeitos; será então a colocação em evidência de uma conexão necessária entre os princípios (ou causas) e os efeitos (e aqui será desempenhado o papel da experiência) que permitirá transformar as suposições iniciais em verdades. (CLAVELIN, 1986, p. 41)

Clavelin cita como exemplo a experiência descrita no terceiro dia dos *Discursos*, de 1638, afirmando que “[...] o verdadeiro fim de Galileo nessa experiência, cujo objetivo imediato era a lei do quadrado do tempo, era estabelecer a verdade – ou melhor, a pertinência ontológica – de sua definição do movimento acelerado”. (CALVELIN, 1986, p. 42).

Considera, ainda, que a ruptura com a abordagem tradicional no estudo da filosofia natural tem como um dos fatores mais relevantes a utilização da luneta astronômica, afirmando que este fato teria mudado as condições de reflexão da cosmologia, fornecendo dados concretos dos quais nunca antes se dispusera. (CLAVELIN, 1968, p. 195). Os argumentos a respeito das semelhanças entre a Terra e a Lua foram, segundo Clavelin, o primeiro passo irreversível em direção à destruição da cosmologia tradicional. A partir dos argumentos a respeito das semelhanças entre a Terra e os demais corpos celestes, Galileu afirma poder ampliar para o céu as

³⁴ Dar a prova de um princípio através de uma conexão necessária devidamente constatada entre esse princípio e um efeito.

explicações dadas aos fenômenos terrestres. (CLAVELIN, 1968, p. 209). Assim, Galileu

ao mesmo tempo que abolia a situação privilegiada da Terra no centro do mundo, o copernicanismo conferia, portanto, à experiência terrestre um papel de primeira ordem para o conhecimento do céu. No momento mesmo em que ela parecia não ser mais que um corpo celeste entre os outros, ao cessar de ser aquele em torno do qual todos se ordenam, a Terra se torna na realidade a medida do Mundo. Isto não se dá sem algum paradoxo, posto que num certo sentido, Galileu se encontra mais geocentrista do que não o tinham jamais visto os partidários do antigo sistema. Paradoxo aparente, certamente, mas que mostra bem que o geocentrismo físico é o complemento natural do heliocentrismo e, não menos que ele contrário ao geocentrismo de posição. (CLAVELIN, 1968, p. 212)

Para Clavelin, a realização mais profunda de Galileu foi sua reflexão sobre as dificuldades cosmológicas, com as quais a física tradicional nunca tinha sido capaz de lidar de forma satisfatória, do ponto de vista da percepção cotidiana, de senso comum. Ao refletir, Galileu cria uma nova ciência para lidar com um assunto muito antigo. (STEIN, 1974, p. 392).

a releitura das principais obras de Galileu, à luz das idéias tradicionais sobre a *demonstratio quia* na filosofia natural praticamente não deixa dúvida alguma. Cada vez que se coloca o problema da veracidade de suas teorias, o procedimento a que recorre e o fim que persegue através desse procedimento coincidem ponto por ponto com o que a *demonstratio quia* dos escolásticos procurava realizar. [...] Se quisermos fundamentar a revolução de Galileu sobre o método, seremos conduzidos inevitavelmente a uma ou outra das duas conseqüências indefensáveis que se seguem: ou se atribui a Galileu o método experimental, mas não se trata mais de Galileu; ou se considera a verdadeira prática metodológica de Galileu, e nada nela parece revolucionário. [...] não sendo metodológica, a revolução galileana é primariamente teórica, o que não significa filosófica ou de inspiração filosófica. [...] Foi enquanto cientista e não enquanto filósofo que Galileu soube tomar e desenvolver suas iniciativas, e é nesse sentido que elas devem ser analisadas. (CLAVELIN, 1986, p. 43)

Segundo Clavelin, o geocentrismo não é tomado como irracional, pois concilia suas explicações com a experiência sensível. Aí está a dificuldade enfrentada pelo copernicanismo, que fica, assim, interpretado como uma doutrina da mente humana, que deixa de lado os preconceitos advindos dos sentidos, não necessariamente; trata-se de uma nova cosmologia. A cosmologia galileana é uma reflexão renovada sobre o movimento. Ainda, sua principal contribuição é a de que, por meio da identificação da ordem, deixa de atribuir finalidade ao movimento externo, abandonando a função ontológica que o movimento local tinha até então, por meio da noção de movimento

como estado, podendo ser preservado indefinidamente por si só. (CLAVELIN, 1968, p. 227).

CAPÍTULO 3

A CIÊNCIA GALILEANA: CONSIDERAÇÕES E APONTAMENTOS PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

Dentre as críticas feitas ao ensino de física presente nos documentos dos parâmetros curriculares nacionais (PCN) temos a de que o processo de ensino:

apresenta o conhecimento como um produto acabado, fruto da genialidade de mentes como a de Galileu, Newton ou Einstein, contribuindo para que os alunos concluam que não resta mais nenhum problema significativo a resolver. (BRASIL, 2002)

Também é importante a compreensão dessa ciência como uma ferramenta útil para um diálogo com o mundo e com sua possível transformação, uma vez que ao evidenciar o caráter provisório dos conhecimentos científicos é possível preparar indivíduos para uma realidade em contínua transformação. (SILVA DIAS; MARTINS, 2004, p. 517).

Tomando como base os pressupostos da inclusão da história e filosofia da ciência no ensino de ciências e as questões que apresentamos aqui como relevantes nesta abordagem, procuramos analisar a realidade que o professor de física enfrenta na sala de aula. Pensamos principalmente na qualidade do conhecimento científico histórico e, mais especificamente, o referente à figura de Galileu veiculada pelos materiais didáticos a que o aluno de ensino médio tem acesso. Para isso, realizamos uma análise de alguns livros didáticos do ensino médio a fim de delinear essa realidade sob esta perspectiva.

Realizamos um levantamento dos livros didáticos de física para o ensino médio relacionados ao conteúdo histórico de movimento - compreendendo as abordagens da figura de Galileu. “A análise de livros didáticos não é apenas uma forma de levantar pontos positivos e negativos que auxiliam quem deve selecioná-lo”, mas “uma maneira de evidenciar uma tendência do ensino que está chegando aos alunos” (BORGES, 1982, p. 7).

A pesquisa

Restringimos nossa amostra a quatro obras numeradas aleatoriamente (LD1 a LD4)³⁵ para facilitar o trabalho e para tornar a análise impessoal. Procuramos selecionar livros que foram disponibilizados para análise dos professores nas duas últimas seleções que ocorreram no estado de São Paulo³⁶, de modo que um deles é o livro utilizado atualmente em uma escola da rede pública de ensino estadual e os outros são os de mais fácil acesso e maior destaque entre os professores.

A metodologia utilizada para verificar as características dos livros didáticos é baseada na análise de conteúdo: um conjunto de técnicas de análise proposta por Bardin (1977), a qual afirma que a análise de conteúdo consiste na manipulação do conteúdo visando a inferir o que está oculto na mensagem ou na documentação. A autora considera que o campo da aplicação destas técnicas permite “desmascarar a axiologia subjacente aos manuais escolares” (BARDIN, 1977, p. 31).

Os instrumentos de análise permitem classificar os elementos em categorias. De acordo com Bardin (1977), a classificação consiste em repartir os elementos a fim de impor uma organização às mensagens, ou seja, a classificação é a passagem dos dados brutos a dados organizados. A partir do momento em que a análise de conteúdo decide codificar o seu material, deve produzir um sistema de categorias. O método das categorias é uma espécie de conjunto de gavetas que permite a classificação dos elementos.

Para que os dados fossem tabulados e interpretados, confeccionamos uma ficha de análise para nortear o estudo. Inicialmente procuramos identificar citações de Galileu Galilei, para posteriormente tabular, de acordo com o contexto em que era citado. Por meio da análise inicial de toda a amostra pudemos estabelecer as categorias de acordo com os assuntos, capítulos ou conceitos nos quais se encontrava referência à figura de

³⁵ **Referências dos livros analisados (em ordem alfabética)**

GASPAR, A. Física. Série Brasil, Ensino Médio, volume único, Ed. Ática, 2008

PARANÁ, D. N. da S. Física. Série Novo Ensino Médio, volume único, 6^a. ed., Ed. Ática, 2003.

SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. Universo da Física 1, Mecânica, 2^a ed., Ed. Atual, 2005

UENO, P. Física. Série Novo Ensino Médio, volume único, Ed. Ática, 2006.

³⁶ Esta análise é realizada a cada três anos para a escolha, dentre os livros selecionados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), do livro didático a ser adotado e utilizado durante os próximos três anos.

Galileu. São elas: 1) Introdução à física; 2) Introdução à mecânica – conceito de movimento; 3) Queda livre; 4) Lançamento de projéteis; 5) Leis de Newton e 6) Gravitação.

Dados e resultados

Para a primeira categoria encontramos em três, dos quatro livros, citação de Galileu. Embora um dos livros não apresente Galileu neste assunto inicial sobre o que é física, percebemos em todos a presença de uma preocupação em incluir história e filosofia da ciência, atendendo inicialmente ao previsto nos documentos oficiais. Na segunda categoria observamos a menção a Galileu em apenas um dos livros. Quanto à terceira categoria, observamos unanimidade nas citações, seja na conceituação do fenômeno ou apenas como forma de demonstrar uma preocupação antiga no desenvolvimento da ciência. A quarta categoria aparece em metade dos livros, aplicando-se sempre a ideia de lançamento de projéteis sob o ponto de vista do movimento. Como introdução ao assunto, a quinta categoria é observada em três dos livros. A sexta categoria está relacionada em metade da amostra, de maneira que a figura de Galileu aparece como antecedente a Kepler e suas leis.

LD 1

A categoria 1, traz como primeiro capítulo uma introdução à física (O que é física?). Apresenta como pensamento dos filósofos as interrogações para se pensar a natureza: do que é constituído o universo, como as coisas se movimentam e se transformam? Põe em cena Galileu como o protagonista da “revolução” científica do século XVII, por meio do novo método científico. Aponta para o que resultou dessa revolução: a mudança de concepção do geocentrismo para o heliocentrismo, do método científico e a unificação do cosmo. Formula uma concepção indutivista do método científico.

Para a categoria 3 temos:

(...) esse simples movimento de queda já provocava indagações há 2 mil anos. O primeiro a propor uma teoria para explicar a queda dos corpos foi Aristóteles (384-322 a. C.). Depois dele, vários filósofos e pensadores discutiram o fenômeno, até que Galileu apresentou uma explicação satisfatória.

Posteriormente fala-se do “mito” da Torre de Pisa para afirmar que

o certo é que ele realizou experimentos – ainda que não dessa forma teatral – e verificou que: 1º) o tempo de queda não dependia nem do peso nem do tamanho dos corpos; 2º) independentemente do peso e do tamanho, os corpos foram igualmente acelerados e por isso chegaram juntos ao chão.

Identificamos um problema neste trecho, pois, Galileu não fez tal afirmação.

Vale lembrar ainda que a discussão apresentada por Galileu no *Diálogo* sobre esta questão faz alusão à desconsideração dos fatores externos, o que não é mencionado nos livros didáticos analisados.

Na categoria 4 temos:

A análise correta desse tipo de movimento foi feita pela primeira vez por Galileu, que procurava estudar o movimento de um projétil disparado por um canhão; por esse motivo, até hoje esse tipo de movimento é chamado de movimento de projéteis.

Galileu mostrou que o movimento de um projétil poderia ser analisado considerando-se separadamente o movimento vertical e o movimento horizontal. O movimento vertical é um movimento que possui aceleração: é a aceleração da gravidade g . O Movimento horizontal tem velocidade constante (desde que possamos desprezar a resistência do ar).

Cita-se, neste momento, a experiência da esfera abandonada do alto do mastro de um navio. Novamente, temos os termos utilizados para expor as teorias e explicações de Galileu provenientes da nomenclatura atual; o que pode indicar ao leitor que o pensamento galileano já pressupunha a ideia de aceleração relacionada a força.

Galileu não soube explicar a razão de a velocidade horizontal se manter constante. O entendimento mais profundo dessa situação só veio com a obra de Newton... No entanto o trabalho de Galileu foi fundamental, pois ele mostrou como as coisas aconteciam, embora não soubesse explicar por quê.

Neste ponto nos parece clara a intenção de diferenciação das explicações sobre como acontece o movimento e o porquê; a cinemática da dinâmica.

Na categoria 5, ao tratar as leis de Newton é apresentado um retrospecto da ideia de movimento em Aristóteles por meio de sua concepção de cosmo e dos movimentos previstos para cada mundo na sua teoria. Apresenta a teoria copernicana como um dos primeiros golpes às idéias de Aristóteles, afirmando ser o sistema de mundo defendido por Copérnico e Galileu o propulsor de um abalo na doutrina aristotélica. “Porém,

nenhum deles apresentou um sistema completo que substituísse o de Aristóteles.” Entendemos que neste ponto haveria uma contradição com a relação à idéia enunciada anteriormente, na qual não se diferencia o tipo de explicação, colocando as leis de Newton apenas como mudança da concepção de movimento.

LD 2

Para a categoria 1, o primeiro capítulo norteia a questão do significado de Física, apresentando a ciência como iniciada com as teorias de Kepler, Galileu e Newton.

Na categoria 3, faz-se menção a Galileu novamente ao tratar dos movimentos sob a ação da gravidade, apresentando uma proposta de experimentação com queda, mostrando a diferença entre haver ou não influências externas e enuncia como conclusão da experimentação e do próprio Galileu que sem “a influência do ar, todos os corpos, de qualquer peso ou forma, abandonados de uma mesma altura, levariam o mesmo tempo para atingir o solo.”

Não percebemos uma contextualização histórica e filosófica que pudesse dar subsídios para se pensar a questão do movimento em Galileu. O autor possibilita, nas entrelinhas, a necessidade de diferenciação entre os dois tipos de interpretação do movimento, a cinemática e a dinâmica, evidenciando, a nosso ver, a ideia de que, dentro da física de Galileu, suas explicações são concernentes aos limites da cinemática e que as explicações mais plausíveis, aceitas hoje como teoria, vieram com a dinâmica de Newton.

LD 3

Na categoria 1, no primeiro capítulo, é feita uma introdução à física falando de Galileu como de um dos sábios a dar as bases da mecânica, por meio de experiências. Um exemplo citado é a queda de corpos de massas diferentes. Sustenta posteriormente que as leis da queda dos corpos foram desenvolvidas por meio dos resultados de experiências de Galileu. “Galileu decidiu “diluir a força da gravidade” fazendo com que uma bola rolasse por um plano inclinado”. Sobre este ponto, a experiência citada (plano inclinado), a nosso ver, tem o intuito de mostrar a independência dos movimentos, sendo o movimento de queda o mesmo para uma descida por um plano inclinado, com dois movimentos (vertical e horizontal), e uma queda com movimento apenas na

vertical. Apresenta como conclusões destas experimentações apenas as relações entre o deslocamento e a velocidade com o tempo não ressaltando a dificuldade em se pensar tal experimento e também em realizá-lo, de fato.

Na categoria 5, ao tratar das leis da dinâmica considera Galileu como o criador da física moderna, apresentando seus feitos ao longo de sua vida, equiparando descobertas, como a dos satélites de Júpiter, com o desenvolvimento de teorias para se chegar a leis, como a da queda dos corpos, por exemplo. A nosso ver o uso indiscriminado da palavra descoberta ao se falar em história da ciência implica admissão e concepção de que haveria uma ciência pronta, que alguém descobriu. Entendemos essa maneira de conceber o conhecimento científico influência da ideia de ciência pronta, escrita no livro da natureza.

Na categoria 6, apresenta um retrospecto da transição do sistemas geocêntrico para o heliocêntrico, situando o sistema de Tycho Brahe como uma aplicação da teoria geocêntrica: “adotou o sistema geocêntrico com algumas modificações.” Sobre esta afirmação entendemos que o sistema de Tycho deve ser tido como um terceiro sistema de mundo, pois tem em conta os movimentos observados e as propostas de Copérnico, mantendo, porém a Terra no centro das revoluções, de maneira que esta é a única concordância com o geocentrismo.

LD 4

Na categoria 1, em uma introdução cita Galileu como “uma das personalidades da Renascença que contribuíram muito para conduzir a ciência a uma nova era.” Esta afirmação nos leva a entender que haveria a existência de ciência, filosofia da natureza, antes destas personalidades; do que se pode inferir a concepção de que a ciência tem sua prática desde os filósofos, os quais apresentavam suas doutrinas até a revolução científica: “Com as descobertas de Galileu foi possível caracterizar melhor os movimentos, no âmbito da cinemática.” Percebemos aqui, novamente, a presença da intenção de tratar separadamente as abordagens do movimento, por meio da cinemática e da dinâmica. Ao tratar do princípio da inércia afirma: “Galileu elaborou a hipótese de que não há necessidade de forças para manter um corpo com velocidade vetorial constante.”. Novamente vemos como um problema a ideia de propor a hipótese de Galileu com termos usados na atualidade e posteriores a ele.

Diz ainda:

Nos *Diálogos sobre os dois principais sistemas de mundo*, Galileu formulou pela primeira vez o Princípio de Inércia; numa situação ideal (como no caso de um bloco lançado sobre um plano horizontal perfeitamente polido, e desprezando a resistência do ar); o corpo adquire movimento retilíneo uniforme. Neste caso, o movimento seria perpétuo.

Parece difícil afirmar que Galileu formulou o princípio da inércia, embora as discussões no *Diálogo* contenham explicações que se aproximam do que Newton formulou, mas os termos são outros e a ideia base também; este subentende o conceito de força, enquanto aquele ainda não dispõe de uma dinâmica do movimento para a Terra em movimento.

Temos ainda o seguinte: “Galileu não chegou a comprovar experimentalmente sua hipótese, pois, na prática, a situação por ele imaginada é difícil de ser realizada.”. No mesmo capítulo existe uma breve narrativa sobre seus feitos, tomando-o como alguém que se serve do método experimental de investigação na ciência: foi quem

introduziu o conceito de inércia, estabeleceu a relatividade do movimento, estudou a lei da queda dos corpos e do movimento de corpos por um plano inclinado, estabeleceu as bases para o estudo do lançamento de projéteis próximos à superfície da Terra, utilizou o pêndulo simples para medir intervalos de tempo, descobriu com uma luneta novos corpos celestes, demonstrou que a Via Láctea é composta de grande número de estrelas e descobriu as manchas solares e a estrutura da superfície da Lua.

Além da questão do emprego da palavra “descobrir”, como já assinalado anteriormente, seria possível chamar a atenção para uma incoerência histórica a respeito das manchas solares, pois há relatos de que as mais antigas descrições das manchas solares datam de 800 a. C..

Na categoria 2, Galileu é citado, novamente, no capítulo sobre o movimento uniforme:

“Galileu procurava sempre fundamentar suas teorias com experiências: observava e quantificava para obter uma relação que descrevesse o fenômeno estudado.” A nosso ver, esta formulação do método utilizado por Galileu leva a um Galileu empirista, que aplica a matemática para estudar os fenômenos observados, ocultando a maior inovação trazida por ele: um novo olhar sobre o movimento. O autor sustenta ainda que a “instrumentação matemática, necessária para compreender

fenômenos físicos, é uma tarefa fundamental do estudante”. Consideramos tal asserção como reforçando o entendimento de que o método científico resume-se na matematização dos fenômenos.

Quanto às categorias 3 e 4, sobre a queda livre e o lançamento vertical, apresentamos a citação seguinte, para exemplificar uma maneira, a nosso ver, mais adequada de abordagem, pois não emprega termos atuais:

Antes da descoberta do Princípio Fundamental, Galileu já havia observado esse movimento e concluído que, desprezando a resistência do ar, quando abandonados do repouso e próximos à superfície da Terra, os corpos caem com velocidades crescentes, e que a variação da velocidade é constante em intervalos de tempos iguais.

Reproduzimos também um trecho de exercício, envolvendo lançamento de projéteis:

Até os experimentos de Galileu Galilei, pensava-se que, quando um projétil era arremessado, o seu movimento devia-se ao *impetus*, que mantinha o projétil em linha reta e com velocidade constante. Quando o *impetus* acabasse, o projétil cairia verticalmente até atingir o chão. Galileu demonstrou que a noção de *impetus* era equivocada.

Na categoria 6, a respeito da gravitação universal, Galileu é citado como um dos propulsores da unificação do cosmo: “A partir dos estudos de Galileu, foi se firmando a idéia de que leis universais governam o movimento dos corpos e podem ser aplicadas aos movimentos ocorridos no céu e na Terra.”

Análise dos resultados

Os livros didáticos, quando falam da questão do movimento nos estudos de Galileu desconsideram o que foi seu maior problema: a construção de uma outra forma de percepção, pois há outro observador (em movimento) e outras coisas que são compreendidas a partir do observador. Pensamos que a apresentação dos conceitos é ainda muito prática, mencionando apenas os resultados, na maioria das vezes de sucesso, destas investigações feitas por essas figuras da história do desenvolvimento do conhecimento científico, de maneira, que Galileu e outros são citados como experimentadores de uma Física que só passou a existir a partir das Leis de Newton. A ideia de movimento é introduzida de maneira prática, em função de cada conteúdo a ser aprendido, ficando ausente a reflexão que julgamos necessária, para que tenha sentido

uma contextualização histórica e filosófica, que se aproxime da ideia de ciência como uma atividade contínua, instável e em constante construção.

Consideramos os resultados desta investigação como fundamentais para se pensar a inserção da história e filosofia da ciência no ensino de ciências, pois os livros didáticos são amplamente utilizados pelos professores que ensinam física no ensino fundamental e médio. Desta maneira, julgamos válidos os esforços dedicados a investigações, que façam a crítica e proponham caminhos para a criação de propostas, tanto para possibilitar a aprendizagem da maneira sugerida nos parâmetros curriculares nacionais, como para a preparação dos futuros professores para lidar com este tipo de conteúdo.

Pode ser percebido que a história da ciência veiculada pelos livros didáticos analisados tem o papel fundamental de cumprir os requisitos exigidos pela legislação de ensino, de maneira que a ideia de ciência é transmitida de acordo com a visão de ciência do autor; mais especificamente, a ideia trazida através da figura de Galileu, é, de maneira prática, havendo citação de um “cientista” que investigou tal aspecto, mas não obteve sucesso. O que, para nós, rompe com o objetivo de dar a ideia de construção do conhecimento científico. Somos levados a considerar que sua importância para o desenvolvimento da ciência está atrelada apenas à introdução do método científico, o que não é aceito pelos estudiosos da história da ciência de maneira unânime. Há, com efeito, interpretações que apontam para a inexistência de experimentação de fato.

Considerações e apontamentos para o ensino de ciências

O estudo histórico da obra galileiana comporta certa complexidade por causa das diferentes “leituras” que possibilitou a estudiosos de sua defesa do copernicanismo. A historiografia galileiana apresenta-se sob diferentes perspectivas e correntes de pensamento. Por um lado, existem leituras sobre a maneira como Galileu desenvolve seu raciocínio e como fundamenta sua argumentação, com base na metodologia utilizada para a discussão, a partir da ideia de experimentação com fenômenos naturais. Um tanto diferente, da perspectiva das influências e também da maneira de interpretar sua proposta de heliocentrismo, a visão da aceitação de sua teoria como revolução no âmbito das ciências, como interpreta Koyré, caracteriza-o como nova forma de

percepção. Há os que o enquadram como empirista, Stillman Drake, por exemplo, ressaltando a fundamentação de sua teoria por meio da investigação guiada da natureza. Assim, o estudo realizado procura compreender essa complexidade na análise feita do *Diálogo* e da história da ciência galileana de maneira geral.

Consideramos que, embora as argumentações de Galileu apontem para a realização de experimentação, esta é guiada pela teoria, proposta e guiada por um conhecimento não empírico. Os livros didáticos, quando falam da questão do movimento em Galileu, desconsideram o que foi seu maior problema: a construção de uma outra forma de percepção, pois há outro cognoscente (em movimento) e outras coisas que são compreendidas a partir do observador.

Concebemos a análise realizada de extrema importância para justificar o estudo desenvolvido. Tomamos como justificativa de nossa proposta de estudo e de desenvolvimento no ensino de nível superior, com o intuito de preparar o futuro professor para o uso dos materiais didáticos que ele terá disponíveis. Ainda, e principalmente, para que sua formação científica seja ampliada estendendo-se ao entendimento do desenvolvimento científico e da epistemologia da ciência.

A figura de Galileu é, um exemplo, que possibilita relacionar as questões que julgamos imprescindíveis para a formação do espírito científico. Seu entendimento não é de fácil compreensão e requer conhecimento físico. Sendo assim, nossas discussões serão voltadas para a formação inicial de professores, mais especificamente, de professores de física. Pensar a localização de Galileu em seu momento histórico nos leva a pensar nas suas contribuições para o desenvolvimento do conhecimento científico, mais ainda, na sua interpretação de mundo, que requer, mais do que a compreensão de novos conceitos, uma outra forma de perceber as coisas do mundo; a representação galileana de mundo prevê, para os mesmos fenômenos um novo observador, com um novo olhar. Nossa proposta de estudo tem por objetivo relacionar a defesa galileana do copernicanismo com o conceito de referencial de movimento.

Ao elaborar sua defesa ao heliocentrismo, Galileu parte do pressuposto de que o movimento é uma questão relativa, ou seja, depende da forma como o interpretamos e, principalmente, do referencial de observação. Em meio a séculos nos quais a teoria tida como verdade, colocava a Terra no centro do mundo e todos os astros orbitando ao

redor dela, ele propõe que esta é a ideia que temos a partir da experiência sensível vivida. Que uma observação a partir de qualquer um desses outros astros nos daria a mesma sensação: de imobilidade e centralidade. Ainda, ao propor o Sol como ocupando o centro dos orbes de revolução, propõe a descentralização da Terra e, ao mesmo tempo, centraliza, colocando-o como referencial de movimento, a imagem do homem perante o mundo, o que, para o período, influi em discussões de cunho além do científico, social, teológico e político.

O Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano possibilita, por meio de estudo das quatro jornadas, a discussão de diversos aspectos envolvidos no estudo da história e filosofia da ciência, além das questões de teologia, economia e política. Temos, assim, na obra galileana uma abrangência de fatores de extrema relevância no ensino de ciências com abordagem historiográfica e filosófica.

A primeira jornada discorre basicamente sobre a concepção do universo, a distinção entre céu e Terra. Nela, Galileu introduz o pensamento sobre a unificação do cosmos, pensando para isto na questão do movimento em ambas as regiões. Seu objetivo principal é direcionar para uma questão maior, a de que destruindo a ideia de mundos de semelhantes, podemos pensar as explicações segundo uma mesma visão, opondo-se à ideia de que as experiências sensíveis devem antepor-se ao pensamento elaborado pelo engenho humano (daqui decorre uma das interpretações possíveis de Galileu como neo-platônico). Com isso, permeia uma discussão fundamentalmente filosófica sobre o princípio utilizado no estudo da natureza, na qual podem haver diferentes interpretações na observação da mesma. Para uma discussão sobre o período histórico, podemos apontar para a possibilidade de influências de pensadores anteriores (Aristóteles e o Tomismo, por exemplo) e do conhecimento do conteúdo de suas obras. Ainda, podemos inferir que em sua argumentação procura estabelecer a plausibilidade de novas formas de olhar o mundo. Neste momento, não ataca a teoria aristotélica de maneira incisiva; apenas introduz a discussão sobre as representações de mundo. Neste sentido, a ideia de movimento relativo é essencial nesta interpretação. Os modelos de Aristóteles, Tycho Brahe e de Copérnico são propostos por meio da observação do céu, realizada por eles, de maneira a admitir um referencial para o movimento. Os dois primeiros pressupõem a Terra no centro do universo, porém, observamos em Tycho Brahe a diferença de olhar sobre os demais corpos celestes. Atribuímos tal fato às

condições de observação em cada momento, afinal, Aristóteles não dispunha de instrumentos ou mesmo do conhecimento de estudos anteriores em que pudesse se pautar. Naquele momento, faz todo sentido representar o sistema de mundo como o fez.

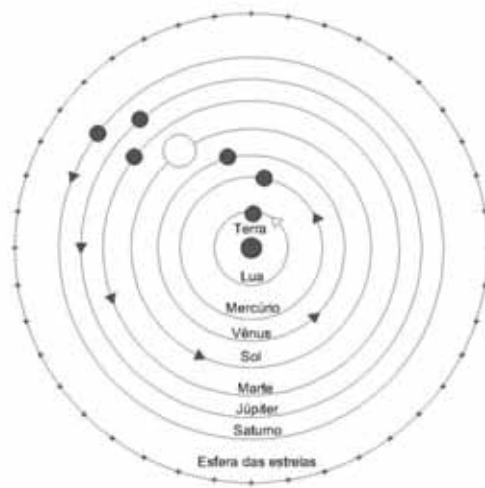


Figura 4 - Sistema de mundo aristotélico

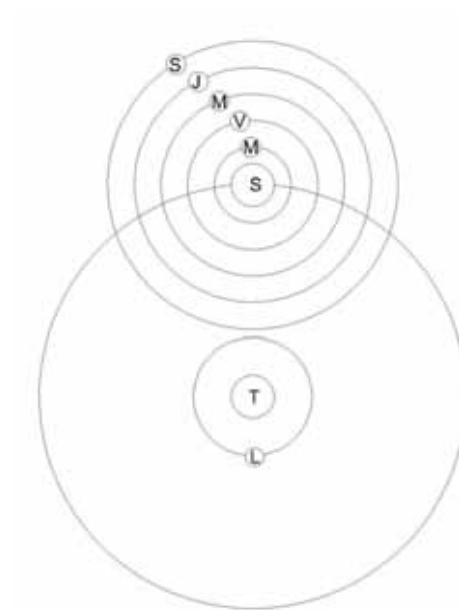


Figura 5 - Sistema de mundo tichômico

A diferença essencial das explicações tichômica e copernicana é a fixação do observador na Terra, que Tycho prevê. Quando propõe a Terra participante das órbitas ao redor do Sol, Galileu o faz pressupondo um referencial fora da Terra, a partir do qual

se pode imaginar os movimentos dos planetas em seus orbes, dentre eles a Terra, sendo orbitada pela Lua.

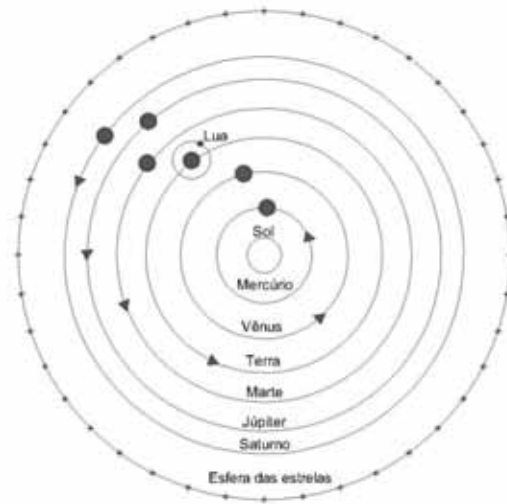


Figura 6 - Sistema de mundo copernicano

Para evidenciar sua explicação sobre a relatividade do movimento, na segunda jornada, Galileu discute as experiências terrestres utilizadas para evidenciar a imobilidade terrestre, salientando que, a partir da experiência sensível, os fatos observados nos experimentos são os mesmos, admitindo o movimento ou a imobilidade terrestre; do que depende cada teoria é a maneira como se interpretam os dados da observação. Inicialmente, tratando da trajetória no estudo do movimento, refere-se aos exemplos da pedra cadente do alto de uma torre, para a qual não se pode definir a trajetória a partir da experiência sensível, esta é aparentemente retilínea, mas isso se deve ao fato de o observador compartilhar do mesmo movimento da pedra, da torre e de tudo o que está na Terra, à qual se atribui o movimento de rotação. A ideia de relatividade do movimento, após introduzida dá subsídios para se pensar todos os outros exemplos, a partir da ideia de experimentação guiada pela teoria, ou ainda, pressupondo um observador alheio ao movimento terrestre.

O experimento do plano inclinado é utilizado para clarificar a ideia de que, desprezando as resistências externas, os corpos tendem a desenvolver a mesma velocidade. Ainda, para um plano paralelo à superfície, sem auge ou declive, uma esfera que recebe um ímpeto inicial tende a permanecer com este, desde que sejam desconsiderados os efeitos do meio, movendo-se indefinidamente enquanto existir o

plano. Neste ponto, temos introduzidos dois conceitos fundamentais da teoria galileana que dão base às suas argumentações e que podem possibilitar uma discussão frutífera sobre os conceitos de movimento inercial e o princípio de conservação do movimento, que ainda hoje são complexos para o processo de aprendizagem dos conceitos básicos de física. A independência dos efeitos dos movimentos de um movimento composto é introduzida a partir da discussão sobre a trajetória de um projétil lançado perpendicularmente à superfície terrestre. Além das contribuições científicas da discussão, este exemplo possibilita uma discussão em que à luz do conhecimento do presente, o exemplo está errado, uma vez que Galileu interpreta a trajetória descrita pelos corpos da seguinte maneira: um observador fora da Terra observaria o objeto descrevendo uma trajetória paralela à superfície, e não circular, como ele afirma. Lembremos que a principal objeção dos defensores do aristotelismo é com respeito à previsão errônea dos efeitos, de maneira que as características dadas pelo copernicanismo não condizem com a experiência vivida. A conclusão da segunda jornada, que é uma resposta copernicana a tais objeções, alerta sobre o engano dos sentidos, um movimento que vemos retilíneo, na verdade, é misto de reto e circular.

As discussões que embasam a argumentação sobre o movimento terrestre anual referem-se aos orbes, relacionando os tamanhos às velocidades dos planetas, também às diferenças aparentes de tamanho e de brilho dos planetas, causadas pelos movimentos dos mesmos, cujas descrições prevêm os orbes de Mercúrio e Vênus como concêntricos do orbe da revolução terrestre que é concêntrico aos demais orbes, de Marte, Júpiter e Saturno. Além disso, o sistema copernicano deixa imóvel a esfera das estrelas, condizendo melhor com a ideia de que esta necessitaria ter velocidade muito maior do que a de seu orbe mais próximo, o de Saturno, pois seria necessário que a esfera das estrelas executasse uma revolução em um dia, enquanto Saturno levava quase 30 anos para completar uma revolução. Estas discussões possibilitam uma relação entre os conceitos de movimento e as explicações dadas posteriormente por Newton, aceitas até hoje.

Por fim, é na quarta jornada que Galileu considera que expõe a prova mais conclusiva da mobilidade terrestre. Embora em muito tenham contribuído todas as suas discussões sobre a cinemática, sabemos hoje que, a partir do presente analisando o passado, é necessária uma explicação para o efeito das marés que subentenda uma

dinâmica dos movimentos que pressuponha a mobilidade terrestre e da qual Galileu não dispunha. Concebemos a historiografia da ciência galileana como um exemplo significativo para as discussões sobre sua importância no estudo da história e da filosofia da ciência, bem como no ensino de física.

A historiografia sobre Galileu possibilita estudá-lo sob uma lente empirista e também sob uma lente que o considera como platônico, que busca a matematização da natureza por meio de experimentos de pensamento etc.

A filosofia da ciência galileana tem, para nós, sua importância justificada na questão da percepção das coisas. Quando Copérnico propõe este outro olhar (dentro de toda complexidade da criação de uma teoria – proximidades, distanciamentos, revoluções em relação às anteriores), ele não só interpreta os movimentos sob um referencial do qual não participa; mais que isto, ele propõe um outro mundo, observado por um novo observador, que terá como experiência os mesmos fenômenos, porém vistos sob uma ótica totalmente racional do ponto de vista da experiência bruta dos sentidos. Procuramos também apontar que o heliocentrismo não se inicia em Copérnico, tampouco, se faz plausível apenas por meio das exposições de Galileu; é, antes, um longo e penoso processo que, sem dúvida, teve na obra de Galileu seu mais significativo e expressivo defensor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em sua defesa do copernicanismo, Galileu faz mais do que propor outra maneira de interpretar as coisas. Ele busca, por meio do *Diálogo*, expressar uma abordagem que vai contra a experiência sensível e contra os argumentos que defendem o geocentrismo e a física aristotélica. A doutrina aristotélica, longe de ser de simples compreensão, apresenta argumentos tão bem elaborados que são rediscutidos e aceitos por séculos. Muito mais que propor outro olhar, o que Galileu faz é buscar conhecer o movimento sob outra perspectiva.

Sua engenhosa defesa do heliocentrismo utiliza os próprios pressupostos (e uma metodologia de análise) do geocentrismo para mostrar que esse outro olhar pode ser tão plausível quanto o anterior.

Quando falamos em “outro olhar”, estamos nos remetendo às diversas interpretações que se pode ter por meio do estudo de sua obra (que dão razão a nossa tese). Primeiro, a destruição da concepção de cosmos, com suas próprias características que o tomavam como perfeito e separado em dois mundos (sublunar e supralunar). Esta estratégia permite a Galileu ser ouvido na proposta de explicação daqueles fenômenos que colocavam a Terra imóvel no centro dos orbes das revoluções. Estes mesmos fenômenos confirmam sua mobilidade e a tiram do centro. Toda a novidade de pensamento proposta por Galileu fundamenta-se em uma nova percepção das coisas (ainda que esteja ligado à tradição e ao modo de argumentar dos seus antecessores). Esta nova ou outra percepção permite, olhando para os mesmo fenômenos e para as mesmas questões, visualizar o mundo de maneira diferente, situando o observador em posição diferente diante do universo, dando-lhe movimento em sua observação, e este já não olha para o mesmo céu; o que observa não é diretamente a interpretação dos fatos, a verdade dos fatos está guiada por uma teoria, pelo pensamento humano que permitiu perceber de outra forma.

A riqueza de exemplos de fenômenos nas discussões ao longo das jornadas corrobora a tese de que Galileu utiliza-se de um modo de pensar muito ligado aos interlocutores que o precederam. No entanto, há novidades no pensamento de Galileu,

sobretudo a construção de uma nova forma de perceber o movimento. A historiografia da ciência galileana pressupõe inúmeras visões de estudo que são imprescindíveis para a compreensão deste autor tão importante e complexo da história da física. A riqueza da obra se justifica pelas diferentes correntes de pensamento no entendimento da sua proposta de heliocentrismo. Pensar Galileu pela sua metodologia, como fazem Feyerabend e Clavelin, na maneira pela qual conduz sua argumentação, ou ainda, pelas influências do meio onde está inserido e também do conhecimento com que teve contato em sua formação como filósofo da natureza. Tudo isso nos dá o entorno para se pensar a posição de sua obra no momento histórico em que é escrita. Sob outra perspectiva, aquela das influências da maneira de pensar, sobretudo o platonismo proposto por Koyré, pela ideia de ruptura com o pensamento antigo e uma forma de entender a ciência, bem como, posteriormente, por seu entendimento da revolução no desenvolvimento do conhecimento da natureza. Ainda, muito relevante na historiografia galileana, embora não o tenhamos estudado no presente trabalho, é Stillman Drake, que o interpreta como empirista³⁷.

A historiografia galileana permite a exposição de diferentes modos de explicar o desenvolvimento do conhecimento científico. As perspectivas que guiam o estudo histórico pressupõem um modo de ver a ciência. Para Koyré, a ciência galileana rompe com a tradição aristotélica, propondo um novo olhar para os fenômenos da natureza, permitindo a aceitação da maneira de interpretar esses fenômenos como uma nova forma de ver, um novo mundo, totalmente distinto do que se concebia até então. Embora tenha sido publicada anteriormente à obra de Kuhn, na leitura de Koyré podemos identificar traços bem próximos da ideia de que a ciência se desenvolve por meio de crises que geram revoluções no conhecimento da natureza. Já as perspectivas de Feyerabend e Clavelin relacionam-se, principalmente, à metodologia utilizada por Galileu em sua argumentação. Para o primeiro, tem-se uma nova metodologia para pensar os fenômenos analisados, isto é, este pensamento pressupõe diferentes métodos, vindos de diferentes correntes teóricas. O anarquismo metodológico feyerabendiano é exatamente sua interpretação da maneira como a ciência se desenvolve; este não prevê linearidade, pelo contrário, há uma mistura de pressupostos metodológicos e teóricos

³⁷ A interpretação de Drake será estudada posteriormente, no curso de doutoramento, para ampliar o estudo historiográfico realizado.

por trás da teoria galileana. Em Clavelin, a fundamentação principal da obra galileana pressupõe outra maneira de olhar os mesmos fenômenos, que já eram discutidos e analisados por Aristóteles e, depois, por Ptolomeu, Oresme, Tycho, Bruno e outros que geralmente não são citados nos estudos sobre o período que compreende a passagem da física clássica para o método moderno de indagar a natureza. Segundo Clavelin, a defesa copernicana, feita por Galileu, parte exatamente do pensamento tradicional, de maneira que procura refutar a ciência aristotélica fazendo uso dos termos e dos pressupostos dela mesma. A destituição do cosmos é proposta, bem como da visão de dois mundos diferentes, sustentando que os princípios de corrupção e de geração pertencem também ao mundo atual considerado perfeito. Posteriormente, faz uso das mesmas experiências, citadas pelos seus antecessores, para propor a ideia de relatividade do movimento, a partir de outro referencial. Assim, segundo esta interpretação, Galileu está totalmente imerso na doutrina tradicional aristotélica.

A partir da análise que realizamos dos *Diálogos*, no qual as jornadas expõem o mundo observado de outra maneira, entendemos a teoria galileana como uma maneira de interpretar o mundo vivido (o movimento observado e vivido) sob outro referencial. Inicialmente, a associação dos mundos sub e supralunar é imprescindível para se pensar a plausibilidade de descentralização e mobilidade terrestre; pressupondo para todo o universo as mesmas explicações, torna-se viável o pensamento de relatividade dos movimentos observados. Por exemplo, ao conceber a Lua como semelhante à Terra, Galileu destitui sua perfeição e aproxima a Terra dos demais planetas, dando destaque ao Sol, em sua centralidade, imobilidade e, principalmente, por possuir luz própria, característica não mais prevista para a Lua. As experiências terrestres que provavam até então a imobilidade terrestre, por meio das previsões para a Terra em movimento, olhadas por outro referencial, permitem pensá-las como prova da mobilidade terrestre, segundo a relatividade dos movimentos. Os dados de observação do céu, mais precisos em confronto com os de que dispunham Aristóteles, Ptolomeu e Oresme, por exemplo, são encarados também sob esta outra percepção e corroboram a ideia da Terra fazer parte dos orbes de revoluções, entre Vênus e Marte, passando a ser orbitada apenas pela Lua. O desfecho do *Diálogo*, a teoria das marés de Galileu, considerada a partir do presente, não teve triunfo; não podemos porém, deixar de reconhecer na quarta jornada sua complexidade e importância na aceitação da percepção heliocêntrica de mundo.

Esta dissertação procurou analisar a questão do movimento em Galileu e a elaboração de uma nova forma de perceber as coisas (percepção do mundo), que é considerada sob diferentes ângulos pela interpretação historiográfica de Koyré, Feyreband e Clavelin, sustentando sempre que o entendimento do autor (Galileu) deva ser feito a partir do diálogo que manteve com o passado.

Para as finalidades propostas investigamos as contribuições que a análise historiográfica de Galileu teria para o ensino de ciências; para tanto analisamos livros didáticos que tratam do tema Galileu, mesmo que de maneira indireta, a fim de verificar se estes apresentam a história da ciência como construção histórica de diferentes teorias (suscetíveis a interpretações diversas). No entanto, percebemos uma carência desta perspectiva, que julgamos altamente relevante para uma abordagem histórica e filosófica no ensino de ciências. Percebemos que a história da ciência apresentada nos livros didáticos, é feita sem a devida contextualização das teorias, tampouco sem a possibilidade de diferentes leituras das mesmas. Percebemos, assim, a necessidade de se pensar no estudo histórico de Galileu como possibilidade de discussão de diversos fatores da ciência, como a epistemologia, a metodologia e a historiografia envolvidas no processo de se estudar ciências.

A abordagem histórica e filosófica no ensino de ciências tem em seus fundamentos o objetivo de permitir o entendimento da ciência como processo de elaboração constante. Especialmente, o conhecimento da historiografia das teorias permite expor esse caráter de não linearidade, permitindo, ainda, o entendimento da defesa do heliocentrismo feita por Copernico e Galileu na história da ciência

No presente estudo apresentamos o conteúdo do *Diálogo* e parte da historiografia da ciência galileana, fazendo apontamentos para a questão do ensino. Por exemplo, tendo em conta minha própria formação, sinto a necessidade da inclusão da abordagem histórica e filosófica, já que o estudante de graduação em física sequer tem contato com um original de Galileu ou de qualquer outro pensador da natureza. Entendemos a complexidade da proposta, mas parece estranho que numa graduação em física e na formação de futuros professores não estudemos os clássicos da área.

O estudo realizado nos possibilitou pensar o ensino de ciências com abordagem de história e filosofia das ciências, especificamente da ciência galileana, como uma

maneira de pensar a ciência (ou um autor significativo dela). Portanto, consideramos que os estudos historiográficos são imprescindíveis para a formação dos licenciados em Física, pois possibilitam compreender a complexidade da construção da ciência. Nesta dissertação tratamos da teoria elaborada por Galileu sobre o movimento, sobretudo na análise dos *Diálogos*, e percebemos a construção de outra forma de ver o mundo, distinta do mundo vivido, entrando em choque com o ensino do magistério da Igreja Católica e contrapondo-se ao já incorporado no saber aceito de Aristóteles.

REFERÊNCIAS

- BARDIN, L. *Análise de conteúdo*, Edições 70, Lisboa: 1977.
- BASTOS, F. História da Ciência e Ensino de Biologia: A pesquisa médica sobre a febre amarela (1881-1903). Tese de doutorado. Faculdade de Educação, USP, São Paulo, 1998.
- BORGES, G.L.A. *Utilização do método Científico em livros didáticos de ciências para o 1º grau*. 1982. 359f. 2v. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação: Universidade de Campinas, Campinas, 1982.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio. Brasília: MEC/Semtec, 2002.
- CALUZI, J. J.; SOUZA FILHO, M. P.; BOSS, S. L. B.; A História hipotética na física: distorções da História da Ciência no livros didáticos sobre o experimento de Oersted, in: Atas do VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Florianópolis: 2007.
- CAMPOS, A. A Teoria do Impetus de Nicole Oresme e a possibilidade do Movimento Diurno no *Le Livre Du Ciel et Du Monde*. Dissertação de mestrado. Programa de Estudos Pós-Graduandos em História das Ciências. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, PUC-SP, 2008.
- CHÂTELET, F. A questão da história da filosofia hoje. In: D. GRISON, Políticas da Filosofia. Lisboa: Moraes Ed. 1977.
- CLAVELIN, M. *La Philosophie Naturelle de Galilée – Essai sur des origines et la formation de la mécanique classique*. Librairie Armand Colin, 1968.
- CLAVELIN, M. A Revolução Galileana: Revolução Metodológica ou Teórica? Tradução de Roberto Martins. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, n. 9, 1986, pp. 35-44.
- COPÉRNICO, N. *As Revoluções dos Orbes Celestes*. Tradução de A. Dias Gomes e Gabriel Domingues, introdução e notas de Luís Albuquerque, 2ª ed., Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.
- DUARTE, M. da C. A história da ciência na prática de professores portugueses: implicações para formação de professores de ciências. *Ciência & Educação*. v. 10, n. 3, p. 317-331. 2004.
- ÉVORA, Fátima Regina Rodrigues. *A Revolução Copernicana – Galileana: origem, significado e inserção na história do pensamento científico filosófico antigo e medieval*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Filosofia, UNICAMP, Campinas, SP, 1987.
- FEYERABEND, P. *Contra o método*; tradução de Octanny S. da Mota e Leonidas Hegenberg. Rio de Janeiro, F. Alves, 1977.
- GAIÃO, C. L. P. *Análise do livro “A Revolução Copernicana” de Thomas Kuhn*. 1998.
- GALILEU, G. *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo – ptolomaico e copernicano*. Tradução, introdução e notas de Pablo Rúben Mariconda. 2ª. Ed. São Paulo: Discurso Editorial/Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2004.

GRANT, E. Os Fundamentos da Ciência Moderna na Idade Média. Tradução de Carlos Grifo Babo. Porto: Porto Ed. 2002.

GUÇÃO, M. F. B.; CARNEIRO, M. C. A ideia de revolução copernicana. In: CARNEIRO (org.). História e filosofia das ciências e o ensino de ciências. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2011. p. 91-114.

HOTTECKE, D.; HENKE, A.; RIESS, F. Implementing History and Philosophy in Science Teaching: strategies, methods, results and experiences from the European HIPST Project. *Science & Education*, p. 1–29, 2010. Published online: 10 December 2010 – DOI 10.1007/s11191-010-9330-3.

HOTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why implementing History and Philosophy in school Science Education is a challenge: an analysis of obstacles. *Science & Education*, v. 20, n. 3-4, p. 293–316, 2011.

HUSSERL, E. La tierra no se mueve. 2ª ed. Madrid: Editorial Complutense, 2006.

KOYRÉ, A. Estudos de história do pensamento científico. Tradução e revisão técnica de Márcio Ramalho, 2 ed., Rio de Janeiro: Editora Forense Universitária, 1991.

KOYRÉ, A. Estudos Galilaicos. Tradução de Nuno Ferreira da Fonseca. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1986.

KRAGH, H. Introdução à Historiografia da Ciência. Porto: Porto Editora, 2001. p. 119-165.

KUHN, T. S. A Revolução Copernicana. Tradução de Marília Costa Fontes. Lisboa: Edições 70, 1957.

LEBRUN, G. A Idéia de epistemologia In: LEBRUN, G. *A filosofia e sua história*. São Paulo: Cosacnaify. 2006.

MARICONDA, P. R. Galileu e a teoria das marés. Cadernos de História e Filosofia da Ciência, série 3, v. 9, n. 1-2, p. 33-71, jan.-dez. 1999.

MARICONDA, P. R. O alcance cosmológico e mecânico da carta de G. Galilei a F. Ingoli. *Scientiae Studia*, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 443-65, 2005.

MARTINS, R. A. Como não escrever sobre história da física – um manifesto historiográfico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 23, n. 1, p. 113-129, 2001.

MARTINS, R. A. Introdução: a História das Ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C. C. (Org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências*: subsídios para aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

MARTINS, R. A. GALILEO e o Princípio da Relatividade. Cadernos de História e Filosofia da Ciência, n. 9, 1986, pp. 69-86.

MATTHEWS, M. R. O tempo e o ensino de ciências: como o ensino da história e filosofia do movimento pendular pode contribuir para a alfabetização científica. In: Silva Filho, W. J. das (Org.). *Epistemologia e ensino de ciências*. Salvador: Arcádia, 2002. p. 31- 48.

MEDEIROS, A. J. G.; MONTEIRO, M. A. As invisibilidades dos pressupostos e das limitações da teoria de Copérnico nos livros didáticos de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. 1, p. 29-52, 2002.

MOSCHETTI, M. A Unificação do Cosmo: o rompimento de Galileu com a distinção aristotélica entre céu e Terra. Dissertação de mestrado. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Departamento de Filosofia, Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, 2002.

MOSCHETTI, M. A. Qual Galileu? Sobre diversas leituras possíveis do texto galileano. Revista Guaracá, n. 20. P. 71-83, 2004.

NASCIMENTO, C. A. R. Para ler Galileu Galilei: Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo. São Paulo: EDUC, 2003.

OSTERMANN, F.; RICCI, T. Relatividade restrita no ensino médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 21, n. 1, p. 83-102, 2004.

ROSSI, P. O Nascimento da ciência moderna na Europa. Tradução de Antonio Angonese, Bauru, SP: EDUSC, 2001.

SANTO AGOSTINHO. *Confissões*. São Paulo: Nova Cultural, 1987.

SILVA DIAS, V.; MARTINS, R. A. Michael Faraday: o caminho da Livraria à Descoberta da Indução Eletromagnética. *Ciência & Educação*, v. 10, n. 13, p. 517-530, 2004.

SOUZA, R. L. de *Contra o Método*: Galileu na rota da análise-e-síntese – um paralelo entre a questão da interpretação do método de análise-e-síntese e a questão do método em Galileu. Tese de doutorado. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Departamento de Filosofia, Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, 2003.

STEIN, H. Maurice Clavelin on Galileo's Natural Philosophy. *The British Journal for the Philosophy of Science*, v. 25, n. 4, p. 375-397, 1974. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/686467>. Acesso em 26/08/2011 14:19.

VANNUCCHI, A. I. História e Filosofia da Ciência: da Teoria para a Sala de Aula. Dissertação de Mestrado, Instituto de Física e Faculdade de Educação, USP, São Paulo, 1996.

ZYLBERSZTAJN, A. Galileu – um cientista e várias versões. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 5 (n. especial), p. 36-48, 1988.

ANEXOS

ANEXO 1 - Discussões sobre a possibilidade de mobilidade terrestre e a relatividade de movimento*

NICOLE ORESME E SUA DEFESA DO MOVIMENTO TERRESTRE

No século XIV, em meio ao grande número de traduções, cometários e tratados sobre ciência aristotélica, Nicole Oresme redigiu um comentário ao tratado *Sobre o Céu* de Aristóteles. Esse trabalho de Oresme (*Traité*), cujo manuscrito data de 1377, foi estudado e reproduzido parcialmente por DUHEM (1909; 1958, v. 9, 330). Aí se encontra uma ótima discussão dos argumentos contra o movimento da Terra e uma crítica a esses argumentos, no qual Oresme procura mostrar que nenhuma experiência permite provar que a Terra está em repouso. Pela importância e originalidade do trabalho de Oresme, vale a pena estudar suas ideias.

Após haver proposto as ideias de Aristóteles e sua tentativa de demonstrar a imobilidade da Terra, Oresme (DUHEM, 1958, 330) expõe sua própria opinião nos termos que traduzo quase literalmente do francês arcaico:

Não se poderia provar por experiência alguma que o Céu se move com movimento diário, e não a Terra. Mas, sob toda correção, parece-me que se poderia bem sustentar a dar cor à última opinião, a saber, que a Terra se move com movimento diário, e o Céu não.

E, primeiramente, eu desejaria declarar que não se poderia mostrar o contrário por qualquer experiência; em segundo lugar, nem por razões; e, em terceiro lugar, dar a razão disso.

Após anunciar sua intenção, Oresme (DUHEM 1958, 330) começa descrevendo os três principais argumentos contra o movimento da Terra:

1. vemos o céu, as estrelas, o Sol, a Lua e os planetas girando em torno da Terra e, portanto, o céu tem um movimento diário;
2. se a Terra girasse, sopraria um vento muito forte do oriente, pois a Terra iria mover-se em relação ao ar;
3. a experiência proposta por Aristóteles, que ele assim descreve:

A terceira é a encontrada por Ptolomeu: pois quem estivesse em um navio que se movesse muito rapidamente para o oriente e atirasse uma

* Extraído de: GALILEO E O PRINCÍPIO DA RELATIVIDADE. Roberto de Andrade Martins. In: Cadernos de História e Filosofia da Ciência 9 (1986), pp. 69-86.

seta bem reta para cima, ela não cairia na nave, mas bem longe do navio, para o ocidente; e de forma semelhante, se a Terra se move tão rapidamente girando do ocidente para o oriente, desde que lançássemos uma pedra bem reta pra cima, ela não cairia no lugar de onde ela parte, mas bem longe para o ocidente; e o contrário é percebido, de fato.

Note-se que Oresme modifica um pouco a argumentação de Aristóteles e Ptolomeu, introduzindo uma experiência realizada em um navio. Essa alteração do argumento, parece ter sido originada na obra de algum comentador de Aristóteles (talvez Simplicio), a qual acabou sendo atribuída ao próprio Aristóteles ou a Ptolomeu, como aqui.

Para responder aos três argumentos, Oresme procura, primeiramente, mostrar que os movimentos relativos são os únicos que podem ser observados (DUHEM, 1958, 331):

Então, eu suponho que o movimento local não pode ser percebido sensivelmente a não ser tanto quanto se percebe que um corpo esteja [em movimento] olhando-se para outro corpo. E por isso, se um homem está em um navio chamado A, que se move muito suavemente, rápida ou lentamente, e se esse homem não vê outra coisa, além de um outro navio chamado B, que seja movido de forma totalmente semelhante ao modo como [se move] A, no qual ele está, eu digo que parecerá a esse homem que um e outro [navios] não se movem; e se A está em repouso e B é movido, parece-lhe e assemelha-se que B é movido; e se A é movido e B fica em repouso, parece-lhe, como antes, que A está em repouso e que B é movido.

Oresme atribui a Witelo essa ideia geral^{**}. Aplicando-a ao céu e à Terra, Presme conclui que tanto no caso em que a Terra se mova e o céu esteja parado, quanto no caso oposto, as pessoas colocadas na Terra diriam que o céu se move, e pessoas porventura colocadas no céu diriam que a Terra se move. Portanto, a aparência de movimento celeste não prova a imobilidade da Terra.

Essa primeira argumentação de Oresme era bem conhecida na época. De fato, sob o ponto de vista puramente astronômico, ou seja, quando se tenta apenas prever as posições aparentes dos astros, é indiferente supor-se que a Terra se move ou que ela está parada. Seria apenas através de experiências realizadas na própria Terra que se poderia descobrir se ela está em repouso ou em movimento. Oresme volta-se então para o argumento do vento e dá uma resposta curta (DUHEM 1958, 332):

^{**} Trata-se de um livro sobre perspectiva, de Witelo (século XIII), onde é natural que se tenha discutido apenas a relatividade óptica dos movimentos.

À segunda [experiência] aparece a resposta por isso: segundo essa opinião, a Terra não é movida sozinha, mas com a água e o ar, como é dito; embora a água e o ar daqui de baixo possam ser movidos de outra forma pelos ventos ou pelas outras causas; e é semelhante como se um navio se movesse e nele houvesse ar guardado; pareceria àquele que estivesse em tal ar que ele não se move.

Portanto, o ar realmente pode estar se movendo para o oriente, com a Terra, mas não percebemos esse movimento, pois é um movimento *comum* do ar e da Terra.

Por fim, Oresme discute o argumento dos projéteis (DUHEM 1958, 332):

À terceira experiência, que parece mais forte, da seta ou pedra lançada para cima etc., dir-se-á que a seta atirada para o alto, com esse movimento, é movida para o oriente muito rapidamente com o ar através do qual ela passa e com toda a massa da parte baixa do Mundo, antes indicada, que se move com movimento diurno: e por isso a seta recai no lugar da Terra de onde partiu.

E tal coisa parece possível por semelhança; pois, se um homem estivesse em um navio movido para o oriente muito rapidamente sem que ele percebesse esse movimento e esticasse sua mão fazendo-a descer e descrever uma linha reta contra o mastro do navio, parece-lhe-ia que sua mão não se moveu a não ser com um movimento reto; e assim também, segundo essa opinião, parece-nos da seta que desce ou sobe reta para baixo ou para cima.

Aqui parece uma ideia importantíssima: o movimento da seta ou do projétil *parece* reto, mas não é – há ao mesmo tempo um movimento vertical e outro horizontal, acompanhando a Terra (ou o navio). O único movimento observável pela pessoa que está na Terra (ou no navio) é o movimento do qual ele não participa. Oresme generaliza sua ideia (DUHEM 1958, 332-3):

Igualmente, dentro do navio assim movido como foi dito, podem existir movimentos longitudinais, transversais, para o alto, para abaixo, de todas as maneiras, e pareceriam ser em tudo como se o navio repousasse...; e de modo semelhante, no caso colocado antes, todos os movimentos aqui em baixo pareceriam ser como se a Terra repousasse.

Como bom conhecedor da física aristotélica, Oresme sabe o tipo de objeção que poderia ser colocada às suas ideias – é impossível que um só corpo tenha dois movimentos ao mesmo tempo. Ou ele se move verticalmente ou em rotação em torno do centro – a ideia de composição de movimentos é estranha à física de Aristóteles. Por isso, Oresme dá um exemplo em que a própria física aristotélica levaria à composição de movimentos. Suponhamos que a Terra esteja em repouso e que o céu gire. O fogo tende a subir, segundo Aristóteles. Mas, se subisse e escapasse à região do ar que está

em repouso ele continuaria a subir e ao mesmo tempo iria adquirir um movimento circular da região do céu onde está. Se isso não é absurdo, também não é absurdo supor que a pedra ou a seta pudessem ter dois movimentos simultâneos, um vertical e outro circular. Oresme conclui (DUHEM 1958, 333):

Concluo, portanto que não se poderia por experiência alguma mostrar que o céu tem um movimento diário e que a terra não é movida assim.

Essa exposição mostra claramente que Oresme possuía uma visão próxima daquilo que depois (física moderna) constituiu o princípio de relatividade dos movimentos. Falta a Oresme, apenas, a ideia de inércia que permite justificar o acompanhamento da Terra pelos projéteis. Na concepção de Oresme, os projéteis parecem acompanhar a Terra apenas por pertencerem à sua esfera, por formarem com ela certa unidade. É possível que Oresme admitisse que, se a Terra cessasse de se mover, os corpos à sua volta também cessariam imediatamente seu movimento.

COPÉRNICO E GIORDANO BRUNO

A obra manuscrita de Oresme parece ter circulado amplamente na Universidade de Paris, no século XIV. Entre os que a leram estão, segundo Duhem, Jean Buridan, Albert de Saxe e Pierre de Ailly. Nenhum deles concorda com Oresme (DUHEM 1958, 355). No ponto crucial da experiência dos projéteis, Buridan é incapaz de acompanhar Oresme e utiliza um argumento muito semelhante ao de Ptolomeu: quando uma flecha fosse atirada para cima com grande violência, o ar não seria capaz de arrastá-la, assim como o vento é incapaz de arrastar completamente uma flecha atirada através dele, embora seja capaz de desviá-la um pouco (BULLIOT 1914; DUHEM 1958, 350). O argumento de Oresme não pressupõe que a seta seja arrastada pelo ar; tenta, apenas enfatizar que um corpo em movimento muito rápido e violento deixa de pertencer ao seu meio e que, portanto, a seta já não poderia ser considerada como pertencente ao sistema Terra + ar + água e não teria motivo para acompanhar a Terra.

De qualquer forma, a argumentação de Oresme parece não ter sido convincente e, dois séculos mais tarde, Copérnico teve que apresentar bons motivos para justificar o movimento da Terra e negar seu repouso. Em parte, a argumentação de Copérnico é

semelhante à de Oresme, mas ele adiciona ainda razões teóricas pelas quais tenta mostrar que é preferível considerar que a Terra, e não o céu, está em movimento.

Como Oresme, Copernico (COPERNICUS, *Revolutions*, I. 8, 519; KOYRÉ 1966, 166-71) supõe que o movimento de projéteis é composto de movimento vertical e horizontal (circular):

Devemos confessar que em relação ao universo e movimento de corpos que caem ou sobem é duplo e é, em geral, composto do retilíneo e do circular.

O movimento circular da Terra seria seu movimento natural, segundo Copérnico, e as partes da Terra teriam por isso uma tendência a acompanhar esse movimento circular. Ou seja: não há em Copérnico a ideia de um movimento por inércia mas algum tipo de acompanhamento de um movimento natural.

É na obra de Giordano Bruno que poderemos encontrar um avanço em relação e essa posição.

Na *Ceia dos penitentes*, Bruno defende o sistema de Copérnico, discutindo irreverentemente as doutrinas aristotélicas. Em uma seção do diálogo, Bruno discute os argumentos do ar e das nuvens, dando resposta tradicional de que o ar é arrastado pela Terra; e passa então ao problema dos projéteis. Após expor a dificuldade tradicional, Bruno coloca nos lábios de Teófilo a seguinte resposta^{***}:

(Teófilo:) Todas as coisas que estão na Terra movem-se com ela. Se, portanto, de um lugar fora da Terra fosse lançada alguma coisa à Terra, pelo movimento desta [aquela coisa] perderia a retidão [isto é, não cairia verticalmente]. Como se verifica no navio AB, o qual, passando pelo rio, se alguém, que se encontra na sua margem C, lhe atirar diretamente uma pedra, errará sua mira, por quanto vale a velocidade da corrida. Mas se alguém, colocado sobre o mastro do dito navio, que corra com a velocidade que queira, [o fizer] sua mira não falhará, de modo que a pedra ou outra coisa lançada irá diretamente do ponto E, que está no topo do mastro, ou na gávea, ao ponto D que está na raiz do mastro, ou a qualquer parte do corpo do navio. Assim, se do ponto D alguém que está dentro do navio atira ao ponto E diretamente uma pedra, ela retornará para baixo pela mesma linha, mova-se o navio quanto se queira, desde que não se incline.

Bruno afirma aqui que, para os fenômenos mecânicos internos ao navio, sua velocidade é irrelevante. A pedra largada do topo do mastro cairá na base do mastro e,

^{***} BRUNO 1956, 250-1; ver, também, KOYRÉ 1966, 171-82; MICHEL 1973, 190-3; MASSA 1973. A primeira edição da *Cena* é de 1584.

da mesma forma, apesar do movimento da Terra, uma pedra largada do alto de uma torre cairá à base da torre. Somente se a pedra fosse largada por alguém fora da Terra, que não se move com ela, seria possível notar-se, da Terra, um movimento de queda que não pareceria vertical.

Mas por que a velocidade da Terra ou do navio não influi nos fenômenos? Será por causa do ar arrastado ou motivo semelhante? Bruno (*Cena*, 251-2) vê claramente que não, e afirma mais adiante:

(Teófilo:) Ora, para voltar ao assunto, supõe-se que haja então duas [pessoas], das quais uma se encontra dentro do navio que corre, e a outra, fora dele, e que tanto uma quanto a outra tenham a mão perto do mesmo ponto do ar e, que do mesmo lugar, ao mesmo tempo, um deixe cair uma pedra e o outro outra; sem que lhe dêem qualquer empurrão, a do primeiro, sem perder um ponto nem desviar sua linha, atingirá o lugar prefixado, e a do segundo irá encontrar-se deslocada para trás. O que não decorre senão que a pedra que sai da mão daquele que é sustentado pelo navio, e que conseqüentemente move-se segundo o movimento dele, tem uma virtude impressa, que não tem a outra, que procede da mão daquele que está fora; e isso apesar de as pedras possuírem a mesma gravidade, atravessarem o mesmo ar, partirem (se tal fosse possível) do mesmo ponto e possuírem o mesmo empurrão. Não podemos dar outra razão a essa diversidade a não ser a de que as coisas que estão fixas ou que de forma semelhante pertençam ao navio movem-se com ele; e uma pedra leva consigo a virtude do motor que se move com o navio, e a outra, a daquele que não tem tal participação. Disso se vê manifestamente que a virtude de andar em linha reta não é obtida nem do ponto de onde se parte, nem do ponto para onde se vai, nem do meio no qual se move, mas da eficácia da virtude impressa primeiramente da qual depende toda a diferença.

Bruno exprime aqui com bastante clareza a ideia de inércia. Sua linguagem pode parecer estranho e até metafísico, mas é preciso lembrar que ao usar a palavra “virtude impressa”, ele está utilizando o mesmo termo que Newton (*Mathematical principles*, Definiton 3, 5) depois veio a utilizar, em latim (*vis*), para indicar a inércia (*vis inertiae*).

Portanto, no racionalismo de Bruno, as experiências mecânicas realizadas em um navio não são influenciadas pelo movimento do navio, porque todos os corpos do navio participam de seu movimento; e por isso ocorre, mesmo se eles não estão encostados ao navio, por causa da “virtude impressa” a eles, e que se mantém. Ou seja, nessa argumentação de Bruno já se encontram os elementos básicos do princípio de relatividade.

Note-se que, se o navio modificar seu movimento, enquanto um projétil está no ar, o projétil não poderá acompanhar essa alteração e por isso seu movimento em relação ao navio será diferente. Bruno o compreendeu, e é por esse motivo que indicou claramente que o navio não deve inclinar-se ou oscilar.

Em grande parte, Bruno antecipa, assim, os argumentos que Galileu utilizou mais tarde. Galileu jamais citou o nome de Giordano Bruno, fosse em suas obras publicadas, fosse em seus manuscritos ou correspondência pessoal****. É estranho que isso tenha acontecido, pois, na correspondência de Galileu, pode-se notar que Kepler e outros correspondentes o citaram. É pouco plausível que Galileu não tenha conhecido a obra tão polêmica de Bruno, que defendia ideias tão semelhantes às suas. Até mesmo a forma de diálogo, utilizada por Bruno em suas obras mais populares, será empregada por Galileu. Não é possível que não houvesse influência alguma de Bruno em seu pensamento e em sua obra, mas jamais saberemos o quanto Galileu deve a ele.

**** Pode-se verificar essa afirmação, examinado-se o índice analítico colocado no último volume das obras completas de Galileu, onde todas as referências a Giordano Bruno remetem a cartas e escritos de outros autores, nunca do próprio Galileu. CLAVELIN (1968, 259, nota 80) atribui essa falta de citação a razões de prudência. Ver também, GROSS 1974, 536. Parece-me difícil que a prudência pudesse explicar a ausência de referência a Bruno, mesmo na correspondência e nas anotações pessoais de Galileu, em que ele parece exprimir-se com total liberdade.

ANEXO 2 – Glossário de termos astronômicos

CONJUNÇÃO

Dois planetas que parecem se aproximar um do outro a partir da perspectiva terrestre.

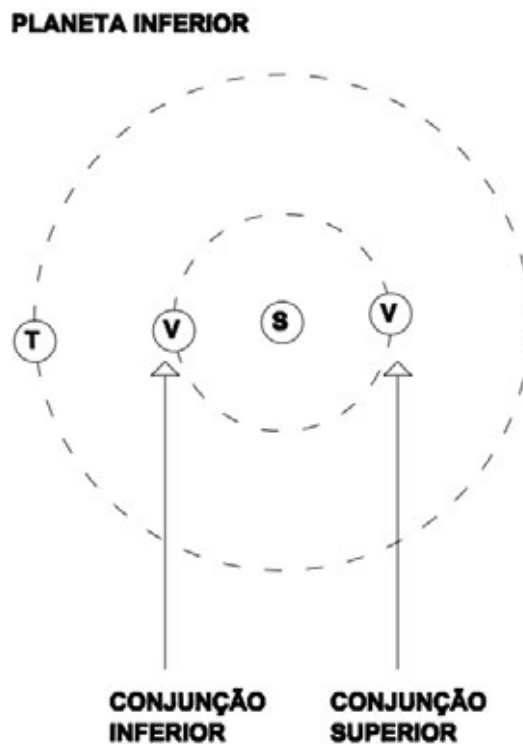


Figura 7 - Planeta V em conjunção a Terra T

Alinhamento do céu:

- a) Conjunção inferior: quando um planeta fica em linha com a Terra e o Sol, de forma a ficar entre eles; e
- b) Conjunção superior: quando um planeta fica em linha com a Terra e o Sol, de forma que o Sol fique entre a Terra e o planeta.

OPOSIÇÃO

Posição de um planeta, fora da órbita terrestre (planeta superior) quando ele fica em oposição ao Sol e apresenta uma elongação de 180° . Em oposição, os planetas encontram-se em sua fase cheia e o mais próximo possível da Terra.

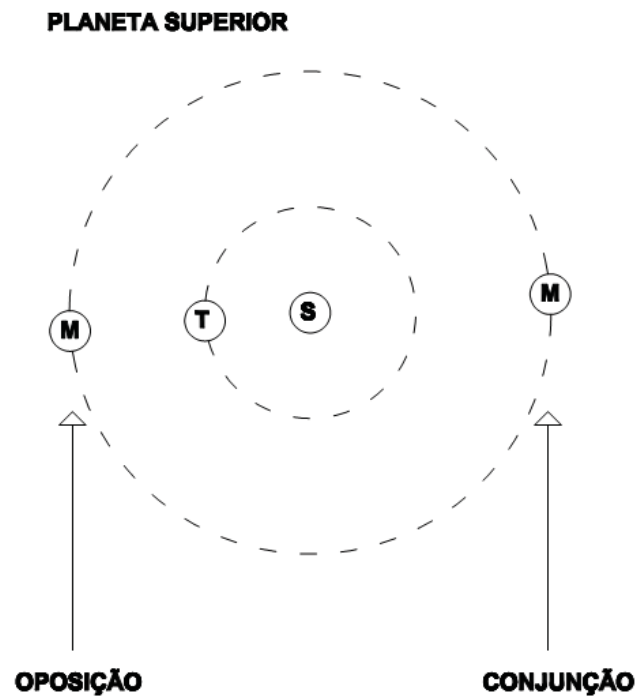


Figura 8 - Planeta M em oposição e em conjunção com a Terra T

ELEVAÇÃO

A medida de elevação de um astro observado da Terra se dá por meio da inclinação do ângulo formado entre o horizonte terrestre e a reta pensada a partir da superfície da Terra.

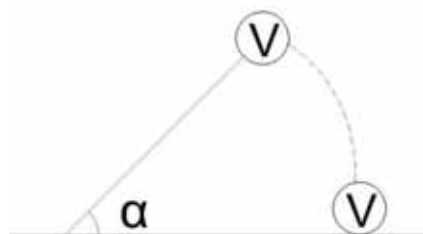


Figura 9 - Elevação do planeta Vênus V de um ângulo α em relação ao horizonte

ECLÍPTICA

Plano em que a Terra gira ao redor do Sol. Seu nome advém dos eclipses solares e lunares que acontecem quando a Lua atravessa este plano. A maior parte das órbitas dos outros planetas de nosso sistema solar localiza-se próximo ao plano da eclíptica.

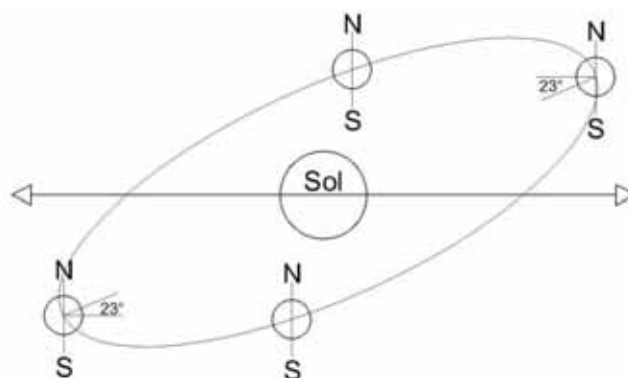


Figura 10 - Eclíptica com inclinação de aproximadamente 23° em relação ao equador celeste

PARALAXE

A maneira mais direta e correta de se determinar a distância até as estrelas mais próximas é utilizar a paralaxe. A determinação precisa da paralaxe dos objetos celestes próximos (até 100 anos-luz de distância) é primordial, já que é o primeiro passo na obtenção das distâncias no universo. A maior partes das demais técnicas usadas para determinar distâncias maiores são calibradas usando-se a paralaxe.

O primeiro ponto sobre o qual convém insistir diz respeito ao fato básico para as observações dos movimentos aparentes dos planetas, da Lua e do Sol, a saber, que as trajetórias anuais desses corpos devem ser traçadas sobre o fundo das estrelas fixas, de modo que as sucessivas posições aparentes (observadas) do astro sejam determinadas pela projeção sobre esse plano de fundo da linha que vai do olho do observador e passa pelo centro do corpo observado.*

* Extraído de: MARICONDA, P. R. O alcance cosmológico e mecânico da carta de G. Galilei a F. Ingoli. *Scientiae Studia*, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 443-65, 2005.

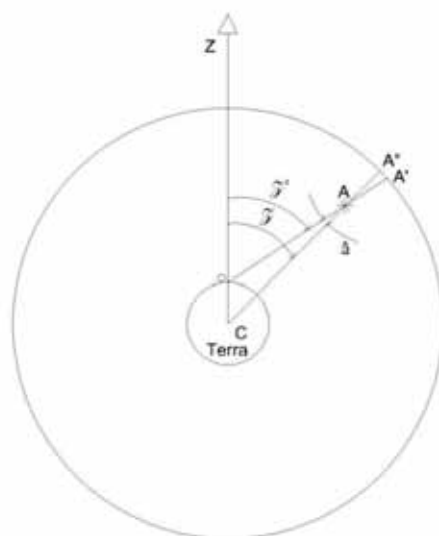


Figura 11 - Paralaxe

Entendido isso, o conceito de paralaxe depende de dois conceitos interligados, a saber, o de *lugar aparente ou observado* e o de *lugar real ou verdadeiro*. O lugar aparente de um corpo é determinado pela linha reta que, traçada a partir do olho do observador, passa pelo centro do corpo e termina em algum lugar do fundo estelar. O lugar real, por sua vez, é determinado pela linha reta que, traçada pelo centro da Terra e pelo centro do corpo observado, vai marcar um ponto do plano de fundo estelar. Ora, é evidente que existirão tantos lugares aparentes quantas forem as posições dos observadores sobre a superfície da Terra, de modo que a *paralaxe* nada mais é do que a medida da distância angular que existe entre a linha que determina a posição aparente e a linha que determina a posição real de um astro. Também é evidente que, quando o lugar aparente coincide com o lugar real, a posição de onde se faz a observação encontra-se exatamente sobre a linha que une o centro da Terra ao centro do astro observado o qual, nesse caso, está no zênite, ou seja, no vértice perpendicularmente ao observador e a paralaxe é, então, igual a zero.**

** Extraído de: MARICONDA, P. R. O alcance cosmológico e mecânico da carta de G. Galilei a F. Ingoli. *Scientiae Studia*, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 443-65, 2005.

ANEXO 3 – A inclinação do eixo terrestre e as estações do ano*

A Terra executa um movimento de revolução ao redor do Sol numa órbita elíptica, a qual é muito próxima de uma circunferência. O plano que contém essa órbita é chamado *Plano da Eclíptica*. Nosso planeta também realiza um movimento de rotação, ou seja, nós podemos colocar imaginariamente nele um eixo em torno do qual o nosso planeta dá uma volta a cada dia. Esse eixo faz com o plano da eclíptica um ângulo de $66^{\circ} 33'$. Por esse motivo, os raios solares atingem um mesmo ponto do planeta com diferentes inclinações em diferentes épocas do ano.

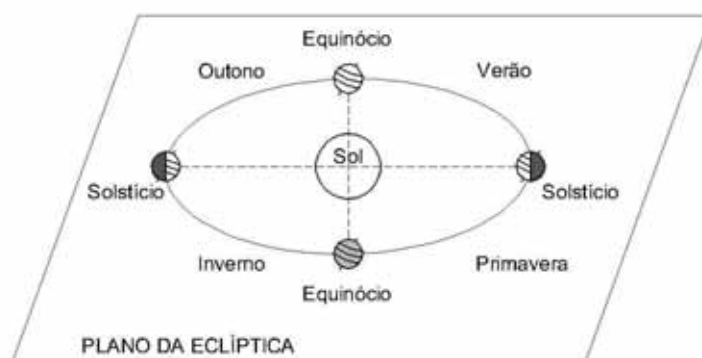


Figura 12 - As estações do ano e a inclinação terrestre

No dia 21 de junho, ao *meio dia local*, a luz solar incide perpendicularmente sobre o Trópico de Câncer, enquanto que, no Trópico de Capricórnio o ângulo de incidência é de aproximadamente 43 graus com a horizontal. Com isso, o Hemisfério Norte estará sendo mais aquecido que o Hemisfério Sul (inverno para nós).

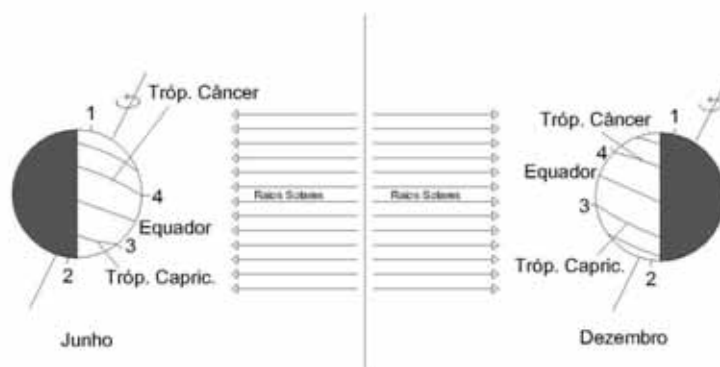


Figura 13 - Solstícios de inverno e verão para o hemisfério sul

* Extraído de: <http://www.cdcc.usp.br/cda/aprendendo-basico/estacoes-do-ano/estacoes-do-ano.html>.

No dia 22 de dezembro, a luz solar incide perpendicularmente sobre o Trópico de Capricórnio, enquanto que no Trópico de Câncer o ângulo com a horizontal é de 43 graus com a superfície, ou seja, a situação agora é contrária e por isso é verão no Hemisfério Sul e inverno no Hemisfério Norte.

As duas situações em que a luz incide perpendicularmente sobre os trópicos chamam-se de Solstício. No caso do Hemisfério Sul nós temos o Solstício de Verão (22 de dezembro) e o Solstício de Inverno (21 de junho). Nos dias 21 de março e 23 de setembro, nós temos a situação em que a luz solar incide perpendicularmente sobre o Equador. Então ambos os hemisférios são igualmente iluminados durante esses dois dias e tais situações chamam-se de *Equinócio*. No caso do Hemisfério Sul tem-se o Equinócio de Outono (21 de março) e o Equinócio de Primavera (23 de setembro).

ANEXO 4 – A Teoria das marés*

Galileu apresenta a quarta jornada do *Diálogo* como sua explicação dos efeitos de fluxo e refluxo do mar, como prova conclusiva do movimento terrestre. Há algumas perspectivas a respeito da interpretação do conteúdo, do formato, do alcance e da complexidade da teoria desenvolvida nesta jornada. Alguns estudiosos de Galileu e da História da Ciência, de maneira geral, apontam para um descompasso entre as três primeiras e a quarta jornadas. Para eles, o *Diálogo* termina em um fracasso, já que a conclusão de Galileu, como sabemos hoje, não era correta (sabemos que do ponto de vista historiográfico devemos evitar uma leitura de uma obra tão complexa e bem construída na história do pensamento que seja feita a partir do presente olhando os erros do passado). Através de uma visão historiográfica, podemos interpretar as contribuições de cada uma das jornadas, no desenvolvimento da mecânica clássica. A explicação galileana da teoria das marés era totalmente baseada nos movimentos das águas, o que não foi suficiente, tendo em vista a teoria aceita nos dias atuais. Sob outra perspectiva, temos a recuperação do valor científico de sua teoria das marés, levando em consideração que, dentro da ciência da época, o erro cometido por Galileu foi o mal uso de sua teoria da relatividade, apresentada na segunda jornada. Ainda, outra perspectiva enaltece a questão do objetivo principal de Galileu, que não era o de propor como conclusiva a teoria das marés, mas a mobilidade terrestre. Sobre isto, alguns desses estudiosos alertam para a necessidade de se considerar a mudança de foco a qual Galileu foi obrigado a fazer, já que tal teoria não se oporia de maneira explícita ao ensinado e aceito na sociedade. (MARICONDA, 1999, 33-40).

Na Antiguidade, as marés não foram alvo de estudo de Aristóteles ou Platão, por exemplo. As navegações ocorriam, neste período, no Mediterrâneo, onde o efeito é quase imperceptível. As primeiras teorias que relacionavam o efeito ao movimento da Lua ou a certa afinidade entre as águas e a Lua surgiram no período entre I a.C. e II d.C.. Somente a partir do século XIV, quando as navegações transoceânicas passam a se fortalecer em números, o problema do fluxo e refluxo passa a ganhar mais atenção. Os relatos apresentavam as variações cíclicas das águas, em diárias, mensais e anuais. (MARICONDA, 1999, p. 41-5).

* Extraído de: MARICONDA, P. R. Galileu e a teoria das marés. Cadernos de História e Filosofia da Ciência, Campinas, Série 3, v. 9, n. 1-2, p. 33-71, jan.-dez. 1999.

A teoria galileana pauta-se em duas causas principais: a causa primária é a aceleração e retardamento das partes da Terra em seus movimentos anual e diurno, causando a movimentação acelerada ou retardada das águas nos pólos; a segunda é devida a gravidade da água, tendo sido impulsionada pelos movimentos, a busca por estabelecer o equilíbrio provoca as oscilações observadas. Sua teoria apresentada inconsistências com o observado, inicialmente quanto aos períodos, sua teoria previa períodos de doze horas, ao invés de seis; além disso, previa que o efeito fosse observado de maneira mais explícita nos pólos. Tais explicações aplicam-se, por analogia, aos períodos diários, mensais e anuais do fluxo e refluxo do mar.

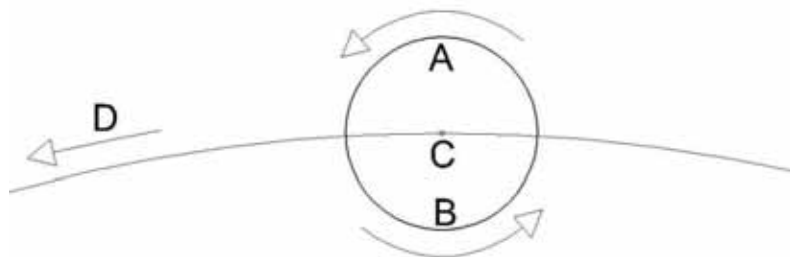


Figura 14 - Aceleração e retardamento dos movimentos dos pólos terrestres

O período mensal é explicado por analogia segundo a ideia de que este está diretamente relacionado ao tamanho da linha que descreve a órbita do planeta, o que faz com que a velocidade de translação varie de acordo com as proximidades do Sol. A relação das distâncias do Sol à Lua nas diferentes fases dela provocam o mesmo efeito a cada vez que a Lua repete a mesma fase. Enquanto que a distância da Terra ao Sol mantém-se constante, observamos a Lua mais próxima do Sol na Lua nova do que na Lua cheia, o que faz variar a velocidade do sistema Terra-Lua em órbita em torno do Sol. A explicação do movimento anual tem como base a inclinação do eixo terrestre com relação à eclíptica, esta varia durante o movimento anual, provocando uma variação da velocidade absoluta da superfície terrestre. (MARICONDA, 1999, p. 45-53).

Mariconda argumenta que:

[...] a teoria apresenta sérios problemas de adequação empírica; entretanto, isso não deve levar a supor que Galileu adere a um apriorismo de tipo platônico que despreza os dados da observação, porque os problemas de adequação empírica se devem, em grande parte, ao fato de Galileu tomar o fenômeno das marés em toda sua complexidade. Além disso, o ajuste da teoria à experiência é bastante fluido num assunto como o das marés, em que os dados da observação dependem dos relatos fragmentados dos navegantes e são emitidos sob os mais diversos pontos de vista. Por outro lado, a racionalidade do procedimento de Galileu não pode ser limitada unicamente à exigência do acordo da teoria com os dados de observação, pois há razões de outra ordem que intervêm na construção de seu modelo de explicação, dentre as quais são particularmente importantes. A primeira e mais fundamental é a recusa teórica – e, de certo modo, até mesmo metafísica – de qualquer influência externa não mecânica ao “sistema da Terra”, ou seja, a recusa da ideia amplamente aceita na época de Galileu, de uma influência da Lua sobre as marés. Metafísica, por um lado, porque, para Galileu, assim como para Bacon, a tese da influência lunar é eminentemente astrológica, sendo afastada juntamente com todas as categorias qualitativas da filosofia natural renascentista por representar uma explicação que se assenta em uma causa oculta. Teórica, por outro lado, porque a recusa da tese da influência lunar conduz Galileu a um tratamento estritamente mecanicista das marés. (MARICONDA, 1999, p. 53)

Depois de diversas propostas de explicação do efeito que tantas discussões causaram ao estudo das coisas do céu e da Terra, temos hoje a aceitação da proposta de Issac Newton, que é pautada em sua teoria sobre a gravitação universal, relacionando as forças de atração diretamente com a massa dos corpos envolvidos e inversamente ao quadrado da distância entre eles. O modelo newtoniano relaciona as marés ao achatamento polar da Terra. Por meio da atração entre os corpos, pode-se dizer que a Lua cai, constantemente, em direção ao centro da Terra, com movimento curvilíneo. (MARICONDA, 1999, p. 59).

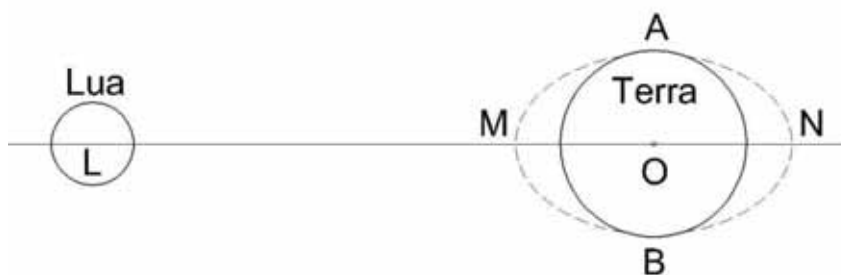


Figura 15 - Achatamento dos pólos terrestres

Esquemáticamente, as marés são uma consequência da gravitação universal e do princípio de ação e reação. Supondo-se que a Terra esteja inteiramente recoberta pela água, a forma que a superfície dessa água terá no equilíbrio sob o efeito da atração gravitacional de um astro perturbador, será a de um esferóide de revolução, cujo eixo passa pelo centro O da Terra e pelo centro L do astro perturbador, no caso, a Lua. Como mostra a figura, a superfície da água, sob a ação da massa da Lua, incha-se nos dois pontos diametralmente opostos, M e N, da reta que une os centros da Lua e da Terra e esse inchaço, ou seja, as duas cristas de onda da maré, será depois transportado pela superfície terrestre por efeito do movimento diurno da Terra, produzindo o fluxo e refluxo do mar. (MARICONDA, 1999, p. 60-1)

Assim, as marés, segundo Newton, são derivadas das variações da força de atração sobre os pontos da superfície da Terra. (MARICONDA, 1999, p. 62).

Alguns intérpretes de História da Ciência apontam para a teoria galileana das marés como uma importante leitura no desenvolvimento do conhecimento que tem como base o heliocentrismo. Ainda, estes criticam a teoria newtoniana por não ter o mesmo alcance em termos de movimentos das águas, ficando restrita apenas à relação entre as forças de atração envolvidas no sistema Terra-Lua, sem dar contados efeitos cinemáticos causados.