



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS**

MÁRCIO CORREIA DOS SANTOS

**EXPERIMENTO E MATEMÁTICA NA LEI DA QUEDA DOS CORPOS DE
GALILEU GALILEI**

CAMPINAS

2018

MÁRCIO CORREIA DOS SANTOS

**EXPERIMENTO E MATEMÁTICA NA LEI DA QUEDA DOS CORPOS DE
GALILEU GALILEI**

Dissertação Apresentada ao Instituto de
Filosofia e Ciências Humanas da
Universidade Estadual de Campinas como
parte dos requisitos exigidos para obtenção
do título de Mestre em Filosofia.

Supervisor/orientador: Márcio Augusto Damin Custódio.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO
ALUNO MÁRCIO CORREIA DOS SANTOS E
ORIENTADA PELO PROF. DR. MÁRCIO
AUGUSTO DAMIN CUSTÓDIO.

CAMPINAS

2018

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): CNPq, 132605/2014-7
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2753-1293>

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas
Cecília Maria Jorge Nicolau - CRB 8/3387

Sa59e Santos, Márcio Correia dos, 1990-
Experimento e matemática na lei da queda dos corpos de Galileu Galilei /
Márcio Correia dos Santos. – Campinas, SP : [s.n.], 2018.

Orientador: Márcio Augusto Damin Custódio.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de
Filosofia e Ciências Humanas.

1. Galileu, 1564-1642 - Duas novas ciências. 2. Física. 3. Matemática. 4.
Ciência. 5. Metodologia. I. Custódio, Márcio Augusto Damin, 1970-. II.
Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Filosofia e Ciências
Humanas. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Experiment and mathematics in the law of falling bodies of
Galileo Galilei

Palavras-chave em inglês:

Galileu, 1564-1642 - Two new sciences
Physics
Mathematics
Science
Methodology

Área de concentração: Filosofia

Titulação: Mestre em Filosofia

Banca examinadora:

Márcio Augusto Damin Custódio
Fátima Regina Rodrigues Évora
Marcelo Moschetti

Data de defesa: 31-01-2018

Programa de Pós-Graduação: Filosofia



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS

A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Dissertação de Mestrado, composta pelos Professores Doutores a seguir descritos, em sessão pública realizada em 31 de janeiro de 2018, considerou o candidato MÁRCIO CORREIA DOS SANTOS aprovado.

Prof. Dr. Márcio Augusto Damin Custódio

Profa. Dra. Fátima Regina Rodrigues Évora

Prof. Dr. Marcelo Moschetti

A Ata de Defesa, assinada pelos membros da Comissão Examinadora, consta no processo de vida acadêmica do aluno.

Dedico este trabalho à minha família.

Sem vocês, ele não seria possível.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família por todo o apoio recebido, até mesmo nos momentos mais difíceis. À minha mãe Rosa, ao meu pai Marinildo e à minha irmã Rafaela.

No plano institucional agradeço, sobretudo, ao Prof. Dr. Márcio Damin, por toda a orientação e conselhos não somente neste trabalho, mas para toda a vida; à Profa. Dra. Fátima Évora; que dedicou parte de seu tempo para ministrar um curso à somente um aluno; ao Prof. Dr. Marcelo Moschetti (UESC), que mesmo distante sempre se dispôs a ajudar, principalmente quando precisei repensar o tema do meu mestrado; e à Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), instituição na qual realizei a pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro.

Aos meus amigos e colegas do Grupo de Pesquisa História da Filosofia da Natureza (UNICAMP), que através das críticas, do apoio, das sugestões e das conversas aleatórias, me fizeram evoluir academicamente ao longo de todo o programa; em especial à Lisiane Basso, Evaniel Brás, Matheus Pazos, Gabriel Arruti e à Prof. Dra. Sueli Sampaio.

Digno de um agradecimento à parte, ao meu grande amigo João Cláudio Toniolo, agradeço por toda a amizade, conselhos, ajuda, apoio e pelas muitas horas gastas em conversas e aprendizagem, enfim, por ser um mentor do universo acadêmico.

A todos os meus professores da graduação, por sempre me apoiarem e incentivarem a nunca desistir, em especial à Profa. Dra. Maria Simone Marinho Nogueira, que me orientou e me inspirou desde o primeiro dia da graduação, até o último; e ao digníssimo Prof. Dr. Nilton Conserva, que foi uma forte influência para estudar o conhecimento humano, principalmente sobre a ciência.

A todos os meus amigos que não são somente da graduação, mas são para toda a vida: Jullianne, Tadeu, Amanda, Fábio, Ana Paula, Roberta, Isaque, Silva, Patrícia, Kátia Soares, Kátia Cristina, Davi, Lauro e Wilhelm Steinmüller.

A todos os meus amigos de minha cidade natal, em especial a Luiz Alves da Silva Júnior e Janielson Alves de Araújo, por terem sido como irmãos há muitos anos.

Por fim agradeço imensamente à Jullianne Catielle por toda a amizade, companheirismo e por me aturar a oito longos anos, não tenho palavras para descrever o quanto sou grato a ela.

Acima de todas as invenções estupendas, que superioridade de espírito foi a daquele homem que imaginou encontrar um modo de comunicar seus pensamentos mais recônditos a qualquer outra pessoa, ainda que distante por um intervalo muito grande de lugar e de tempo! Falar com aqueles que estão nas Índias, falar com aqueles que ainda não nasceram, nem existirão senão daqui a mil ou dez mil anos! E com quanta facilidade, com a junção de vinte pequenos caracteres sobre um papel!

Galileu Galilei,
Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo,
1638

RESUMO

A presente dissertação versa sobre dois recursos da ciência de Galileu Galilei (1564 - 1642): experimento e matemática. Os experimentos, como o do plano inclinado descrito nos *Discursos sobre as duas novas ciências* (1638), verificam as conclusões teóricas obtidas a partir do raciocínio matemático; contudo, ao mesmo tempo, apresentam um distanciamento entre as conclusões matemáticas e os dados obtidos através do resultado do próprio experimento devido às causas externas ao movimento do corpo, como a resistência do meio e o atrito existente no plano. Esta dissertação analisa como Galileu concebe experimento e matemática como método na elaboração de sua ciência, inclusive, para a composição da lei da queda dos corpos.

Palavras-chave: Galileu Galilei; Duas Novas Ciências; Física; Matemática; Ciência; Metodologia.

ABSTRACT

This dissertation thesis discusses two resources of Galileo Galilei's (1564 – 1642) science: experimentation and mathematics. The experiments, as the Inclined Plane described in the *Discourses Concerning Two New Sciences* (1638), verify the theoretical conclusions obtained from the mathematical thought; however, at the same time, they present a detachment between the mathematical conclusions and the data obtained through the results of the experiment itself due to external causes to the subject's movement, as the resistance of the medium and the existing friction in the plane. This work analyses how Galileo conceives experimentation and mathematics as a method in the elaboration his science, inclusive for the composition of the Law of Falling Bodies.

Keywords: Galileo Galilei; Two new Sciences; Physics; Mathematics; Science; Methodology.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 (GALILEI, <i>Discorsi</i> , 1998, p.14).....	38
FIGURA 2 (NAYLOR, 1976, p. 404).....	84
FIGURA 3 (GALILEU, <i>Opere I</i> , p. 340).....	85
FIGURA 4 (GALILEU, MS. GAL. 72, f. 81r, 1999).....	87
FIGURA 5 (HILL, 1988, p. 647).....	88
FIGURA 6 (GALILEU, MS. GAL. 72, f. 114r, 1999).....	92
FIGURA 7 (HILL, 1988, p. 658).....	92
FIGURA 8 (GALILEU, MS. GAL. 72, f. 116v, 1999).....	93
FIGURA 9 (HILL, 1988, p. 663).....	94
FIGURA 10.....	109

SUMÁRIO

Introdução.....	13
Capítulo 1 – Experimentos de Galileu.....	16
I – <i>Experiência e Experimento</i>	16
II – <i>Interpretações acerca da filosofia natural de Galileu</i>	23
Capítulo 2 - A matemática como linguagem da natureza.....	49
I – <i>O livro dos homens e o livro da natureza: o uso da matemática por Galileu</i>	49
II – <i>A aplicação matemática aos estudos físicos</i>	56
Capítulo 3 - Experimento e Matemática na lei da queda dos corpos.....	83
I – <i>Cartas e Manuscritos galileanos acerca do movimento</i>	83
II – <i>Lei da queda dos corpos em 1604</i>	96
III – <i>Lei da queda dos corpos nos “Discursos”</i>	99
IV – <i>Experimento, Matemática e Idealização no plano inclinado</i>	107
Considerações Finais.....	122
Referências Bibliográficas.....	125

Introdução

No século passado muito se discutiu sobre como se procedeu, ou em quê constituiu, o método e a ciência de Galileu Galilei (1564-1642). Neste contexto, a sua física se destaca por dois aspectos fundamentais para a realização da sua ciência: experimento e matemática. Sendo uma rica fonte de ideias e procedimentos, a leitura da obra de Galileu permite várias interpretações possíveis acerca da caracterização do pensamento do autor; parte desse estudo recai sobre o conceito de experimento e matemática. Entretanto, em suas obras Galileu não apresenta explicitamente o que entende por estas concepções, o que permitiu diversas interpretações em torno de como se procedeu à ciência galileana, num estudo da historiografia e da filosofia da ciência. Sobre esta pluralidade de interpretações, Djiksterhuis afirma:

Em toda a história da ciência talvez não possamos apontar uma única figura sobre a qual as opiniões difiram tão largamente quanto sobre Galileu. Ninguém, de fato, está preparado para desafiar sua grandeza científica ou para negar que ele talvez tenha sido o homem que deu a maior contribuição para o crescimento da ciência clássica. Mas sobre a questão acerca do que precisamente foi sua contribuição e de onde essencialmente está sua grandeza parece não haver unanimidade em absoluto. (DIJKSTERHUIS, 1969, p. 333).

Apesar de parecer que não há unanimidade sobre a contribuição e nem onde está a grandeza de Galileu, é quase indiscutível a contribuição do *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (Discursos e demonstrações matemática sobre duas novas ciências)¹ de 1638 para sua ciência. Contudo, como na maior parte de suas obras, Galileu não tem como preocupação definir o que entende por ciência, método, experimento ou matemática, tarefa que compete ao historiador reunir e investigar a partir das diversas passagens espalhadas na *Opere*, as quais mostram o entendimento de Galileu sobre estes temas. Deste modo, o objetivo desta dissertação é analisar como Galileu desenvolve o seu método de considerar experimento e matemática conjuntamente; além de acrescentar um dado à noção de experimento como um meio

¹ (GALILEI, *Opere* VIII, pp.11-318) *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a due nuove scienze – Attenenti alla Meccanica & i Movimenti Locali* – para referência: “Discursos”. Para citações diretas: “DNC” (*Dois novas ciências*), seguido do ano e da numeração das páginas: Trad. de L. Mariconda e P. R. Mariconda. São Paulo, Nova Stella (1988).

comparativo entre dois meios distintos, o meio abstrato e imaterial e o mundo físico, no que se refere à própria experimentação, com isso, o estudo do experimento do plano inclinado, no qual Galileu demonstra as propriedades do movimento acelerado, é fundamental para que se compreenda seu método e sua proposta de uma nova ciência física.

Para esta finalidade separamos esta dissertação em três capítulos. No capítulo I analisamos as diferenças em que o termo *experiência* (comumente utilizado por Galileu) pode apresentar, e em que medida podemos entender este termo dentro da sua ciência, ademais, como o estudo dos experimentos desencadeou interpretações distintas ao longo do século XX sobre a filosofia natural de Galileu. Contudo, os experimentos não foram os únicos elementos utilizados pelos historiadores para uma classificação da ciência galileana.

No segundo capítulo será analisado o modo como Galileu diferenciou o conhecimento obtido através da matemática do conhecimento obtido através das sagradas escrituras. O conhecimento matemático é o mais apropriado para investigarmos a natureza, contrariamente, o conhecimento obtido através das sagradas escrituras, ou seja, a fé, deve ser somente ser citada em última instância. Tal análise permitirá compreender como Galileu utilizou a matemática aplicada à física e como esta matemática deveria ser tomada junto aos experimentos. Vale salientar que não analisaremos problemas matemáticos, ou seja, problemas relacionados a cálculos aritméticos e geométricos, e sim sobre como a aplicabilidade da matemática na matéria se insere na sua metodologia, isto é, aqui não tratamos de problemas *de* matemática, e sim daqueles *sobre* a matemática. Além disso, quando utilizamos, no decorrer do texto, a expressão “matemática de Galileu”, não queremos afirmar que Galileu inventou algum tipo de matemática nova ou reformou alguma outra já existente, referimo-nos simplesmente ao que Galileu entendia sobre como a matemática deve ser aplicada na física.

Por fim, no terceiro capítulo, veremos estes dois aspectos, experimento e matemática, na lei da queda dos corpos, com enfoque no experimento do plano inclinado. Alguns historiadores duvidaram que Galileu tivesse realizado este experimento, mas, após a publicação de alguns manuscritos preservados que continham rascunhos de seus esquemas experimentais, alguns intérpretes reconstruíram as várias

situações experimentais destas notas para verificar se estes rascunhos atestavam a realização empírica do experimento por Galileu. Deste modo, nossa exposição apresentará os detalhes essenciais dos fólhos que registram os experimentos com um plano inclinado, como também a lei da queda dos corpos em dois momentos: no ano de 1604 e em 1638, ano da publicação dos *Discursos*, que continha o relato do experimento mencionado. Ademais, acrescentaremos uma característica acerca da funcionalidade deste experimento: Galileu utilizou-se do plano inclinado na *tentativa* de reproduzir um movimento em um espaço livre das interferências do meio, isto é, de um espaço o mais próximo possível do vácuo, o qual ele não dispunha e, com isso, o experimento do plano inclinado pode ser considerado como uma base comparativa entre o meio material e o meio imaterial dentro da lei da queda dos corpos, servindo como uma projeção para conjecturar o movimento que ocorre em um meio que não dispomos e afirmar que, no vácuo, todos os corpos cairiam com a mesma velocidade. Esta análise, juntamente com as análises desenvolvidas nos capítulos um e dois, demonstrará como Galileu tomou em conjunto experimento e matemática como um método essencial para sua ciência.

Capítulo 1

Experimento em Galileu.

I – Experiência e Experimento.

Um primeiro aspecto que devemos destacar nesta análise é a diferença que podemos encontrar na obra galileana sobre experiência e experimento. Galileu usa o termo “*experiências sensíveis*” (*sensate esperienze*) ou “*experiência*” (*esperienza*) para referir-se a um conjunto de noções que é empregado na maioria de seus experimentos mecânicos, mas podemos observar claramente que em seus textos existem diferenças que este termo pode apresentar. O termo *Experiência* é utilizado, por vezes, para designar um contato mais simples e direto com o mundo físico através dos sentidos, tais como as simples observações de fenômenos naturais sem uma contestação, obtendo um conhecimento imediato das coisas. Por outro lado, também pode significar uma observação mais apurada da realidade: análises de informações obtidas sobre o mundo físico, tidas como um modo para contradizer ou concordar com as teorias.

Podemos perceber a diferença destas informações como um primeiro contato mais simples com o mundo das informações mais apuradas ao afirmarmos, por exemplo, que *o fogo é quente*, expressão cotidiana obtida através do testemunho dos sentidos. Este exemplo refere-se a uma passagem da obra publicada em 1623 intitulada *Il Saggiatore* (O Ensaaiador) ². Nela, Galileu responde às críticas de Lotario Sarsi (pseudônimo para Orazio Grassi, padre jesuíta do colégio romano que escreveu em 1619 o *De tribus cometis anni 1618 disputatio astronomica* ³, e em 1620 a *Libra astronomica ac philosophica* – Balança astronômica e filosófica ⁴) sobre a origem dos cometas. No parágrafo 48, Galileu apresenta algumas considerações derivadas da afirmação de que “o movimento é causa de calor” ⁵. Nelas Galileu reflete sobre este

² GALILEI, G. *Opere* VI, pp. 197 - 372; Tradução brasileira: coleção Os Pensadores, tradução e notas de Helda Barraco 1978. As referências para esta obra seguirão neste trabalho a *Opere* (volume e numeração das páginas) seguido da edição brasileira (ano e numeração das páginas). Para as citações do parágrafo 48 da obra será utilizada a tradução de Marcelo Moschetti, (Revista Guairacá, 2013), seguido de ano e numeração das páginas.

³ GALILEI, *Opere* VI, pp. 21 – 35.

⁴ GALILEI, *Opere* VI, pp. 109 – 180.

⁵ GALILEI, *Opere* VI, p. 347; 2013, p. 212.

preceito e, particularmente, sobre “isto que chamamos calor”⁶, pois ao universalizarmos a noção de calor como uma afecção ou qualidade que pertence à matéria que sentimos quente, formamos “um conceito muito distante do verdadeiro”⁷. Galileu afirma:

Digo que é a partir da necessidade, *quando concebo uma matéria ou substância corpórea, que a concebo também como limitada e figurada por esta ou aquela figura, grande ou pequena em relação a outras, ocupando este ou aquele lugar, neste ou naquele tempo, em movimento ou parada, em contato ou não com outro corpo, como uma, poucas ou muitas, nenhuma imaginação permite que a separe de tais condições*; mas que ela deva ser branca ou vermelha, amarga ou doce, sonora ou muda, de odor agradável ou desagradável, *não me sinto forçado a apreendê-la necessariamente acompanhada destas últimas condições*; ao contrário, se não fossem discernidas pelos sentidos, talvez o discurso ou a imaginação por si mesma não as alcançassem jamais. *Por isso penso que estes sabores, odores, cores, etc., à parte do sujeito no qual parecem residir, não sejam outra coisa que puros nomes, mas tenham residência unicamente no corpo sensitivo, de modo que, removido o animal, sejam levadas e aniquiladas todas estas qualidades*. Todavia nós, na medida em que lhe impusemos nomes particulares e diferentes daqueles dos outros acidentes primários e reais, agora queremos crer que fossem real e verdadeiramente diversos daqueles. (GALILEI, *Opere* VI, p. 347-348; 2013, p. 212-213) [grifo nosso].

A partir dessa passagem d’*O Ensaíador* podemos observar que, ao dizermos que *o fogo é quente*, estamos afirmando uma sentença que não condiz com a realidade, e com isso, formamos um conceito falso a partir de um contato mais simples e direto com o mundo físico através dos sentidos. Em outra passagem, desta vez numa carta enviada a Fortunio Liceti⁸ em 1640, Galileu apresentou um aspecto que a *experiência sensível* possui. Nessa carta Galileu defende-se da acusação de aversão à filosofia peripatética feita por Liceti, afirmando que Aristóteles nos ensina, em sua lógica, o correto modo no filosofar; e com isso, através das demonstrações matemáticas puras, coloca-se como um peripatético devido ao rigor argumentativo que ele trabalhou e apresentou ao longo dos anos. No entanto, no que concerne ao modo de proceder nas investigações naturais, Galileu critica os peripatéticos por contradizerem os ensinamentos de Aristóteles, afirmando:

⁶ *Idem; Ibidem.*

⁷ *Idem; Ibidem.*

⁸ GALILEI, *Opere* XVIII, pp. 247-251; *Carta de Galileu Galilei a Fortunio Liceti em Pádua*; Traduzido por Pablo Mariconda; 2003, p. 75-80. As referências a esta carta constarão da *Opere* (seguido de volume e numeração da página), e da tradução de Mariconda (seguido de ano e numeração da página).

É-me grato saber que V. Sa. Exma. juntamente com muitos outros, segundo afirma, tenham-me como averso à filosofia peripatética, porque isto me dá a ocasião de liberar-me de tal pecha (pois assim a considero) e de mostrar quanto eu sou no íntimo admirador de um tão grande homem, como o é Aristóteles. (...). Estimo (e creio que V. Sa. também estime) que ser verdadeiramente peripatético, isto é, filósofo aristotélico, consista principalissimamente em filosofar em conformidade com os ensinamentos aristotélicos, procedendo com aqueles métodos e com aquelas suposições e princípios verdadeiros nos quais assenta o discurso científico, supondo aquelas informações gerais, das quais desviar-se seria um grandíssimo defeito. (...). *Dentre as maneiras seguras de conseguir a verdade está a de antepor a experiência a qualquer discurso*, assegurando-nos que nele, pelo menos ocultamente, não esteja contida a falácia, *não sendo possível que uma experiência sensível seja contrária ao verdadeiro*; e este é também um preceito estimadíssimo por Aristóteles, e há muito anteposto ao valor e à força da autoridade de todos os homens do mundo, da qual V. Sa. mesma admite que não só não devemos ceder à autoridade dos outros, mas *devemos negá-la a nós mesmos, toda vez que encontramos que o sentido nos mostra o contrário*. Ora, Exmo. Sr., seja dito aqui com sua boa paz, que me parece que estou sendo julgado como contrário ao filosofar peripatético por aqueles que se servem erradamente do acima referido preceito, *puríssimo e seguríssimo*, isto é, que pretendem que o bem filosofar seja o receber e sustentar qualquer que se queira das afirmações e proposições escritas por Aristóteles, a cuja absoluta autoridade submetem-se, e para a manutenção da qual se induzem a negar experiências sensíveis, ou a dar estranhas interpretações aos textos de Aristóteles, para esclarecimento e limitação dos quais muito frequentemente farão dizer ao próprio filósofo outras coisas não menos extravagantes, e certamente distanciadas da sua imaginação. (GALILEI, *Opere* XVIII, p. 249; 2003, p. 76) [destaque nosso].

Apesar dos dezessete anos que separam *O Ensaiador* da carta enviada à Liceti, estas duas passagens podem ser tidas como exemplos para percebermos a diferença entre as experiências enquanto contato mais simples e direto com o mundo e aquelas experiências como uma observação mais apurada da realidade. Esta passagem na carta encontra-se dentro do contexto da crítica à autoridade aristotélica que Galileu dirigiu aos peripatéticos de seu tempo. Este preceito “puríssimo e seguríssimo” permite que a autoridade de Aristóteles seja negada pelo seu próprio preceito de que se deve antepor as experiências ao discurso, posto que o resultado da experiência como uma observação mais apurada da realidade apresenta-se do mesmo modo a todos. Desta maneira, quando afirmamos falsamente a sentença *o fogo é quente* a partir de uma experiência sensível simples, formamos um conceito de que a sensação de calor que o fogo nos fornece é visto e sentido por todos do mesmo modo através das informações obtidas pela

experiência; contudo, para Galileu, devemos antepor as experiências sensíveis mais apuradas a qualquer discurso, pois estas mesmas experiências indicam que os resultados demonstram um modo *seguro* de alcançar a verdade ante o discurso, sendo um recurso para contradizer ou concordar com as teorias ⁹.

Considerando as duas passagens, visto que remetem ao modo como conhecemos o mundo físico, podemos perguntar: como, a partir das experiências sensíveis eu posso alcançar a verdade (que também é alcançada por todos porque apresenta-se do mesmo modo através dos sentidos) quando estes mesmos conhecimentos adquiridos pelos sentidos só existem em mim, de modo que retirado o sujeito, estes conhecimentos desaparecem? A partir do parágrafo 48 d’*O Ensaiador* podemos obter a resposta, uma vez que Galileu distingue duas formas de conhecer: a primeira quando concebe a matéria como sendo limitada e delineada pela figura, que a imaginação não separa das condições espaços-temporais que a constituem e que a caracterizam como matéria física - os “acidentes primários e reais”; e outra quando concebe a realidade desacompanhada das capacidades humanas de interagir com o mundo exterior, ou seja, das qualidades sensitivas. Para Galileu estas qualidades somente existem no corpo sensitivo e não na

⁹ Há várias passagens espalhadas nas obras de Galileu que reivindicam o testemunho da experiência frente a análise de argumentos e teorias. Citamos, por exemplo, duas delas: no *Sidereus nuncius* (*O Mensageiro das Estrelas* ou *Mensagem das Estrelas*), quando Galileu expõe algumas considerações sobre a luz secundária da Lua, afirma: “Este brilho maravilhoso causou não pouco espanto nos que se aplicam à filosofia, tendo avançado alguns com uma razão e outros com outra, como sua explicação. Alguns disseram tratar-se do brilho natural e intrínseco da própria Lua, outros que lhe é conferido por Vênus, outros pelas estrelas; e ainda outros disseram que é dado pelo Sol, que penetraria a vasta massa da Lua com os seus raios. Mas tais sugestões refutam-se sem muito esforço e demonstra-se serem falsas. Pois se este gênero de luz fosse próprio da Lua, ou conferido pelas estrelas, a Lua retê-la-ia e mostrá-la-ia especialmente durante os eclipses quando está num céu muito escuro. Mas isto é contrário à experiência, pois a luz que aparece na Lua durante um eclipse é muito mais fraca, avermelhada, quase cúprea, enquanto que esta luz é mais brilhante e mais branca” (GALILEI, *Opere* III (1), p. 73; 2010, p. 170). Noutra passagem, desta vez na primeira jornada do *Diálogo*, após Salviati apresentar a experiência de que a luz da Lua é refletida para todas as partes e não retilmente (comparando com a reflexão da luz do sol num espelho esférico posto na parede) porque a superfície lunar é esférica, ele diz a Sagredo: “Vós aportais como grande diferença entre a Lua e o espelho o fato de ela mandar a reflexão igualmente para todas as partes, como faz o muro, enquanto o espelho manda-a somente para um lugar determinado; e disso concluí que a Lua é semelhante ao muro, e não ao espelho. Mas eu vos digo que aquele espelho manda a reflexão para um só lugar, porque sua superfície é plana, e como os raios reflexos devem partir de ângulos iguais àqueles dos raios incidentes, é necessário que de uma superfície plana partam unidamente em direção ao mesmo lugar; mas, como a superfície da Lua não é plana, mas esférica, e os raios incidentes sobre uma tal superfície procuram refletir-se em ângulos aos de incidência para todas as partes, devido à infinidade de inclinações que compõem a superfície esférica, portanto, a Lua pode enviar as reflexões para todas as direções, e não tem necessariamente de mandá-los para um só lugar, como faz o espelho, que é plano.” (GALILEI, *Opere* VII, p. 88-89; *Diálogo*, 2011, p. 157-158). Depois de algumas considerações sobre esta afirmação, Salviati remete-se à Simplicio, e diz: “Vedes agora como precisamos ser cautelosos e reservados em prestar assentimento àquilo que nos é representado apenas pelo discurso. Não há duvida de que aquilo que dizeis tem muito de aparente; contudo, podeis ver como a experiência sensível mostra o contrário.” (GALILEI, *ibidem*, p. 101; *Diálogo*, 2011, p. 160).

matéria, de tal forma que removido o sujeito estas qualidades não possuem existência. Assim, por exemplo, os materiais que produzem em nós o calor, como o fogo, não apresentam estas qualidades em si, sendo o calor “inteiramente nosso”¹⁰. Dado que essas qualidades são pertencentes somente ao sujeito, resta na matéria o que pode ser medido, ou seja, quantificado matematicamente:

Que nos corpos externos, para excitar em nós os sabores, os odores e os sons, seja preciso de algo além de grandezas, figuras, multiplicidade e movimentos lentos ou velozes, não o creio, e estimo que, retirados as orelhas, as línguas e os narizes, restam as figuras, os números e os movimentos, e não mais os odores, os sabores ou os sons, os quais fora do animal vivente nada são além de nomes, assim como nada são além de nomes as cócegas e as titilações, removidas as axilas e a pele ao redor do nariz. (GALILEI, *Opere* VI, p. 350; 2013, p. 215).

Além de apresentar a diferença existente no modo de conhecer n’*O Ensaaiador*, Galileu distingue o que acredita ser qualidade de quantidade referente ao modo como conhecemos a natureza. Para o autor, quantidade é aquilo que pode ser figurado e desenhado pela matéria ou substância corpórea e refere-se aos aspectos físico-matemáticos da natureza, ou o que pode ser medido; enquanto que a qualidade não possui estas características. Quando as qualidades sensitivas que o sujeito concebe o mundo são retiradas, elas deixam de existir e passam a serem puros nomes, sugerindo que, enquanto isso, o que permite conhecer a matéria como quantidade, continua a existir perante a ausência do sujeito. Diante destas duas passagens, fica evidente que o conhecimento fornecido pelos sentidos pode ser dividido em duas categorias: as *experiências sensíveis* pelas quais a matéria pode ser *quantificada* através de seus aspectos físico-matemáticos; e as *experiências sensíveis* pelas quais a matéria é *qualificada*, sendo que não podemos apreendê-la acompanhada destas últimas condições. Assim, somente a primeira é uma “dentre as maneiras seguras de conseguir a verdade”; como Galileu refere-se à Liceti na carta de 1640 acerca da veracidade obtida pela experiência sensível, ou seja, da experiência como uma observação mais apurada da realidade, mas não a única, posto que na sua obra a referência ao uso da investigação racional é constante. Um exemplo desta referência ao uso da razão ocorre na segunda jornada do *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e*

¹⁰ GALILEI, *Opere* VI, p. 351; 2013, p. 216.

copernicano (Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano)¹¹, de 1632, quando Simplicio, personagem aristotélico que representa o defensor da tradição, afirma que é necessário desconfiar dos sentidos porque podem ser fontes de erros, Salviati, personagem que representa o próprio Galileu, afirma: “deixada de lado a aparência, com a qual todos estamos de acordo, esforcemo-nos com o raciocínio, ou para confirmar a realidade daquela, ou para descobrir a sua falácia.”¹²

A partir destas duas citações utilizadas podemos perceber que a expressão “experiências sensíveis” pode tanto designar uma interpretação aparente quando nos deparamos com o texto de Galileu, significando tanto experiência sensível como conhecimento inicial do mundo (e desta maneira, de acordo com a posição de Galileu, as interpretações ingênuas dos objetos naturais e seus fenômenos, como a afirmação “calor *do* fogo”) quanto “experiências sensíveis” no sentido de uma observação mais apurada da realidade, ou até mesmo no sentido de experimento. Nos seus textos o autor parece não se preocupar em definir o que entende por experiência e experimento; por este motivo, antes de prosseguirmos, é preciso que tenhamos em mente a distinção destes dois termos ao nos depararmos com o texto de Galileu, embora geralmente ele utilize o termo *esperienza* (*esperienza*) para designar a maioria de seus experimentos. Quando se trata do termo “*esperienza*” em Galileu, Pablo Mariconda alude à sua ambiguidade e afirma que o termo permite a livre interpretação de seu significado de acordo com o contexto empregado¹³. Mariconda afirma que, no *Diálogo*, as experiências como contato simples e direto com o mundo por vezes é atribuído a Simplicio, permitindo que seu interlocutor, Salviati, abra espaço para criticar a atitude do próprio Simplicio, pois este entra em contradição consigo mesmo quando utiliza-se do preceito aristotélico de que deve-se antepor a experiência a qualquer discurso¹⁴, mas invoca a autoridade dos textos aristotélicos antes de verificá-los com a experiência. Sobre o *Diálogo*, Mariconda afirma:

¹¹ GALILEI, *Opere* VII, pp. 21-520; Edição brasileira: *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo*, Trad. de P. R. Mariconda, 2011. As referências para esta obra seguirão neste trabalho da *Opere* (volume e numeração das páginas) seguido da edição brasileira (ano e numeração das páginas).

¹² GALILEI, *Opere* VII, p. 281; 2011, p. 335.

¹³ MARICONDA, p. 584, nota 77. In: GALILEI, 2011.

¹⁴ “Simplicio: Aristóteles, que não prometia de seu engenho, ainda que extremamente perspicaz, mais que o convinha, estimou no seu filosofar que as experiências sensíveis deveriam antepor-se a qualquer discurso fabricado pelo engenho humano, e disse que os que tivessem negado os sentidos mereceriam ser castigados com a perda dos mesmos.” (GALILEI, *Opere* VII, p. 57; 2011, p. 118).

“*Sensate esperienze*” (experiências sensíveis) é um termo genérico que designa uma família razoavelmente complexa de noções: sentidos, percepção, observação, experimento. O termo, experiência, é evidentemente vago e o que ele significa depende dos seus contextos de uso. Assim, neste contexto, refere-se às percepções sensoriais imediatas e não, por exemplo, às observações elaboradas ou aos experimentos. De modo geral, quando o termo “*sensate esperienze*” (experiências sensíveis) é empregado por Simplicio, ele tem invariavelmente o significado de “experiência bruta dos sentidos”; quando é empregado por Salviati e Sagredo, significa “observação inteligente” ou “experimento” ou, até mesmo, “experimento de pensamento”. (MARICONDA; notas do *Diálogo*, 2011, nota nº 39 da Primeira Jornada, p. 575).

Deste modo, quando Galileu concorda com Aristóteles que se deve antepor as experiências sensíveis ante o discurso para alcançar a verdade, ele alude somente às que podem ser quantificadas. As experiências como um contato mais direto com o mundo exterior nos permite afirmar, por exemplo, que um corpo ao cair a partir do repouso cai aceleradamente, mas que este conhecimento, por ser quantificável ou medido para descobrir suas propriedades, pode ser denominado como um *experimento*, principalmente quando na Mecânica nos utilizamos de instrumentos para realizá-los. Contudo, não podemos ter em mente que um experimento em Galileu signifique somente *medição*. Realizar medidas refere-se a fatos comensuráveis, a investigação de propriedades naturais como, por exemplo, a quantidade em que o corpo acelera-se enquanto transcorre o tempo, mas, segundo Alexandre Koyré,

Qualquer que seja a importância dos novos “fatos” descobertos e reunidos pelos *venatores*, a acumulação de certos números de fatos, isto é, uma pura coleção de dados da observação e da experiência não constitui uma ciência. Os “fatos” têm que ser ordenados, interpretados, explicados. Em outras palavras, só quando é submetido a um tratamento teórico é que o conhecimento dos fatos se torna uma ciência. (KOYRÉ, 1991, p. 271-272).

Koyré destaca que um experimento na física de Galileu que se utiliza de instrumentos e aparatos para realizá-los, tais como o experimento do plano inclinado, só pode ser concebido devido a um tratamento teórico prévio, ou seja, estes fatos têm que estar submetidos a uma pergunta, a uma *experimentação*, ou seja, “interrogar metodicamente a natureza”¹⁵; se somente nos atentarmos para eles em busca de medidas *exatas*, tais como a quantidade, ou a proporção, de um corpo que cai

¹⁵ KOYRÉ, 1991, p. 154.

aceleradamente, somente iremos acumular uma fonte de erros e inexatidão; este é um dos motivos para Koyré afirmar que Galileu não realizava os experimentos que descrevia. Porém, acreditamos que analisar os experimentos mecânicos galileanos não significa tratá-los isoladamente, ou seja, sem um recurso teórico, pois eles fazem parte de todo um procedimento metodológico que busca conhecer as propriedades da natureza. Assim, quando estamos tratando da física galileana, temos que ter em mente que nem todos os experimentos foram realizados empiricamente. Mesmo Galileu referindo-se a eles como experiências, podemos chamá-los de experimentos por todo o seu processo conceitual que consiste num sistema que sugere, primeiro, uma elaboração teórica e geométrica, e segundo, situações de verificação experimental com utilização de instrumentos. Nas obras de Galileu podemos observar que os relatos de experimentos são de dois tipos: os experimentos mentais, que podem ser as deduções e conclusões geométricas, fazendo com que Galileu recuse, caso queira, o uso da verificação empírica, ou que estes experimentos sejam impossíveis de se executar no mundo real, seja por falta de instrumentos e aparatos adequados ou pela impossibilidade empírica de sua execução, e assim, projetá-los num meio ideal; e os experimentos reais, nos quais são utilizados instrumentos e aparatos para verificar concretamente uma determinada teoria estabelecida pela matemática, como o experimento do plano inclinado. Experimentos mentais também são chamados de *experimentos de pensamento*, contudo, aqui optamos por chamá-los de experimentos mentais porque todo experimento empírico exige uma elaboração pensada antes de sua realização empírica, ou seja, como nos instrumentos que serão utilizados ou na coleta e na interpretação dos dados a partir da teoria que se procura observar.

II – Interpretações acerca da filosofia natural de Galileu.

Os relatos de experimentos mecânicos de Galileu foram alvos de debates entre os historiadores e filósofos da ciência, o que possibilitou diversas leituras acerca de uma caracterização do autor dentro da história da ciência. Como lembra Marcelo Moschetti, se no estudo de outros autores é a falta de bibliografia disponível que pode causar essa

confusão, em Galileu é justamente a grande abundância de suas obras e as diversas interpretações que elas permitem que possibilitam a falta de uma caracterização mais definitiva do autor ¹⁶. Neste contexto, os experimentos de Galileu tornam-se um ponto fundamental para o estudo de sua ciência ou de seu método. O embate mais conhecido nesta disputa foi entre Alexandre Koyré e Stillman Drake. As concepções de Koyré e Drake dividiram alguns historiadores em dois grupos distintos. De um lado, os que defendiam Koyré podem ser enquadrados numa visão “racionalista” ou de uma “filosofia natural especulativa”; e por outro, os que seguiam a opinião de Drake defendiam uma posição “empirista” ou de uma “filosofia natural experimental”. De modo geral, a definição dada por Peter Anstey sintetiza o cerne do debate entre os dois tipos de interpretação:

A filosofia natural especulativa é o desenvolvimento de explicações do fenômeno natural sem o recurso prioritário sistemático da observação e do experimento. Por contraste, filosofia natural experimental envolve a coleção e encomenda de observações e relatórios experimentais com uma visão ao desenvolvimento das explicações do fenômeno natural baseado nestas observações e experimentos. (ANSTEY, *apud* DAWES, sem data, p. 4).

De acordo com Gregory Dawes, em seu artigo *Experimental versus Speculative Natural Philosophy: The Case of Galileo*, o que parece ser decisivo neste debate é a questão da prioridade: o procedimento metodológico na filosofia natural de Galileu inicia-se e tem prioridade com a elaboração teórica, que é meramente testada contra os experimentos; ou a observação e a experimentação formam a base de qualquer explicação que a teoria pode oferecer? Além disto: Galileu realizava empiricamente os experimentos que descrevia?

Para Koyré, a filosofia natural de Galileu é de cunho especulativo. Esta concepção é derivada do que ele acredita ter sido a revolução científica dos séculos XVI e XVII, ou seja, o resultado de duas grandes ações fundamentais do pensamento humano: a dissolução com o cosmo antigo e medieval, hierarquicamente ordenado entre céu e terra; e a geometrização do espaço ¹⁷. Estas ações só foram possíveis, para Koyré, porque ele diferencia experiência de experimentação, sendo que a experiência remete-se à observação, afirmando não possuir papel nenhum na revolução científica; enquanto a experimentação consiste em interrogar metodicamente a natureza, pressupondo uma

¹⁶ MOSCHETTI, 2004, p. 72.

¹⁷ KOYRÉ, 1991, p. 154.

linguagem que permite uma interpretação das respostas, linguagem esta descrita na matemática, mais especificamente, na geometria. A partir desta diferença entre experiência e experimentação, Koyré entende ciência como elaboração teórica, e a Física, ou melhor, “a boa física é feita *a priori*. A teoria precede o fato. A experiência é inútil porque, antes de toda a experiência, já possuímos o conhecimento que buscamos”¹⁸. Ademais, sugere que os experimentos descritos por Galileu não possuíam nenhum papel para sua ciência, pois, além da teoria ser suficiente para lidar com o fenômeno, Galileu não dispunha de instrumentos adequados para realizar os experimentos que descrevia: “é evidente que as experiências de Galileu são destituídas de valor. A própria perfeição de seus resultados é uma rigorosa prova de sua inexatidão”¹⁹. Nos *Estudos Galilaicos*, Koyré diz: “Galileu não estima, todavia, que um problema desta importância, o problema do fundamento da própria ciência, possa ser resolvido por um recurso à experiência. A experiência confirma, ou infirma o raciocínio. Não o substitui”²⁰. Deste modo, Koyré acredita que na ciência de Galileu um experimento, como o do plano inclinado, não pode ser tomado como uma evidência, pois ele não pode, por si mesmo, decidir questões teóricas, somente a razão, ou conhecimento matemático (geométrico) pode fazê-lo; por estar de posse de um conhecimento teórico prévio, Galileu pode, caso queira, negar a realização de verificação empírica de argumentos e experiências apresentadas contra uma determinada teoria, como, por exemplo, na *Lettera a Francesco Ingoli in risposta alla disputatio de situ et quiete terrae* (Carta a Francesco Ingoli em resposta à discussão sobre o lugar e o repouso da Terra)²¹ de 1624.

Nesta carta Galileu critica quem usa do argumento do mastro do navio para defender a imobilidade da Terra. Este argumento da tradição afirma que: se a Terra está em movimento, uma pedra solta do alto do mastro de um navio deverá cair longe dele e não na sua base, isto porque o mastro do navio moveu-se junto com a Terra e não está mais no mesmo ponto no espaço onde a pedra foi jogada; mas não é o que se observa. Para os que defendem este argumento, o fato de a pedra cair sempre no mesmo lugar na base do mastro, é um forte indício de que a Terra permanece imóvel. Assim, o argumento do navio é invocado pela tradição na comparação feita entre o movimento da

¹⁸ *Ibidem*, p. 193.

¹⁹ *Ibidem*, p. 275.

²⁰ KOYRÉ, 1986, p. 177.

²¹ GALILEI, *Opere* v. 6, pp. 509-561; *Carta de Galileu Galilei a Francesco Ingoli*. Traduzido por MARICONDA, 2005, pp. 477-516. As referências às citações desta carta constituirão da referência da *Opere*, (volume e numeração da página), seguidos da tradução de Mariconda (ano e numeração das páginas).

terra e o movimento do navio. Galileu critica Ingoli por utilizar este argumento, e afirma:

(...), para assim crer, ou antes, para estar certo, move-me o ver trazer como certas e claras outras experiências bastante mais fáceis de fazer-se e de observar-se, das quais depois tenho tanta certeza que não as haveis feito quanto que para quem as faz o efeito acontece ao contrário daquilo que, com tanta confiança, eles diziam. E uma dessas experiências é exatamente a da pedra que cai da sumidade do mastro do navio, a qual vai sempre terminar batendo no mesmo lugar, tanto quando o navio está parado quanto quando ele caminha velozmente, e não vai, como eles acreditavam (afastando-se o navio enquanto a pedra vem pelo ar para baixo) bater longe do pé em direção da popa; na qual eu tenho sido duplamente melhor filósofo do que eles, porque eles, ao dizer aquilo que é contrário ao efeito, acrescentaram também a mentira, dizendo terem visto isso pela experiência. (GALILEI, *Opere* VI, p. 545; 2005, p. 504).

Galileu aponta dois erros de Ingoli e dos que usam este argumento: o primeiro consiste em “ficar girando sempre entre equívocos, supondo como conhecido o que está em questão”²²; o segundo reside em que, “sobrevindo-vos *experiências que se podem fazer*, através das quais pudésseis chegar à luz do verdadeiro, sem de outro modo fazê-las, ponde-as como feitas e trazei-as como respondendo a favor de vossa conclusão”²³. Após inferir sobre o que aponta como primeiro erro cometido por Ingoli e pela tradição, o autor afirma:

Quanto ao outro erro, *que é o de produzir experiências como feitas e favoráveis a vossa necessidade sem tê-las jamais nem feito nem observado*, primeiro, se vós (...) quisésseis sinceramente confessar a verdade, diríeis jamais ter experimentado (...), *[e eu fiz a experiência]*, antes da qual a razão natural tinha-me muito firmemente persuadido de que o efeito deveria acontecer exatamente como acontece. (GALILEI, *Opere* VI, p. 545; 2005, p. 504) [grifo nosso]²⁴.

Nesta passagem, observamos a crítica que Galileu dirige àqueles que concluem o resultado da experiência sem a realização da mesma, colocando essa atitude como *erro*.

²² GALILEI, *Opere* VI, 543; 2005, p. 502.

²³ *Opere* VI, *Idem*; 2005, *Idem*. [destaque nosso].

²⁴ Nesta citação acrescentei a frase “e eu fiz a experiência” de acordo com original italiano (*io ne ho fatto l'esperienza*) e com a tradução que aparece na nota de número 77 da segunda jornada do *Diálogo* (2011, p. 644) feita por Pablo Mariconda, onde cita a sua tradução da carta a Ingoli feita em 2005, utilizada acima (2005, p. 504). Na tradução da carta (2005) feita por Mariconda não aparece a frase “e eu fiz a experiência”, aparecendo deste modo: “(...) dizendo terem visto isso pela experiência, antes da qual a razão natural (...)”, motivo pelo qual optamos acrescentar a citada frase.

No fim, afirma que realizou a experiência, mas que o *discurso natural* (*il natural discorso*) tinha-lhe revelado *exatamente como acontece* o resultado antes mesmo de sua realização empírica. No caso da pedra que cai do alto do mastro do navio, a acusação de Galileu refere-se aos oponentes de Copérnico, pois se eles tivessem realmente realizado a experiência, veriam que este argumento ao invés de negar a teoria aristotélico-ptolomaica da imobilidade da terra, favorecia a proposta copernicana da mobilidade da mesma. Na Segunda Jornada do *Diálogo*, Galileu retoma o argumento do navio e reafirma a conclusão que expôs na carta a Ingoli. Para o autor, o fato do navio estar parado ou em movimento não define qual será a conclusão acerca de decidir sobre a mobilidade da Terra: uma vez que soltamos a pedra do alto do mastro, ela sempre cairá na base deste mesmo mastro e descreverá uma trajetória composta por dois movimentos, um retilíneo e outro circular, formando assim um movimento oblíquo, motivo pela qual não percebemos o movimento da pedra, posto que nos movemos junto com a Terra, causando a impressão do movimento da pedra ser sempre reto, contudo, este argumento não deve ser tomado contra Copérnico. Desta vez Galileu não retoma a necessidade da realização da experiência para determinadas conclusões, como afirmou para Ingoli, mas em resposta à acusação de Simplicio sobre a sua não realização, Salviati afirma:

Salviati: Eu, *sem experiência, estou certo de que o efeito seguir-se-á como vos digo, porque assim é necessário que se siga*; e acrescento que, vós mesmos sabeis muito bem que não pode acontecer diferentemente, ainda que finjais, ou simuleis fingir não o saber. (GALILEI, *Opere* VII, p. 171; *Diálogo*, p. 226) [grifo nosso].

Em dois momentos diferentes sobre a realização da experiência, na carta a Ingoli e no *Diálogo*, Galileu faz duas afirmações distintas. Por um lado, afirma a necessidade de fazer experiências e critica os que não fazem, supondo tê-lo feito; por outro lado, diz que a *discurso natural* (a razão) tinha-lhe revelado o resultado da experiência, permitindo-lhe recusar a sua realização empírica. Ainda na Segunda Jornada do *Diálogo*, após Simplicio apresentar as objeções tradicionais contra o movimento diurno da Terra²⁵, Salviati indica para seus interlocutores uma série de experiências mostrando

²⁵ As quatro primeiras objeções apresentadas por Simplicio são objeções aristotélicas, que são: o argumento do movimento violento (Simplicio: se a Terra se movesse ou sobre si mesma, estando no centro, ou num círculo, estando fora do centro, é necessário que ela se movesse violentamente com tal movimento, posto que esse movimento não lhe é natural; porque, se fosse seu, tê-lo-ia também cada uma de suas partículas; mas cada uma delas move-se em linha reta para o centro: sendo, portanto, violento e

a nulidade de todos os argumentos produzidos pela tradição, que podem ser feitas dentro de um cômodo no interior de um navio:

pretenatural, não poderia ser eterno; mas a ordem do mundo é eterna); o argumento dos dois movimentos (Simplicio: todos os outros móveis com movimento circular parecem ficar para trás e moverem-se com mais de um movimento, excetuado, porém, o primeiro móvel: pelo que seria necessário que também a Terra se movesse com dois movimentos; e, quando isso acontecesse, seria necessário que se fizessem mudanças nas estrelas fixas: o que não se vê, ao contrário, sem qualquer variação as mesmas estrelas nascem sempre nos mesmo lugares, e põem-se nos mesmo lugares); o argumento do movimento natural (Simplicio: o movimento das partes e do todo é naturalmente para o centro do universo e, por essa razão, também ele está em repouso. Levanta-se assim a dúvida quanto ao fato de o movimento das partes dirigir-se naturalmente para o centro do universo ou, antes, para o centro da Terra; e conclui ser seu instinto próprio o de ir para o centro do universo e, por acidente, para o centro da Terra), e o argumento da queda vertical (Simplicio: o quarto argumento tomado da experiência dos graves, os quais caindo do alto para baixo, chegam perpendicularmente à superfície da Terra; e, analogamente, os projéteis atirados perpendicularmente para o alto retornam perpendicularmente pelas mesmas linhas para baixo, ainda que tivessem sido atirados a uma mesma altura imensa). Após estas premissas aristotélicas, Salviati apresenta as objeções de Ptolomeu e de Tycho Brahe: o argumento da queda da torre e da queda do mastro do navio (expusemos este argumento da tradição na seção II deste capítulo); os argumentos dos tiros de artilharia (Salviati: Acrescentam ainda a terceira e muito eficaz experiência, que é: atirando-se com uma colubrina a grande elevação uma bala em direção ao levante, e depois uma outra com idêntica carga na mesma elevação em direção ao poente, o tiro para poente resultaria imensamente maior que o outro para levante; porque, enquanto a bala vai para o ocidente, e a artilharia, levada pela Terra, para oriente, a bala acabaria por percutir na Terra afastada da artilharia por tanto espaço quanto é o agregado das duas viagens, uma feita por si para ocidente, e a outra pela peça, levada pela Terra, para levante; e, ao contrário, da viagem feita pela bala atirada para levante deveríamos subtrair aquela que teria sido efetuada pela artilharia que a segue: posto, portanto, por exemplo, que a viagem da bala por si mesma fosse de cinco milhas, e que a Terra naquele determinado paralelo durante o tempo de voo da bala percorresse três milhas, no tipo para poente a bala cairia sobre a Terra oito milhas afastada da peça de artilharia, ou seja, suas cinco para poente e as três da peça para levante; mas o tiro para oriente não resultaria maior que duas milhas, porque tanto é o que resta, subtraindo das cinco do tiro as três do movimento da peça na mesma direção: mas a experiência mostra que os tiros são iguais; portanto, a artilharia está imóvel, e consequentemente também a Terra); o argumento dos pássaros e das nuvens (Salviati: Ptolomeu e seus seguidores apresentam outra experiência, semelhante àquela dos projéteis, e que se trata das coisas que, separadas da Terra, mantêm-se no ar por longo tempo, como são as nuvens e as aves voadoras; e como destas não se pode dizer que sejam levadas pela Terra, não sendo a ela aderentes, não parece possível que elas possam seguir a velocidade daquela, ao contrário, deveria parecer-nos que todas se movessem velocissimamente para ocidente: e se nós, levados pela Terra, passamos pelo nosso paralelo em vinte e quatro horas, que também é de pelo menos dezesseis mil milhas, como poderiam as aves acompanhar semelhante curso? Ao contrário, sem qualquer sensível diferença, vemos que voam tanto para levante como para ocidente e para qualquer outra parte); o argumento do vento (Salviati: Além disso, se quando corremos a cavalo sentimos que o ar nos fere fortemente o rosto, que vento deveríamos sentir perpetuamente soprar do oriente, levados por um curso tão rápido contra o ar? E, entretanto, nada se sente a este respeito.); e o argumento da extrusão (Salviati: E eis uma outra muito engenhosa razão tomada de uma experiência certa, que é a seguinte. O movimento circular tem a faculdade de expulsar, desagregar e arremessar de seu centro as partes do corpo que se move, sempre que o movimento não seja muito lento ou que essas partes não estejam solidamente ligadas entre si; eis porque, quando, por exemplo, fazemos girar velocissimamente uma daquelas grandes rodas dentro das quais caminhando um ou dois homens movem grandíssimos pesos, como a massa das enormes pedras da calandra ou dos barcos carregados que se transportam por terra de um rio a outro, quando as partes dessa roda rapidamente girada não estivessem solidamente fixadas, dispersar-se-iam todas, nem poderiam, ainda que sobre a sua superfície exterior se atassem fortemente pedras ou outras matérias pesadas, resistir ao ímpeto que, com grande violência, atirá-las-ia para diferentes lugares afastados da roda, e consequentemente do seu centro. Quando, portanto, a Terra se movesse com tamanha velocidade, qual seria a gravidade, qual a resistência das argamassas ou colas capaz de reter as pedras, as construções e as cidades inteiras, para que não fossem atiradas para o céu por uma rotação tão violenta? E os homens e as feras, que por nada estão ligados à Terra, como resistiriam a um tal ímpeto? Muito pelo contrário, vemos tanto esses como outros corpos de resistência muito menor, como pedregulhos, areia e folhas, repousarem tranquilamente sobre a Terra e para ela dirigem-se caindo, ainda que com movimento lentíssimo). (GALILEI, *Opere* VII, pp. 150-159; *Diálogo*, pp. 206 -214).

Salviati: (...) E aqui, como um último sinal da nulidade de todas as experiências apresentadas, parece-me que é o tempo e o lugar de mostrar o modo de experimenta-las todas muito facilmente. Fechai-vos com algum amigo no maior compartimento existente sob a cobertura de algum grande navio, e fazei que aí existam moscas, borboletas e semelhantes animaizinhos voadores; seja também colocado aí um grande recipiente com água, contendo pequenos peixes; suspenda-se ainda um balde, que gota a gota verse água em outro recipiente de boca estreita, que esteja colocado por baixo: e, estando em repouso o navio, observai diligentemente como aqueles animaizinhos voadores com igual velocidade vão para todas as partes do ambiente; ver-se-ão os peixes indiferentemente para todos os lados; as gotas cadentes entrarem todas no vaso posto embaixo; e vós, lançando alguma coisa para o amigo, não a deveis lançar com mais força para esta que para aquela parte, quando as distâncias sejam iguais; e saltando, como se diz, com os pés juntos, transporíeis espaços iguais para todas as partes. Assegurai-vos de ter diligentemente todas essas coisas, ainda que não exista dúvida alguma de que enquanto o navio esteja parado as coisas devem acontecer assim, e fazei mover o navio com quanta velocidade desejardes, porque (sempre que o movimento seja uniforme e não flutuante de cá para lá), não reconhece-reis uma mínima mudança em todos os mencionados efeitos, nem de nenhum deles podereis compreender se o navio caminha ou está parado: saltando, percorreríeis no tablado os mesmos espaços que antes, nem daríeis saltos maiores para a popa que para a proa, porque o navio se move velocissimamente, ainda que, no tempo durante o qual estejais no ar, o tablado subjacente deslize para a parte contrária ao vosso salto; e jogando alguma coisa ao companheiro, não será necessário atirá-la com mais força para alcançá-lo, se ele estiver para a proa e vós para a popa, que se estivésseis colocados ao contrário; e as gotas continuarão a cair como antes no recipiente inferior, sem que nenhuma caia em direção à popa, ainda que, enquanto a gota estar no ar, o navio navegue muitos palmos; os peixes na sua água nadarão sem maior esforço tanto para a parte precedente quanto para a parte subsequente do vaso, e com a mesma facilidade chegarão ao alimento colocado em qualquer lugar da borda do recipiente; e finalmente, as borboletas e as moscas continuarão seus voos indiferentemente para todas as partes, e nunca acontecerá que se concentrem na parte endereçada da popa, como se estivessem cansadas de acompanhar por longo tempo; e se queimando alguma lágrima de incenso produzísseis um pouco de fumaça, veríeis que ela se eleva para o alto e como uma pequena nuvem aí se mantém, movendo-se indiferentemente não mais para esta que para aquela parte. E a razão de toda esta correspondências de efeitos é ser o movimento do navio comum a todas as coisas contidas nele e também no ar. (...)

Sagredo: Estas observações, ainda que navegando não me tenha deliberadamente ocorrido fazê-las, todavia estou mais que certo de que acontecerão da maneira relatada (...). (GALILEI, *Opere* VII, p. 212 – 214; *Diálogo*, 2011, p. 266 – 268).

Entre outras passagens importantes no *Diálogo*, esta passagem indica, segundo Martins (1986), o princípio da relatividade do movimento de Galileu ²⁶. Mesmo participando e realizando experimentos num sistema mecânico interno, não podemos determinar se o navio está parado ou em movimento porque os resultados destes experimentos serão os mesmos. Dentro do contexto da Segunda Jornada, este relato é uma analogia com a Terra, ou seja, da mesma maneira que não podemos deduzir se o navio está parado ou em movimento a partir dessas experiências, não podemos deduzir se a Terra também está parada ou em movimento a partir das experiências apresentadas por Simplicio contra o movimento da Terra, ambos porque participamos do mesmo sistema mecânico, do navio e da Terra. Ademais, no que diz respeito ao questionamento sobre se Galileu realizou os experimentos que descrevia, para Martins, as diversas experiências sugeridas por Galileu dentro de um cômodo no interior do navio não foram realizadas. Sobre o relato da pedra que cai do alto do mastro do navio na carta a Ingoli em 1624 e na passagem da Segunda Jornada do *Diálogo*, Martins indica sua posição no debate sobre a realização empírica das experiências galileana:

É mais provável que não. Em primeiro lugar, porque ele nunca afirma ter realizado a experiência: ele *propõe* que Ingoli realize o teste. Em segundo lugar, no *Diálogo*, logo após a exposição de Salviati, Sagredo comenta que, embora nunca lhe tenha ocorrido realizar esses testes, ele está seguro tudo acontecerá como descrito, pois muitas vezes, dentro de um navio, ele ficou a pensar se o navio estava parado ou em movimento e em que direção; e não foi capaz de descobri-lo. Em terceiro lugar, não é muito provável que fosse possível, em um navio da época, realizar-se a experiência das gotas caindo em um vaso de gargalo estreito. Por tudo isso, parece-me mais plausível que Galileu jamais tenha realizado essas experiências; apenas estava seguro de que elas dariam certo, se fossem realizadas. (MARTINS, 1986, p. 82) [o destaque é do texto original].

Segundo Martins, Galileu não afirmou ter realizado a experiência da pedra que cai do alto do navio na carta para Ingoli; depois, nesta série de experiências relatadas no *Diálogo* que seriam realizados no interior do navio, Galileu sugere que elas sejam realizadas e, a isto, Sagredo afirma que nunca realizou tais experiências. Contudo,

²⁶ De acordo com Martins, “denomina-se comumente ‘principio de relatividade de Galileu’ a afirmação de que é impossível detectar-se um efeito físico de um movimento uniforme de translação de um sistema físico, por experiências internas a esse sistema; ou seja: para experiências realizadas dentro de um sistema, seu movimento de translação, se for uniforme, não pode ser notado.” (MARTINS, 1986, p. 69).

embora Galileu não tenha realizado estas experiências, elas estavam dentro do que era possível ser feito (e mesmo que Martins indique que a experiência das gotas que caem num vaso de gargalo estreito seja impróprio para um navio da época, as outras - como soltar pequenos animaizinhos voadores no cômodo e verificar o nado dos peixes num recipiente - são totalmente plausíveis). Semelhante afirmação a respeito da recusa de um argumento ou experiência é dada na Quarta Jornada dos *Discursos* na discussão acerca de quantos graus é preciso para que um corpo lançado atinja a distância máxima, Salviati afirma que a demonstração guiada pela razão dispensa o uso da experiência. A passagem se dá em um diálogo entre Sagredo e Salviati:

Sagredo: *A força das demonstrações necessárias, que só as matemáticas possuem, é maravilhosa e reconfortante. Já sabia, pela fé nos relatos dos artilheiros, que de todos os tiros de trajetória curva de artilharia, ou de morteiros, o de máximo alcance, ou seja, aquele que consegue lançar a bola a maior distância, é obtido na elevação de 45 graus ou, como dizem eles, no sexto ponto do esquadro. Porém, entender a causa desse fato supera infinitamente a simples informação recebida pelos relatos de outros ou obtida através de uma experiência muitas vezes repetida.*

Salviati: O que V. Sa. diz é fato verdadeiro. *O conhecimento de um só efeito por suas causas permite ao espírito de compreender e de assegurar-se de outros efeitos, sem necessidade de recorrer à experiência, como acontece precisamente no caso que estamos tratando, no qual, após adquirir através de raciocínio demonstrativo a certeza de que, entre todos os tiros curvos, o de maior alcance é aquele, cuja elevação tem quarenta e cinco graus, o Autor nos demonstra o que talvez, não foi observado pela experiência, a saber, que, entre todos os outros disparos, são iguais aqueles, cuja elevação é superior ou inferior numa mesma quantidade ao ângulo de quarenta e cinco graus (...).* (GALILEI, *Opere* VIII, p. 296; DNC, 1988, p. 222). [grifo nosso].

Duas observações devem ser feitas nesta passagem. Primeiro: Sagredo afirma a força que as *demonstrações necessárias*, ou *demonstrações matemáticas*, possuem: saber que a causa do máximo alcance se dá pela elevação de 45 graus lhe permite recusar o relato dos artilheiros e da experiência. Segundo: Salviati argumenta, de modo semelhante, que o conhecimento de um só efeito por suas causas através de um *raciocínio demonstrativo* permite assegurar-se de outros efeitos, com isso, ele pode dispensar o recurso a uma experiência (como “observação inteligente”), ou seja, pode-se deduzir que a execução e observação de disparos de um projétil *muitas vezes repetidas* em vários ângulos pode determinar qual o seu grau de máximo alcance. Além disso, esta experiência é de fácil execução porque não necessita da construção de

instrumentos, máquinas complexas ou de uma realização mais elaborada; mesmo assim Galileu nega, pelo menos em texto, a necessidade de realizá-lo, pois o conhecimento do efeito pela causa lhe permite negar a *necessidade de recorrer à experiência*.

Podemos usar essas passagens para compreender, em parte, a defesa dos historiadores em determinar a filosofia natural de Galileu como especulativa, ao afirmar que, uma vez de posse do conhecimento teórico, é possível negar a necessidade da realização empírica de uma experiência ou até mesmo de um experimento empírico, ou seja, com a utilização de instrumentos para a verificação de teorias; contudo, lembremos que para Koyré, Galileu não realizava este tipo de experimento. Ao comentar sobre as obras *Diálogo* e os *Discursos*, Koyré afirma:

O *Diálogo* e os *Discursos* nos contam a história da descoberta, ou ainda melhor, da *redescoberta da linguagem que fala a natureza*. Eles nos explicam a melhor maneira de interrogá-la, isto é, a teoria dessa experimentação científica na qual *a formulação dos postulados e a dedução de suas consequências precedem e guiam o recurso à observação*. Isso, pelo menos para Galileu, é uma prova “real”. A nova ciência é, para ele, uma prova experimental do platonismo. (KOYRÉ, 1991, p. 172) [grifo nosso].

Historiadores como William Shea (1983) e Dijksterhuis (1969) compartilham, de certo modo, da opinião de Koyré e defendem, de modo geral, que o conhecimento geométrico e teórico permite a Galileu recusar o uso do experimento empírico, e se ele tivesse a necessidade de realizar tal experimento, seria para confirmar ou recusar uma teoria já determinada pela razão; tendo assim, o experimento, um papel secundário em sua filosofia natural. Koyré, por outro lado, é mais rígido em sua posição e afirma que Galileu não realizava experimentos empíricos. Ademais, este não foi o único motivo para a posição de Koyré, ele colocava Galileu como platônico devido à importância que Galileu dava à matemática, possibilitando a geometrização do espaço. Há, de fato, algumas passagens nos escritos galileanos que possibilitam denominar Galileu como platônico. Contudo, Shea afirma que o platonismo do século XVII era um movimento e não uma escola, aqueles que se afirmavam platônicos representavam uma ampliada gama de finalidade e interesses ²⁷ e, com isso, o próprio Galileu declarou-se abertamente seguidor de Platão. No *Diálogo* podemos observar que Galileu refere-se a um tipo de conhecimento já adquirido, do qual só nos resta recordar. Aqui, a maiêutica

²⁷ SHEA, 1983, p.179.

socrática e a teoria da reminiscência platônica, ou seja, o conhecimento como lembrança, se faz presente. Na Primeira Jornada, na discussão acerca das similaridades e diferenças entre a Terra e a Lua ²⁸, é discutido sobre a reflexão da luz solar na Terra e a iluminação secundária da Lua ²⁹, e quando Simplicio afirma que a Terra não pode refletir a luz porque é opaca, Salviati faz Simplicio reconhecer seus erros, e afirma:

Salviati: Agora, Sr. Simplicio (se é que vos satisfiz), podeis compreender como *vós mesmos sabíeis* verdadeiramente que a Terra resplandia não menos que a Lua, e que *bastou recordar-vos de algumas coisas conhecidas por vós mesmos, e não ensinadas por mim*, para que tivésseis certeza disso: porque eu não vos ensinei que a Lua mostra-se mais resplendente de noite que de dia, mas vós já o sabíeis por vós mesmos, como também sabíeis que uma nuvenzinha mostra-se tão clara quanto a Lua; sabíeis igualmente que a iluminação da Terra não se vê de noite, e, em suma, *sabíeis tudo, sem saber que o sabíeis* (...).

Simplicio: Na verdade, eu acreditava que aquela luz secundária fosse da Lua.

Salviati: E isto também vós sabíeis por vós mesmos, sem que vos apercebaís de sabê-lo (...). (GALILEI, *Opere* VII, p. 115; 2011, p.173-174) [grifo nosso].

Ainda no *Diálogo*, desta vez na Segunda Jornada, Salviati examina as objeções tradicionais contra o movimento diurno da Terra apresentadas por Simplicio (que inclui o experimento da pedra que cai do alto do mastro do navio), e com isso ocorre o seguinte diálogo entre Simplicio e Salviati:

Simplicio: A objeção parece-me perfeitamente estabelecida e atada, e acredito que será necessário um grande esforço para removê-la e desatá-la.

²⁸ Estas similaridades e diferenças são apresentadas na segunda metade da Primeira Jornada, ou seja, quando a argumentação de Galileu contra o mundo bipartido de Aristóteles passa de caráter *a priori* para argumentos *a posteriori*, com base em suas observações astronômicas, além de experimentos com o espelho para demonstrar que a Lua é áspera e rugosa, e não polida e lisa como afirmam os peripatéticos. De acordo com Galileu, tais similaridades são: A Lua e a Terra são semelhantes quanto a figura, observamos que elas são esféricas pelo modo como ambas são iluminadas pelo Sol; a Lua é obscura e opaca como a Terra, pois recebem e refletem a luz do Sol; ambas são tenebrosas e montanhosas; e possuem partes claras e escuras (na Terra, Galileu acredita que a superfície do mar aparece de maneira mais escura e a superfície terrestre aparece de forma mais clara, quando vista do globo lunar ou de qualquer outro globo); o modo como a Lua está iluminada (ora cheia, ora metade, ora mais ou menos) acontece com a Terra e a Terra e a Lua iluminam-se mutuamente; do mesmo modo como se eclipsam. As diferenças apontadas por Galileu entre os dois globos são: A Lua não é composta de terra e água; os aspectos do Sol na Terra são diferentes dos aspectos do Sol na Lua, na Terra estes aspectos causam as estações; os dias na Terra são de vinte e quatro horas, um dia da Lua corresponde a um mês terrestre; na Lua, o Sol abaixa-se e levanta-se com uma diferença de dez graus, enquanto, na Terra, com uma de quarenta e sete graus; na Lua não existem nuvens, consequentemente não existem chuvas. (GALILEI, *Opere* VII, pp. 87-127; *Diálogo*, 2011, pp. 147-184).

²⁹ Ver nota de numero 9.

Salviati: Sua solução depende de alguns conhecimentos não menos sabidos por vós que por mim; mas como não vos lembrais deles, por isso não vedes a solução. *Sem, portanto, ensinar-vos, pois que já o sabeis, com sua simples lembrança farei que por vós mesmos resolvais a objeção.*

Simplício: Pensei, muitas vezes, em seu modo de raciocinar, o qual me despertou a impressão que vos inclinai para aquela opinião de Platão que *nosso conhecimento é como uma reminiscência*: por isso, por favor, removi de mim essa dúvida, dizendo-me vosso sentimento.

Salviati: O que sinto com Platão posso expressá-lo com palavras e também com fatos. Nos raciocínios feitos até aqui já me declarei mais de uma vez com os fatos, seguirei o mesmo estilo no caso particular que temos em mãos, que poderá depois servi-vos como exemplo para melhor compreender o meu conceito a respeito da aquisição da ciência, sempre, porém, que nos reste tempo para outro dia e não cause incômodo ao Sr. Sagredo que façamos esta digressão. (GALILEI, *Opere VII*, p. 217; *Diálogo*, 2011, p. 271) [grifo nosso].

A passagem que se segue apresenta-se como o método maiêutico socrático, onde Simplício recorda de seu conhecimento através das perguntas feitas por Salviati, que, por sua vez, diz a Sagredo: “Sr. Sagredo, falo-vos aos ouvidos: eis aqui em ação o *quoddam reminisci* bem entendido. Vós pensais muito, Sr. Simplício!”³⁰. O platonismo de Galileu, como o uso da matemática enfatizado por Koyré e a teoria da reminiscência platônica defendido por Shea, fazem ambos os historiadores apontarem o papel secundário dos experimentos de Galileu dentro de seu procedimento científico. Entretanto, Shea e Dijksterhuius são bem menos rigorosos do que Koyré sobre o papel dos experimentos empíricos: embora Shea acredite que “a concepção platônica do procedimento científico implica o predomínio da razão sobre a mera experiência”³¹, os experimentos “tantos mentais quantos reais – são igualmente válidos se tem sido desenhados de acordo com os requisitos das matemáticas”³². Dijksterhuius também se refere à realização empírica dos experimentos, mas concorda que o raciocínio teórico (e matemático) oferece o resultado antes mesmo da realização do experimento, verificando somente o que já foi exposto pelo raciocínio. Segundo Dijksterhuis,

Ele [Galileu] não fez experimentos a fim de encontrar uma lei da natureza, mas, a fim de verificar uma relação que ele tinha deduzido pelo raciocínio matemático a partir de suposições que apareceram mais ou menos evidentes. (...) *Seria um grande erro considerar o lugar de experimentação em obras de Galileu como menos importante*, porque não serve para a descoberta de um fenômeno

³⁰ GALILEI, *Opere VII*, p. 218; *Diálogo*, 2011, p. 272.

³¹ SHEA, 1983, p. 183.

³² *Ibidem*, p. 184.

inteiramente novo, mas para verificar o resultado do raciocínio teórico. (DIJKSTERHUIS, 1969, p. 345) [grifo nosso].

Para Dijksterhuis os experimentos de Galileu não descobrem fenômenos, apenas verificam. Mesmo sendo um erro considerar os experimentos como menos importantes, a verificação de uma teoria pelo experimento às vezes possui uma segunda importância porque “pode ser considerado um tanto como supérfluo se o raciocínio anterior parecer muito convincente; portanto somente sobram os experimentos puramente mentais ou os experimentos que são somente descritos sem serem executados”³³; nesse caso, no exemplo da experiência da pedra que cai do alto do mastro do navio, Dijksterhuis entende que mesmo sendo realizável, Galileu não precisou fazê-lo uma vez que o discurso natural (*il natural discorso*), como o próprio Galileu afirma, já havia lhe dado o resultado.

Por outro lado, para os historiadores que defendem a filosofia natural experimental, os experimentos de Galileu possuem um papel fundamental dentro de sua metodologia. Contra a concepção de Koyré, Stillman Drake publicou em 1973, no seu artigo intitulado *Galileo's Experimental Confirmation of Horizontal Inertial: Unpublished Manuscripts*³⁴, alguns manuscritos que estavam preservados na Biblioteca Nacional de Florença (denominado de fólios MS 72) que não foram incluídos na *Opere* de Galileu editada por Antonio Favaro. Aparentemente, porque estes manuscritos à primeira vista não possuíam conexão entre si, segundo Drake, Favaro não publicou os manuscritos porque entendeu que eles eram compostos por números e diagramas sem conexão; porém, Drake acredita que estes manuscritos representam as anotações dos experimentos que Galileu teria feito em Pádua sobre a queda dos corpos num plano inclinado e sobre lançamentos de projéteis, bem como os resultados desses experimentos, reavaliando assim o caráter empirista de Galileu. Segundo ele:

Até agora, nada tem sido produzido para demonstrar as habilidades de Galileu no projeto e na exata execução dos experimentos físicos em sentido moderno. Nestas circunstâncias, tornou-se fora de moda suportar a visão dos mais antigos historiadores da ciência de que Galileu foi o pai da ciência experimental. (...) Historiadores do século XX provavelmente se sentiram confiantes que nenhuma evidência precisa da experimentação física por parte de Galileu era provável que nunca seria mostrada, depois que suas notas sobre o movimento

³³ DIJKSTERHUIS, 1969, p. 345.

³⁴ DRAKE, 1999, pp. 147- 160.

tiveram sido editadas e publicadas por Antonio Favaro. (...) Agora, acontece que entre os manuscritos de Galileu das notas sobre os movimentos estão muitas páginas que não foram publicadas por Favaro, desde que elas contem somente cálculos ou diagramas sem apresentar proposições ou explicações. (...) As descobertas destas notas confirmam a opinião dos historiadores mais antigos. (DRAKE, 1999, V. II; p. 147-148).

A descoberta dessas notas reforça a visão de que Galileu realizava experimentos empíricos e sugerem, ao contrário do que Koyré afirmou, que alguns dos experimentos da Física de Galileu foram realmente realizados. Neste sentido, Júlio Vasconcelos afirma que “a redescoberta de Drake exige que se rediscutam as posições do influente Alexandre Koyré (...) em que o experimento possuía papel absolutamente secundário”³⁵. Além destas notas que foram descobertas por Drake, a visão do Galileu empirista é reforçada através dos próprios relatos experimentais que foram publicados em suas obras, como um relato experimental na Primeira Jornada dos *Discursos*.

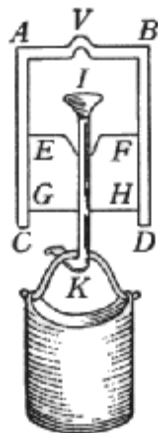
A Primeira Jornada é dedicada à introdução das duas novas ciências: a resistência dos materiais e o estudo do movimento. Após a discussão que identifica a causa da resistência de corpos como as madeiras e as cordas com os filamentos que o compõem, Salviati afirma que em corpos cuja textura não é de filamento, há duas causas da resistência dos materiais: “uma é aquela decantada aversão da natureza em admitir o vácuo; para a outra, (não bastasse esta do vazio), é preciso introduzir um glúten ou cola que una fortemente as partículas das quais está composto esse corpo”³⁶. Dito isto, é debatido sobre qual a quantidade de força o vácuo possui para manter a matéria coesa, e consequentemente, Salviati apresenta um modo de separar e medir a força do vácuo das outras forças existentes para inferir que, além do vácuo, é necessário introduzir certo glúten ou cola que mantém as mínimas partes da matéria unidas, pois somente a força do vácuo é insuficiente para manter a matéria coesa. Salviati relata a construção do aparelho (FIG. 1) e a realização do seguinte experimento, cito *in extenso*:

Apresentarei o modo de separar e medir a força (*virtu*) do vácuo das outras, e depois, a maneira de medi-la. Para separa-la, tomaremos uma matéria contínua, cujas partes não ofereçam outra resistência à separação que não seja a do vácuo, matéria que, como foi amplamente

³⁵ VASCONCELOS, 2000, p. 83.

³⁶ GALILEI, *Opere* VIII, p. 59 ; DNC, 1988, p. 18.

demonstrado certo tratado do nosso Acadêmico, é a água. Assim, sempre que um cilindro de água sofresse uma tração e oferecesse resistência à separação das suas partes, não poderíamos atribuir esta resistência a nenhuma outra causa, que não fosse a aversão ao vácuo. *Para realizar tal experimento, imaginei um dispositivo que, com a ajuda de uma ilustração esclarecerá as coisas melhor que uma apresentação por palavras. Imagino que CABD é o perfil de um cilindro de metal ou preferivelmente de vidro, oco no interior, porém torneado com perfeição, no qual se coloca um cilindro de madeira perfeitamente ajustado, cuja seção é EGHF, e que possa ser movido para cima e para baixo. Este cilindro será furado no meio, para que passe um fio de ferro, cuja extremidade K está curvada, e a outra extremidade I se abre em forma de cone. O furo feito no cilindro será na parte superior também aberto em forma de cone, para receber com precisão a extremidade cônica I do ferro IK, cada vez que ele é puxado para baixo a partir de K. O pedaço de madeira EH – que chamaremos tampão – inserido no cilindro côncavo AD, não deve chegar até a parte superior do cilindro, mas deve ficar afastado dela dois ou três dedos. Tal espaço deve ser preenchido com água, a qual será introduzida tendo o recipiente com a boca CD voltado para cima e pressionando o tampão EH, enquanto se mantém o funil I um pouco afastado da cavidade da madeira para permitir, dessa forma, a passagem do ar, que ao baixar o tampão, sairá pelo furo da madeira, que por esta razão, será um pouco maior que a pequena haste de ferro IK. Uma vez permitida a saída do ar e puxado o ferro, que se ajusta bem à madeira com o funil I, viramos o vaso com a boca para baixo e, pendurando ao gancho K um recipiente capaz de conter areia ou outra substância pesada, lastreado de forma que a superfície inferior da água, à qual nada mais tinha ligada senão a aversão ao vácuo. Pesando posteriormente o tampão, o ferro, o recipiente e o que ele continha, teremos a quantidade da força do vácuo. E se atarmos a um cilindro de mármore ou de cristal, seja igual a soma dos pesos mencionados, e se isso tem como consequência a quebra do cilindro, poderemos afirmar sem nenhuma dúvida que as partes do mármore e do cristal permaneciam unidas somente devido a força do vácuo. Se, porém, a carga é insuficiente, sendo necessário quatro vezes mais peso para que se dê a quebra, devemos afirmar que a resistência do vácuo representa a um quinto da resistência total, sendo a outra quatro vezes maior que a resistência do vácuo. (GALILEI, *Opere* VIII, p. 62-63; DNC, p. 20-21). [grifo nosso]*



(Figura 1: dispositivo descrito por Galileu para o experimento da medição e separação da força do vácuo.

Imagem extraída de GALILEI, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, 1ª Edição Elettronica, Progetto Manuzio, 1998, p.14.)

Neste relato Galileu descreve a construção do aparato e o modo correto de executar o experimento empírico a partir de uma demonstração geométrica. Quando menciona o contorno do cilindro de metal ou de vidro, afirma que ele deve ser torneado com *perfeição*, contudo, nesta passagem *perfeição* não se refere às propriedades ontológicas que o termo pode oferecer, refere-se à preocupação em estabelecer a precisão na funcionalidade da execução de seus experimentos devido aos acidentes que a matéria apresenta. Ademais, Galileu claramente defende que, para a realização do experimento de maneira completa, ele tem que ser reproduzido da maneira como está apresentado. Após este relato, Simplicio apresenta alguns inconvenientes e algumas possíveis soluções na realização do experimento com relação à penetração do ar dentro do cilindro de madeira ou de vidro³⁷. Salviati reconhece estas dificuldades e, depois de concordar com as resoluções apresentadas por Simplicio, afirma:

Salviati: Noto que poderíamos ao mesmo tempo, com a aquisição de novos conhecimentos, *constatar se as dificuldades sugeridas são reais*. (...) se essas coisas não acontecerem, *estaremos seguros de que a experiência foi tentada com as devidas precauções*. (GALILEI, *Opere* VIII, p. 63; DNC, p. 21) [grifo nosso].

³⁷ Após o relato de Salviati, Simplicio apresenta as dificuldades: “Não se pode negar que a invenção seja engenhosa, porém ela apresenta muitos inconvenientes que fazem com que *pareça duvidosa*; pois, quem pode assegurar que o ar não possa penetrar entre o vidro e o tampão, apesar de vedá-lo bem com estopa ou outro material flexível? E assim, para que o cone I tampe bem o furo, não seria talvez oportuno untá-lo com cera ou terebintina? Além disso, porque não poderiam dilatar-se e expandir-se as partes da água? Porque não poderia penetrar o ar, os vapores, ou outras substâncias mais sutis através das porosidades da madeira, ou até do próprio vidro?” (GALILEI, *Opere* VIII, p. 63; DNC, 1988, p. 21) [grifo nosso].

Se os erros apontados por Simplicio na realização do experimento de que a água no interior do cilindro poderá vazar por causa dos mínimos buracos ou até por causa da porosidade da madeira ou do vidro não ocorrer, estas *dificuldades reais* foram evitadas com as devidas precauções, sugerindo que o experimento também foi realizado empiricamente. Deste modo, somente um experimento bem conduzido pode “assegurar-me a verdade da conclusão”³⁸, como afirma Sagredo. Contudo, Galileu afirma que *para realizar tal experimento*, ele *imaginou* (*immaginato*) um dispositivo que seria melhor representado através de uma figura, demonstrando assim a estreita relação entre geometria e experimento no debate acerca do procedimento metodológico adotado por Galileu sobre a realização de seus experimentos.

Assim, para os historiadores que defendem um Galileu experimental, as máquinas e os instrumentos não possuem um papel absolutamente secundário dentro da sua concepção científica porque elas podem oferecer uma comprovação observacional de um princípio apresentado; ou o experimento pode oferecer um suporte teórico, e não somente depender dele. Esta concepção dentro da filosofia natural experimental de Galileu foi defendida por Wolfgang Lefèvre. Ao enfatizar a visão de um Galileu engenheiro, em que além de executar experimentos Galileu produzia e manufaturava seus instrumentos, Lefèvre posiciona-se contra a concepção de Koyré de que a ciência do século XVII “não é o produto de engenheiros ou de artesãos, mas de homens cuja obra raramente passou o domínio da teoria”³⁹. Para Lefèvre, Galileu estava inserido numa tradição de engenheiros italianos renascentistas e destaca que a oficina de Galileu também lhe servia “como uma oficina para fabricação de instrumentos que ele ou inventou ou desenvolveu em um modo especial”⁴⁰. Neste sentido, Silvio Bedini, em seu artigo *The instruments of Galileo Galilei*⁴¹, analisa quais os instrumentos científicos e mecânicos foram inventados por Galileu ou dele receberam certa contribuição durante toda sua vida científica, assim como alguns instrumentos que foram associados a ele. Os instrumentos analisados por Bedini vão desde a época em que Galileu era um estudante de medicina em Pisa até a época da elaboração dos *Discursos*, como por exemplo, o *Pulsilogium* (1582-1583), um pequeno pêndulo que marcava as batidas do pulso que

³⁸ GALILEI, *Opere* VIII, p. 60; DNC, p. 19.

³⁹ KOYRÉ, 1991, p. 153. Na nota que acompanha esta citação, Koyré reforça: “A ciência de Descartes e de Galileu foi, bem entendido, extremamente importante para o engenheiro e para o técnico. Afinal, ela provocou uma revolução técnica. Entretanto, não foi criada e desenvolvida nem por engenheiros, nem por técnicos, mas por teóricos e filósofos.” (*Ibidem*, p. 173).

⁴⁰ LEFÈVRE, 2001, p. 12.

⁴¹ BEDINI, 1988, pp. 256 – 292.

estaria associado ao nome de Galileu; o compasso geométrico e militar (1597), uma régua de cálculo que foi aperfeiçoada por Galileu para facilitar operações em problemas práticos de engenharia e de arquitetura militar; o *Giovilabio* (1612), instrumento de cálculo para a contagem dos períodos e distancias dos satélites de Júpiter, entre outros.

Um dos instrumentos mais importantes, que pode oferecer a perspectiva de que o experimentalismo de Galileu possui um papel fundamental na sua ciência, é a balança. Para Peter Machamer (1998), a balança foi de suma importância para Galileu porque a partir dela ele desenvolveu um modelo de inteligibilidade (ou um modelo de equilíbrio) que o guiou por toda a sua atividade científica e filosófica. Machamer faz uma divisão geral da vida e dos trabalhos de Galileu em três partes: os seus trabalhos em mecânica e movimento local; o seu trabalho em astronomia e na defesa do copernicanismo; e nas suas relações e tribulações com a Igreja Católica; contudo, para Machamer, Galileu possuía alguns conceitos básicos que o direcionaram nessas três áreas durante toda a sua vida científica; e o modelo de inteligibilidade que ele desenvolveu a partir do de uma balança foi o mais importante deles, pois “as máquinas simples arquimedianas e as experiências a elas relacionadas tornaram-se o modelo para a teoria e para o experimento”⁴². Podemos perceber esse conceito de equilíbrio em várias passagens na obra de Galileu. No tratado *As mecânicas*⁴³, texto que não foi publicado pelo autor e que provavelmente foi escrito na década de 1590⁴⁴, Galileu identifica as propriedades de todos os instrumentos mecânicos com os movimentos dos corpos pesados mas, antes, afirma:

Aquilo em que todas as ciências demonstrativas é necessário observar, também nós devemos seguir neste tratado: que é propor as definições dos termos próprios desse assunto, e as primeiras suposições a partir das quais, como de fecundíssima sementes, pululam e brotam consequentemente as causas e as verdadeiras demonstrações das propriedades de todos os instrumentos mecânicos, os quais servem tanto mais para o movimento das coisas graves; por isso, determinaremos primeiramente o que seja a gravidade.

Chamemos, portanto, *gravidade* àquela propensão de mover-se naturalmente para baixo, a qual se encontra causada, nos corpos sólidos, pela maior ou menor quantidade de matéria, da qual são constituídos.

Momento é a propensão de ir para baixo, causada não tanto pela gravidade do móvel, quanto pela disposição que possuem entre si os

⁴² MACHAMER, 1998, p. 57.

⁴³ GALILEI, *Opere* II, p. 155 – 190; Tradução brasileira por Pablo Mariconda: Scientiae Studia, São Paulo, v. 6, n. 4, pp. 607-638, 2008.

⁴⁴ MARICONDA, 2008, p. 567.

diferentes corpos graves; momento mediante o qual se verá muitas vezes um corpo menos grave contrapesar outro de maior gravidade, tal como se vê na balança romana um pequenino contrapeso levantar outro peso grandíssimo, não por excesso de gravidade, mas antes pela distância do ponto em que é sustentada a balança; distância que, em conjunção com a gravidade do peso menor, aumenta-lhe o momento e o ímpeto de ir para baixo, com o qual pode exercer o momento de outro grave maior. O momento é, portanto, aquele ímpeto de ir para baixo, composto de gravidade, posição e de outro, do que possa ser causada tal propensão.

Define-se ser o *centro de gravidade*, em cada corpo grave, aquele ponto em torno do qual consistem partes de igual momento, de modo que, imaginando que tal corpo seja por tal ponto suspenso e sustentado, as partes da direita equilibrarão as partes da esquerda, as anteriores equilibrarão as posteriores, e as superiores aquelas inferiores, de modo que o grave, assim sustentado, não se inclinará para parte alguma, mas colocado em qualquer sítio e disposição que se queira, desde que suspenso pelo referido centro, permanecerá firme (...). (GALILEI, *Opere* II, p. 159 - 160; 2008, p. 611) ⁴⁵.

Após definir o que entende por *gravidade*, *momento* e *centro de gravidade*, Galileu apresenta um princípio mecânico “comuníssimo e principalíssimo de boa parte dos instrumentos mecânicos” ⁴⁶, ou seja, da proporcionalidade inversa entre o peso e a distância de suspensão ⁴⁷. Para Machamer, estes três conceitos definidos por Galileu, que se encontram em boa parte das máquinas simples, são um exemplo do modelo de inteligibilidade do equilíbrio de uma balança, usada para definir as propriedades dos instrumentos mecânicos que Galileu expõe no restante do seu texto, tais como: a balança romana, a alavanca, o eixo da roda e o cabrestante (considerados por Galileu como uma alavanca perpétua por dependerem da alavanca) ⁴⁸, as talhas e o plano inclinado. Todos esses instrumentos são, portanto, uma redução do modelo de uma balança, embasando a afirmação de Machamer de que Galileu utilizou-se desse modelo de equilíbrio por toda sua vida.

A partir desta colocação de Machamer, podemos salientar que a proposta geral do tratado *As Mecânicas* é analisar a natureza e as propriedades das máquinas e

⁴⁵ Nota do autor: Apesar de Galileu manter a terminologia do *impetus*, seu significado empregado não é mais o mesmo dos nominalistas parisienses, de força impressa que causa e conserva o movimento, em Galileu o *impetus* passa a ser efeito do movimento (para uma leitura mais profunda sobre esta transição do conceito de *impetus* em Galileu, Cf. KOYRÉ, 1986, p. 127; DRAKE, 1975).

⁴⁶ GALILEI, *Opere* II, p. 161; 2008, p. 612.

⁴⁷ “(...) pesos desiguais penderão de distâncias desiguais pesarão igualmente, sempre que dita distâncias tenham proporção inversa daquela que têm os pesos. Que pesos desiguais pesem igualmente, suspensos a distâncias desiguais, as quais tenham proporção inversa daquela que se encontra terem esses pesos (...)”. *Idem; Idem*.

⁴⁸ *Ibidem*; p. 167; *Ibidem*, p. 618.

instrumentos. De início, o primeiro tópico do título, *Das utilidades que se obtêm da Ciência Mecânica e de seus instrumentos*, analisado por Galileu, procura estabelecer algumas comodidades no uso de algumas máquinas simples, seja no seu uso cotidiano ou nos seus benefícios para a Mecânica. Com isso, podemos perceber que a proposta de Galileu neste texto está em conformidade com a fala de Salviati que abre a discussão sobre a ciência das resistências dos materiais na Primeira Jornada dos *Discursos*, que versa sobre a Mecânica e seus instrumentos. A fala de Salviati atesta para o benefício da prática dos artesãos para o campo filosófico:

Salviati - Parece-me que *a frequente atividade do vosso arsenal, Senhores Venezianos, oferece vasto campo filosófico às inteligências especulativas e, particularmente, naquela matéria que se denomina mecânica, posto que nesse lugar se constroem continuamente todo tipo de instrumento e máquinas por numerosos artesãos*, entre os quais é possível que existam, devido tanto às observações feitas pelos antepassados, como pelas que fazem continuamente por sua própria reflexão, alguns que aliam sua perícia a um raciocínio profundo. (GALILEI, *Opere* VIII, p. 49; DNC, p. 11) [grifo nosso].

Assim, no que se refere ao experimento e como ele é visto dentro da metodologia galileana, Alistair Combrie, ao comentar a lei da queda dos corpos, afirma:

Sua verificação experimental consistia em uma série de medidas que mostravam as variações concomitantes de espaço percorrido e do tempo transcorrido. Se as consequências de suas hipóteses se verificavam, considerava essa hipótese como uma expressão verdadeira de ordem natural. Se não eram, tentava de novo, até que chegava a uma hipótese que era verificada; e então no caso concreto, por exemplo, os fatos observados sobre as quedas dos corpos, eram explicados mostrando que eram uma consequência de uma lei geral. O objetivo da ciência de Galileu era explicar os fatos concretos observados demonstrando que eram consequências de leis gerais, e construir um sistema completo dessas leis no que as mais particulares foram consequências das mais gerais. Em tudo isto era importantíssimo o papel da intuição (...). A intuição intelectual, a abstração, e a análise matemática descobriam as possibilidades hipotéticas; o experimento se fazia indispensável eliminar as falsas hipóteses entre elas e para identificar e verificar as verdadeiras. Uma hipótese verificada desse modo era uma autêntica visão intuitiva dos detalhes da estrutura real do mundo. (COMBRIE, 1974, p.134).

Podemos ver claramente, de modo geral, que a partir de algumas passagens envolvendo o método empregado por Galileu, se desencadearam duas interpretações acerca do papel do experimento no seu procedimento científico, de um lado, há um

grupo de historiadores que afirmam que a filosofia natural de Galileu era especulativa, pois ele não realizava os experimentos que descrevia, seja porque, por dedução teórica e geométrica ele já conhecia o resultado do experimento antes mesmo de sua realização empírica, motivo pelo qual ele se recusou realiza-los, ou pela impossibilidade dele ser executado empiricamente, como também pela falta de instrumento adequado, sendo eles denominados de *experimentos mentais*; de outro, há os historiadores que afirmam que Galileu realizava empiricamente os experimentos que descrevia, especialmente na Mecânica, pois Galileu utilizava-se de instrumentos e aparatos para verificar teorias, com isso, um experimento empírico não pode ter um papel absolutamente secundário dentro de sua ciência, além de verificá-las, um experimento pode oferecer um suporte teórico, e não somente depender deles, pois os instrumentos e máquinas da Mecânica também podem oferecer *vasto campo filosófico às inteligências especulativas*. A partir destas duas vertentes interpretativas sobre a filosofia natural de Galileu, devemos observar que há também um grupo de historiadores que se posicionam contra o debate sobre qual era a prioridade metodológica (teórica ou experimental) do autor. A questão que esses historiadores colocam é: em sua metodologia científica, Galileu deu preferência a algum tipo de procedimento? Não em todos os casos. É importante perceber que o experimento na física de Galileu não possui um papel único e que uma caracterização mais específica de sua ciência não vem dele próprio, e sim dos intérpretes que visam sustentar suas concepções de *ciência* na revolução científica. Deste modo, Dawes afirma que “esta discussão é mais biográfica do que filosófica”⁴⁹, enquanto Michael Segre diz que,

(...) lamentavelmente, historiadores da ciência tornam-se, melhor dito, partidários: eles todos admiram Galileu, e estão contentes em atribuir a ele visões que eles aprovam e estão relutantes a atribuir a ele visões às quais eles se opõem. É, portanto, desnecessário e a-histórico tentar e atribuir a Galileu a própria visão sobre o método científico. (SEGRE, 2008, p. 90).

Galileu não foi inteiramente e unicamente um racionalista ou empirista porque os dois processos metodológicos fazem parte de sua ciência, assim como outras metodologias. A própria organização da Primeira Jornada do *Diálogo*, por exemplo, demonstra que a argumentação *a priori* e *a posteriori* formavam todo um conjunto argumentativo contra a cosmologia bipartida aristotélica a partir dos movimentos

⁴⁹ DAWES, sem data, p. 6.

naturais ⁵⁰. A preocupação de Galileu não é discorrer sobre seu método, tal como Descartes o fez, mas, diante do seu procedimento científico, é enquadrar todo o seu

⁵⁰ Fátima Évora reconstrói o pensamento de Aristóteles em seu artigo *Natureza e Movimento: um estudo da física e da cosmologia aristotélicas*. Segundo a autora, para Aristóteles estes movimentos representam um papel fundamental para a desenvoltura de sua cosmologia. É na análise destes movimentos naturais que Aristóteles diferencia o universo em dois mundos distintos entre si: o mundo sublunar (que vai da Terra a Lua) e o mundo supralunar (que vai da Lua até a esfera das estrelas fixas), ou seja: entre a Terra e o Céu. Deste modo, existem na natureza dois tipos de movimentos: o movimento simples, a saber, o retilíneo e o circular (pois numa explicação geométrica, entre as linhas, somente a reta e o círculo são simples); e o movimento misto (através de combinações entre o retilíneo e o circular). Para os movimentos simples existem corpos simples que se movem de acordo com sua constituição e que possuem um princípio único de movimento na sua natureza. Esses movimentos são realizados retilineamente (para cima, a partir do centro; ou para baixo, em direção ao centro) ou circularmente (ao redor do centro). Os corpos que, através de seus movimentos naturais, se dirigem para seu determinado lugar natural, não necessitam de uma causa externa para suas respectivas locomoções, ou seja, estes corpos se movem através de tendências naturais de acordo com os elementos. Este movimento é natural, sendo que um movimento natural para um corpo é não-natural para outro, logo, quando atiramos uma pedra para cima, o movimento que ela obedece é contranatural, pois a pedra, por ser uma corpo pesado, tende ao seu lugar natural que é para baixo, ou seja para o centro. O movimento contranatural acontece através de uma causa externa ao corpo, por isso Aristóteles classifica-o como movimento violento. Partindo desta concepção básica do movimento e do movimento dos corpos, Aristóteles estrutura sua cosmologia: o movimento de um corpo é determinado por seu elemento predominante, fazendo com que o cosmo aristotélico seja perfeitamente ordenado de acordo com seus constituintes. O movimento retilíneo para baixo corresponde ao elemento terra, pois este é o elemento mais pesado e que desce em direção ao centro, sendo que, com isso, a Terra localiza-se no centro do universo. A Água, com sua tendência para baixo, porém menos pesada que a terra, permanece sobre a superfície da Terra. O ar, por sua vez, é leve e se localiza acima da superfície da terra e da água, e abaixo do fogo. Este, por último na escala aristotélica dos elementos, obedece ao movimento retilíneo do centro para cima, ultrapassando o ar e sendo o elemento mais leve. Estes elementos são terrestres, ou seja, participam do mundo sublunar e correspondem a todos os corpos na Terra, sendo que todas as coisas são formadas a partir deles ou de combinações entre eles. Contudo, se os corpos terrestres obedecem a movimentos simples retilíneos, será necessário admitir a existência de um quinto elemento para o movimento natural simples circular, fora do domínio dos movimentos retilíneos. Uma vez que este elemento não se encontra na região terrestre, localiza-se na região celeste, e a este elemento Aristóteles denominou de éter. Por ser o elemento que rege o mundo supralunar, o éter não pode ser leve nem pesado, ele está isento das condições em que se encontram os corpos terrestres. Se o éter admitisse a leveza, a tendência natural do corpo para cima, ou a gravidade, tendência natural do corpo para baixo, como sendo natural ao seu corpo, ele não pertenceria à região celeste, e sim, à terrestre. Estando imune ao movimento retilíneo, o éter move-se circularmente e, com isso, não admite contrários: numa reta, um movimento que vai do ponto A até o ponto B, tem seu contrário como o movimento que vai do ponto B para o ponto A, isto é possível para o movimento retilíneo, porém impossível para o movimento circular; neste, o ponto de partida coincide com o ponto de chegada e, conseqüentemente, sob uma perspectiva geométrica, não há nada contrário ao círculo. Este pensamento aristotélico também está associado com a concepção de lugar, pois o acima e o abaixo são diferenças e contrariedades de lugar. Conseqüentemente, o éter também não possui contrários, visto que na física aristotélica cada movimento natural está intrinsecamente ligado a seu corpo. Aristóteles consideraria então que o movimento circular é anterior ao movimento retilíneo e, por isto, o éter deve ser necessariamente anterior aos elementos de movimentos retilíneos, ou seja, aos elementos terrestres: terra, água, ar e fogo; sendo, assim, o éter considerado por Aristóteles como o primeiro corpo da natureza, por ser anterior aos corpos terrestres, e eterno. Destas considerações sobre o éter, segue-se que os corpos celestes não possuem leveza ou gravidade, não possuem contrários, não são geráveis ou corruptíveis, sendo eternos e imutáveis; desta maneira a região celeste escapa à teoria da mudança aristotélica, reservada somente aos corpos terrestres, que são mutáveis. O círculo é a figura mais perfeita de todas e, conseqüentemente, é mais perfeita do que a reta, e o que se movimenta sobre uma linha circular perfeita é também perfeito e anterior ao que se move retilineamente. Segue-se, então, que os corpos celestes são superiores e anteriores aos corpos terrestres, as regiões terrestre e celeste são distintas e governadas por leis distintas. O Céu é diferente da Terra. E a partir do seu estudo sobre o movimento que Aristóteles desenvolve sua cosmologia: o universo é composto por duas esferas, o mundo sublunar e o supralunar. O mundo sublunar é constituído por quatro elementos, a terra, a água, o ar e o fogo. Estes quatro elementos

pensamento, ou pelo menos boa parte dele, a alguma classificação epistêmica mais específica; o que cremos ser uma atitude interpretativa equivocada. Quanto à interpretação dos comentadores, Segre afirma:

Nós podemos assim ver quanto errado pode ser abusar de uma abordagem metodológica quando tratando de um problema histórico específico, tal como o problema do experimento na física de Galileu; Pode-se ser levado a fazer perguntas erradas produzindo respostas a-históricas. Isto é bem visto no caso do platonismo de Koyré e no caso do indutivismo de Drake. Ambas questões desmoronam-se diante desta questão: Qual era a visão própria de Galileu sobre o papel do experimento no seu trabalho? Koyré, bem como Drake e outros historiadores podem ficar desapontados ao constatar que mesmo Galileu não foi tão consistente quanto eles teriam desejado que ele fosse. (SEGRE, 2008, p. 114).

Obviamente, não podemos descartar o estudo que estes importantes e fluentes historiadores forneceram, uma vez que todas estas interpretações indicam aspectos relevantes de como Galileu desenvolveu sua ciência. Deste modo, um aspecto desta ciência, que também foi alvo de debates e análises entre os comentadores, diz respeito aos *experimentos mentais* (ou *experimentos de pensamento*), pois sua definição na utilização deste tipo de experimento por Galileu varia em cada historiador. Vejamos um exemplo: na primeira jornada do *Diálogo*, Galileu alude a um experimento mental onde a Terra é perfurada no seu centro. Sagredo usa esse experimento para sustentar a ideia de Salviati de que um corpo quando cai, “o ímpeto adquirido em qualquer lugar de seu movimento é tanto que seria suficiente para reconduzi-lo àquela altura da qual partiu”

são mutáveis e imperfeitos, se movimentam retilineamente, seja a partir do centro ou para o centro, ou se movem aleatoriamente com a junção de movimentos retilíneos e circulares. Na esfera supralunar, mundo eterno e idêntico a si mesmo, os corpos são perfeitos e se movem circularmente, eles se movem a partir do movimento da esfera das estrelas fixas, que ao mover-se, faz com que os corpos celestes participem do seu movimento, fazendo com que todos os corpos celestes movam-se circularmente. Esta esfera é a primeira de uma sequência de esferas onde cada astro se encontra, existindo, no total, cinquenta e cinco esferas (ou quarenta e sete, caso não acrescenta as esferas dos movimentos da Lua e do Sol), após a última, encerra-se o universo e para além dele, nada há. A esfera das estrelas fixas é o lugar universal, onde tudo se encontra, ela contém todas as coisas do universo. Aristóteles deduz também que a Terra não se move, ela permanece fixa e imóvel no centro do universo, enquanto a Lua, o Sol e os demais astros movem-se circularmente ao seu redor. O cosmo aristotélico é, portanto, ordenado, hierarquizado, finito, imutável (pois além de não possuir contrários, nunca se observou alguma alteração no céu) e perfeito (pois é composto da matéria perfeita, o éter). (ÉVORA, Fátima Regina R. *Natureza e Movimento: um estudo da física e da cosmologia aristotélicas*. Cad. Hist. Fil. Ci., Campinas, Série 3, v. 15, n. 1, p. 127-170, jan.-jun. 2005; ARISTOTLE. *The complete Works Aristotle*. The revised Oxford translation, edited by Jonathan Barnes - *Physics*, p. 315 – 447 - *On the Heavens*, p. 447 – 512, 1995; ARISTÓTELES, *Física*. Trad. Lucas Angioni, Editora da Unicamp, Campinas, 2009; ARISTÓTELES, *Metafísica*. Tradução de Leonel Vallandro, Editora Globo, Porto Alegre, 1969).

⁵¹. Após Salviati perguntar a Sagredo se ele concorda com este princípio, Sagredo afirma:

Sagredo: Concedê-lo-ia sem contradição, sempre que se pudesse aplicar à bala, sem impedimento, todo seu ímpeto apenas naquela operação de reconduzir a si mesma, ou outro igual a si, àquela mesma altura; como aconteceria se a Terra fosse perfurada pelo centro e quando se deixasse cair a bala a partir de um afastamento de cem ou mil braças desse centro; acredito que certamente ela passaria além do centro, afastando-se tanto quanto caiu: o que a experiência mostra acontecer com um peso pendente de uma corda, que removido da perpendicular, que é o seu estado de repouso, e deixando depois em liberdade, cai em direção à mencionada perpendicular e a transpõe por um espaço igual, ou somente aquele tanto a menos quanto foi o impedimento da oposição do ar e da corda ou de outros acidentes. Mostra-me o mesmo a água, que descendo por um sifão, volta a subir tanto quanto foi sua descida. (GALILEI, *Opere* VII, p. 46-47; 2011, p. 108).

Galileu utiliza do exemplo da Terra que é perfurada pelo seu centro, cuja bala jogada da perpendicular de cem ou mil braças atingiria seu próprio centro e ultrapassaria até a altura pela qual foi jogado, e para reforçar seu argumento compara este movimento com um pêndulo e com o movimento da água que desce por um sifão. Com este exemplo, como podemos definir o experimento mental da Terra perfurada até o seu centro? Para James Brown, no seu artigo *Thought experiments since the Scientific Revolution* (1986), “um genuíno experimento de pensamento não pode ser realizado, em princípio. Ele é ou tecnologicamente, fisicamente, ou conceitualmente impossível”. ⁵² Tamar Gendler, no artigo *Thought Experiments Rethought - and Reperceived*, afirma que este tipo de experimento é “a razão sobre um cenário imaginário com o objetivo de confirmar ou negar algumas hipóteses ou teorias” ⁵³, com isso, para realizar um “*experimento de pensamento científico*”, é necessário obter “a razão sobre um cenário imaginário com o objetivo de confirmar ou negar algumas hipóteses ou teorias *sobre o mundo físico*” ⁵⁴. James McAllister, por sua vez, acredita que este tipo de experimento, “como um experimento concreto, fornece evidências sobre o mundo; e um experimento de pensamento estabelece ou desacredita a afirmação científica no modo que um experimento concreto faz, à luz da evidência sobre o mundo que ele fornece” ⁵⁵. John

⁵¹ GALILEI, *Opere* VII, p. 46; 2011, p. 108.

⁵² BROWN, 1986, p. 3.

⁵³ GENDLER, 2004, p. 1154.

⁵⁴ *Idem*.

⁵⁵ MCALLISTER, 1996, p. 233.

Norton alega que experimentos mentais “são apenas argumentações comuns, disfarçadas de alguma pintura vívida ou forma narrativa”⁵⁶, pois, mesmo que ele seja definido como um experimento *mental*, este tipo de experimento não transcende o empírico. Thomas Kuhn, no artigo *Uma função para os experimentos mentais*⁵⁷, afirma de modo semelhante,

Todo experimento mental bem sucedido inclui um esboço de alguma informação prévia sobre o mundo, essa informação não está em questão no experimento. Reciprocamente, se estivéssemos lidando com um experimento real, os dados empíricos sobre os quais ele se baseia seriam bem conhecidos e amplamente aceitos antes de o próprio experimento ser ao menos concebido. (KUHN, 2011, p. 258).

Mais adiante em seu artigo, Kuhn afirma:

Um experimento mental deve apresentar uma situação normal, isto é, uma situação com a qual a pessoa que analisar o experimento se sinta bem equipada – por sua experiência anterior – para lidar. Nada na situação imaginada pode ser inteiramente estranho ou pouco familiar antes que o experimento seja realizado (KUHN, 2011, p. 269).

Deste modo, apesar das definições dadas pelos historiadores do que possa ser um experimento mental diferir em alguns poucos aspectos entre si⁵⁸, podemos afirmar que, em geral, há uma concordância em supor que esses experimentos - e, preferencialmente, experimentos mentais no âmbito científico -, possuem relações com o mundo real, posto que eles utilizam-se dos resultados de experiências que previamente já conhecemos do mundo concreto. Contudo, a definição sobre esses experimentos pode variar de cada autor e em cada época; pois, como bem lembra Kuhn, “é evidente que nenhum experimento mental pode, por si só, tipificar todos aqueles que foram historicamente importantes”⁵⁹, entretanto, podemos dividir este relato de Sagredo em duas partes: a primeira refere-se a um experimento mental, pois é fisicamente impossível dispormos de uma perfuração no centro da Terra; a segunda é que Sagredo associa este experimento mental a um experimento real, uma vez que ele vincula o movimento da

⁵⁶ NORTON, 2004, p. 1139.

⁵⁷ KUHN, 2011, pp. 257-282.

⁵⁸ Para Kuhn, por exemplo, um experimento mental “não é uma compreensão da natureza, e sim do *aparato conceitual* do cientista” (p. 259), ou seja, quando o cientista faz uso dos experimentos de pensamentos, o que ele busca é encontrar contradições internas nos seus conceitos para substituí-los.

⁵⁹ KUHN, 2011, p. 258.

bala que cai no centro da Terra ao movimento que podemos realizar e observar num pêndulo, o que pode demonstrar que, como afirmaram os comentadores citados, um experimento mental pode ser estabelecido a partir de relações com o que ocorre em um experimento real para transpormos os mesmo efeitos a um meio idealizado (isto em um contexto galileano). Assim, para demonstrar o mesmo princípio de que um corpo em queda adquire um ímpeto que em qualquer ponto de seu movimento possui a mesma força para elevar-se ao mesmo lugar que iniciou o seu movimento, Galileu recorre tanto a um experimento mental quanto a um experimento real e, com isso, acreditamos poder destacar outra característica dos experimentos galileanos: a de servir como uma idealização ou um meio comparativo entre o que é possível e o que está ao nosso alcance realizarmos, e o que não é possível porque não podemos realizar, seja por causa do contexto em que precisamos realizar o experimento, seja por ser fisicamente impossível.

Podemos encontrar este paralelo no experimento do plano inclinado. Apesar destas poucas diferenças sobre o que estes historiadores defendem ser um experimento mental, um exemplo por eles utilizado é unânime: a lei da queda dos corpos no vácuo descrito na Primeira Jornada dos *Discursos* contra a posição aristotélica de que a velocidade da queda de um corpo depende de seu peso ⁶⁰. De acordo com Koyré, a lei da queda dos corpos é dividida em duas partes ⁶¹: na primeira, ela diz que um corpo que cai, cai com uma crescente aceleração a partir do repouso; e a segunda, diz que a velocidade dos corpos em queda no vácuo é a mesma. A primeira parte desta lei é composta de um experimento empírico realizado através de um plano inclinado, e a segunda parte é composta de um experimento mental, pois Galileu não dispunha de um imenso espaço vazio para deixar cair diferentes corpos de diferentes pesos e materiais. Ao nosso ver, visto que um experimento na Física de Galileu pode servir para vários propósitos (de acordo com o experimento proposto), o experimento do plano inclinado também lhe serviu como base comparativa entre um meio material (o nosso ambiente) e um meio imaterial que ele não dispunha (o vácuo). A partir do exposto, analisaremos, portanto, a lei da queda dos corpos em Galileu, contudo, antes se faz necessário analisar a sua matemática, pois esta é de fundamental importância para aquela lei.

⁶⁰ No seu artigo e, de acordo com seu propósito, Kuhn trabalha com o conceito de velocidade no plano inclinado descrito no início da primeira jornada dos Diálogos de Galileu.

⁶¹ KOYRÉ, 1986, p. 105, nota 169.

Capítulo 2

A matemática como linguagem da natureza.

I - O livro dos homens e o livro da natureza: o uso da matemática por Galileu.

Um primeiro aspecto que podemos observar sobre a matemática de Galileu é o debate religioso em que estava inserido na década de 1610. A partir das observações astronômicas com o telescópio e da consequente publicação do *Sidereus Nuncius* (*O Mensageiro das Estrelas*, ou *Mensagem das estrelas*)⁶² em 1610, livro que reunia diversas informações sobre as observações astronômicas, como da Lua e dos satélites naturais de Júpiter (chamados por Galileu de estrelas), inicia-se o denominado período polêmico da vida de Galileu (1610-1633)⁶³. Estas observações serviram como base empírica para o sistema copernicano⁶⁴, direcionando o autor a um debate religioso

⁶² GALILEI, *Opere* III (1), pp. 51 – 96; Edição portuguesa: *O Mensageiro das Estrelas*, Trad. de Henrique Leitão; 2010 (para referências diretas: MDE).

⁶³ De acordo com MARICONDA & VASCONCELOS (2006, p. 17 – 19), podemos dividir a biografia científica de Galileu em quatro períodos: O *período pisano* (1589-1592), período no qual Galileu inicia na Universidade de Pisa a carreira de professor de matemática e desenvolve seus primeiros estudos sobre o movimento; o *período paduano* (1592 – 1610), quando Galileu vai para a Universidade de Pádua e se dedica ao estudo da mecânica; o *período polêmico* (1610 - 1633), caracterizado pela defesa do copernicanismo desde a publicação do *Sidereus Nuncius* em 1610 até sua condenação pela Inquisição romana devido ao *Diálogo* - o período polêmico divide-se em três fases: (a) a fase da *polêmica teológica-cosmológica* (1610 - 1616), (b) a *fase das disputas sobre os padrões científicos* (1616 – 1623), e (c) a *fase de elaboração do Diálogo* (1624 – 1633); por fim, o *período da retomada da mecânica* (1633 - 1642).

⁶⁴ As teorias de Copérnico sobre a mobilidade da Terra e imobilidade do Sol foram interpretadas como a tradição astronômica de *salvar os fenômenos*, ou a tradição *instrumentalista*. O termo *instrumentalismo* foi definido por Karl Popper para a atitude antirrealista de descompromisso ontológico, na qual “uma teoria científica não explica o mundo, nem o descreve: é apenas um instrumento” (POPPER, 1982, p. 130), ou seja, o instrumentalismo é a doutrina filosófica que afirma que as hipóteses matemáticas servem como cálculos que somente predizem os movimentos dos corpos celestes, salvando os fenômenos, sendo que estes mesmos cálculos não correspondem com a realidade física. Esta tradição provém da antiguidade clássica, conforme Thomas Kuhn, “os cientistas helenísticos aceitavam sem nenhum mal estar aparente uma tácita e parcial separação entre a astronomia e a cosmologia. Segundo seu ponto de vista, um método matemático satisfatório para prever a posição dos planetas não tinha por que estar em completo acordo com as exigências psicológicas de verossimilhança cosmológica” (KUHN *apud* MOSCHETTI, 2003, p.195). Laudan lembra que Simplicius, no seu comentário à *Física* de Aristóteles, cita Geminus (século primeiro depois de Cristo), pois este teria afirmado que: “O astrônomo e o físico terão, em muitos casos, o objetivo de demonstrar a mesma coisa... mas não procederão pelo mesmo caminho. O físico demonstrará cada fato mediante considerações de essência ou substância... o astrônomo demonstrará esses fatos pelas propriedades das figuras ou magnitudes ou pela quantidade de movimento e o tempo que lhe é apropriado. Além disso, o físico, em muitos casos, alcançará a causa ao procurar uma força criadora, mas o astrônomo... não está qualificado para decidir sobre a causa.” (SIMPLICIUS *apud* LAUDAN, 2000, p. 28). Assim, a Astronomia e a Cosmologia (ou a Matemática e a Física) seriam distintas segundo seus

contra os teólogos acerca da veracidade das teorias propostas por Copérnico. Neste período Galileu manteve correspondências que giravam em torno deste debate, nas quais destacam-se a *Carta ao Padre Benedetto Castelli*,⁶⁵ de 1613; e a *Carta à Senhora Cristina de Lorena, Grã-Duquesa Mãe de Toscana*⁶⁶, de 1615, onde Galileu desenvolve a argumentação apresentada na carta a Castelli. Este debate religioso é marcado por algumas características de natureza epistemológica, que mostra a defesa do conhecimento científico como o mais apropriado para se investigar a natureza, diferentemente do conhecimento obtido através da fé nas sagradas escrituras; e de natureza metodológica, como a crítica do uso da autoridade religiosa frente ao estudo da natureza.

Uma das principais características destas cartas é a diferença que Galileu traça a respeito do livro dos homens e do livro da natureza, ambas criações divinas, mas diferentes entre si. Na *Carta ao Padre Benedetto Castelli* Galileu trata de alguns “aspectos gerais acerca da tentativa de incluir a sagrada escritura em discussões que

alcances epistemológicos, fazendo com que esta distinção chegasse até a época de Copérnico e Galileu. Esta tradição instrumentalista da relação astronomia-realidade permitiu a interpretação da obra de Copérnico (1473-1543), *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Das revoluções das esferas celestes), onde o autor encarava suas teorias como hipóteses que não correspondiam à realidade devido ao prefácio não assinado incluído por seu editor, o teólogo luterano Andreas Osiander, intitulado *Ad Lactorem de hypothesis huius operis* (Ao leitor, sobre as hipóteses desta obra). Na obra, o astrônomo polaco apresentou suas teorias sobre a movimentação da Terra e dos corpos celestes, cujos movimentos aparentes decorrem desta movimentação do globo, o que contrariava o sistema astronômico e cosmológico de Ptolomeu e Aristóteles. No prefácio Osiander declara as teses copernicanas como meras hipóteses matemáticas para efeitos de cálculo, definindo a astronomia - e em especial a de Copérnico - como uma ciência na qual seus meros cálculos somente predizem, “salvam os fenômenos” dos movimentos dos corpos celestes. Para o luterano a astronomia não revela a verdade, não alcança as verdadeiras causas dos movimentos aparentes do céu, pois é “próprio dos astrônomos” apenas descrever, calcular estes movimentos e comprová-los em conformidade com suas hipóteses, estipuladas através de cálculos e da geometria, pois, fora do âmbito descritivo, somente um “ignorante em geometria e em ótica” (OSIANDER *apud* LOPARIC, 1980, p. 57-58) não observa o fato de que as descrições dos astrônomos não condizem com a realidade. O sistema de Copérnico já era bastante conhecido na época de Galileu, contudo, foi amplamente difundido que o próprio Copérnico tomava suas teorias para efeitos de cálculos sem compromisso com a realidade. Ademias, a obra de Copérnico era quase inteiramente uma obra matemática, e o novo sistema matemático heliocêntrico exigia um fundamento físico (justamente pela disparidade tradicional que havia entre a matemática e a física). Exigência esta que Copérnico não convenceu, segundo MARICONDA & VASCONCELOS (2006, p. 53 - 54), “O principal problema enfrentado pelo sistema heliocêntrico de Copérnico está, sem dúvida, na falta de evidência empírica em favor de suas hipóteses. De fato, não há quem possa, com base na experiência comum, hoje e o no século XVII, afirmar que se dá conta dos movimentos terrestres. Quem pode, por exemplo, dizer que se percebe que a Terra gira em torno de si mesma? O fato de o Sol e os demais astros nascerem todo dia a leste e porem-se a oeste não prova que a Terra gira; ao contrário, fortalece o ponto de vista geocêntrico de que a Terra está parada no centro, em torno do qual vemos todos os corpos celestes moverem-se em movimento circular”. Deste modo, as novidades das observações astronômicas de Galileu com o telescópio e com elas os argumentos físicos da movimentação da Terra ao redor do Sol e de seu próprio eixo, forneceram evidências empíricas ao sistema matemático heliocêntrico de Copérnico.

⁶⁵ GALILEI, *Opere* V, pp. 279 – 288; 1988, pp. 17-24. Benedetto Castelli (1578 – 1643) foi professor de matemática na Universidade de Pisa, era discípulo e amigo de Galileu.

⁶⁶ *Ibidem*, pp. 307- 348; *Ibidem*, pp. 41-81.

levam a conclusões naturais”⁶⁷, como a passagem bíblica de Josué: Deus, a pedido de Josué, ordenou que o Sol parasse o seu movimento para o dia prolongar-se e o exército de Israel ganhasse a batalha⁶⁸. O relato bíblico de Josué era utilizado pelos teólogos como argumento em oposição à teoria da mobilidade da Terra e estabilidade do Sol, pois se Deus fez o Sol parar o seu movimento, a teoria aristotélico-ptolomaica da estabilidade da Terra e mobilidade do Sol condizia com a Escritura, para os teólogos isto não podia ser negado. Entretanto, Galileu também não nega esta passagem. Para ele a Sagrada Escritura não pode jamais “mentir ou errar”⁶⁹, a contradição aparente não está nas Escrituras e sim em seus intérpretes que, por muitas vezes, detendo-se somente nos meros significados das palavras não apreendem o seu verdadeiro sentido, produzindo diversas contradições e heresias, “pois, se assim fosse, seria necessário dar a Deus pés, mãos e olhos, e também sentimentos materiais e humanos como a ira, o ódio, e por vezes também o esquecimento das coisas passadas e a ignorância das coisas futuras”⁷⁰. Neste sentido, embora as Sagradas Escrituras e a Natureza procedessem igualmente do Verbo Divino, o método de emprega-las difere-se entre si. Na carta a Cristina de Lorena, Galileu afirma:

Sendo, portanto, assim, parece-me que, nas discussões de problemas concernentes à Natureza, não se deveria começar com a autoridade de passagens das Escrituras, *mas com experiências sensíveis e demonstrações necessárias*. Porque a Sagrada Escritura e a Natureza, procedendo igualmente do verbo divino, aquela como ditado do Espírito Santo e esta como executante muito obediente das ordens de Deus; sendo, além disso, adequado nas Escrituras, para adaptar-se ao entendimento da generalidade das pessoas, dizer muitas coisas distintas, na aparência e quanto ao significado nu das palavras, da verdade absoluta; mas, *ao contrário, sendo a natureza inexorável e imutável e jamais ultrapassado os limites das leis a ela impostas, como aquela em que nada se preocupa se suas recônditas razões e modo de operar estão ou não estão ao alcance da capacidade dos homens: parece, quanto aos efeitos naturais, que aquilo que deles a experiência sensível nos coloca diante dos olhos, ou as demonstrações necessárias nos fazem concluir, não deve de modo nenhum ser revocado em dúvida, menos ainda condenado, através de passagens*

⁶⁷ *Op. Cit.*, p. 282; p. 18.

⁶⁸ Josué 10 – 12, 13: “Josué Falou ao senhor no dia em que ele entregou os amorreus nas mãos dos filhos de Israel, e disse em presença dos israelitas: ‘Sol, detém-se sobre Gabaon, E tu, ó lua, sobre o vale de Ajalon’. E o Sol parou, e a lua não se moveu até que o povo se vingou de seus inimigos. Isto acha-se escrito no *Livro do Justo*. O Sol parou no meio do céu, e não se apressou a pôr-se pelo espaço de quase um dia inteiro.” (Bíblia Sagrada, 1994, p. 262).

⁶⁹ *Op. Cit.*, *idem*; *ibidem*.

⁷⁰ *Op. Cit.*, V, p. 282; 1988, p. 18.

da Escritura que tivessem aparência distinta das palavras (GALILEI, *Opere* V, p. 316 – 317; 1988, p. 49) [grifo nosso]⁷¹.

De acordo com Galileu, o modo mais seguro na investigação da natureza constitui-se de experiências sensíveis e demonstrações necessárias, não pelo testemunho das sagradas escrituras, apesar de ambos os livros escritos por Deus possuírem a mesma verdade. Por não se contradizerem⁷² o método de compreensão de seus objetos são distintos, permitindo que Galileu delimite e diferencie ciência de religião. Como bem lembra Nascimento⁷³, em seu comentário a tradução da carta a Lorena, é neste trecho, acima citado, que Galileu especifica a ciência como sendo aquela que utiliza experiências sensíveis (como no caso da astronomia, tema do debate da carta), observações, razões e demonstrações necessárias porque seu discurso deriva das demonstrações, contrariamente ao discurso religioso, derivado da fé. Ademais, se este discurso não for interpretado corretamente, ele surgirá de razões prováveis, ou da opinião. Neste sentido, devido às diversas interpretações errôneas que podem oferecer, as sagradas escrituras deveriam ser citadas somente em último lugar. Na carta a Castelli, no exemplo da leitura da passagem de Josué, o Sol parou e o dia se prolongou para que Josué e seu exército conseguissem a vitória somente numa leitura “tomada exatamente em seu sentido literal”⁷⁴, ou seja, Galileu afirma o oposto do que os intérpretes das sagradas escrituras sustentam, para ele a passagem de Josué “nos mostra manifestadamente a falsidade e a impossibilidade do sistema de Aristóteles e Ptolomeu pela qual, ao contrário, se adapta perfeitamente no sistema de Copérnico”⁷⁵. Ainda na carta a Castelli, o contra-argumento de Galileu sobre a passagem de Josué está disposto em três interrogações: 1º) O adversário sabe quais são os movimentos do Sol? Se sim, afirmará que há dois, um movimento anual e outro nascente; 2º) Estes movimentos (que são contrários entre si) pertencem ao Sol ou ambos lhe são igualmente próprios? É

⁷¹ Na carta a Castelli, Galileu havia argumentado de modo semelhante, mas coloca as Escrituras em última instância: “Visto, pois, que a Escritura, em muitas passagens, não apenas permite, mas necessariamente exige exposições diferentes do aparente significado das palavras, parece-me que nas discussões naturais ela deveria ser citada somente em última instância” (GALILEI, *Opere* V, p. 282; 1988, p. 19).

⁷² Afirma Galileu: “Assim sendo, e sendo, ainda mais, pacífico que *duas verdades não podem jamais se contradizer*, é função dos sábios expositores e intérpretes empenharem-se em estabelecer o verdadeiro sentido das passagens sagradas, de forma *a concordarem elas com as conclusões naturais acerca das quais o sentido evidente ou as necessárias demonstrações tornam-se certos e seguros*.” (GALILEI, 1988, p. 19-20) [grifo nosso].

⁷³ NASCIMENTO, 1983, pp. 91-123.

⁷⁴ *Op. Cit.*, V, p. 286; 1988, p. 22.

⁷⁵ *Op. Cit.*, *Idem*; *Idem*, p. 18.

forçoso dizer que não, pois um pertence ao Sol e outro pertence ao Céu altíssimo do primeiro móvel; 3º) Com qual desses dois movimentos o Sol produz o dia e a noite? É forçoso responder que não é com o próprio movimento do Sol, e sim com o movimento do primeiro móvel. A conclusão de Galileu é a seguinte:

Ora, se o dia depende não do movimento do Sol, mas do movimento do primeiro móvel, quem não vê que para prolongar o dia é necessário deter o primeiro móvel, e não o Sol? Assim sendo, haverá alguém que, entendendo estes primários elementos de astronomia, não entenda que, se Deus houvesse detido o movimento do Sol, teria diminuído o dia, tornando-o mais breve ao invés de prolongá-lo? (...) Sendo, pois, impossível, no sistema de Aristóteles e Ptolomeu, deter o movimento do Sol e prolongar o dia, como a Escritura afirma ter acontecido, ou é necessário que os movimentos não sejam ordenados como quer Ptolomeu, ou então é necessário alterar o sentido das palavras e dizer que, quando a Escritura afirmou haver Deus detido o Sol, queria afirmar que ele detia o primeiro móvel, mas que, a fim de se acomodar à capacidade de compreensão daqueles que já têm dificuldade de entender apenas o nascimento e o ocaso do Sol, ela foi compelida a falar o contrário daquilo que deveria ter afirmado dirigindo-se a homens doutos. (GALILEI, *Opere* V, p. 286 – 287; Cartas 1988, p. 23).

Na carta que enviou a Senhora Cristina de Lorena, Galileu desenvolve o argumento de Josué com base no que disse na carta a Castelli, mas acrescenta que, quando Josué parou o primeiro móvel, pararam todas as esferas celestes junto com a Lua. Ademais, com as observações telescópicas, sabe-se que o corpo do Sol gira sobre si mesmo num período de um mês e, ao girar, carrega “os corpos que o circundam não só a luz mas também ao movimento”⁷⁶. Para Galileu, o livro dos homens – a sagrada escritura - foi escrito de maneira a adaptar-se à compreensão dos homens, o que compete ao teólogo interpretar corretamente à capacidade do vulgo. Isto, porém, não ocorre com o livro da natureza, que não *se preocupa se suas recônditas razões e modo de operar estão ou não estão ao alcance da capacidade dos homens*. As experiências sensíveis e as demonstrações necessárias mostram a insuficiência do caráter literário dos que argumentam a incompatibilidade entre Copérnico e as Escrituras. No entanto, esta insuficiência existe somente quando as Sagradas Escrituras são utilizadas nas conclusões naturais.

Com este debate religioso já se havia esboçado o ideal de ciência demonstrativa e matemática de Galileu como conhecimento mais adequado para se conhecer as leis e

⁷⁶ GALILEI, *Opere* V, p. 345; Cartas, 1988, p. 78.

os fenômenos naturais antes mesmo da publicação dos *Discursos*, em 1638. Em 1623, n' *O Ensaaiador*, Galileu continua com sua crítica ao uso da autoridade, mas muda seu aspecto em relação aos anos precedentes: para as conclusões naturais, a crítica à autoridade religiosa passa a ser a crítica à autoridade científica ⁷⁷. Utilizando-se da metáfora do livro da natureza para afirmar a independência das conclusões acerca dos fenômenos naturais frente aos dois tipos de uso da autoridade na correta maneira de filosofar, Galileu diz a Orazio Grassi, no parágrafo 6 da obra:

Parece-me também perceber em Sarsi sólida crença que, para filosofar, seja necessário apoiar-se nas opiniões de algum célebre autor, de tal forma que o nosso raciocínio, quando não concordasse com as demonstrações de outro, tivesse que permanecer estéril e infecundo. Talvez considere a filosofia como um livro e fantasia de um homem, como a *Ilíada* e *Orlando Furioso*, livros como em que a coisa menos importante é a verdade daquilo que apresentam escrito. Sr. Sarsi, a coisa não é assim. *A filosofia encontra-se escrita neste grande livro que continuamente se abre perante nossos olhos (isto é, o universo), que não se pode compreender antes de entender a língua e conhecer os caracteres com os quais está escrito. Ele está escrito em língua matemática, os caracteres são triângulos, circunferências e outras figuras geométricas, sem cujos meios é impossível entender humanamente as palavras; sem eles nós vagamos*

⁷⁷ A crítica à autoridade científica nas conclusões naturais persiste durante todo o livro do *Ensaaiador* como em várias obras e cartas de Galileu. Ainda no *Ensaaiador*, Galileu critica a afirmação de Grassi de que uma determinada posição filosófica está correta devido ao seu grande numero de seguidores. Galileu afirma: “Seria uma falta de minha parte deixar de demonstrar, como advertência para ele e como defesa para aqueles filósofos, como carecem de lógica as conclusões de Sarsi, que afirma ser pouca a profundidade da ciência filosófica deles devido ao pequeno numero de seus discípulos. Por acaso acredita Sarsi que bons filósofos podemos encontra-los em todas as quadras? Dentro de cada recinto dos muros? Eu, Sr. Sarsi, acredito que os filósofos voam como águias e não como pássaros pretos. É bem verdade que as águias, por serem raras, oferecem poucas chances de serem vistas e muito menos de serem ouvidas, e os pássaros pretos, que voam em bando, param em todo canto enchendo o céu de gritos e rumores, tirando o sossego do mundo. Mas queira Deus que os verdadeiros filósofos fossem como as águias e não como a fênix. Sr. Sarsi, infinito é o bando dos estúpidos, daqueles que não entendem nada; muitos são aqueles que sabem alguma coisa de filosofia; poucos são aqueles que entendem um pouco de filosofia; pouquíssimos são aqueles que conhecem alguma parte dela; um só, Deus, é o que a entende toda.” (GALILEI, *Opere* VI, p. 236 – 237; *O Ensaaiador*, 1978, p. 124). Noutra passagem, na mesma obra, Galileu volta a afirmar a diferença entre ciência e o uso da autoridade científica e filosófica presente no discurso dos homens quando Grassi reivindica as experiências aristotélicas com uma flecha e uma balística; sendo essas experiências confirmadas por outros filósofos e poetas. Num tom irônico, Galileu responde: “Sr. Sarsi, apresentar tantas testemunhas não adianta nada, porque não negamos nunca que muitos hajam escrito e acreditado em tais coisas, mas simplesmente afirmamos que elas eram falsas; e a respeito da autoridade em relação à falsidade ou não do fenômeno, tanto vale a vossa somente como aquela de mil outros. Contestais as experiências que produzimos com a autoridade de muitos poetas. Eu vos respondo que, se aqueles poetas tivessem estado presentes às nossas experiências, mudariam de opinião e sem hesitar afirmariam ter escritos parabolicamente ou confessariam ter-se enganado. Mas como não é mais possível ter a presença dos poetas, que, acredito, aceitariam nossas experiências, pegai atiradores de arco e jogadores de bola de chumbo e procurai convencê-los, apresentando tantas autoridades, que as flechas e os chumbos atirados por eles pegam fogo e derretem no ar; assim podereis esclarecer melhor a força da autoridade humana sobre os efeitos da natureza surda e inexorável aos nossos desejos.” (*Op. Cit.*, *Ibidem*, p. 337; *Ibidem*, 1978, p. 209).

perdidos dentro de um obscuro labirinto. (GALILEI, *Opere* VI, p. 232; *O Ensaaiador*, 1978, p. 119) [grifo nosso].

Em janeiro de 1641, numa carta que enviou a Fortunio Liceti ⁷⁸, Galileu utiliza a mesma metáfora do livro da natureza para afirmar que a filosofia (ou melhor, a linguagem matemática), também não se vincula à autoridade científica, como por exemplo, da autoridade aristotélica. Nela, Galileu afirma:

Mas isto não é tempo de discutir em meio ao presente: concludo somente, que havendo V. Excelentíssima, para o seu fim o desejo de manter por verdade cada frase de Aristóteles e sustentar que as experiências não mostram coisa alguma que tem sido incógnita, ela faz aquilo que muitos outros peripatéticos juntos não poderiam fazer; e quando a filosofia fosse aquela que daí o livro de Aristóteles fosse o conteúdo, Vossa Senhoria por meu parecer seria o maior filósofo do mundo (...). *Mas eu realmente estimo o livro da natureza ser aquele que perpetuamente está aberto em frente aos olhos; mas porque é escrito em caracteres diversos do nosso alfabeto, não pode ser lido por todos: e os caracteres de tal livro são triângulos, quadrados, círculos, esferas, cones, pirâmides e outras figuras matemáticas.* (GALILEI, *Opere* XVIII, p. 295) [tradução nossa].

Temos, portanto, dois livros que foram escritos e que descenderam igualmente de Deus. Do mesmo modo como o livro dos homens só pode ser lido pelos verdadeiros intérpretes das Sagradas Escrituras, isto é, intérpretes que falam sob a inspiração divina, o livro da natureza não pode ser lido por todos, somente pelo verdadeiro filósofo que ler a natureza a partir dos próprios caracteres em que ela foi escrita, em linguagem matemática, o que lhe possibilita um conhecimento indiscutível ⁷⁹. Na metáfora da estrutura da natureza como uma linguagem, Galileu afirma que a natureza é constituída de figuras geométricas e que, para conhecê-la, torna-se imprescindível o conhecimento matemático. Num fragmento no quarto volume da *Opere*, editado por Favaro, Galileu enfatiza que a matemática foi o instrumento utilizado por Deus para a criação do

⁷⁸ Nota do autor: A carta com que trabalhamos na primeira seção do capítulo anterior foi de setembro de 1640.

⁷⁹ No *Ensaaiador*, Galileu responde a Grassi: “E isto seja afirmado não para retratarmos-nos por medo das oposições de Sarsi, mas só para mostrar que *não nos afastamos do nosso hábito, que consiste em não afirmar como verdadeiras a não ser as coisas que conhecemos como indiscutíveis, como nos ensina nossa filosofia e nossa matemática.*” (GALILEI, *Opere* VI, p. 278 – 279; *O Ensaaiador*, 1978, p. 158) [grifo nosso].

mundo, e que é por este instrumento que a natureza está estruturada, e diz: “Deus estabeleceu todas as coisas em número, peso e medida”⁸⁰.

Deste modo, temos dois livros que descenderam igualmente de Deus: o livro dos homens (as sagradas escrituras) e o livro da natureza (a matemática); para Galileu, somente a segunda é a mais adequada para discorrer sobre a natureza, posto que ela está escrita (e quando afirmamos *escrita*, entendemos que ela está *estruturada*) matematicamente; isto porque Galileu afirma que a natureza é *inexorável* e *imutável*, o que deixa a entender que por conter estas características a matemática (ou melhor, a geometria) é a mais apropriada para a investigação natural, porque esta coincide com aquela, ou seja, ambas são imutáveis e inalteráveis. Ambos os livros não erram, mas somente a matemática dever ser *aplicada* ao estudo dos fenômenos naturais. Assim, é sobre esta aplicação que discorreremos agora.

II – A aplicação matemática aos estudos físicos.

Um dos aspectos mais estudados da ciência de Galileu é a sua física-matemática, onde uniu sob um mesmo método de estudo para a investigação natural duas ciências que tradicionalmente eram vistas como distintas entre si. De acordo com Nascimento, podemos encontrar em Galileu “diferentes tradições de pensamentos”⁸¹, e uma delas é a das ciências intermediárias. No artigo publicado na Revista Brasileira de História da Matemática⁸², intitulado “*Um pouco mais sobre Galileu e as ciências mistas*”, Nascimento destaca que Aristóteles, ao mencionar algumas disciplinas (ótica, harmonia, astronomia e mecânica) que “embora tratem de aspectos do mundo da natureza, utilizam demonstrações matemáticas”⁸³, desencadeou o interesse de comentadores na Antiguidade Tardia, no mundo Árabe e no Ocidente Latino Medieval, chegando até Galileu por Tomás de Aquino. Neste aspecto, retomemos um pouco a temática dos experimentos em Galileu (mais especificamente, os empíricos) para podermos verificar como ocorre a aplicação matemática na realidade.

⁸⁰ GALILEI, *Opere* IV, p. 52.

⁸¹ NASCIMENTO, 1998, p.154

⁸² Vol. 11, nº 23 – páginas 15 - 26.

⁸³ NASCIMENTO, 2011, p.16.

Na Terceira Jornada dos *Discursos*, no estudo acerca dos movimentos locais, Galileu define o movimento naturalmente acelerado dos graves como “aquele que, partindo do repouso, adquire em tempos iguais momentos iguais de velocidade”⁸⁴; Simplicio aceita a definição deste movimento, mas afirma que seria oportuno apresentar um experimento que concordaria com a definição apresentada:

Simplicio: Estou plenamente convencido de que as coisas se passam assim, uma vez enunciada e aceita a definição do movimento uniformemente acelerado. Mas se é essa a aceleração da qual se serve a natureza no movimento de queda dos graves, tenho no momento minhas dúvidas. Parece-me, pelo o que diz respeito a mim e outros homens que pensam como eu, que teria sido oportuno neste lugar apresentar uma das muitas experiências que, em diversos casos, concordam com as conclusões demonstradas.

Salviati: Como verdadeiro homem de ciência, sua exigência é muito razoável; pois *é assim que convém proceder nas ciências, que aplicam as demonstrações matemáticas aos fenômenos naturais, como se observa no caso da perspectiva, da astronomia, da mecânica, da música e de outras, as quais confirmam com experiências sensatas, seus princípios, que são os fundamentos de toda a estrutura ulterior.* (...) Pelo que se refere às experiências, o autor não deixou de fazê-las; e para assegurar-se de que a aceleração dos graves, que caem de modo natural, acontece na proporção acima afirmada, encontrei-me muitas vezes em sua companhia procurando tal prova da seguinte maneira. (GALILEI, *Opere* VIII, p. 212; DNC, p. 139 - 140) [grifo nosso].

O experimento apresentado por Salviati é o do plano inclinado, em que Galileu deixou rolar esferas sobre um plano em diferentes inclinações. Neste momento é importante notarmos que Salviati apresenta o experimento a partir do pedido de Simplicio, afirmando que esta é a maneira como se deve proceder nas ciências demonstrativas: através da aplicação de demonstrações matemáticas para confirmar com as experiências os princípios demonstrados⁸⁵. Esta metodologia é a das ciências intermediárias⁸⁶.

⁸⁴ GALILEI, *Opere* VIII, p. 205; DNC, p. 133.

⁸⁵ Na Primeira Jornada do *Diálogo* Galileu também cita o procedimento nas ciências demonstrativas. Após Simplicio alegar que o método de Aristóteles é o primeiro a fundamentar com o discurso *a priori* e depois estabelecer a mesma coisa *a posteriori* através dos sentidos para concluir, por exemplo, que o céu é inalterável, Salviati afirma: “Isto que dizeis é o método com o qual ele escreveu sua doutrina, mas não creio que seja aquele com o qual a investigou, porque estou certo de que se ele procurasse primeiramente, pela via dos sentidos, das experiências e das observações, assegurar-se tanto quanto fosse possível acerca da conclusão, e que depois investigasse os meios para poder demonstrá-la, por que é assim que geralmente se faz nas ciências demonstrativas: e isto acontece porque, quando a conclusão é verdadeira, servindo-se do método resolutivo, facilmente se encontra alguma proposição já demonstrada, ou chega-se a algum princípio conhecido por si; mas se a conclusão é falsa, pode-se prosseguir ao infinito sem nunca

Detemo-nos no termo “aplicar” (*applicano*) que se encontra na citação utilizada. Nesta passagem que antecede o relato do plano inclinado, Salviati afirma que seu autor (Galileu) não deixou de realizar experimentos para assegurar-se da aceleração dos graves. Contudo, algumas dificuldades surgem na realização dos experimentos o que parece ir contra ao aludido pelo próprio autor no experimento da separação da força do vácuo, na Terceira Jornada, sobre a ideia de que os componentes e a realização do experimento devem ser “perfeitos”, ou seja, em estabelecer a precisão na funcionalidade da execução de seus experimentos devido aos acidentes que a matéria apresenta. Neste caso, trata-se de uma esfera *perfeitamente* polida e um plano *perfeitamente* liso. A dificuldade surge quando *aplicamos* os utensílios abstratos considerados de modo perfeito na matéria, deixando de serem exatas. Esta problemática é apresentada por Simplicio na Quarta Jornada dos *Discursos*, a partir do plano horizontal infinito para demonstrar que livre da resistência do meio um corpo teria seu movimento perpetuo:

Simplicio: A estas dificuldades eu acrescentaria outras; uma das quais consiste supor que um plano horizontal, que não está nem acline nem em declive, é uma linha reta como se uma tal linha fosse em todas suas partes equidistantes do centro, o que não é verdade, pois, partindo do meio, vai em direção a suas extremidades afastando-se cada vez mais do centro, elevando-se sempre; segue-se disso que é impossível que o movimento se perpetue, e tão pouco se mantenha uniforme para qualquer distância, mas irá sempre diminuindo. Além disso, penso que é impossível suprimir a resistência do meio, de modo que não se altere a uniformidade do movimento transversal e a lei da aceleração na queda livre. *Todas essas dificuldades tornam assim sumamente improvável que os resultados demonstrados com proposições tão frágeis possam ser verificados através de experimentos realizados na prática.*

Salviati: *Todas as dificuldades e objeções suscitadas estão tão bem fundamentadas que julgo ser impossível removê-las; portanto, eu aceito todas, como penso que as admitiria também nosso Autor. Concorde que as conclusões assim demonstradas em abstrato se*

encontrar alguma verdade conhecida, se outros não encontrassem antes algo impossível ou um absurdo evidente.” (GALILEI, *Opere* VII, p. 75; Diálogo, p. 135-136).

⁸⁶ Nascimento (1998, p. 19-20) traça a característica principal das ciências intermediárias como as ciências que não são nem puramente matemáticas nem puramente físicas em Tomás de Aquino a partir de três passagens na obra tomista (as citações entre parênteses de Nascimento são os trechos das passagens de Tomás de Aquino), no “Comentário sobre o *De Trinitate* de Boécio” (‘Algumas, porém que aplicam os princípios matemáticos às coisas naturais, são intermediárias’); no ‘Comentário sobre os Segundos analíticos’ (‘São, porém, denominadas ciências intermediárias, as que tomam os princípios abstratos das ciências puramente matemáticas e aplicam à matéria sensível’) e no ‘Comentário sobre a *Física*’ (‘Algumas, porém, por aplicação dos princípios matemáticos às coisas naturais’).” Nascimento acrescenta: “Ao apresentar o experimento com o plano inclinado para mostrar que o espaço percorrido por um corpo em queda livre é proporcional ao quadrado do tempo de queda, Galileu alude aos principais elementos indicados antes; a) Menciona a definição de “ciência intermediária” de Tomás de Aquino. b) Cita os exemplos mais conhecidos desde a Antiguidade. c) Menciona o papel da experiência no estabelecimento de princípios.” (NASCIMENTO, 2011, p. 17 - 18).

alteram na realidade e se mostram a tal ponto inexatas que nem o movimento transversal é uniforme, nem a aceleração natural acontece segundo a proporção suposta, nem a trajetória de um projétil é parabólica etc. (GALILEI, Opere VIII, p. 274; DNC, p.202) [grifo nosso].

As conclusões geométricas demonstradas abstratamente se alteram na realidade; pois, apesar de Galileu considerar a matéria perfeita ⁸⁷, não podemos ignorar o fato de que ela contém em si irregularidades e acidentes, tal como a sua porosidade (tanto é a insistência de Galileu em construir um plano perfeitamente liso, ou seja, o mais próximo possível de um plano sem porosidade para que não ocorra atrito, por menor que seja). Com isso, a partir do exposto por Simplicio referente ao plano horizontal infinito, Salviati exclama pela “deficiência de nossos instrumentos” ⁸⁸ quando, por exemplo, queremos aplicar as conclusões de distâncias imensas às distâncias finitas de nossos instrumentos, pois não podemos observar empiricamente que num plano horizontal finito o movimento de um corpo livre de atrito e da resistência do meio movimentar-se-ia para sempre, conclusão obtida para um plano horizontal infinito. Para Galileu isto demonstra a limitação de nossos instrumentos, dificuldades que surgem no momento em que *aplicamos* a abstração à matéria.

Esta consideração já tinha sido previamente exposta, na Segunda Jornada, na passagem em que Salviati apresenta uma figura representando uma balança com pesos desiguais, mostrando que “dois pesos, quaisquer que sejam, permanecem em equilíbrio a distâncias inversamente proporcionais a seus respectivos pesos” ⁸⁹, conclusão esta já obtida no tratado *As Mecânicas* ⁹⁰. Após estabelecer este princípio e verificá-lo com a balança, testando o equilíbrio através de blocos de madeiras com formatos e pesos distintos, Salviati afirma:

Salviati: Quero que considerem, antes de passarmos a outros assuntos, como estas *forças, resistências, momentos, figuras, etc., podem ser consideradas em abstrato e separadas da matéria, assim como em concreto e ligadas à matéria*. Deste modo, aquelas propriedades que pertencem às figuras consideradas como imateriais receberão algumas *modificações* quando lhe acrescentarmos a matéria (...). Eis porque,

⁸⁷ Nota do autor: No início da primeira jornada dos *Discorsi*, na discussão acerca da ciência da resistência dos materiais, Salviati invoca a perfeição da matéria contra uma tradição que atribuía à imperfeição da matéria a causa da ruptura e quebra dos corpos.

⁸⁸ GALILEI, *Opere VIII*, p. 275; DNC, p. 203.

⁸⁹ GALILEI, *Opere VIII*, p. 154; DNC, p. 91.

⁹⁰ Nota do autor: Ou seja, o princípio mecânico da proporcionalidade inversa entre o peso e a distância de suspensão.

antes de continuar, é necessário que estejamos de acordo em distinguir estas duas maneiras de considerar, dizendo que numa o tomamos absolutamente (prendere assolutamente), quando consideramos o *instrumento* em *abstrato*, ou seja, separado da gravidade da própria matéria; e noutra, quando *acrescentarmos a matéria* e com esta a gravidade às figuras simples e absolutas, designaremos as figuras unidas à matéria pelo termo momento ou força composta (momento o forza composta). (GALILEI, *Opere* VIII, p. 154, DNC, p. 91-92) [destaque nosso; o sublinhado e o correspondente italiano foram acréscimos do tradutor].

Como podemos notar nesta passagem, Galileu estabelece duas maneiras de proceder no estudo das propriedades: primeiro, considerá-las abstratas e em separado da matéria; segundo, aplicar estas propriedades abstratas na matéria, que por sua vez será *modificada*. Tal aplicação as tornam *inexatas*, sugerindo, assim, que enquanto elas não são consideradas em concreto, são exatas. Deste modo, Galileu afirma que há duas maneiras distintas de considerar a investigação das propriedades presentes em nossos *instrumentos* ou nos elementos que compõem a investigação do objeto (como forças, resistências, figuras etc.); uma de modo *imaterial* (e, assim, geometricamente) e outra de modo *material* (na qual a abstração é *aplicada* à matéria). Esta discordância entre o abstrato e a realidade física talvez seja o motivo pela qual Galileu tem que considerar um plano material perfeitamente liso para que uma bola role com a mesma velocidade livre de outro impedimento tão importante o do ar: a resistência proveniente do atrito no plano, pois um plano material perfeitamente liso seria de igual modo à uma linha reta abstrata, ou seja, perfeitamente lisa. Talvez este também possa ser o motivo pelo qual Galileu admita a deficiência dos instrumentos nos experimentos e em sua execução, apresentando tais experimentos de maneira um tanto idealizada, ou seja, aprimorados (ou melhorados) mentalmente a partir de uma falha do experimento empírico, seja para o propósito de apresentá-los livres de incongruências ou para efeitos didáticos; inclusive, talvez por haver alguns relatos demasiadamente idealizados, alguns intérpretes duvidem de que Galileu realizasse tais experimentos. Referente a isto, um bom exemplo é o relato do experimento com pêndulos descrito na Quarta Jornada dos *Discursos*. No relato, é discutido sobre a resistência do ar no movimento de um pêndulo:

Salviati: (...) Quanto ao segundo caso, no qual se trata de mostrar que a resistência do ar a um mesmo móvel, quando ele se move a grande velocidade, não é muito maior que aquela que lhe opõe quando ele se move lentamente, *o experimento seguinte nos oferece absoluta*

certeza. Suspendamos a dois fios com o mesmo comprimento de quatro ou cinco braças duas bolas de chumbo iguais; após ter fixado os ditos fios, afastamos ambas as bolas do estado perpendicular, uma em 80 graus ou mais, enquanto que a outra não mais que 4 ou 5 graus, de forma que, deixada em liberdade, a primeira, após descer e ultrapassar a perpendicular, descreve arcos muito grandes, de 160, 150, 140 graus, etc., que diminuirão pouco a pouco; mas a outra, correndo livremente, percorrerá arcos pequenos de 10, 8, 6, etc., que também diminuirão pouco a pouco. Afirmando primeiramente que no mesmo tempo em que a primeira percorre seus respectivos arcos de 180, 160 graus, a outra percorrerá seus arcos de 10, 8 graus, etc. Disto segue-se evidentemente que a velocidade da primeira bola será 16 ou 18 vezes maior que a velocidade da segunda de modo que, se o ar oferece à velocidade maior uma resistência superior da que oferece a uma velocidade menor, a frequência das vibrações deveria ser menor nos grandes arcos de 180 ou 160 graus, etc, que nos pequenos arcos de 10, 8, 4, e também de 2 ou 1 grau. *Mas, a isso se opõe a experiência*, pois, se duas pessoas se puserem a contar, uma as grandes oscilações e outras as menores, perceberão que não apenas contarão dezenas, mas centenas de oscilações sem que suas contagens difiram numa só unidade. Esta observação justifica conjuntamente duas proposições, a saber, que todas as oscilações, tanto as maiores quanto as menores, se realizam simultaneamente em tempos iguais e que a resistência e retardamento do ar não é mais operante nos movimentos mais velozes que nos mais lentos (...). (GALILEI, *Opere* VII p. 277; DNC, 1988, p. 205).

Neste experimento Galileu utiliza dois pêndulos para observar os efeitos da resistência do ar em cada um deles e conclui que as oscilações maiores e menores ocorrem em tempos iguais, sendo que a intensidade da resistência do ar é a mesma para ambos os corpos a partir da observação de que, caso duas pessoas se disponham a contar, *perceberão que não apenas contarão dezenas, mas centenas de oscilações sem que suas contagens difiram numa só unidade*, ou seja, ambos os pêndulos são isócronos, oscilam juntos. Ronald Naylor reproduziu este experimento relatado na Quarta Jornada e afirma que há uma discrepância nas oscilações dos pêndulos, sendo que, provavelmente, Galileu levou em consideração as *centenas* de oscilações *isócronas* a partir da observação das primeiras oscilações, fazendo com que esta sua conclusão posterior não correspondesse com as demais oscilações do experimento. Naylor afirma:

Usando dois pêndulos de chumbo similares de 100 polegadas de comprimento, deixei um balançar inicialmente através de 120° e outros através de 10°. Encontrei que os pêndulos estavam um quarto numa oscilação fora dos graus depois de oito ou nove vibrações. Assim, a descrição de Galileu deste experimento em particular não concorda com o caso real em tudo. Balançando um pêndulo através de 160° enquanto o outro, completa arcos de 10° indica que o pêndulo

menor ganha uma completa vibração depois de 28 ou 29 vibrações. Mas nesta etapa o pêndulo completando arcos maiores tem reduzido o tamanho de seu arco a tal ponto que nenhuma mais discrepância entre os pêndulos podem surgir. É óbvio que a comparação mais significativa, tão longe quantos tempos estão preocupados, seria feita entre as primeiras poucas oscilações de cada pêndulo, e isto pode dificilmente ser duvidado que Galileu apreciou isto plenamente. De fato, ele poderia bastante facilmente ter feito essa comparação usando o relógio de água descrito nos *Discursos*. (...) Apesar da descrição de Galileu, parece claro para mim que ele teria sido bastante ciente que somente as primeiras oscilações eram realmente importantes como um teste para sua teoria. Em adição a isto, Galileu desconsiderou a discrepância real na sua demonstração didática. (NAYLOR, 1976, p. 400 – 402).

Para Naylor é pouco provável a afirmação de Galileu de que numa observação cautelosa conta-se até *centenas* de oscilações isocrônicas, posto que, na sua reprodução do experimento, há divergências entre as oscilações. Consequentemente, concordamos com Naylor quando, no contexto a uma crítica contra a posição de Koyré de que Galileu não realizava experimentos, ele enfatiza outro aspecto dos experimentos de Galileu: o de servir como demonstração didática pois, às vezes, os resultados experimentais de Galileu (descritos nos manuscritos descobertos por Drake) não condiziam com os resultados que ele apresentava nas suas obras, o que demonstra que alguns relatos experimentais de Galileu são demasiadamente idealizados, ou seja, Galileu reconhecia a dificuldade da relação geometria-matéria em seus experimentos. Naylor afirma:

Estou convencido pela natureza da evidencia que Galileu depende de experimentos reais [crítica a Koyré]. Mas parece que às vezes em seu desejo de demonstrar o significado de sua mecânica ele ampliou suas afirmações bem além dos limites de suas próprias observações. Fazendo isto e na sua tentativa de suportar suas teorias por meios de demonstrações didáticas “perfeitas” Galileu escondeu os aspectos essenciais do seu uso do experimento. Portanto, foi porque ele foi finalmente tentado a afirmar demais para as demonstrações didáticas dos *Discursos* e para o âmbito de sua mecânica como um todo que tem surgido um ceticismo generalizado em relação à sua dependência sobre o experimento. (NAYLOR, 1976, p. 399).

Assim, de acordo com o exposto e com a metodologia das ciências intermediárias na qual as demonstrações matemáticas são aplicadas aos fenômenos naturais e, posteriormente, as experiências verificam estas mesmas demonstrações, perguntamos: como um mesmo experimento empírico pode confirmar as conclusões

matemáticas demonstradas abstratamente sendo que estas mesmas conclusões abstratas são alteradas quando postas em matéria? Ademais, podemos acrescentar outro ponto: na resposta dada a Simplicio na Quarta Jornada dos *Discursos*, no experimento mental do plano horizontal infinito, Salviati não se refere a um plano inclinado, somente a um plano horizontal, mas podemos considerar estas especulações também ao plano inclinado pois, na sua execução empírica, ambos possuem o intuito, entre outros, de reduzir a resistência do meio através do atrito proveniente do plano. Esta resistência apresenta-se de diversos modos e, com isso, Salviati afirma: “Quanto a perturbação devido à resistência do meio, ela é uma dificuldade muito importante e, *em vista da multiplicidade de suas variedades, é impossível submetê-la a regras fixas e trata-las cientificamente*”⁹¹. Além da diferença das propriedades abstratas exatas e da inexatidão quando estas são postas na matéria, a multiplicidade das variedades do objeto estudado, como neste exemplo a da resistência do meio, dificulta *o tratamento científico* deste objeto devido à variedade em que se apresenta.

Com estas três considerações na obra galileana: sobre a aplicação matemática na realidade; as irregularidades que a matéria e consequentemente a realidade apresentam frente à perfeição geométrica e a multiplicidade das propriedades dos objetos estudados; podemos acrescentar a pergunta: como podemos considerar experimento e matemática na construção da nova ciência de Galileu? Na Quarta Jornada dos *Discursos*, Salviati nos oferece a resposta:

Salviati: Estas propriedades referentes à gravidade, à velocidade e também à forma, *sendo variáveis de infinitas maneiras*, não podem ser tratadas de forma *rigorosamente científica*; contudo, para poder tratar cientificamente esta matéria, *é necessário abstrair essas propriedades e, após ter encontrado e demonstrado as conclusões que prescindem das resistências, completá-las, no momento de aplicá-las concretamente, com aquelas limitações que a experiência nos ensina*. (GALILEI, *Opere* VIII, p. 275-276; DNC, p. 203-204) [grifo nosso].

Na construção da nova ciência de Galileu os experimentos são limitados e não nos fornecem a conclusão verdadeira se não forem tomados em conjunto com a abstração matemática. Com isto, para seguir corretamente com o uso dos experimentos, é necessário abstrair estas propriedades e ajustá-las de acordo com as conclusões demonstradas em abstrato para, quando formos novamente aplicá-las na matéria,

⁹¹ GALILEI, *Opere* VIII, p. 275-276; DNC, p. 20 [grifo nosso].

possamos fazê-lo de acordo com as limitações da experiência. Nas cartas religiosas, como aquela à Cristina de Lorena, Galileu afirma que a natureza é *inexorável e imutável*, apresentando-se sempre do mesmo modo, pois ela em *nada se preocupa se suas recônditas razões e modo de operar estão ou não estão ao alcance da capacidade dos homens*; n' *O Ensaaiador*, ele afirma que a natureza está estruturada numa linguagem matemática, escrita através de caracteres, que são *triângulos, circunferências e outras figuras geométricas*. Com isso, podemos concluir que, para Galileu, o melhor modo de conhecer a natureza é a partir da maneira como ela mesma se apresenta, ou seja, o que é acessível ao conhecimento científico é o que sempre se apresenta do mesmo modo, por isso *fixo, imutável ou inalterável*; e pelo fato de a natureza apresentar-se dessa forma, o melhor modo de conhecê-la é através da sua própria estrutura matemática, ou mais especificamente, geométrica. Ainda de acordo com o paragrafo 48 d' *O Ensaaiador*, o que sempre se apresenta do mesmo modo são os acidentes primários e reais, ou seja, os aspectos geométricos e quantitativos da matéria; assim, a geometria e a natureza apresentam-se do mesmo modo, tornando possível a aplicação matemática na natureza para extrairmos rigorosas demonstrações científicas tais como as rigorosas demonstrações matemáticas.

Galileu afirma que estas mesmas *forças, resistências, momentos, figuras, etc.*, *podem ser consideradas em abstrato e separadas da matéria, assim como em concreto e ligadas à matéria*. Em abstrato, estas grandezas físicas são consideradas perfeitas por estarem isentas das irregularidades da matéria; mas, aplicados à matéria sensível, por esta apresentar irregularidades e por receber as constituições da matéria, tal como a gravidade, apresenta múltiplas variações. Assim, para podermos concebê-los sem estes impedimentos, devemos abstrair geometricamente estas irregularidades e depois aplicá-las novamente na matéria concreta (como por exemplo, considerar um plano material como perfeitamente liso, livre de qualquer porosidade e, conseqüentemente, de qualquer atrito existente por mínimo que seja, para que este plano fique em conformidade com um plano fundamentalmente geométrico / abstrato). Este procedimento de abstração matemática, aliado ao uso dos experimentos empíricos que demonstram estas irregularidades, serve como uma espécie de correção dos impedimentos que a matéria apresenta para poder tratar um fenômeno com *demonstrações necessárias* (demonstrações matemáticas) e expô-los de forma *rigorosamente científica*. Na Quarta Jornada dos *Discursos*, na problemática que Simplicio apresenta a Salviati sobre as

grandes distâncias do movimento dos projéteis, ou, da dificuldade de tratar de corpos em queda imensas em relação ao tamanho dos experimentos, tornando-os limitados ⁹², Galileu alega, através de Salviati, o que sustentamos:

A vantagem desse método não será pequena, posto que se pode escolher as matérias e as formas que são menos sujeitas às resistências do meio, como acontece com os corpos muitos pesados e redondos; e as distancias e as velocidades não serão, em geral, tão grandes, que suas diferenças não possam ser corrigidas com precisão. (GALILEI, Opere VIII, p. 276; DNC, 1988, p. 204) [grifo nosso].

Com esse método, Galileu pode aplicar a matemática ao estudo da física, considerando ambas em conjunto, realizando assim a ideia da física matemática, ou, como aponta Koyré, do “matematismo físico” ⁹³. Contudo, o papel da matemática na constituição da ciência do real não foi um problema moderno, este problema era tratado desde a antiguidade, fazendo com que os aristotélicos contemporâneos de Galileu vissem uma separação entre a matemática e a física. Aristóteles já teria perguntado sobre a existência dos objetos matemáticos na realidade física e, para ele, os objetos matemáticos só possuem existência porque estão associados aos objetos reais, conhecidos através dos sentidos ⁹⁴. Para Aristóteles os objetos matemáticos, tais como o número, as linhas e outras figuras são abstratas e existem na matéria, conhecidas através da abstração feita pelo pensamento ⁹⁵. Deste modo, sendo os objetos matemáticos existentes como abstrações dos objetos sensíveis, Aristóteles distingue, no livro VI da

⁹² Esta é a justificativa da escolha do estudo do movimento dos projéteis na Quarta Jornada e, entre eles, o tratamento dos projéteis de artilharia, dado que distâncias de tiro são pequenas e não ultrapassam quatro milhas. Ademais, trata-se de movimento que termina na superfície do globo terrestre, ao passo que se uma trajetória parabólica se prolongasse até o centro da terra, distância não infinita, mas que pode ser considerada imensa alteraria a trajetória do projétil. Galileu afirma: “Quando, portanto, queremos aplicar às distâncias finitas as conclusões demonstradas para distâncias imensas, devemos efetuar correções, posto que nossa distância do centro da terra, embora não seja realmente infinita, é tal que pode ser considerada imensa, quando comparada a deficiência de nossos instrumentos; o lançamento de projéteis será o mais importante e, entre eles, consideramos somente os projéteis de artilharia, cujo alcance, por maior que seja não ultrapassará quatro milhas, enquanto que são muitos milhares de milhas que nos separam do centro da terra. E como as trajetórias desses projéteis terminam na superfície do globo terrestre, muito pouco alterarão sua forma parabólica que, admito, sofreria grandes transformações caso terminassem no centro da terra” (GALILEI, *Opere* VIII, p. 275; DNC, 1988, p. 203).

⁹³ KOYRÉ, 1986, p. 345.

⁹⁴ No Livro XIII da *Metafísica*, Aristóteles afirma: “Se os seres matemáticos existem devem existir nos objetos sensíveis, como dizem alguns, ou então separados deles (há quem defenda essa opinião). Se não estão nem nos objetos sensíveis, nem fora deles, ou não existem, ou só existem em algum sentido especial. *De modo que em nossa discussão não indagaremos se eles existem, mas como existem.*” (ARISTÓTELES, *Metafísica*, XIII, 1, 1076a - 35, 1969, p. 269) [grifo nosso].

⁹⁵ “O mesmo se aplica à Geometria: se acontece que os seus objetos sejam sensíveis, embora elas não o tratem como sensíveis, as ciências matemáticas nem por isso serão ciências de coisas sensíveis – nem, por outro lado, de outras coisas separadas dos sensíveis.” (ARISTÓTELES, *Metafísica*, XIII, 1078 a, p. 273).

Metafísica, o físico do matemático. Estas ciências tratam do mesmo objeto natural, mas difere-se entre si:

A Física é uma ciência teórica. No entanto, a Matemática também o é; mas até agora *não se confirmou que os seus objetos sejam imóveis e separados da matéria*, se bem que alguns teoremas matemáticos os considerem como tais. Mas, se algo existe de eterno, imóvel e separável, é evidente que compete a uma ciência teórica conhecê-lo – não, porém, à Física (pois esta tem como objetos certos seres móveis), nem à Matemática, mas a uma ciência anterior a ambas. *De feito, a Física trata de seres que existem separadamente, mas não imóveis, e certas partes da Matemática se ocupam com seres imóveis, mas que talvez não existam separadamente, incorporados que estariam na matéria; ao passo que a ciência primeira estuda seres que, além de ser imóveis, existem separadamente.* (ARISTÓTELES, *Metafísica*, VI, 1, 1026a; 1969, p 142) [grifo nosso].

A ciência à qual Aristóteles se refere é a Teologia; somente ela estuda o que existe de eterno, imóvel e separado, sendo anterior à Física e a Matemática ⁹⁶. É incompatível, então, a aplicabilidade da matemática na *physis*. O físico ao tratar de seres *que existem separadamente, mas não imóveis*, estuda a natureza como essência das coisas que possuem o princípio do movimento em si mesmo, gerando a ação do vir a ser, ou seja, o que nasce e em si mesmo possui o princípio de mudança (que também é movimento), “causa pelo qual aquele em que primeiramente se encontra se move, ou repousa por si mesmo e não por concomitante.” ⁹⁷. O que Aristóteles chama de movimento está presente na essência do ente, sendo a mudança o que abraça e envolve a

⁹⁶ Nota do autor: Um estudo da Teologia não nos compete neste trabalho, mas em continuidade à citação por nós utilizada, Aristóteles justifica o porquê desta ciência ser tida como Filosofia Primeira, sendo a Matemática e a Física posterior a ela. Aristóteles diz: “Ora, todas as causas devem ser eternas, mas especialmente estas, porquanto são elas as que operam naquilo que, do divino, nos é acessível. Deve haver, pois, três filosofias teóricas – a Matemática, a Física e essa, que podemos chamar Teologia, pois é óbvio que, se em algo está presente o divino, há de ser em coisas desta espécie. E, à mais alta ciência, compete tratar do mais alto dos gêneros. Se, pois, as ciências teóricas são de preferir às outras, esta é de preferir às demais ciências teóricas. Poder-se-ia perguntar se a Filosofia Primeira é universal ou trata de um gênero, isto é, de uma espécie de ser; pois nem mesmo as ciências matemáticas são todas iguais a esse respeito – tanto a Geometria e a Astronomia estudam uma espécie particular de ser, enquanto a matemática universal se aplica igualmente a todos. A isto respondemos que, se não existe substância além das que são formadas pela Natureza, a Física será a ciência primeira; mas, se existe uma substância imóvel, a ciência que estuda deve ser anterior, e essa será a Filosofia Primeira, universal no sentido de ser a primeira. E a ela competirá a consideração do ser enquanto ser – tanto da sua essência como dos atributos que lhe pertencem enquanto ser.” (ARISTÓTELES, *Metafísica*, VI, 1, 1026a, 15-30; 1969, p. 142-143).

⁹⁷ (ARISTÓTELES, *Física*, 2009, p.203). Em continuidade da citação utilizada na *Física*, Aristóteles retoma a definição de natureza como causa imanente, porém, à denuncia como muito vaga, uma vez que “há diversos tipos de causas e diversos modos que estas causas se relacionam em si” (2009. p.210). Porém, para este momento não pretendemos chegar a discussão sobre física e matemática tendo o princípio de movimento como parte principal da discussão, optamos em permanecer com esta definição.

formação do próprio ser, como a passagem da potência para ato. Esta seria a mudança essencial que ocorre na matéria abarcando também a ideia de nascimento assim como a de destruição. O matemático, por outro lado, ao se ocupar *com seres imóveis, mas que talvez não existam separadamente, incorporados que estariam na matéria*, estuda os concomitantes matemáticos que há nos corpos naturais. No segundo livro da *Física*, Aristóteles nos diz:

Devemos examinar em que o matemático se diferencia do estudioso da natureza (pois também os corpos naturais têm superfícies e sólidos, bem como comprimentos e pontos, a respeito dos quais o matemático faz seu estudo). Além disso, devemos examinar se a astronomia é uma parte da ciência natural, ou se é distinta dela. De fato, seria absurdo se coubesse ao estudioso da natureza conhecer o que é o sol ou a lua, mas não lhe coubessem conhecer nenhum dos concomitantes que se lhe atribuem em si mesmos – principalmente porque os que estudam a natureza manifestamente se pronunciam também sobre a figura da lua e do sol, e buscam saber se a Terra e o mundo são esféricos ou não. Ora, *também o matemático se ocupa desses itens, mas não enquanto cada um é limite de corpo natural; tampouco estuda os atributos enquanto sucedem aos corpos naturais tomados nessa qualidade; por isso, o matemático os separa: pelo pensamento, tais itens são separáveis do movimento, e isso não faz nenhuma diferença, tampouco surge algo falso quando eles os separam.* (ARISTÓTELES, *Física*, 193b 22, 2013, p. 46) [grifo nosso].

O livro II da *Física* tem o propósito de saber qual é o melhor método para investigar a natureza, princípio de movimento e de mudança ⁹⁸; e em que medida a astronomia é uma parte da ciência natural. A natureza se diz de dois modos – forma e matéria; é por eles que a natureza deve ser estudada ⁹⁹. Contudo os corpos naturais também possuem objetos matemáticos neles mesmos tais como superfícies, sólidos, comprimentos e pontos. Ao estudar o sol ou a lua, por exemplo, o cientista natural deve se ater a eles como corpos naturais enquanto o matemático dedica-se a abstrair ¹⁰⁰ os seus aspectos matemáticos e geométricos. A ciência Física se torna, assim, incompatível com a ciência Matemática, ambas possuem o mesmo objeto, mas tratam-no de maneiras diferentes. Aristóteles utiliza-se do conceito de lugar para exemplificar esta diferença. Lugar é concebido “como o limite imóvel mais interno e que imediatamente envolve o

⁹⁸ No livro III da *Física*, Aristóteles afirma o que ele entende por Natureza: “a natureza (*physis*) é princípio de movimento (*kinesis*) e de mudança (*metabolé*); e é a Natureza que estamos investigando, assim devemos entender o que é o movimento, pois se o movimento não é conhecido, a natureza (*physis*) não é conhecida.” (ARISTÓTELES, *Física*, III, 1, 200b, 12-15; p.342).

⁹⁹ ARISTÓTELES, *Física*, II, 2, 194^a 12.

¹⁰⁰ Segundo Silva, abstrair significa literalmente “tirar pra fora”. (Silva, 2007).

que está contido naquele lugar”¹⁰¹. Assim a matemática trata o corpo natural não como limite do corpo, ou seja, como o próprio corpo, como a lua ou o sol, mas trata dos objetos como números e figuras que são extraídas pelo pensamento¹⁰². Aristóteles afirma que, ao abstrair e tratar os objetos matemáticos *matematicamente*, o matemático não faz algo falso, sugerindo, assim, que seria falso o matemático tratar os objetos matemáticos como corpos sensíveis¹⁰³. Em sua obra *Segundos Analíticos*, Aristóteles afirma: “De fato, a matemática se ocupa apenas com as formas: ela não tem a ver com os substratos, pois ainda que as propriedades geométricas sejam propriedades de um certo substrato, não é enquanto pertencentes ao substrato que ela as mostra.”¹⁰⁴. A partir da abstração dos objetos matemáticos que existem nos corpos sensíveis, Aristóteles distingue as ciências matemáticas da ciência física. Na *Física*, afirma:

Mostram isso também as mais naturais entre as disciplinas matemáticas, como a ótica, a harmônica e a astronomia: de certo modo, elas se comportam inversamente à geometria, pois a geometria estuda a linha natural, mas não enquanto natural, ao passo que a ótica estuda a linha matemática, não enquanto linha matemática, mas enquanto linha natural. (ARISTÓTELES, *Física*, 194a 7; 2013, p. 46).

No estudo da natureza, Aristóteles distingue o objeto de estudo do físico e do matemático, e cada um, por seu aspecto metodológico, não deve interpor-se ao outro, ou seja, Aristóteles é contra a matematização da natureza. Deste modo, o problema da relação entre matemática e física não foi algo que surgiu na ciência moderna e Galileu conhecia muito bem o debate filosófico sobre essa dicotomia. É por este motivo que para Koyré, além da dissolução do cosmo antigo, a geometrização do espaço foi o maior triunfo de Galileu. Alistair Combrie, ao comentar a recusa por Galileu de conceber a Astronomia como meros cálculos que somente predizem, “salvam os fenômenos” dos movimentos dos corpos celestes (como defendido por Osiander)¹⁰⁵, alegando a

¹⁰¹ ARISTÓTELES. *Física*, IV, 4, 212^a 5, 1995 p. 360

¹⁰² Na *Metafísica*, Aristóteles afirma: “Não menos descabido é fazer gerar-se o *lugar* simultaneamente com os sólidos matemáticos, pois o lugar é peculiar aos seres individuais, e por esse motivo estão eles separados no espaço; mas os objetos da Matemática não se encontram em parte alguma, e é absurdo pretender que eles ocupem um lugar em precisar esse lugar”. (ARISTÓTELES, *Metafísica*, XIV, 5, 1092a, 20; 1969, p. 307).

¹⁰³ Deste modo Évora lembra que João Filopono de Alexandria (490-570), ao comentar esta passagem da *Física*, diz que Aristóteles “distinguiu o matemático do estudioso da natureza ao dizer que o matemático considera as formas nas coisas naturais, mas como matemáticas, e não como naturais, separando-as de (seus) substratos, enquanto o filósofo da natureza as vê como inseparáveis e juntamente com a matéria” (FILOPONO *apud* ÉVORA, 2005, p. 128-129).

¹⁰⁴ ARISTÓTELES. *Posterior Analytics*, I, 13, 79^a, 1995, p.128.

¹⁰⁵ Ver nota de nº 64.

identificação entre a realidade e a matemática; afirma sobre importância do método matemático:

A importância prática do resultado desta identificação foi abrir o mundo físico para um irrestrito uso da matemática. Galileu removeu as piores inconveniências da noção de Aristóteles de que houve uma ciência da ‘física’ fora do alcance da matemática (...). O sucesso de seu método matemático o convenceu que ele tinha mostrado como ler a linguagem em que o livro da natureza foi verdadeiramente escrito. Em outras palavras, ele acreditou que o mundo de aparências foi o produto de uma subjacente estrutura matemática, e que ele pôde descobrir o que esta estrutura era. (COMBRIE, 1971, p. 310).

Ao contrário de Osiander, Galileu não observava uma separação entre Astronomia e Física, ou seja, entre a matemática e a realidade. Contudo, a noção de ler verdadeiramente o livro da natureza como uma linguagem matemática não convence Simplicio, representante e defensor das doutrinas aristotélicas no *Diálogo*, pois, para ele, identificar a estrutura matemática da natureza ainda não resolve o problema apontado por Aristóteles de sua aplicação matemática. Com isso, no *Diálogo*, é atribuída ao aristotélico a função de negar a aplicação da abstração matemática nos objetos naturais feitas pelos matemáticos; pois, de acordo com as proposições aristotélicas somente cabe ao filósofo natural o estudo destes objetos. Na Segunda Jornada, após Sagredo afirmar a importância do estudo da natureza através da geometria¹⁰⁶, Simplicio afirma:

Simplicio - Eu não serei tão injusto com Platão, mas direi antes, com Aristóteles, que ele ficou muito absorvido e muito se deixou seduzir por sua geometria; porque, finalmente, essas sutilezas matemáticas, Sr. Salviati, são verdadeiras em abstrato, mas aplicadas à matéria sensível e física não funcionam: porque demonstrarão bem os matemáticos com seus princípios, por exemplo, que a esfera toca o plano em um só ponto, proposição similar à presente; mas, quando se chega a matéria, as coisas vão em outra direção: e assim, quero dizer desses ângulos do contato e dessas proporções, que todos se desfazem quando se chega às coisas materiais e sensíveis. (GALILEI, *Opere* VII, p. 229; *Diálogo*, p. 283).

Simplicio expõe a posição aristotélica: no mundo físico e real, não há esferas, retas, planos ou triângulos, os objetos materiais da natureza não correspondem às

¹⁰⁶ “Sagredo: (...) é forçoso confessar que querer tratar as questões naturais sem a geometria é tentar fazer aquilo que é impossível de ser feito” (GALILEI, *Opere* VII, p. 229; *Diálogo*, p. 283).

formas regulares da geometria. Para Koyré, a posição de Simplício não é ridícula como parece à primeira vista, “muito pelo contrário, torna-se perfeitamente razoável: um espírito habituado à precisão e à rigidez do raciocínio geométrico não estará, com efeito, muito menos apto para apreender a multiplicidade matizada e imprecisa do real?”¹⁰⁷ Ademais Koyré lembra que, para os aristotélicos, não se trata do problema da certeza matemática e, sim, do problema do real, “nenhum aristotélico alguma vez se recusou a medir o que é mensurável nem a contar o que é denumerável -, mas sim do seu papel na e para a própria estrutura da ciência; isto é, necessariamente, da própria realidade”¹⁰⁸. Assim, a este problema apontado por Simplício, Salviati responde:

Salviati - Sempre que em concreto aplicais uma esfera material a um plano material, aplicais uma esfera não perfeita a um plano não perfeito; e estes dizeis que não se tocam em um ponto. Mas eu vos digo que também em abstrato uma esfera imaterial, que não seja uma esfera perfeita, pode tocar um plano imaterial, que não seja um plano perfeito, não em um ponto, mas como parte de sua superfície; de modo que até aqui o que acontece em concreto, acontece do mesmo modo em abstrato: e seria uma grande novidade que os cálculos e os saldos efetuados com números abstratos não correspondessem, depois, em concreto, às moedas de ouro e a prata e às mercadorias. Mas, Sr. Simplício, sabeis o que acontece? Assim como, para querer que os cálculos correspondam aos açucares, às sedas e às lãs é necessário que o contador leve em conta a tara das caixas, embrulhos e outras embalagens, assim também, quando o filósofo geômetra quer reconhecer em concreto os efeitos demonstrados em abstrato, é necessário que desconte os impedimentos da matéria; pois, se souber fazer isso, asseguro-vos que as coisas se corresponderão de modo não menos ajustado que os cálculos aritméticos. Os erros, portanto, não residem nem em abstrato nem no concreto, nem na geometria ou na física, mas no calculador que não sabe fazer bem as contas” (GALILEI, Opere VII, p. 233-234; Diálogo, p. 287) [grifo nosso].

Para Galileu a natureza e a geometria são inexoráveis, cada uma sempre idêntica a si mesma, é por esta razão que o melhor meio de compreender a natureza é através da geometria, aplicando suas figuras abstratas na matéria sensível; se o geômetra ou o calculador errarem o cálculo, a culpa não é da geometria porque esta sempre se apresenta do mesmo modo, e sim do calculador ou do geômetra, que fazem mal uso de figuras ou linhas no momento de aplicá-las. Dessa forma, um experimento possui sua funcionalidade perfeita em abstrato, pois nele estão ausentes as dificuldades materiais que um experimento concreto apresenta. Em outras palavras, Galileu toma ambas em

¹⁰⁷ KOYRÉ, 1986, p. 351

¹⁰⁸ *Ibidem*, p. 348.

conjunto, matemática e experimento, e *completa* uma com a outra. É desta maneira que Galileu concebe o uso dos experimentos na construção da sua nova ciência, nos *Discursos*. Robert Butts afirma que, em Galileu, “(...) a matemática deve ser usada na ciência para assegurar a integridade dos experimentos precisamente porque os elementos no mundo físico *como percebidos* nunca satisfazem os teoremas matemáticos” ¹⁰⁹, e com isso, mesmo que um objeto material não corresponda exatamente à sua definição geométrica, como afirma Simplicio, sendo irregular – ou imperfeito (porém, deve-se ter em mente que falar sobre irregularidades da matéria não significa afirmar a imperfeição da matéria, aqui, o termo imperfeito corresponde à disparidade entre um objeto material e seu constituinte geométrico), este objeto não deixa de existir no mundo real: uma esfera material não é menos esfera por ser real e não corresponder exatamente à sua definição geométrica, e um plano material também não é menos plano por ser real. Ao comentar a resposta de Salviati a Simplicio, Moschetti afirma:

Figuras irregulares, ou seja, mais complexas, não deixam, por isso, de ser geométricas, e, portanto, possuidoras de propriedades em comum com suas contrapartes abstratas. Com isso, Galileu faz com o que o próprio aristotélico tenha que concordar com a identidade entre a geometria e as figuras das coisas materiais (MOSCHETTI, 2011, p. 97).

Figuras irregulares não deixam de ser figuras, e objetos irregulares não deixam de ser objetos e apresentar aspectos geométricos, tornando possível a matematização da física. Estes objetos, entretanto, por sua condição de irregulares, tornam seu conhecimento mais complicado, mas não impossível, visto que Galileu distingue dois modos do entender humano no fim da Primeira Jornada do *Diálogo*: o *intensive* e o *extensive*. Para Galileu, o conhecimento *extensive* “é como que nulo, ainda que entendesse milhares de proposições, porque mil em comparação com a infinidade é como um zero” ¹¹⁰, porém, o entender *intensive* “enquanto tal termo importa intensivamente, ou seja, perfeitamente, alguma proposição, afirmo que o intelecto humano entende algumas tão perfeitamente, e tem delas uma certeza tão absoluta, quanto tem delas a própria natureza” ¹¹¹. Estas proposições que o homem pode compreender como certezas absolutas no conhecimento *intensive* são expressas com as

¹⁰⁹ BUTTS, 1978, p. 78.

¹¹⁰ GALILEI, *Opere* VII, p.128; 2011, p.186.

¹¹¹ *idem*.

ciências matemáticas puras, a saber, a geometria e a aritmética, comparável ao saber divino, à medida em que progredimos sucessivamente nas certezas matemáticas na investigação da natureza.

O conhecimento exato das coisas é conhecido por Deus e pelo homem, a diferença existente é que o homem conhece no tempo, enquanto Deus conhece instantaneamente. Contudo, embora este conhecimento *intensive* seja comparável ao conhecimento divino pela característica matemática do objeto estudado, o conhecimento humano revela-se limitado dentro das infinitas proposições que ele pode conhecer porque as conhece uma a uma e, cada uma delas, passo a passo. Essa limitação do conhecimento humano também é reconhecida nos *Discursos*, mas não de maneira tão expressiva quanto esta passagem no *Diálogo*. Na Primeira Jornada dos *Discursos*, na discussão acerca dos infinitos espaços mínimos que compõem a matéria; e após Simplicio afirmar que não entende como a linha é composta a partir de pontos, como o indivisível é composto a partir dos indivisíveis e como o que tem grandeza a partir do que não tem grandeza, Salviati alega: “Na verdade, existem estas e outras dificuldades. Contudo, não esqueçamos que estamos tratando dos infinitos e dos indivisíveis, aqueles incompreensíveis para o nosso *entendimento finito* devido a sua grandeza, e estes, devido a sua pequenez.”¹¹². Apesar de o nosso entendimento ser finito, o conhecimento matemático *intensive* faz com que o homem alcance as certezas das coisas através das matemáticas puras do mesmo modo como a mente divina as conhece: de modo perfeito; mas Deus conhece as coisas instantaneamente e o homem progride passo a passo no tempo. As mesmas formas aritméticas e geométricas pelas quais Deus criou todas as coisas, e através das quais a natureza está estruturada, são conhecidas pelos homens, o que lhes permite investigar a natureza assim como ela se apresenta: geometricamente.

Um último aspecto que podemos destacar nessa análise corresponde à caracterização de Galileu como um platônico devido ao uso da matemática, opinião defendida por Koyré. Nos artigos “*Galileu e Platão*”¹¹³ e “*Galileu e a revolução científica do século XVII*”¹¹⁴, Koyré parte da diferenciação entre um platônico e um aristotélico do século XVII acerca do uso da matemática para a investigação da natureza, e que esta divisão era bastante clara para Galileu e seus contemporâneos:

¹¹² GALILEI, *Opere* VIII, p. 73; DNC, 1988, p. 29.

¹¹³ KOYRÉ, 1991, pp. 152 - 180.

¹¹⁴ *Ibidem*, pp. 181 - 196.

Segundo eles, se alguém considera as matemáticas como ciência auxiliar que se ocupa das abstrações e, por isso, de menor valor que as ciências que tratam de coisas reais, como a física; se alguém afirma que a física pode e deve basear-se diretamente na experiência e na percepção sensível, trata-se de um aristotélico. Pelo contrário, se alguém quer atribuir às matemáticas um valor supremo e uma posição-chave no estudo das coisas da natureza, então trata-se de um platônico. Consequentemente, aos contemporâneos e alunos de Galileu, como ao próprio Galileu, a ciência galileana, a filosofia galileana da natureza se afigurava como um retorno a Platão, como uma vitória de Platão sobre Aristóteles. (KOYRÉ, 1991, p. 195).

Koyré então define Galileu como um platônico: “acabo de chamar Galileu de platônico. Creio que ninguém porá em dúvida que ele o seja”¹¹⁵, sugerindo uma ciência galileana essencialmente teórica, de caráter matemático-platônico, e que o sucesso da ciência de Galileu deu-se pela sua escolha platônica e não aristotélica no que se refere ao uso da matemática. Embora Koyré caracterize Galileu como um platônico, há um aspecto na matemática destes dois filósofos que diferem entre si: a matemática de Galileu não conduz às essências como a matemática platônica. Neste debate concordamos com a opinião de Rivka Feldhay que, ao comentar a alusão de Salviati a reminiscência platônica no segundo dia do *Diálogo* em seu artigo *The use and abuse of mathematical entities*, critica a posição de alguns filósofos e historiadores (Feldhay não cita Koyré, mas a crítica que emite refere-se à opinião deste):

Alguns filósofos e historiadores da ciência tem estimado a ideia que foi a epistemologia platônica (matemática), ou mesmo a ontologia, que realmente habilitou – não apenas acompanhou – a emergência da física matemática. A velha-nova epistemologia platônica, eles afirmaram, substituiu a epistemologia – lógica, mas não-matemática – aristotélica, aceita por muitos séculos como a estrutura adequada para a prática da física aristotélica. Uma leitura mais aproximada de mais algumas passagens no *Diálogo*, entretanto, pode sugerir uma visão diferente. Em conformidade com as palavras de Salviati, tal visão acentuará a prática, em atos de fala mais do que epistemologia, como a indicação básica para o entendimento do processo pela qual Galileu está disperso dentro de um conhecimento cristalizado que parecia coerente na época. Tal leitura apontará a futilidade de qualquer tentativa de reduzir as opiniões de Galileu dentro da dicotomia de um discurso platônico ou aristotélico (...). Isto não significa que o platonismo e o aristotelismo não tiveram papel ideológico na política do conhecimento de Galileu. Isto significa, entretanto, que o rótulo deve ser desconstruído, em ordem de entender sua função como uma prática cultural entre outras usadas pelos muitos intelectuais do século 16 e 17, entre eles Galileu. (FELDHAY, 1998, p. 120 - 121).

¹¹⁵ *Ibidem*, p. 170.

Como vimos no capítulo anterior, há varias passagens que aludem ao “platonismo” de Galileu, tais como o uso da reminiscência através de Salviati, e, sobretudo, sobre a aplicação geométrica nos estudos físicos. Embora Galileu refira-se a Platão e Aristóteles em suas obras, tratados e cartas, por causa do contexto renascentista das tradições platônicas e aristotélicas em que nosso autor estava inserido, muito provavelmente ele não teve acesso às obras diretas da antiguidade sem as traduções e análises latinas que ocorreram ao longo do medievo e da renascença ¹¹⁶. No entanto,

¹¹⁶ Vincenzo Viviani (1622 – 1703), discípulo e primeiro biógrafo de Galileu, escreveu que Galileu “passou alguns anos de sua juventude nos estudos de humanidades (...), que em seguida dedicou-se a leitura de autores latinos de primeira classe, reuniu por si só aquelas erudições nas humanidades da qual mostrou em seguida em todas conferências privadas, nos círculos e nas academias (...)” (GALILEI, *Opere* XIX, p. 601). Deste modo, Galileu estava inserido no contexto humanista-renascentista da Itália do século XV ao XVII, quando houve uma crescente revivescência do platonismo, onde a grande maioria das obras de Platão foram traduzidas para o latim, já que somente poucas obras de Platão em latim foram traduzidas no medievo. No livro *Plato in the Italian Renaissance*, Hankins afirma: “O século XV viu um repentino aumento na disseminação e no estudo do *corpus* platônico no ocidente latino. O aumento é bem ilustrado pela história das traduções latinas dos diálogos nos períodos medieval e renascentista. Dos trabalhos de Platão na antiguidade que conhecemos que foram traduzidas para o latim, as únicas versões que sobreviveram dentro da Idade Média foram duas interpretações parciais do *Timeu* feitas por Cícero e Calcidius, e um número de pequenos testemunhos nos escritos filosóficos de Cícero, Santo Agostinho e outros trabalhos de filosofia latina. A Idade Média adicionou somente três diálogos para seu patrimônio: alguns quase ininteligíveis do *Fédon* e do *Ménon* traduzido na Sicília durante o século 12 por Henricus Aristippus, e uma versão parcial do *Parmênides*, com um comentário de Proclo, traduzido por William de Moerbeke no século 13 tardio. Com o alvorecer do século 15, entretanto, houve um aumento dramático no esforço de fazer Platão disponível para os leitores latinos, esforços feitos quase exclusivamente pelos humanistas italianos.” (HANKINS, 1990, p. 4 – 5). As obras de Aristóteles também passaram pelo mesmo processo de traduções e comentários ao longo do medievo até o início da renascença, Evaniel Brás sugere que devemos ter em mente a separação entre o Aristóteles grego e o Aristóteles latino, e afirma: “O século XIII do Ocidente latino é caracterizado por dois fatores interligados. Por um lado, pela efervescência universitária e, por outro, pela redescoberta do *corpus aristotelicus*. A noção de ‘redescoberta’ manifesta, dentre outros, o acabamento de um evento presente no Ocidente desde o século XII: as traduções do Árabe e do Grego para o Latim das obras de Aristóteles, o que hoje se designa de ‘Aristóteles latino’. Por se constituir como o resultado de esforços recorrentes nos séculos XII-XIII e, ademais, porque deve ser considerado conjuntamente com outros filósofos do período mencionado, Aristóteles latino pode ser tomado como um dos fundadores da *scientia naturalis* medieval” (BRÁS, 2014, p. 123). Neste contexto Brás destaca a *Física* de Aristóteles como exemplo da diferença existente entre as obras aristotélicas gregas e medievais: “Entre os séculos XII-XIII surgiram cinco versões latinas da *Física*, são elas: (1) Tiago de Veneza (séc. XII) – Grego-Latim (*Vetus*); (2) a anônima incompleta, livros I-II.2, (séc. XII) – Grego-Latim (Vaticana); (3) Gerardo de Cremona (séc. XII) – Árabe-Latim; (4) Miguel Escoto (séc. XIII) – Árabe-Latim; (5) Guilherme de Moerbeke (séc. XIII) – Grego-Latim. Dentre estas traduções, duas possuem edição crítica: a *Vetus* e a Vaticana. O emprego da primeira é mais apropriado do que a segunda pelo fato único daquela ser completa, ou seja, possuir os oito livros. Ademais, a qualidade da tradução *Vetus* pode ser atestada pela constatação de que é muito possível que o próprio Moerbeke, tão famoso pela consistência nas traduções, não tenha feito pouco mais do que revisá-la.” (Ibidem, p. 127). Deste modo, as obras das tradições platônica e aristotélica pela qual muito provavelmente Galileu teve maior acesso foram as obras que circulavam na renascença italiana, justamente porque, como afirma Viviani em seu relato, Galileu inicialmente dedicou-se a estudar humanidades. O relato de Viviani ganha força quando olhamos para a juventude de Galileu. Sobre este período William Wallace destaca uma série de anotações juvenis de Galileu que estão relacionados à sua herança medieval e renascentista: “as notas são muito sofisticadas, eles tinham um ar magistral sobre elas, citando autoridades e opiniões extensivamente” (WALLACE, 1978, p. 88), estes manuscritos estão

neste período, as bases da filosofia platônica e aristotélica permaneceram as mesmas. Com isso, como destaca Shea, o platonismo do século XVII foi um movimento e não uma escola; aqueles que se afirmavam platônicos representavam uma ampliada gama de finalidade e interesses. Deste modo, como podemos (de acordo com a argumentação de Koyré) denominar Galileu como um platônico? Há, de fato, várias passagens onde Galileu refere-se a Platão; no *Diálogo*, Salviati afirma:

Salviati: Que os pitagóricos tinham em máxima estima a ciência dos números e que mesmo *Platão admirava o intelecto humano e o considerava partícipe da divindade somente por ele entender a natureza dos números*, eu o sei muito bem, *nem estaria longe de fazer o mesmo juízo*. (GALILEI, *Opere* VII, p. 35; *Diálogo*, 2011, p. 97) [grifo nosso].

Esta fala de Salviati encontra-se na Primeira Jornada do *Diálogo*, afirmando que *nem estaria longe de fazer o mesmo juízo* que os pitagóricos e Platão fizeram sobre a ciência dos números, bem como a noção de que o intelecto humano participa da divindade *somente por ele entender a natureza dos números*. Contrapondo a visão platônica Galileu atribui, no *Diálogo*, ao aristotélico Simplicio a função de negar a matemática como um importante recurso para a investigação natural, afirmando que “não é necessário, na ciência natural, buscar a evidência matemática precisa.”¹¹⁷ e, nos *Discursos*, Simplicio reconhece que deveria ter começado seus estudos pela geometria, como sugere Platão, reconhecendo seu “erro” em dois momentos:

repletos de citações, e sobre um deles, denominado MS Gal 46, Wallace afirma: “neste manuscrito particular Galileu cita 147 autores, com pequenos títulos de muitos de seus trabalhos, como autoridades para opiniões e argumentos que ele apresenta. Muitos destes escritores são da antiguidade clássica, os autores da pesquisa primária tais como Platão, Aristóteles e Ptolomeu. Mas um número considerável de autores medievais e renascentistas também é mencionado, e, baseado na frequência de citação, foram estas fontes posteriores que Galileu parece ter tido recurso mais genericamente. De fato, é instrutivo listar os principais autores que ele cita em ordem de frequência de citação (...), por exemplo, o autor que é mais frequentemente referenciado é um dos comentadores medievais de Aristóteles, Tomás de Aquino, que é mencionado 43 vezes, depois dele vem Averróis, 38 vezes, e então um grupo de dominicanos que Galileu se refere como “os tomistas”, cujas citações isoladamente e coletivamente somam um total de 29.” (*ibidem*, p. 90).

¹¹⁷ (GALILEI, *Opere* VII, p. 256; *Diálogo*, 2011, p. 309). Em outra passagem, na Terceira Jornada do *Diálogo*, Simplicio afirma: “Simplicio – Essas (se eu devo apresentar o meu parecer com franqueza) parecem-me daquelas sutilezas geométricas, pelas quais Aristóteles repreende Platão, quando o acusa de que, por muito estudo da geometria, distanciava-se do correto filosofar: e eu conheci e escutei grandíssimos filósofos peripatéticos desaconselharem seus discípulos a estudar as matemáticas, por serem disciplinas que tornam o intelecto caviloso e inábil a bem filosofar; máxima diametralmente oposta àquela a Platão, que não admitia na filosofia senão quem se tivesse antes apropriado da geometria” (GALILEI, *Opere* VII, p. 423; *Diálogo*, p. 475).

Simplicio: Fico completamente convencido e podem ter certeza que, *se tivesse de recomençar meus estudos, seguiria o conselho de Platão e começaria pelas matemáticas*, cujo procedimento não é só metódico, mas não admite como verdadeiro senão aquilo que pode ser demonstrado concludentemente. (GALILEI, *Opere* VIII, p. 134; DNC, p. 76) [grifo nosso].

Sagredo: O que podemos dizer, Sr. Simplicio? Não devemos confessar que a geometria é o mais poderoso instrumento para estimular o espírito e prepará-lo adequadamente para raciocinar e indagar? *E não tinha Platão razão ao exigir que seus alunos tivessem, antes de mais nada, um conhecimento sólido das matemáticas?* (...)

Simplicio: Começo realmente a compreender que a lógica, ainda que seja um conhecimento indispensável para reger nosso raciocínio, não alcança, no que se refere a estimular a mente para a invenção, à grandeza da geometria.

Sagredo: Parece-nos que a lógica nos ensina a conhecer se os raciocínios e as demonstrações já efetuadas e alcançadas procedem de modo conclusivo; não acredito, porém, que ela nos ensine a encontrar os raciocínios e demonstrações conclusivas. (*Ibidem*, p. 175; *Ibidem*, p. 110) [grifo nosso].

Apesar do papel atribuído ao personagem Simplicio no *Diálogo* e nos *Discursos* serem diferentes ¹¹⁸, nestas duas passagens dos *Discursos*, Simplicio arrepende-se de sua educação aristotélica, primeiro por não ter começado seus estudos *pelas matemáticas* e segundo por perceber que a lógica não possui o mesmo alcance cognitivo do que a geometria. A partir do ponto de vista de Koyré, poderíamos considerar que esta passagem entre Sagredo e Simplicio pode favorecer a crença de que Galileu é um platônico opondo-lhe a ser um aristotélico; comparando ambos os filósofos, Galileu concorda com Platão sobre a importância da matemática por esta buscar a verdade e apresentar aquilo que é demonstrado concludentemente e que por isto o conhecimento matemático na investigação natural é indispensável. No entanto, a matemática de Galileu difere-se da matemática platônica em relação a seus objetivos: a matemática de

¹¹⁸ De acordo com Mariconda, no *Diálogo*, Simplicio “serve a um duplo propósito: o Simplicio histórico é uma referência óbvia a Aristóteles, sua filosofia e sua física; por outro lado, o Simplicio retórico faz o papel dos professores peripatéticos dogmáticos que dominavam o ensinamento oficial. Simplicio representa, pois, tanto a tradição no sentido mais complexo da cosmologia aristotélico-ptolomaica, quanto o dogmatismo do comentador que enriquece o pensamento ao procurar, a todo custo, conciliar as novas evidências à doutrina do filósofo (Aristóteles). (...) Nos *Discursos* (...) a mudança mais nítida está em Simplicio. Não é mais um defensor dogmático das velhas teorias, embora se mantenha sempre peripatético; mas, em geral, é convencido por Salviati. Na verdade, isto está de acordo com o objetivo dos *Discursos* que é a exposição de duas novas ciências, e não o debate de questões tradicionais, como no *Diálogo*. Simplicio tem agora, diante das novidades tratadas, a ingenuidade do senso comum. Por outro lado, diante da dificuldade de entender o raciocínio matemático e demonstrativo do tratado sobre o movimento, chega a lamentar-se de não ter seguido o conselho platônico de estudar geometria, antes de dedicar-se à filosofia.” (MARICONDA, Introdução ao *Discursos sobre duas novas ciências*, 1988, p. xxvi).

Platão leva até as essências ¹¹⁹ e Galileu, ao contrário, recusa a busca pelas essências; a matemática de Galileu não busca as essências das coisas tal como a de Platão e ela revela-se como uma busca das propriedades dos fenômenos naturais descritas de acordo com a geometria, como Galileu defende nas cartas sobre as manchas solares.

Após a publicação do *Mensagem das Estrelas* em 1610, Galileu apontou sua luneta para o sol e observou as manchas que acompanhavam o movimento do disco solar. Estas manchas também foram observadas pelo astrônomo e padre jesuíta Christoph Scheiner (1575-1650), o qual defendia que elas eram formadas pelos vários planetas que orbitavam o sol e que, devido ao posicionamento entre os observadores terrestres, poderíamos observar que estes planetas projetavam as manchas no sol. Contrariamente, Galileu defendia que essas manchas estavam sobre a superfície do sol, e circulavam junto com o sol em torno do seu próprio eixo. Não nos cabe aqui aprofundar sobre as três cartas que apresentavam o debate entre Scheiner e Galileu ¹²⁰,

¹¹⁹ Platão dedica um estudo, acerca da matemática, no livro VI d' *A República* na metáfora da linha, que divide o conhecimento entre sensível e inteligível (509d–511e); e no livro VII, onde discute quais são as ciências que devem ser estudadas para a formação do filósofo. No fim do livro VI, na metáfora da linha, Sócrates convida Gláuco a imaginar uma linha cortada em duas partes desiguais, e após isto, a cortar novamente a linha segundo a mesma proporção (509e). Com isso, temos dois níveis de realidade, bem como alguns níveis de conhecimento que estão dispostos de acordo com cada nível destas realidades. No fim do livro VII, Platão relaciona o tipo de conhecimento a cada nível de realidade que a compreende: o sensível, realidade das aparências, consideradas cópias imperfeitas das Ideias, sendo subdividido entre imagens (sombras e reflexos, conhecidas pela suposição) e os modelos (objetos sensíveis, que também comportam os seres vivos, conhecidas através da fé); e o inteligível, sendo subdivididas, primeiro, às ciências matemáticas (conhecidas pelo entendimento); e, segundo, pelas Ideias (acessíveis pela inteligência). Para Platão, a verdadeira realidade, perfeita em si mesma, só é atingida quando fazemos este processo de ascensão até o inteligível. No livro VII, Platão tem por objetivo enumerar as ciências matemáticas que conduzirão o filósofo ao conhecimento verdadeiro. Esta educação consiste primeiro no ensino da matemática, “a ciência que arrasta a alma do que é mutável para o que é essencial” (PLATÃO, 2001, p. 326, 521d). O caráter especulativo e abstrato da matemática permite à alma procurar o conhecimento da totalidade dos objetos: as coisas em si mesmas, tal o seu próprio objeto de estudo, os números em si mesmos. Com isso, a matemática é uma ciência “realmente indispensável, uma vez que se torna claro que obriga a alma a servir-se da inteligência em si para chegar a verdade pura” (526b). Assim a matemática tem por objetivo facilitar a passagem da mutabilidade à verdade e à essência, à verdadeira realidade que está por trás de toda a mutabilidade. O sensível, por admitir o múltiplo, contém em si a unidade, pertencente ao inteligível, porém, só podemos enxergar esta unidade através do esforço do entendimento que força a alma a contemplar a sua Ideia correspondente, e não através dos sentidos. De acordo com Silva, para Platão, “o mundo real apenas reflete imperfeitamente um mundo puro de entidades perfeitas, imutáveis e eternas – os conceitos matemáticos entre elas” (SILVA, 2007, p. 37). Assim, para Platão a matemática, a ciência dos números e do cálculo é “aquela ciência comum, da qual se utilizam todas as artes, todos os modos de pensar, todas as ciências – e também aquela que é preciso aprender entre as primeiras.” (522c, p.328), e a geometria é “o conhecimento do que existe sempre, e não do que a certa altura se gera ou se destrói” (527b, p. 336). Neste sentido, estas duas ciências possuem um importante papel na filosofia de Platão, pois as ciências matemáticas aplicam-se no estudo do mundo físico por participarem dele, como também este mundo físico participa das formas ideais, das essências, como verdadeira realidade.

¹²⁰ Nota do autor: Para uma análise mais profunda, ver MOSCHETTI, *Galileu e as cartas sobre as manchas solares: a experiência telescópica contra a inalterabilidade celeste*. Cadernos de Ciências Humanas - Especiaria. V. 9, n.16,jul./dez., 2006, p. 313-340.

reunidas e intituladas de *Histórias e demonstrações em torno às manchas solares* (*Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari* ¹²¹) de 1613; o que nos é importante neste momento é destacar que, enquanto Scheiner questionava Galileu sobre a essência das manchas, este negava proferir conhecer com absoluta certeza a natureza delas, uma vez que o conhecimento geométrico não nos revela sobre a essência das coisas, e sim suas propriedades. Galileu estava interessado em saber os tamanhos, as figuras, as grandezas e os movimentos das manchas, ou seja, aspectos revelados quantitativamente pelo conhecimento geométrico. Galileu afirma na terceira carta enviada a Scheiner:

(...) ou queremos tentar através da especulação penetrar a essência verdadeira e intrínseca das substâncias naturais, ou nos contentamos com o conhecimento de algumas de suas afecções. Buscar a essência, tenho-na como uma empresa não menos impossível e não menos vã nas próximas substâncias elementares que nas remotíssimas e celestes. E a mim pareço ignorar igualmente as substâncias da Terra e da Lua, as nuvens elementares e as manchas do Sol. (...) E se, questionando eu qual seja a substância das nuvens, for-me dito que é um vapor úmido, novamente desejarei saber o que é vapor; será porventura ensinado a mim que o vapor é água, atenuada em virtude do calor, e nele transformada; mas eu, igualmente duvidoso do que seja a água, buscando-o, finalmente compreenderei ser o corpo fluido que escorre pelos riachos e que continuamente manejamos e tratamos: mas tal notícia sobre a água é somente mais próxima e dependente de mais sentidos, mas não mais intrínseca que aquela que eu antes tinha a respeito das nuvens (...). (GALILEI, *Opere* V, p. 187; Tradução de Moschetti, 2006, p. 332).

De acordo com Galileu não podemos conhecer qual a essência da nuvem, porque, se for dito que são vapores, desejar-se-á saber qual é a essência do vapor, e poderíamos dizer que é a água, e assim por diante; ou seja, nas cartas sobre as manchas solares Galileu já destacava uma característica que iria apresentar posteriormente n' *O Ensaaiador* e nos *Discursos*: ao conhecimento geométrico cabe conhecer e descrever as propriedades quantitativas da natureza. Entretanto, em Galileu, o termo *essência* também é usado para designar *definição*; termo comumente usado numa ciência demonstrativa, pois é a partir das definições que se buscam as propriedades dos fenômenos naturais; motivo pelo qual devemos ter em mente que o termo *essência* pode corresponder também à *natureza* ou *substância* como fundamento das coisas, ou *essência* como *definição*. Galileu afirma nos *Discursos* sobre o movimento acelerado:

¹²¹ GALILEI, *Opere* V, pp. 71 – 249.

(...) posto que a natureza se serve de uma forma determinada de aceleração na queda dos graves, não é inconveniente estudar suas propriedades, *fazendo com que nossa definição do movimento acelerado corresponda à essência do movimento naturalmente acelerado*. O que acreditamos ter finalmente descoberto depois de longas reflexões; principalmente se levarmos em conta que as propriedades por nós demonstradas parecem corresponder e coincidir com os resultados da experiência. (GALILEI, *Opere* VIII, p. 197; DNC, 1988, p. 126) [grifo nosso].

Galileu, então, nas cartas sobre as manchas solares, recusa a busca pelas essências. Na passagem sobre o conhecimento matemático *intensive* no fim da Primeira Jornada do *Diálogo*, Galileu refere-se à aritmética e à geometria como ciências matemáticas puras. A matemática pura de Galileu é uma descrição das propriedades do mundo e não uma matemática pura no sentido platônico que ajuda a buscar e elevar até as essências. Na Segunda Jornada do *Diálogo*, Galileu expõe seu entusiasmo sobre a nova ciência do movimento local vinculado a demonstração matemática, após expor para seus interlocutores o que apareceria sob a forma da “proposição II - teorema II”¹²², nos *Discursos*, Galileu afirma através de Sagredo e Salviati:

Sagredo: Que coisa admirável escuto dizer! E afirmais que existe uma *demonstração matemática* disso?

Salviati: *Matemática puríssima*, e não somente desta, mas de muitas outras *belíssimas propriedades concernentes aos movimentos naturais e também aos projéteis, todas encontradas e demonstradas* pelo nosso amigo: eu as li e estudei todas com muita satisfação e admiração, vendo surgir um novo conhecimento inteiro, acerca de um assunto sobre o qual se escreveram centenas de volumes; e nenhuma das infinitas conclusões admiráveis que aí se encontra foi observada e compreendida por alguém antes do nosso amigo. (GALILEI, *Opere* VII, p. 248, 2011; p. 301) [grifo nosso].

Galileu refere-se à *demonstração matemática* como correspondente às demonstrações matemáticas das propriedades do movimento natural. Assim a matemática de Galileu não se dedica a dizer a essência (natureza ou substância num sentido platônico) do movimento e sim suas propriedades; neste aspecto, Ludovico Geymonat critica a posição de Koyré de que Galileu foi um platônico devido ao uso da matemática. Geymonat afirma: “Eu sustento, porém, contrariamente a alguns intérpretes ‘platonistas’ de Galileu, como Koyré (...), que a função atribuída à matemática pelo

¹²² Nota do autor: O teorema do tempo ao quadrado e da progressão numérica na aceleração dos corpos em queda.

cientista pisano tenha sido radicalmente diferente daquela sustentada por Platão (...)”

¹²³. Após lembrar que a matemática platônica é um conhecimento que tem por função levar até as essências, Geymonat continua:

É precisamente esta a função que, a meu ver, vem negada em Galileu. Ao contrário, para Galileu as coisas são um pouco diferentes. Para Galileu a matemática é utilizada para conhecer a experiência, não para passar do mundo da experiência ao mundo da metafísica, que estaria por trás da experiência (...). Para Galileu a matemática não tem função de transportar do nível da experiência ao nível mais profundo. (GEYMONAT, 1989, p. 61 – 62).

Galileu, então, recusa a busca pelas essências, mas isto não quer dizer que os homens não podem conhecê-la. Retomando ao conhecimento *extensive* e *intensive* no *Diálogo*, o homem pode conhecer as essências das coisas, mas este conhecimento somente progride passo a passo (tal como saber que a essência da nuvem é o vapor, e que deste é a água e assim sucessivamente), enquanto que Deus conhece todas as essências instantaneamente. Deste modo, Galileu busca conhecer as propriedades das coisas demonstradas matematicamente, e destes conhecimentos apreendidos, tornar suas essências como definições para progredirmos passo a passo no conhecimento da natureza. Salviati afirma:

Salviati: Para expressar-me melhor, quanto à verdade que conhecemos pelas demonstrações matemáticas, que *ela é a mesma que conhece a sabedoria divina*; mas vos concedo que o modo pelo qual Deus conhece as infinitas proposições, das quais conhecemos algumas poucas, é sumamente mais excelente que o nosso, o qual procede por raciocínios e passagens de conclusão a conclusão, enquanto o Seu é uma intuição simples: *e onde nós, para chegar, por exemplo, à ciência de algumas propriedades do círculo, que possui infinitas, começando por uma das mais simples e tomando aquela como sua definição, passamos pelo raciocínio a uma outra, e desta à terceira, e depois à quarta etc., o intelecto divino, com a simples apreensão de sua essência, compreende, sem raciocínio temporâneo, toda a infinidade daquelas propriedades; as quais, com efeito, estão virtualmente contidas nas definições de todas as coisas, e que, finalmente, por serem infinitas, são talvez uma só em essência e na mente divina.* (GALILEI, *Opere* VII, p. 129-130; *Diálogo*, p. 186-187) [grifo nosso].

¹²³ GEYMONAT, 1989, p. 61.

Da progressão uma a uma e do estudo das propriedades, o homem chega à propriedade mais simples e faz daquela a sua *definição* dos fenômenos estudados. Deus, contrariamente, conhece através das essências instantaneamente – que são uma só e na mente divina - toda a infinidade de propriedades que contém todas as definições. Em Galileu, apesar de a matéria física conter irregularidades e impedimentos, ela é inexorável e perfeita, podendo assim ser aplicada à regularidade geométrica (também inexorável e imutável, sendo por ela que a natureza está escrita). Contudo, o conhecimento matemático do mundo nos revela suas propriedades, e não conduz à algum tipo de essência, o máximo que podemos ter é um conhecimento exato das coisas enquanto propriedades do mundo, do mesmo modo que Deus as conhece, porém, somente progressivamente através das certezas matemáticas, e delas, somente progredimos de uma a uma na investigação e no conhecimento da natureza. Deste modo, embora Galileu se auto intitule seguidor de Platão, o objetivo do uso da matemática difere-se nesses dois filósofos: para Galileu a matemática é utilizada para conhecer as propriedades do mundo e não para conduzir a algum tipo de essência inteligível que corresponda à verdadeira realidade, tal como defendeu Platão. Aqui não pretendemos afirmar que Galileu foi platônico ou aristotélico, nos expressamos de acordo com o pensamento de que, se nos é permitido comparar o uso da matemática por Platão e por Galileu, podemos observar algumas semelhanças e dissemelhanças em alguns aspectos e, o fato de haver semelhanças não significa que tal filósofo tenha sido seguidor de outro. Ainda de acordo com a citação de Feldhay utilizada anteriormente, “não significa que o platonismo e o aristotelismo não tiveram papel ideológico na política do conhecimento de Galileu. Isto significa, entretanto, que o rótulo deve ser desconstruído”. Aqui, acreditamos ter sido que este foi o erro de Koyré (em relação ao aspecto matemático) quando afirmou que a filosofia galileana da natureza emergiu a partir da escolha, e consequentemente vitória, do platonismo sobre o aristotelismo, e que por isto, podemos caracterizar Galileu como um seguidor de Platão ou de qualquer outro filósofo. Quanto a isto, lembremos que, como afirma Nascimento ¹²⁴, podemos encontrar em Galileu diferentes tradições de pensamentos e, com isso, Combrrie atesta para o fato do método matemático de Galileu ter sido uma longa construção do pensamento ocidental, ele afirma:

¹²⁴ Nota do autor: Ver início da seção.

De fato, a tradição matemática que existiu na metodologia ocidental desde o tempo de Grosseteste e, claro, antes dele desde os gregos, parece largamente ter passado por estes escritores. Um dos dois aspectos desta tradição, a avaliação platônica ou pitagórica do status ontológico das entidades matemáticas é encontrado, entre os cientistas do século XV, predominantemente em Nicolau de Cusa, em que liga, através de Copérnico, com Kepler; a visão estritamente operacional da matemática de Aristóteles predominou com os físicos italianos do século XVI. Galileu foi influenciado por ambas as visões, que ele uniu, em uma maneira nunca vista antes alcançada, com esse método experimental no qual quatro séculos de pensamento e tentativas em Oxford, Paris, e Pádua preparou para ele. A originalidade do método de Galileu consiste precisamente na sua efetiva combinação da matemática com experimento. (COMBRIE, 1971, p. 303).

Capítulo 3

Experimento e Matemática na lei da queda dos corpos.

I – Cartas e Manuscritos galileanos acerca do movimento.

A partir da publicação dos manuscritos galileanos (preservados na Biblioteca Nacional de Florença) denominados MS 72 por Stillman Drake em 1973, iniciou-se um novo tipo de estudo acerca dos experimentos empíricos de Galileu que envolviam as propriedades do movimento de queda e do movimento dos projéteis. Drake (1973), Ronald Naylor (1974), David Hill (1986; 1988) e outros historiadores reconstruíram o experimento do plano inclinado com base nas várias situações experimentais sugeridas por Galileu em tais notas a fim de: primeiro, confirmar o seu processo experimental; segundo, verificar os valores obtidos por Galileu e aqueles que derivam de suas reconstruções e, terceiro, desenvolver uma possível reconstrução do método e das descobertas científicas de Galileu e a evolução de seu pensamento.

Estes fólios confirmam que os experimentos sobre o movimento no plano inclinado já haviam sido elaborados anos antes da publicação do *Diálogo* ou dos *Discursos*, e datam da época em que Galileu era professor na universidade de Pisa e de Pádua, ou seja, nas décadas de 1590 e 1600. Mesmo que cada reconstrução apresente algumas variações nos valores finais obtidos, todos eles coincidem, de modo geral, com os resultados descritos nos fólios por Galileu ao conduzir o experimento, como podemos observar na Figura 2 ¹²⁵, onde: AC é o comprimento do plano no qual há uma curva suave em B para se tornar horizontal e nivelar com o topo da mesa em C, quando uma esfera rola a partir de A numa altura H, se curva suavemente em C numa altura h para cair com um movimento curvo no ponto F, a uma distância D da mesa. Assim, este mesmo experimento possibilita tanto o estudo das propriedades da trajetória parabólica do corpo ao sair do plano, quanto das propriedades dos corpos em queda (pelo plano inclinado ou pela vertical), dois tipos de movimentos que fazem parte da nova ciência de Galileu. Dentre os vários manuscritos que exprimem o estudo experimental do movimento, podemos destacar alguns deles: os fólios 81r, 114v e 116v.

¹²⁵ Imagem extraída de NAYLOR, 1976, p. 404.

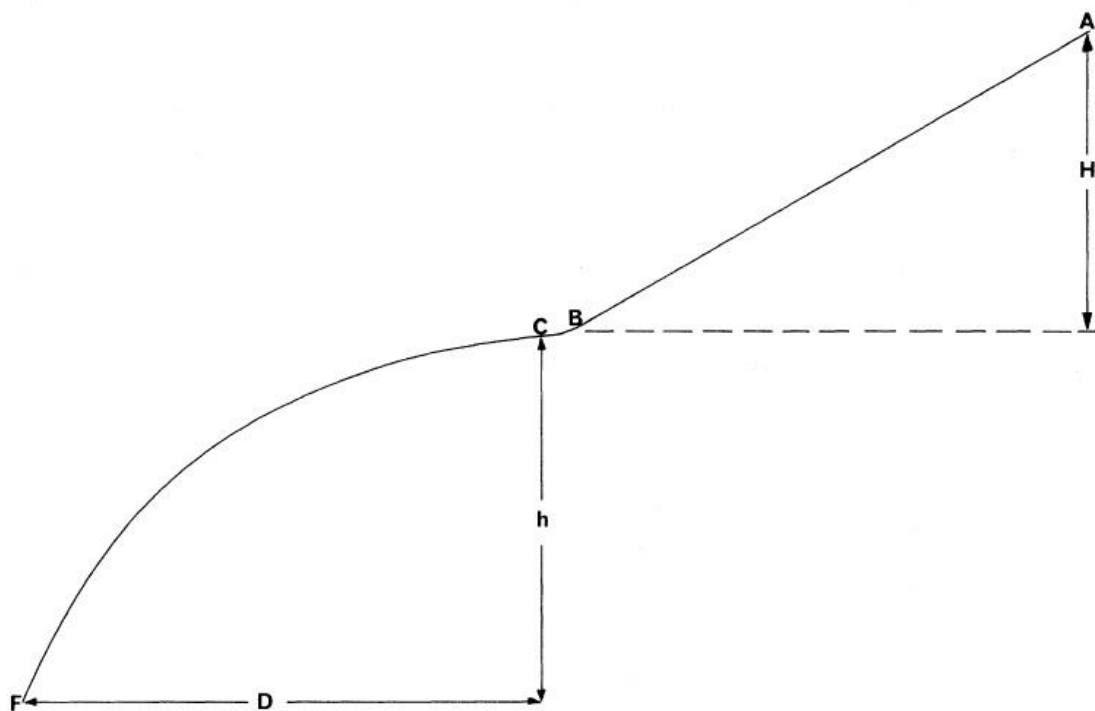


Figura 2. Esquema experimental sobre um plano inclinado.

A extensa obra galileana, sua vasta correspondência e a descoberta destes fólhos reforçaram o estudo de uma das questões mais discutidas sobre a física de Galileu: quando e como ele elaborou a sua lei da queda dos corpos. Alguns, como Palmiere (2004), apontam que Galileu começou a desenvolver esta lei ainda no seu período juvenil na década de 1590, no tratado que nunca publicou: o *De Motu* (Do Movimento) ¹²⁶. Koyré afirmou que “a lei da queda dos corpos, a primeira das leis da física clássica, foi formulada por Galileu em 1604” ¹²⁷ numa carta que enviou para Paolo Sarpi; Drake (1999) reconhece o mesmo ano, porém diz que a primeira tentativa de Galileu de uma lei que relacionasse espaço e tempo ocorreu num fragmento publicado por Antonio Favaro e que foi associado aos *Discursos* ¹²⁸, contudo, Drake (assim como Koyré) associa tal fragmento à carta de Galileu a Sarpi no ano de 1604. Peter Damerow (*et al.*) ¹²⁹ afirma há indícios de que, em um experimento de 1592, conduzido juntamente a seu mentor da universidade de Pisa – Guidobaldo del Monte (1545-1607) – que

¹²⁶ Nota do autor: Aqui não trabalharemos com o *De Motu*, para um estudo mais aprofundado desta obra não publicada por Galileu, ver: DRAKE, Stillman. *The evolution of the De Motu*. *Isis*. Vol. 67, nº 2 (JUN, 1976), pp. 239-250.

¹²⁷ KOYRÉ, 1986, p. 103.

¹²⁸ GALILEI, *Opere* VIII, p. 373 – 378.

¹²⁹ DAMEROW, FREUDENTHAL, MCLAUGHLIN & RENN, 2004, p.158.

consistiu em deixar rolar esferas sobre um plano inclinado, Galileu descobriu que a forma da trajetória dos projéteis é uma parábola, onde também pôde observar a aceleração sobre o plano inclinado; embora o ano de 1604 seja considerado por alguns historiadores o ano da descoberta da lei do tempo ao quadrado e o ano de 1609, devido a uma carta enviada a Antonio dei Medici ¹³⁰, ofereça uma data precisa indicando que Galileu já sabia que os projéteis que chegam a mesma altura demoram o mesmo tempo para cair. No *De Motu*, Galileu considerou a trajetória do movimento dos projéteis como uma linha que segue retilineamente antes de iniciar uma curva para baixo (Figura 3) e, apesar de tratar o movimento de queda como um movimento acelerado afirmando no capítulo intitulado *In quo causa accelerationis motus naturalis in fine, longe alia ab ea quam Aristotelici assignant, in medio affertur* (Sobre o que causa a aceleração do movimento natural no fim, longe por outro lado de como os aristotélicos atribuem, em meio ao que alegam) que “a velocidade do movimento natural é aumentado em direção ao fim” em relação a aceleração -, tratou a aceleração como uma característica accidental da queda ¹³¹.

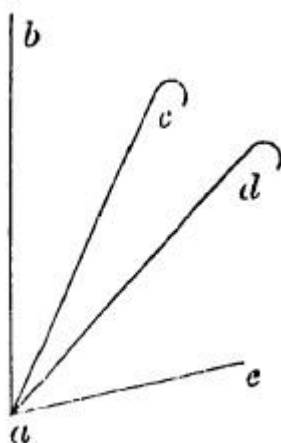


Figura 3. Trajetória dos movimentos dos projéteis no *De Motu*.

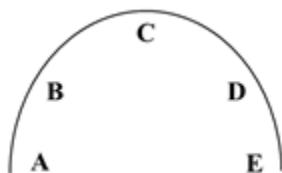
Ao longo de sua pesquisa, Galileu abandonou estes dois conceitos que desenvolveu no *De Motu*. Nos *Discursos*, a aceleração é apresentada não mais como um acidente do movimento e, sim, como uma propriedade dele; e a trajetória do projétil de assimétrica passou a ser considerada como uma forma simétrica, ou seja, parabólica.

¹³⁰ GALILEI, *Opere* X, pp. 228-230.

¹³¹ Nota do autor: Para uma exposição detalhada de como Galileu tratou a aceleração no *De Motu*, ver: RENN, *et. al.*, 2001, pp. 147-152.

Para Damerow (*et al.*; 2004) tal evidência de que Galileu conduziu este experimento com Guidobaldo em 1592 consiste no manuscrito deste último ¹³². Em seu manuscrito Guidobaldo alude à simetria da trajetória de uma bola ao sair do plano inclinado. Ainda segundo Damerow esta descrição é diferente da análise dada por Galileu acerca do movimento dos projéteis no *De Motu*: enquanto Galileu trata a primeira parte do movimento do projétil como uma linha reta, Guidobaldo trata toda a trajetória como uma curva, sendo sua simetria melhor visualizada através de uma corrente do que uma corda; pois, numa corrente que é segurada nas suas extremidades sua forma assemelhasse a uma parábola, ou a uma hipérbole e, se a figura desta mesma hipérbole representada por uma corrente for invertida sobre o horizonte, representará um projétil que, ao ser atirado com algum equipamento ou mesmo com as mãos, “tomará o mesmo caminho na queda como na subida”. Estabelecida assim a forma da trajetória dos projéteis por Guidobaldo em 1592, Galileu teria realizado uma série de experimentos para descobrir as propriedades deste movimento, como por exemplo, o alcance horizontal que o corpo atinge ao sair do plano. Um dos manuscritos galileanos que atesta para este experimento é o fólio 81r, na Figura 4, com sua respectiva reconstrução gráfica na Figura 5.

¹³² “Se alguém atira uma bola com uma catapulta, ou com artilharia, ou com a mão ou com outro instrumento, sobre a linha do horizonte, a bola tomará o mesmo caminho na queda como na subida. Sendo a forma aquela que, quando invertida sob o horizonte, uma corda que não é puxada, ambos sendo composto do natural e do forçado, é uma linha que na aparência é similar a uma parábola e hipérbole. Isto pode ser melhor visto com uma corrente do que com uma corda, porque com a corda *abc*, quando *ac* estão perto uma da outra, a parte *b* não se aproxima como deveria porque a corda permanece dura em sim mesma, enquanto a corrente ou uma corrente pequena não se comporta dessa maneira. O experimento desse movimento pode ser feito tomando uma bola colorida com tinta, e jogando ela sobre um plano de uma mesa que é quase perpendicular à horizontal. Apesar de a bola saltar para frente, ela ainda faz pontos quando vai, a partir do qual se pode ver claramente que, a medida que ela sobe, assim ela desce, e é razoável desta maneira, desde que a violência que ela adquire na sua subida opera de modo que na queda ela supera, do mesmo modo, o movimento natural que desde supera a violência que sobe de *b* para *c*, conservando ela mesma, opera de modo que de *c* para *d* é igual a *cb*, e a violência que gradualmente diminui quando desce, opera de modo que de *d* para *e* é igual a *ba*, desde que não há nenhuma razão de *c* para *de* que mostra que a violência está perdido em tudo, que, embora seja menor continuamente para *e*, ainda assim permanece uma suficiente quantidade dela, que é a causa que o peso nunca viaja numa linha direta para *e*”. (DAMEROW *et. al.*, 2004, p. 353).



Ronald Naylor e David Hill analisaram e reconstruíram o experimento do fólio 81r. De acordo com David Hill (1988), este fólio representa a tentativa de Galileu de confirmar experimentalmente a trajetória parabólica, analisando os caminhos das bolas projetadas no espaço ao cair do plano inclinado. O gráfico deste fólio é composto por três projeções transversais de curvas suaves, com três retas paralelas horizontais que partem de diferentes altitudes da reta vertical ab ; há também uma quarta linha horizontal ac , representando o fim da trajetória da bola que cai no chão. A vertical ab é dividida por quatro números e, para cada ponto dividido, é traçado uma linha horizontal que marca a distância da reta vertical para a linha transversal, obtendo assim os valores de cada projeção, medidas em unidades de distância denominadas de *punto* (o *punto* - ponto - é a medida que Galileu utiliza a partir de seu compasso geométrico militar; 1 *punto* equivale a 0,94 cm). Além do gráfico, Galileu anotou a frase “*Altitudines in AB mensurate sunt cum scala maiorum transversalium BC*”, indicando que as alturas em AB são medidas na mesma escala da transversal BC, em *punto*.

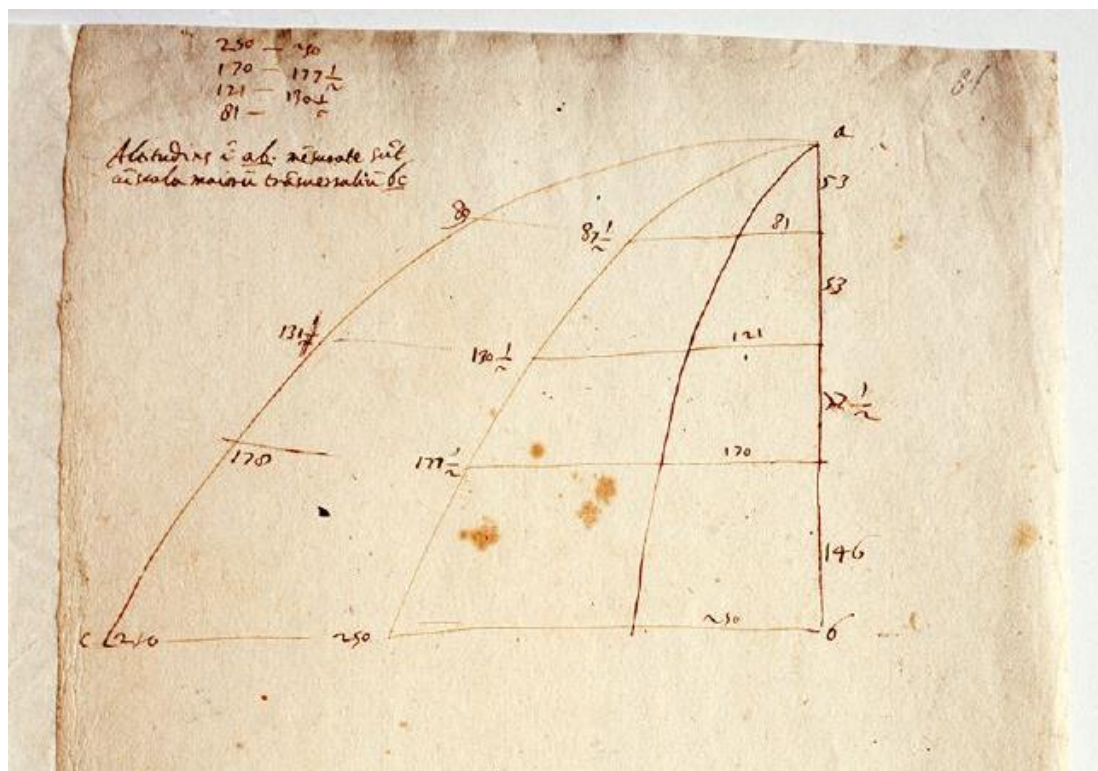


Figura 4. Diagrama principal do Fólio 81r.

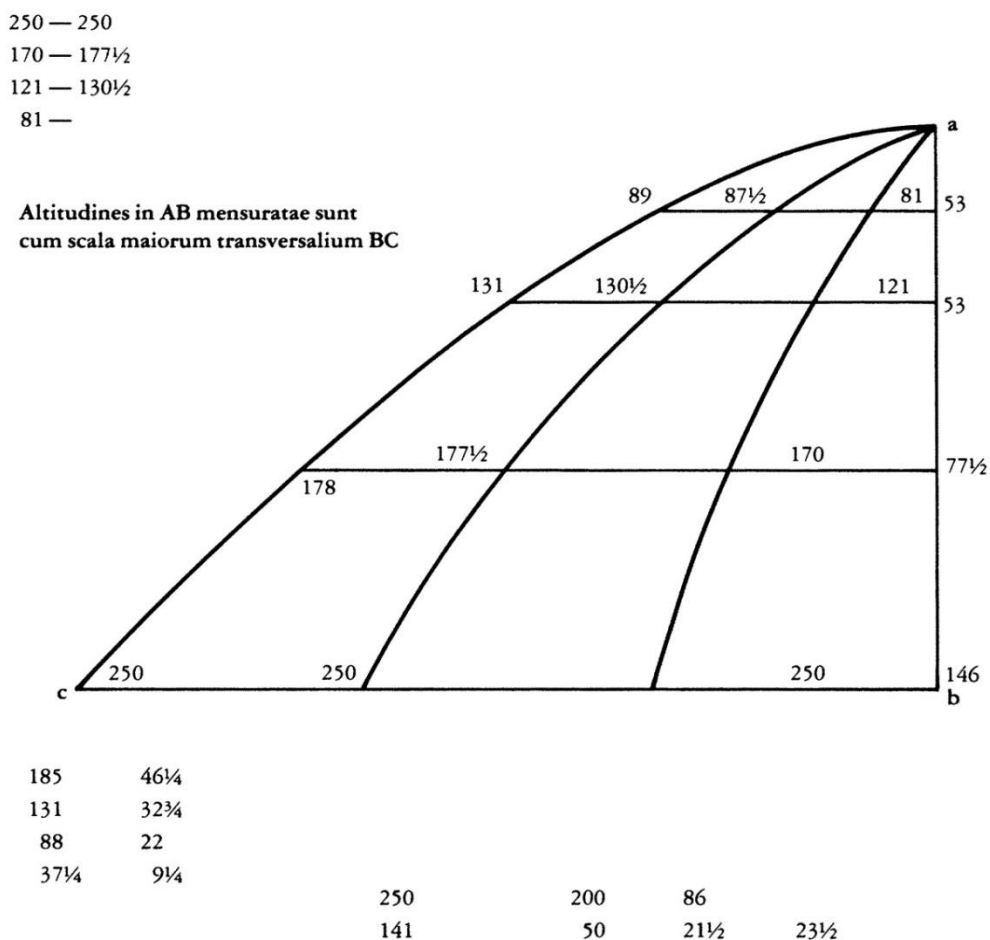


Figura 5. Representação gráfica do Fólio 81r.¹³³

Para a primeira projeção, Galileu anotou que o objeto se move 81 *punti* (pontos) horizontalmente quando ela atravessa 53 *punti* de queda vertical; 121 *punti* horizontais quando atinge 106 *punti* verticais (53 + 53); 170 em 183,5 (106 + 77,5); e 250 em 329,5 *punti* (183,5 + 146). Seguindo o mesmo esquema, na segunda projeção, o móvel atinge as distâncias horizontais de 87,5 - 130,5 - 177,5 e 250 e, na terceira, as distâncias horizontais de 89 - 131 - 178 e 250. Podemos interpretar os valores verticais somando cada número para determinar a altura total em que o corpo iniciou sua trajetória ao sair do plano inclinado, apesar de Galileu ter anotado as diferenças de cada ponto em relação à distância do ponto anterior, partindo de 53. Contudo, Hill argumenta que os valores dos alcances horizontais não devem ser interpretados em conjunto, pois

¹³³ Imagem extraída de HILL, 1988, p. 647.

obteríamos os valores de 81 - 168,5 - 257,5 (81 + 87,5 + 89) para a queda vertical de 53 *punti*; 121 - 251,5 - 382,5 (121 + 130,5 + 131) para a queda vertical de 106 *punti*; 170 - 347,5 - 525,5 (170 + 177,5 + 178) para a queda vertical de 183,5 *punti*; e 250 - 500 - 750 (250 + 250 + 250) para a queda vertical de 329,5 *punti*. Deste modo, Hill aponta que Ronald Naylor teria se equivocado ao interpretar os alcances horizontais em conjunto e que, conseqüentemente, as três trajetórias do gráfico representam “sucessivas medidas da mesma projeção” ¹³⁴. Hill critica Naylor afirmando que, se Galileu tivesse anotado no fólio 81r diferentes medidas da mesma projeção, ele não teria desenhado três curvas diferentes entre si com os ângulos no início do lançamento cada vez maiores. Ademais, na sua reconstrução do experimento, Hill ressalta a dificuldade de se obter o valor da distância horizontal de 750 *punti* obtida na queda vertical de 329,5 na interpretação de Naylor. De acordo com a interpretação de Naylor, Galileu conseguiu atingir um lançamento, com uma distância tão grande, utilizando-se de um plano curvo pelo qual seria necessário uma enorme distância de rolamento ¹³⁵. Para Hill a distância de 750 *punti* deve ser eliminada, pois devemos estar atentos aos valores fixos da linha-base de 329,5. Hill afirma:

Galileu pode estar medindo projeções de diferentes inclinações, cada uma ajustada para produzir 250 *punti* no nível mais baixo da vertical. Ele teria sido capaz de confirmar a trajetória parabólica notando que enquanto a linha-base permanece fixa em 250, os números aumentam nos níveis mais altos, aproximando o ideal semi parabólico na proporção bruta da superficialidade da inclinação (...). Eu não acredito que esta análise do experimento de Galileu pode ser sustentada [isto é, a análise de Naylor]. A objeção mais óbvia da explicação de Naylor que procede de gerar a terceira curva é desordenadamente complicada e difícil. Por que Galileu iria ao considerável problema de obter uma curva, encaixada na mesa e montando sobre seu aparato quando o mesmo experimento poderia obviamente ser realizado com seu plano original? (...). A forma do diagrama principal sugere incrementos da linha-base somando de 250 a 750. Mas um momento de reflexão revelará que se Galileu tivesse desejado registrar três curvas, cada uma de linha-base 250, teria mais simples usar este formato do que desenhar três curvas separadas com três eixos separados, repetindo os números em cada caso. Embora confuso para os intérpretes posteriores, o diagrama teria sido claro para Galileu. (HILL, 1988, p. 649-655).

¹³⁴ NAYLOR *apud* HILL, 1988, p. 648.

¹³⁵ HILL, 1988, 648-655.

Entretanto, apesar de Hill criticar em vários pontos a análise de Naylor (outra objeção que Hill aponta, por exemplo, reside no fato de que Naylor não considerou os números que estão na parte inferior do fôlio ¹³⁶), eles concordam que Galileu está procurando obter a forma da trajetória do projétil quando um corpo cai de um plano inclinado diminuindo o ângulo de lançamento, ou seja, quanto menor o ângulo, mais próximo à forma da trajetória será uma parábola. Assim sendo, após a realização do experimento com um plano inclinado em 1592 que, segundo Damerow (*et al.*; 2004) foi realizado juntamente com Guidobaldo del Monte, Galileu teria se convencido da forma simétrica da trajetória parabólica de um corpo ao sair do plano inclinado e teria procurado evidências para esta hipótese, registrada no fôlio 81r. Para obter esta forma Galileu teria que considerar a aceleração uma propriedade constante do movimento e não como uma característica accidental, como havia considerado no *De Motu*, pois, ao sair do plano, o móvel segue com um movimento horizontal uniforme devido a curva suave existente entre o plano e a mesa, antes de iniciar seu movimento para baixo (ver Fig. 1). No início da Quarta Jornada dos *Discursos*, obra que resgata os estudos mecânicos de Galileu durante os períodos pisano (1589-1592) e paduano (1592 – 1610) de sua vida, Salviati lê o texto latino do próprio Galileu intitulado *Del moto dei Proietti* (Do Movimento dos Projéteis); nele é estabelecido que a forma simétrica da trajetória dos projéteis é obtida porque este movimento é um movimento composto:

No que pretendo tratar agora, tentarei apresentar e estabelecer, através de demonstrações exatas, algumas consequências particulares interessantes e dignas de serem conhecidas e que são próprias de um móvel quando se movimenta com um movimento composto por outros dois, a saber, um movimento uniforme e outro naturalmente acelerado, pois desse gênero parece ser aquele movimento que chamamos movimento dos projéteis, cuja geração concebo da seguinte forma: imagino que um móvel foi projetado sobre um plano horizontal livre de qualquer obstáculo; já é evidente, de acordo com o que expusemos longamente em outro lugar, que dito móvel se movimentará sobre esse mesmo plano com um movimento uniforme e perpétuo, supondo que esse plano seja prolongado ao infinito. Se, ao contrário, supomos um plano limitado e situado a certa altura, um móvel que supomos dotado de gravidade, uma vez chegado a extremidade do plano e continuando seu curso, acrescentará ao anterior movimento uniforme e indestrutível, a tendência de ir para baixo, devido a sua própria gravidade; origina-se, assim, um movimento composto de um movimento horizontal uniforme e de um movimento descendente naturalmente acelerado, que chamo projeção. (GALILEI, *Opere* VIII, p. 268; DNC, p. 197).

¹³⁶ Nota do autor: Em seu artigo, Hill faz uma análise dos cálculos contidos no fôlio, contudo, neste texto demos maior atenção ao diagrama principal do fôlio no que se refere à reconstrução do experimento.

Outro manuscrito que representa o mesmo aparato experimental do *f.81r* refere-se ao *f.114 v* (Fig. 6, com sua representação gráfica na Fig. 7). Nele, Galileu analisa os alcances horizontais da esfera ao sair do plano; contudo, diferentemente do *f.81r* o móvel não é desviado horizontalmente no fim do plano, não é dado o valor para a sua altura em relação ao chão e também não é apresentado nenhum valor em *punti* da queda vertical. No diagrama principal do manuscrito, Galileu realiza sete projeções que partem de um plano com ângulo fixo sem alterar sua altura, cujos valores obtidos dos alcances horizontais em *punti*, a partir da base no fim do plano, são 253, 337, 395, 451, 495, 534 e 573.

Este fólio não apresenta maiores detalhes além das distâncias horizontais, entretanto, para a reconstrução do experimento, os historiadores utilizaram-se de valores diferentes para três variáveis: o ângulo da inclinação, a altura do plano e a distância vertical da base até o solo. Drake (1973), Drake & MacLachlan (1975), Ronald Naylor (1974, 1976) e David Hill (1988) reconstruíram o experimento e obtiveram teoricamente através de equações ou empiricamente os resultados das distâncias horizontais similares aos de Galileu, ou seja, para a primeira projeção o resultado variou entre 253 (obtido por Galileu) e 261 *punti* (obtido por Drake & MacLachlan); para a segunda, entre 337 e 345 *punti* (obtido por Hill); para a terceira, entre 395 – 411 (Hill); na quarta, 451 – 463 (Hill); na quinta, 495 – 506 (Hill); na sexta, 534 – 544 (Hill); e finalmente, na sétima projeção, entre 573 – 579 (Drake). Para estes comentadores, o experimento do *f.114v* possui uma estrita relação com outro manuscrito que registra a utilização do mesmo aparato experimental, o fólio 116v (Figura 8, com sua reconstrução gráfica na Figura 9).

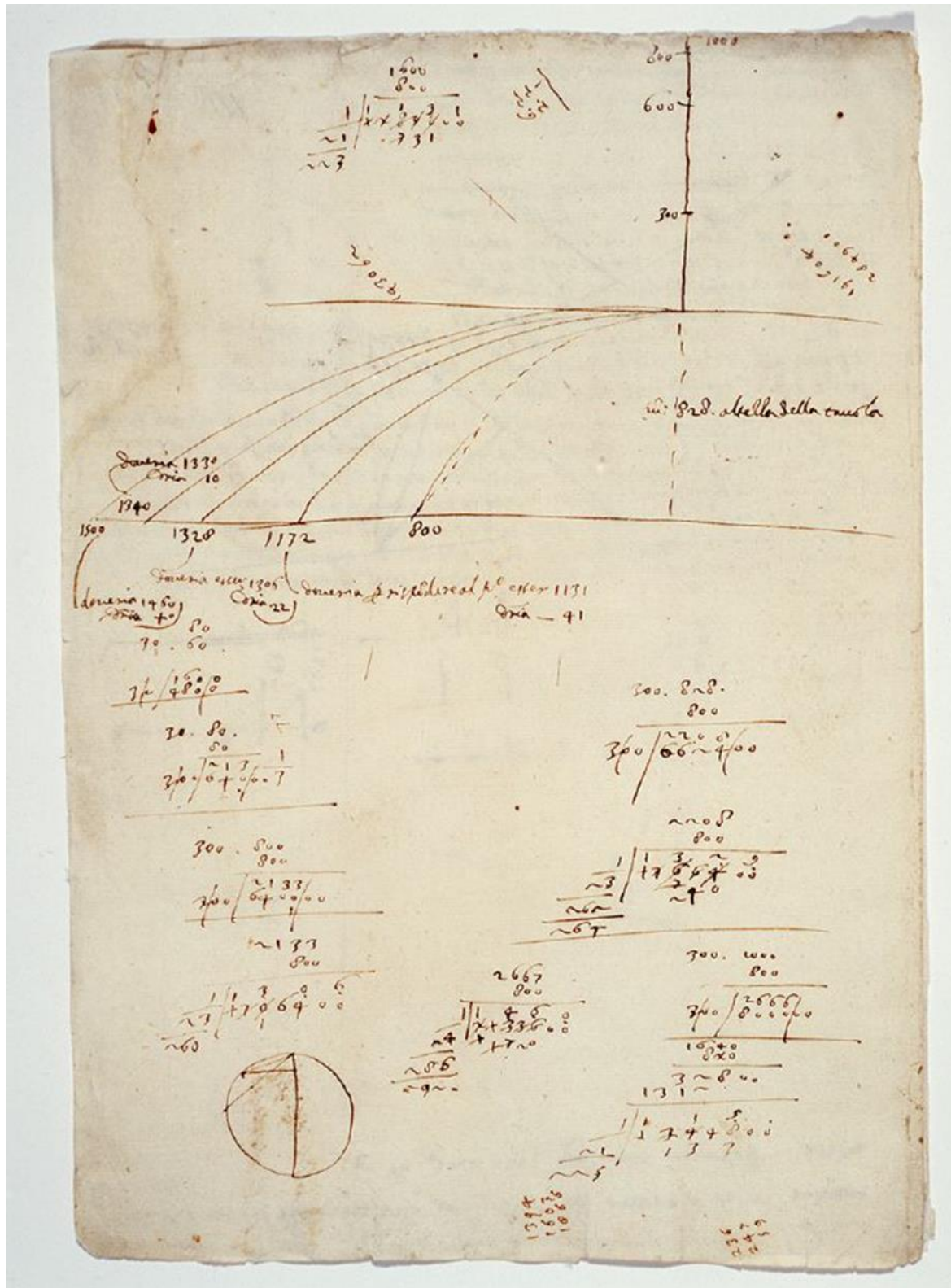


Figura 8. Fólio 116v.

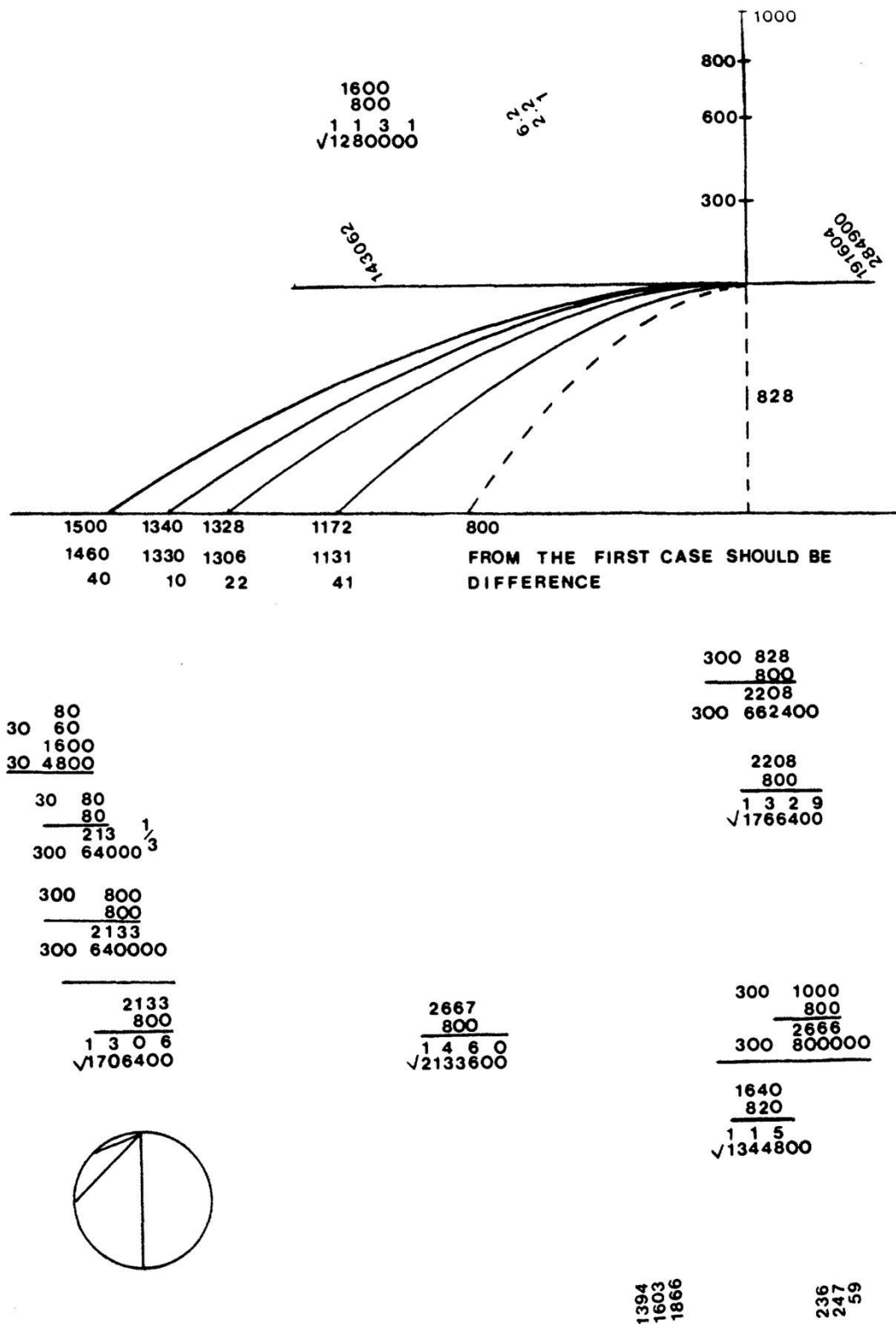


Figura 9. Representação gráfica do fólio 116v. ¹³⁸.

¹³⁸ Imagem extraída de HILL, 1988, p. 663.

No f.116v Galileu anotou na parte direita do gráfico principal a frase *Altezza della tavola* (altura da mesa) de 828 *Punti* (pontos). Observam-se também os números 300, 600, 800 e 1.000 numa linha vertical sobre a altura da mesa, representando possivelmente a altura do plano inclinado no qual a bola foi lançada, mas Galileu teria omitido a altura de 828 pontos por ser igual à da mesa. Os valores que correspondem às distâncias marcadas pela queda das bolas utilizadas no experimento estão representados pelos números 800, 1.172, 1.328, 1.340 e 1.500 numa linha horizontal abaixo da mesa, correspondendo ao chão. Também podemos observar que Galileu traçou linhas interligando os números das projeções horizontais à sua expectativa referente a distancia a partir da mesa em que a bola iria cair. Por exemplo, acompanhando o número 1.172, Galileu escreve: “*Doveria p rispondere al p° esser 1131 dzia 41*”, que significa “Deveria para corresponder ao primeiro ser 1.131 diferença 41”¹³⁹. Essa previsão teórica ou matemática de Galileu acompanha a sequência de outros três números: para o número 1.328 a previsão de Galileu foi de 1.306, obtendo uma diferença de 22 pontos; para o número 1.340 a previsão foi de 1.330, com uma diferença de 10 pontos; e para o último número, 1500, a expectativa de Galileu era de 1.460, com uma diferença de 40 pontos. Outro ponto que podemos observar sobre este fólio é o termo *deveria* (*doveria*), pois indica um distanciamento entre as conclusões demonstradas matematicamente. No fólio, as esferas *deveriam* cair a certo ponto a partir de onde a mesa com o plano inclinado estava posta (de acordo com a previsão teórica), mas *não* caem, como demonstrado empiricamente.

Estes aspectos e informações sobre as características do movimento acelerado e do movimento dos projéteis são derivadas a partir das várias situações em que um mesmo experimento está exposto. Neste caso, os registros dos f.81r, 114v e 116v demonstram os resultados dos movimentos dos corpos a partir das variáveis dos planos inclinados como: ângulos, alturas, comprimentos, altura do plano em relação ao chão, curvas suave na borda do plano, fim do plano sem curva etc., influenciando diretamente na trajetória, velocidade ou aceleração, e revelando as propriedades que os movimentos possuem. Muitos dos comentadores, como vimos, ao refazerem o experimento, observam e procuram analisar os aspectos técnicos dos cálculos e equações referentes ao plano inclinado contida nos fólios; contudo, parece que parte destes comentadores não percebeu ou não tinha a intenção de destacar alguns pontos sobre o plano inclinado,

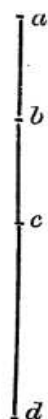
¹³⁹ Tradução de MARICONDA & VASCONCELOS, 2006, p. 50.

ou dos experimentos de Galileu que revelam outras funções além da demonstração empírica, situações que, ao tratar da abstração matemática da realidade, Galileu teve que enfrentar ao longo de sua vida. Entendemos que, uma das funções, que está relacionada ao plano inclinado, é a de servir como uma idealização e um meio comparativo entre o meio ambiente cheio de ar e o vácuo, servindo como uma conexão entre os dois meios na lei da queda dos corpos, porém, antes de analisarmos este aspecto, faz-se necessário uma rápida exposição da lei em dois momentos: em 1604 e nos *Discursos* de 1638.

II – Lei da queda dos corpos em 1604.

Em 9 de outubro de 1604 o padre Paolo Sarpi enviou uma carta para Galileu questionando-o sobre dois problemas, acerca dos corpos que são jogados para cima e que retornam para baixo, com o intuito de que Galileu respondesse às suas questões. Segundo tal carta, Galileu já sabia que o corpo jogado para cima retornaria pelo mesmo grau pela qual foi jogado e por qual passou em seu percurso e, com isso, Sarpi apresenta dois problemas: primeiro, quando um arqueiro lança uma flecha para o alto, no seu retorno ela fará somente um pequeno furo numa mesa, mas se esta for atirada pelo mesmo arqueiro em direção à mesa, não somente a perfura como a atravessa; segundo, se há dois móveis de materiais diferentes, como o ouro e a prata, ambos possuindo a capacidade de receber a mesma força, mas em quantidades diferentes, como o ouro que somente pode receber uma força de 20 e a prata uma força de 19, se ambas recebem um mesmo efeito, ou seja, uma força de 12, para Sarpi parece ambíguo que estes, ao serem lançados, não alcancem a mesma altura e a mesma velocidade, visto que ambos receberam a mesma força de 12.

Galileu respondeu à Sarpi uma semana depois, enviando-lhe uma carta em 16 de outubro, a qual podemos dividir em dois momentos: no primeiro, Galileu dedica-se por expor um princípio axiomático que havia descoberto e, no segundo, responde às objeções de Sarpi sobre o fenômeno do corpo que cai com o mesmo grau de velocidade que foi lançado para cima a partir do princípio exposto. Em sua resposta, Galileu afirma:



Pensando novamente as coisas do movimento, nas quais, para demonstrar os acidentes observados por mim, me faltava um princípio totalmente indubitável para por como um axioma, eu estou reduzido a uma proposição a qual tem muito de natural e evidente, e com isso assumido, demonstro o resto, que é os espaços passados por um movimento natural estão na proporção dupla dos tempos, e por consequência os espaços passados em tempos iguais estão como os números ímpares a partir de um, e outras coisas. E o princípio é este: que o móvel natural vai aumentando de velocidade com aquela proporção que se afasta do princípio de seu movimento; como, por exemplo, o grave caindo do termino de *a* por a linha *abcd*, suponho que o grau de velocidade que tem em *c* ao grau de velocidade que ele tem em *b* está como a distância *ca* para a distância *ba*, e assim consequentemente, em *d* ele tem o grau de velocidade maior que em *c* segundo que a distância *da* é maior do que *ca*. (GALILEI, *Opere*, X, p. 115) [tradução nossa]¹⁴⁰.

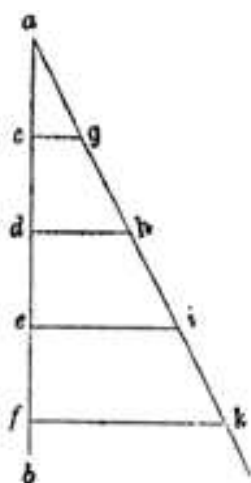
Galileu apresenta duas proposições que comporiam respectivamente o “Teorema II” e o “Corolário I” na Terceira Jornada dos *Discursos*, ou seja, o teorema do tempo ao quadrado e da progressão numérica, respectivamente; e um princípio que é identificado como a velocidade do corpo em queda, que aumenta na proporção pela qual o móvel se afasta do ponto inicial do movimento. Posteriormente, Galileu percebeu o erro de seu princípio, corrigindo-o nos *Discursos* (pois a velocidade aumenta segundo o tempo em que transcorre o movimento e não em função à distância que o corpo percorre). As duas suposições e a correção do princípio apresentado comporiam, nos *Discursos*, as propriedades do movimento naturalmente acelerado. Na segunda parte da carta, Galileu responde as objeções de Sarpi a partir do princípio por ele estabelecido e apresenta o porquê dos corpos lançados para o alto caírem com o mesmo grau de força e velocidade com que foram jogados. Galileu afirma:

E se nós aceitarmos esse princípio, não somente demonstraremos, como tenho dito, as outras conclusões, mas acredito que temos muito em mãos por mostrar que o cadente natural e o projétil violento passam por as mesmas proporções de velocidades. Se o projétil é jogado do término *d* ao término *a*, é manifesto que no ponto *d* tem grau de ímpeto forte para empurrar até o término *a*, e não mais; e quando o mesmo projeto é em *c*, é claro que é unido com o grau de ímpeto capaz de empurrar até o mesmo termino *a*; e igualmente o grau de ímpeto em *b* basta por empurrar até *a*: de onde é manifesto, o ímpeto no ponto *d*, *c*, *b* vai decrescendo segundo a proporção da linha *da*, *ca*, *ba*; de onde, se conforme vai adquirindo graus de velocidade na mesma proporção na queda natural, é verdade quanto tenho dito e

¹⁴⁰ Imagem extraída de GALILEI, *Opere*, X, p. 115.

acreditado até aqui (GALILEI, *Opere*, X, p. 115 - 116) [tradução nossa].

Galileu também responde aos outros questionamentos de Sarpi, limitando-se a dizer que, no exemplo do arco, a flecha seguirá o mesmo princípio, visto que é um movimento violento e que, além disso, os corpos de diferentes materiais como Sarpi cita são aptos para receber a mesma força, mas não lhes produzirá o mesmo efeito ¹⁴¹. No oitavo volume da *Opere* de Galileu, editado por Antonio Favaro, há um manuscrito que não foi publicado por Galileu e que Favaro associou aos *Discursos* ¹⁴², contudo, sua produção foi associada ao ano de 1604 e pode ser considerada uma extensão do que Galileu anunciou na correspondência com Sarpi. Neste manuscrito Galileu reforça por meio de uma figura, que lembra um plano inclinado, que a velocidade se dá como consequência do aumento da distancia percorrida por um corpo, diferenciando o grau de velocidade que ele possui num determinado ponto de seu movimento da velocidade que ele possui sobre um espaço percorrido, ou seja, sua aceleração (embora no ano de 1604 ele não tenha utilizado o termo *accelerazione*). Galileu afirma:



Desenhe uma linha *ak* em qualquer ângulo com *af*, e por os pontos *c*, *d*, *e*, *f* sejam puxadas as paralelas *cg*, *dh*, *ci*, e *fk*: e porque as linhas *fk*, *ei*, *dh*, *cg* estão entre eles como as *fa*, *ea*, *da*, *ca*, portanto as velocidades nos pontos *f*, *e*, *d*, *c* estão como as linhas *fk*, *ei*, *dh*, *cg*. Vamos, portanto, crescendo continuamente os graus de velocidades em todos os pontos da linha *af* segundo o incremento das paralelas puxadas de todos os mesmos pontos. Além disso, porque a velocidade com a qual o móvel veio de *a* para *d* é composta de todos os graus de velocidade que ele tem em todos os pontos da linha *ad*, e a velocidade com tem passado sobre a linha *ac* é composta de todos os graus de velocidade que ele teve em todos os pontos da linha *ac*, portanto a velocidade com que ele tem passado a linha *ad*, a velocidade com que tem passado a linha *ac*, tem aquela proporção que têm todas as linhas paralelas puxadas de todos os pontos da linha *ad* até a *ah*, de todas as paralelas puxadas de todos os pontos da linha *ac* até a linha *ag*; e esta proporção é aquela que tem o triângulo *adh* ao triângulo *acg*, que é o

¹⁴¹ “Quanto à experiência da flecha, creio que na queda adquirirá igual força daquela com que foi atirada, como com outros exemplos que falaremos oralmente, desde que eu esteja na costa no dia de todos os santos. Enquanto isso peço que pense um pouco sobre o princípio supracitado. Quanto ao outro problema proposto por você, creio que os mesmos móveis receberão ambas a mesma virtude, a qual porém não operará em ambas o mesmo efeito: como, por exemplo, o mesmo homem, remando, comunica a sua virtude a uma gôndola e um barco a remos, sendo a um e a outro capazes também de maiores, mas não segue em uma e na outra o mesmo efeito como a velocidade ou a distância do intervalo por todo o movimento para a qual eles se movem”. (GALILEI, *Opere* X, p. 116) [tradução nossa].

¹⁴² GALILEI, *Opere* VIII, p. 373-374.

quadrado *ad* ao quadrado *ac*. (GALILEI, *Opere* VIII, p. 373 – 374) [tradução nossa]¹⁴³.

Após apresentar a figura que lembra um plano inclinado para demonstrar o aumento da aceleração de um corpo que cai, Galileu anota:

Esse princípio aparece para mim muito natural, e um que responde todas as experiências que nós vemos nos instrumentos e maquinas que operam por choque (...). As distancias, então, a partir do inicio do movimento estão como os quadrados dos tempos, e, dividindo, os espaços passados em tempos iguais estão como os números ímpares a partir da unidade, que corresponde o que eu tenho sempre dito e tenho observado com experiências; e portanto todas as verdades concordam com uma outra. (GALILEI, *Opere* VIII, p. 373 – 378) [tradução nossa].

Nesta passagem, Galileu alude a um procedimento experimental que envolve a observação dos efeitos da aceleração nas máquinas e nos instrumentos, observações estas que correspondem e concordam com o princípio apresentado. No ano de 1604, Galileu já tem posse da lei da queda dos corpos, mesmo que o princípio por ele apresentado, o qual pretendia colocar como axioma, esteja incorreto. Devemos lembrar que este manuscrito, tal como a carta à Sarpi não foi publicado por Galileu, sendo somente exposto ao público em sua maneira definitiva nos *Discursos* de 1632.

III – Lei da queda dos corpos nos “*Discursos*”.

A lei da queda dos corpos está exposta nos *Discursos* em dois momentos: na Primeira Jornada, onde é debatido e refutado o preceito aristotélico de que as velocidades nas quais os corpos caem dependem de seus pesos; e na Terceira Jornada, onde é discutido o movimento acelerado com o qual estes corpos caem até atingirem o movimento uniforme. Deste modo, depois de Salviati apontar o vácuo como causa da resistência dos materiais (tema da Primeira Jornada), Sagredo pede para Simplicio expor

¹⁴³ Imagem extraída de GALILEI, *Opere* VIII, p. 373.

o motivo pela qual Aristóteles recusa o vácuo como necessário para o movimento. Segundo o relato de Simplicio, Aristóteles faz duas suposições:

Simplicio - A primeira concerne aos móveis de pesos diferentes que se movem no mesmo meio; a outra concerne a um mesmo móvel que se movem em diferentes meios. Quanto à primeira, supõe que móveis de pesos diferentes se movem no mesmo meio com velocidades desiguais, as quais mantém entre si a mesma proporção que os pesos; de modo que, por exemplo, um móvel dez vezes mais pesado que outro, move-se com uma velocidade dez vez maior. Na segunda proposição, admite que as velocidades do mesmo móvel, em meios diferentes, são entre si inversamente proporcionais à espessura e densidades desses meios. De modo que, supondo-se, por exemplo, que a densidade da água é dez vezes maior que a do ar, admite que a velocidade no ar é dez vezes maior que a velocidade na água. E desta segunda suposição deriva a seguinte demonstração: posto que a sutileza do vácuo difere infinitamente da corporeidade, por mais sutil que ela seja, de qualquer meio pleno, todo móvel que se move num meio pleno, percorrendo certa distância durante certo tempo, deveria mover-se instantaneamente no vazio; entretanto, o movimento instantâneo é impossível; logo, é impossível introduzir o vácuo como fundamento do movimento (GALILEI, *Opere* VIII, p. 105-106; DNC; p. 55).

Salviati nega as duas constatações de Simplicio: primeiro, possivelmente Aristóteles não verificou experimentalmente sua proposição porque, se o tivesse feito observaria que, na queda de dois corpos com pesos desiguais no mesmo meio, dos quais um pesa dez vezes mais que o outro, soltos ao mesmo tempo, não chegariam ao mesmo tempo no solo, com isso a suposição de que corpos de diferentes pesos caem com velocidades desiguais é falsa, pois se uníssemos um corpo menor, e consequentemente com peso menor, à outro maior com peso maior, ou seja, o corpo mais lento com o mais grave, não faria com que o conjunto (que estaria com maior peso) caísse com maior velocidade, posto que ele não possui maior peso. Após Simplicio declarar-se confuso, Salviati afirma:

Salviati - Considerai que é preciso distinguir os corpos pesados em movimento, dos mesmos corpos em repouso. Uma pedra grande colocada numa balança não apenas adquirirá um peso maior se lhe acrescentarmos outra pedra, mas mesmo o acréscimo de um pedaço de estopa aumentará seu peso em seis ou dez onças correspondentes ao peso da estopa. Se, ao contrário, se deixa cair livremente a partir de uma certa altura uma pedra amarrada à estopa, acreditais que no decorrer do movimento a estopa pesa sobre a pedra, acelerando assim sua queda, ou acreditais que ela a retardará, sustentando-a em partes? (GALILEI, *Opere* VIII, p. 108; DNC; p. 56).

Desta maneira, de acordo com Salviati, se um corpo descesse sobre nosso ombro e tentássemos opor-nos ao movimento deste corpo, sentiríamos seu peso; mas, ao contrário, se nosso ombro descesse juntamente com este corpo, não sentiríamos o peso deste corpo porque nosso ombro estaria junto com ele, acompanhando seu movimento, o que faz com que o conjunto, nele mesmo, tenha o mesmo peso específico e, com isso, “concluimos, portanto, que tanto os móveis grandes como os pequenos movem-se com uma mesma velocidade, se possuem o mesmo peso específico.”¹⁴⁴ Portanto, a afirmação aristotélica de que a velocidade dos corpos que caem no mesmo meio é proporcional aos seus pesos, é falsa. Salviati afirma:

Salviati - Duvido seriamente que Aristóteles jamais tenha verificado experimentalmente se é verdade que duas pedras, das quais uma pesa dez vezes mais, soltas no mesmo instante de uma altura, por exemplo, cem braças, têm velocidades tão diferentes que, no momento que a mais pesada chegasse ao chão, a outra não teria percorrido nem dez braças. (GALILEI, *Opere* VIII, p. 106; DNC; p. 55).

A partir da afirmação de Salviati, se Aristóteles tivesse realizado empiricamente a experiência teria visto que dois corpos de diferentes pesos jogados do alto não caem com a rapidez (velocidade)¹⁴⁵ proporcional a seus pesos. Contudo, uma vez que se possuísem a mesma velocidade, soltas ao mesmo tempo, os móveis *deveriam* chegar exatamente ao mesmo tempo no chão, mas não chegam. Salviati afirma:

Salviati - Não desejaria, Sr. Simplicio, que fizésseis como tantos outros que, desviando o raciocínio do objetivo principal, se agarram a qualquer expressão minha que se afasta da verdade por apenas um cabelo, e que querem esconder debaixo desse cabelo o erro de outro do tamanho da amarra de um navio. Aristóteles diz: ‘Uma bola de ferro de cem libras que cai de uma altura de cem braças chega ao solo antes que uma bola de uma libra tenha descido apenas uma braça’; eu afirmo que as duas chegam ao mesmo tempo. Constata-se, fazendo a experiência, que a maior precede-se a menor em dois dedos, ou seja, que no momento em que a maior chega ao solo, a outra está a uma

¹⁴⁴ GALILEI, *Opere* VIII, p. 109; DNC; p. 57.

¹⁴⁵ MARICONDA & VASCONCELOS (2006) advertem para a diferença entre as noções empíricas das teorias, aristotélica e galileana, sobre a lei da queda: “No contexto observacional em que se dá a conceituação apresentada por Aristóteles na *Física*, são utilizadas *noções empíricas*, gerais e intuitivas, tais como ‘rapidez’, em lugar de *grandezas físicas*, matemáticas e precisamente definidas, tais como *velocidade*.” (p. 198-199). A intenção pela qual Galileu adotou o termo *velocidade* ao invés de *rapidez*, segundo os autores, deu-se por motivos de estratégia argumentativa, pois Galileu “quer mostrar a inadequação do próprio sistema conceitual em que a solução aristotélica está vazada” (*Ibidem*, p. 199).

distância de dois dedos: ora, quereis esconder as noventa e nove braças de Aristóteles sob esses dois dedos e, falando apenas do meu pequeno erro, silenciar sobre a enormidade do outro. (GALILEI, Opere VIII, p.109; DNC, p. 57).

Salviati reconhece seu erro: por serem jogados num meio cheio de ar, os móveis *deveriam* chegar ao mesmo tempo no solo, mas não chegam devido à resistência do meio e não ao peso específico de cada corpo, como defendido por Simplicio. Para os aristotélicos seria impossível colocar o vácuo como fundamento do movimento por causa da diferença existente entre o vácuo e a corporeidade, pois um corpo que se move em qualquer meio pleno, percorre certa distância durante certo tempo; se ele se movesse no vazio, o movimento seria instantâneo, mas como “o movimento instantâneo é impossível”, também é impossível o movimento no vácuo. Deste modo, Salviati nega as objeções aristotélicas contra o vácuo e afirma que, mesmo admitindo que o movimento no vácuo fosse impossível, “a suposição do vácuo, tomada absolutamente e não em relação ao movimento, não seria destruída”, posto que assim se fosse, destruiria somente a suposição do movimento no vácuo, e não o próprio vácuo. Salviati então postula a parte da lei da queda dos corpos referente ao movimento no vácuo:

Salviati - Depois de ter-me certificado não ser verdade que o mesmo móvel, em meios de resistências diferentes, tem velocidades inversamente proporcionais às resistências desses meios, nem ser verdade que, no mesmo meio, móveis de diferentes pesos mantêm entre suas velocidades a proporção existente entre seus pesos (entendemos também os corpos de pesos específicos diferentes), comecei a combinar esses dois fenômenos, considerando o que *aconteceria* com móveis de pesos diferentes, colocados em meios de resistências diferentes. (...) Percebi então, que a desigualdade das velocidades era sempre maior nos meios mais resistentes que nos menos cedentes e isso a tal ponto que dois móveis podem descer no ar com velocidades muito pouco diferentes, enquanto que na água um se moverá com uma velocidade dez vezes maior que a do outro; e mais ainda, que há móvel que desce rapidamente no ar e que na água não apenas não desce, mas permanece totalmente imóvel e, inclusive, sobe à superfície; porque se pode encontrar algum tipo de madeira, nó ou raiz, que permanecendo em repouso na água, descera velozmente no ar. (...) *Tendo constatado isso, cheguei a conclusão de que eliminando completamente a resistência do meio, todos os corpos desceriam com a mesma velocidade.* (GALILEI, Opere VIII, p. 113 – 116; DNC, p. 59 – 62) [grifo nosso].

Após concluir a lei da queda dos corpos, Galileu faz uma breve alusão ao experimento do plano inclinado ¹⁴⁶, contudo, apenas na Terceira Jornada da obra, quando dedica-se por estudar o movimento uniforme e o movimento acelerado, a referência ao experimento apresenta maiores detalhes. A Terceira Jornada começa com Salviati lendo um texto latino de Galileu intitulado “Do movimento local” (*De Motu Locali*), dividido em três partes. A primeira trata do “Movimento Uniforme” (*De Motu Aequabili*), a segunda do “Movimento Naturalmente Acelerado” (*De Motu Naturaliter Accelerato*) e a terceira do “Movimento dos Projéteis” (*De Motu Proiectorum*), que somente é lida na Quarta Jornada. Galileu expõe, com entusiasmo, as novidades que demonstrará sobre os movimentos locais como fundamento de uma nova ciência. No início do *De Motu Locali*, afirma:

Vamos expor uma nova ciência a respeito de um tema muito antigo. Não existe na natureza nada anterior ao movimento e, com referência a ele, não poucos e pequenos volumes foram escritos pelos filósofos; apesar disso muitas propriedades dignas de serem conhecidas não foram até o momento nem observadas, nem demonstradas. (GALILEI, *Opere*, VIII, p. 190; DNC, 1988, p. 121).

Estas propriedades referem-se ao movimento acelerado. Na época, sabia-se que o movimento natural de um corpo em queda acelera-se constantemente, mas “não foi demonstrado até o momento a proporção segundo a qual se produz sua aceleração” (*idem*) e que este mesmo corpo que cai, partindo do repouso, move-se “em tempos iguais espaços que mantêm entre si a mesma proporção que têm os números ímpares sucessivos a partir da unidade” (*idem*); além disso, “foi observado que os corpos arremessados, a saber, os projéteis, descrevem uma linha de certo tipo; também é verdade que ninguém evidenciou que tal curva é uma parábola” (*idem*). Na exposição do *De Motu Aequabili* Galileu limita-se a definir o movimento constante ou uniforme como “aquele cujos espaços, percorridos por um móvel em tempos iguais quaisquer, são iguais entre si” ¹⁴⁷, e a partir disso, apresenta os axiomas ¹⁴⁸ que dependem da definição

¹⁴⁶ “Salviati: (...) Pensei, portanto, em repetir muitas vezes as quedas de pequenas alturas, acumulando tantas daquelas mínimas diferenças de tempo, que se intercalam entre as chegadas ao solo do corpo pesado e do corpo leve, de modo que unidas constituíssem um tempo não apenas observável, mas facilmente observável. Além disso, para dispor de movimentos, os mais lentos possíveis, nos quais as resistências do meio altera muito menos o efeito que depende da simples gravidade, pensei fazer descer os móveis num plano inclinado, não muito elevado com referência à horizontal, posto que sobre tal plano, não menos que na perpendicular, poder-se-ia perceber o comportamento dos corpos com pesos diferentes.” (GALILEI, *Opere* VIII, p. 128; DNC, p. 71).

¹⁴⁷ GALILEI, *Opere*, VIII, p. 191; DNC, p. 121.

e algumas propriedades deste movimento, não abrindo o diálogo entre seus interlocutores.

No fim da leitura do texto, Salviati este afirma que isto foi tudo o que “nosso autor” escreveu, mas fará “considerações mais originais e sutis” (*ibidem*, p. 196; *ibidem*, p. 126) e passa a expor o *De Motu Naturaliter Accelerato*. Contudo, o que é importante observar sobre o movimento uniforme é a advertência dada por Galileu sobre a definição deste movimento, que reflete na diferença entre a “velha definição (que chama simplesmente de movimento uniforme àquele que, em tempos iguais, percorre espaços iguais)” (*ibidem*, p. 191; *ibidem*, p. 122) e o novo significado que este movimento adquire com Galileu: o acréscimo da palavra “qualquer” (*quibuscunque*). O termo permite que esta definição sirva para qualquer fração de tempos iguais em que ocorra o movimento, em outras palavras, seja maior ou menor o tempo do movimento, igualmente o espaço aumentará ou diminuirá.

Diferentemente da leitura do *De Motu Aequabili* por Salviati, no *De Motu Naturaliter Accelerato* Galileu abre o diálogo entre seus interlocutores, possibilitando para que ele ao longo do texto, através de Salviati, coloque as dúvidas e problemas aos quais se expôs ao estudar as propriedades do movimento. Em um destes momentos a discussão entre Sagredo e Simplicio começa a se inclinar para a causa da aceleração dos corpos. Interrompendo-os, Salviati recusa a busca pela causa da aceleração, sendo somente oportuno estudar suas propriedades justamente por elas serem quantificáveis e com isso, passíveis do uso da experimentação. Salviati afirma:

Salviati - Não me parece ser este o momento oportuno para empreender a investigação da causa da aceleração do movimento natural, a respeito da qual vários filósofos apresentaram diferentes opiniões, reduzindo-a alguns à aproximação do centro; outros, à redução progressiva das partes do meio que falta a serem atravessadas; outros ainda, a certa extrusão do meio ambiente o qual, ao fechar-se por detrás do móvel, vai pressionando e projetando o móvel continuamente. Estas fantasias, e muitas outras, conviria serem examinadas e resolvidas com pouco proveito. Por ora, é suficiente ao nosso autor que entendamos que ele quis investigar e demonstrar

¹⁴⁸ “AXIOMA I: No mesmo movimento uniforme, o espaço percorrido em um tempo maior é maior que o espaço percorrido num tempo menor.

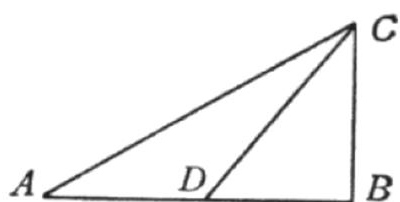
AXIOMA II: No mesmo movimento uniforme, o tempo durante o qual se percorre um espaço maior é maior que o tempo empregado para percorrer um espaço menor.

AXIOMA III: Para um mesmo tempo, o espaço percorrido com maior velocidade é maior que o espaço percorrido com menor velocidade.

AXIOMA IV: Para um mesmo tempo, a velocidade com a qual se percorre um espaço maior é menor que a velocidade com a qual se percorre um espaço menor.” (GALILEI, *Opere*, VIII, p. 191; DNC, p. 122).

algumas propriedades de um movimento acelerado (qualquer que seja a causa de sua aceleração) de tal modo que a intensidade de sua velocidade aumenta, após ter saído do repouso, com aquela simplicíssima proporção com a qual cresce a continuação do tempo, que é o mesmo que dizer que em tempos iguais se fazem acréscimos iguais de velocidade. E se encontrarmos que as propriedades que serão assim demonstradas se verificam no movimento dos graves que caem naturalmente acelerados, poderemos admitir que a definição proposta compreende tal movimento dos graves e que é verdade que a aceleração dos mesmos cresce à medida que cresce o tempo e a duração do movimento. (GALILEI, *Opere* VIII, p. 200 – 203; DNC, p. 131).

Logo em seguida Sagredo sugere a definição do movimento uniformemente acelerado como aquele que a velocidade cresce em proporção ao espaço percorrido, definição utilizada por Galileu na carta que enviou a Paolo Sarpi em 1604 e no fragmento associado a esta carta. Salviati rejeita esta definição alegando que o próprio Galileu acreditou por um tempo ser esta a definição correta, mas logo corrige Sagredo, pois a velocidade cresce proporcionalmente ao tempo, se a velocidade crescesse proporcionalmente ao espaço o corpo em queda percorreria os espaços em tempos iguais, o que é impossível uma vez que o movimento acelerado é um movimento crescente a partir do repouso, caso contrário, somente o movimento instantâneo adquiriria tal velocidade de acordo com o espaço. Sagredo então acrescenta:



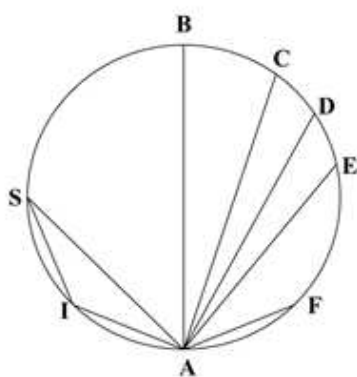
Sagredo – (...) Tal definição é: chamamos movimento igualmente, ou seja, uniformemente acelerado, àquele que, partindo do repouso, adquire-se em tempos iguais momentos iguais de velocidade.

Salviati – Estabelecida tal definição, o autor supõe e postula como verdadeiro somente um princípio, a saber: Os graus de velocidade alcançados por um mesmo móvel em planos diferentemente inclinados são iguais quando as alturas desse plano também são iguais. (GALILEI, *Opere* VIII, p. 205; DNC, p. 133)¹⁴⁹.

O princípio estabelecido por Salviati afirma que as velocidades finais alcançadas na queda vertical, ou através do plano inclinado, só depende do desnível entre o ponto inicial e o ponto final do movimento, ou seja, para um corpo que parte de CB, CD e CA, os graus de velocidade que o corpo atinge serão os mesmos. A conclusão deste princípio da definição do isocronismo do movimento acelerado de acordo com o tempo já tinha

¹⁴⁹ Imagem extraída de GALILEI, 1998, p. 83.

sido exposta por Galileu na carta que enviou a seu amigo e mentor Guidobaldo del Monte, em 1602. De acordo com RENN *et. al.* (2001), mesmo depois de Galileu descobrir a trajetória parabólica para os corpos que caem a partir do plano inclinado, Galileu e Guidobaldo Del Monte mantiveram correspondência durante alguns anos. Por volta de 1600, Galileu relatou para Guidobaldo seu progresso científico acerca dos experimentos e das propriedades do movimento em que se propunha a investigar. Numa destas cartas, datada de 29 de novembro de 1602, Galileu discute alguns pontos de sua pesquisa atual. Ela claramente é uma resposta de Galileu a Guidobaldo, que teria reproduzido os experimentos referentes ao pêndulo sugeridos por Galileu e não teria alcançado os resultados indicados por ele. Nesta carta, Galileu faz menção a corpos que chegam no mesmo momento, e em tempos iguais, partindo da vertical ou da inclinada, e vários pontos, dentro de um círculo:



(...) quanto a opinião irracional que, dado um quadrante de 100 milhas de comprimento, dois móveis iguais pode passar ao longo dela, um todo o comprimento, e o outro somente um palmo, em tempos iguais, digo ser verdade que há algo admirável sobre isto; mas se considerarmos que o plano pode ser um pouco inclinado, como seria a superfície de um rio que se move lentissimamente, que nele um móvel não haverá passado naturalmente mais de um palmo no tempo que um outro sobre um plano muito inclinado (isto é, unido com grandíssimo ímpeto recebido, ainda sobre uma pequena inclinação) haverá passado cem milhas. E esta proposição não envolve nenhuma aventura mais inverossímil daquela que se tenha que o triângulo dentro da mesma paralela e com as mesmas bases são sempre iguais [em área], podendo fazer um brevíssimo e o outro ao longo de mil milhas. Mas, permanecendo na mesma matéria, creio haver demonstrado que essa conclusão não é menos inopinável do que a outra. Seja o círculo BDA, deixe o diâmetro BA ereto ao horizonte, e do ponto A até a circunferência puxe linhas AF, AE, AD, AC: demonstro móveis iguais caindo em tempos iguais para as perpendiculares BA e pelos planos inclinados conforme as linhas CA, DA, EA, FA; de modo que, partindo no mesmo momento dos pontos B, C, D, E, F, eles chegarão no mesmo momento no termino A, e seja a linha FA tão pequena quanto você quer. E talvez ainda mais incontestável parecerá esta, também por mim demonstrado, que sendo a linha SA não maior do que a linha de um quadrante, e [dado] as linhas SI e IA, mais rápido faz o mesmo móvel a viagem SIA, partindo de S, do que a viagem somente em IA, partindo de I. (...) ¹⁵⁰

¹⁵⁰ Carta de Galileu a Guidobaldo del Monte em 29 de novembro de 1602 (GALILEI, *Opere* X, p. 97-100; RENN, 2001, p.86-89; imagem autoral). No artigo *O paradoxo cinemático de Galileu*, publicada pela *Revista Brasileira de Ensino de Física* (2014) FRANCISQUINI & SOARES reproduziram o experimento sugerido na carta, obtendo os resultados sugeridos por Galileu.

Dado o princípio e a definição do movimento acelerado na Terceira Jornada dos *Discursos*, Galileu demonstra muitas proposições. A segunda delas, o Teorema II (seguido do Corolário I) anuncia a lei matemática da queda dos corpos:

Teorema II – Proposição II: Se um móvel, partindo do repouso, cai com um movimento uniformemente acelerado, os espaços por ele percorridos em qualquer tempo estão entre si na razão dupla dos tempos, a saber, como os quadrados desses mesmos tempos.

Corolário I – Segue-se claramente que, se a partir do primeiro instante do movimento fossem tomados sucessivamente intervalos de tempos iguais (...), estes espaços estariam entre si assim como os números ímpares a partir da unidade, a saber, 1, 3, 5, 7 (...). Quando, portanto, os graus de velocidade aumentam em tempos iguais, de acordo com a simples série dos números, os espaços percorridos em tempos iguais adquirem incrementos segundo a série dos números ímpares *ab unitate*. (GALILEI, Opere VIII, p. 209-210; DNC, p. 137-138).

Na Terceira Jornada dos *Discursos*, o Teorema II é de fundamental importância para a lei da queda dos corpos; entretanto, estas demonstrações não são suficientes para Simplicio, que pede para Salviati descrever um experimento que concorde com as demonstrações apresentadas de acordo com a metodologia das ciências intermediárias. O relato apresentado por Salviati é o do famoso experimento do plano inclinado.

IV – Experimento, Matemática e Idealização no plano inclinado.

Após as discussões sobre o movimento uniforme e o movimento uniformemente acelerado Salviati relata a construção do aparato e a execução do experimento do plano inclinado a pedido de Simplicio, que tinha afirmado ser conveniente apresentar uma experiência que concordasse com as demonstrações apresentadas, ou seja, a demonstração de que o movimento acelerado é aquele que, partindo do repouso, adquire em tempos iguais momentos iguais de velocidade. Salviati afirma:

Salviati - Numa ripa, ou melhor dito, numa viga de madeira com um comprimento de aproximado de 12 braças, uma largura de meia braça num lado de três dedos no outro, foi escavada uma canaleta neste lado menos largo com um pouco mais de um dedo de largura. No interior desta canaleta perfeitamente retilínea, para ficar bem polida e limpa, foi colocada uma folha de pergaminho que era polida até ficar bem lisa; fazíamos descer por ela uma bola de bronze duríssima perfeitamente redonda e lisa. Uma vez construído o mencionado aparelho, ele era colocado numa posição inclinada, elevando sobre o horizonte uma de suas extremidades até a altura de uma ou duas braças, e se deixava descer (como afirmei) a bola pela canaleta, anotando como exporei mais adiante o tempo que empregava para uma descida completa; repetindo a mesma experiência muitas vezes para determinar exatamente a quantidade de tempo, na qual nunca se encontrava uma diferença nem mesmo da décima parte de uma batida de pulso. Feita e estabelecida com precisão tal operação, fizemos descer a mesma bola apenas por uma quarta do comprimento total da canaleta; e, medido o tempo de queda, resultava ser sempre rigorosamente igual à metade do outro. Variando a seguir a experiência, e comparando o tempo requerido para percorrer todo o comprimento com o tempo requerido para percorrer a metade, ou os dois terços, ou os três quartos, ou para concluir qualquer outra fração, através de experiências repetidas mais de cem vezes, sempre se encontrava que os espaços percorridos estavam entre si com os quadrados dos tempos e isso em todos as inclinações do plano, ou seja, da canaleta, pela qual se fazia descer a bola. Observamos também que os tempos de queda para as diferentes inclinações do plano mantinham exatamente entre si aquela proporção que, como veremos mais adiante, foi encontrada e demonstrada pelo autor. No que diz respeito à medida do tempo, empregávamos um grande recipiente cheio de água, suspenso no alto, o qual através de um pequeno orifício feito no fundo, deixava cair um fino fio de água, que era recolhido num pequeno copo durante todo o tempo em que a bola descia pela canaleta ou por suas partes. As quantidades de água assim recolhidas eram a cada vez mais pesadas com uma balança muito precisa, sendo a diferença e proporções entre os pesos correspondentes às diferenças e proporções entre os tempos; e isto com tal precisão que, como afirmei, estas operações, muitas vezes repetidas, nunca diferiam de maneira significativa. (GALILEI, *Opere*, p. 212 -213; DNC, 1988, p. 140 – 141).

Este relato experimental segue alguns passos metódicos em sua exposição. Primeiro, Galileu apresenta as informações para a construção do aparato; segundo, explica como o experimento deve ser realizado e como as medidas devem ser consideradas; terceiro, explica como ocorrerá o controle de um fenômeno natural (a

queda de um corpo) por meio de um ambiente controlado; e quarto, revela a preocupação em se construir o aparelho, com a consequente funcionalidade da execução do experimento bem como com a construção também de seus constituintes – como uma bola polida –, de modo perfeito, ou seja, o mais próximo possível dos requisitos geométricos necessários para a condução do experimento. Deste modo, distribuindo ao longo do plano inclinado pontos para marcar o tempo através de unidades de distância na medida em que as bolas fazem seus percursos, e calculando o tempo geral de queda do corpo através do peso da água que cai de um recipiente numa balança, Galileu deseja observar que os espaços percorridos pelo corpo no plano inclinado estão na proporção quadrada dos tempos (Teorema II – Proposição II); e que esta proporção cresce segundo uma progressão numérica (Corolário I).

Esta progressão é dada em unidades de distâncias a partir da progressão dos números ímpares em cada ponto, como 1, 3, 5, 7, 9, etc. Somando cada uma destas unidades de distância em cada intervalo de tempo obtemos outra progressão numérica, ou seja, após o primeiro intervalo de tempo, o corpo atravessa uma unidade de distância (1); após o segundo intervalo de tempo, quatro unidades de distância ($1+3=4$); no terceiro intervalo, nove unidades de distâncias ($4+5=9$); após o quarto, dezesseis ($9+7=16$); após o quinto, vinte e cinco unidades de distância ($16+9=25$) e assim sucessivamente. Em outras palavras, ao fim de cada intervalo de tempo a distância total da queda, que é somada ao fim de cada ponto do plano marcado pelos pontos, é de 1, 4, 9, 16, 25 e assim por diante, ou seja, números quadrados perfeitos 1^2 , 2^2 , 3^2 , 4^2 e 5^2 , onde os números naturais são os intervalos de tempo, como se pode ver na Fig. 10:

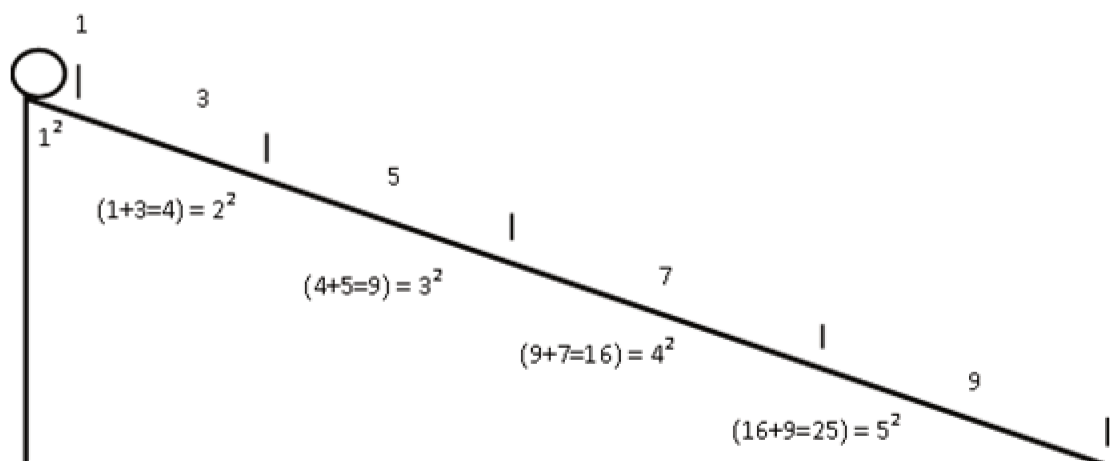


Figura 10: Representação do Teorema II e do Corolário I no experimento do plano inclinado ¹⁵¹.

A partir do que foi apresentado por Salviati faz-se necessário ao nosso propósito, retomar alguns pontos analisados no primeiro e segundo capítulos deste trabalho, sobre a experimentação em Galileu e sobre sua matemática, respectivamente.

O experimento do plano inclinado é um dos experimentos mais estudados na física galileana e também um dos que mais permite interpretações. Como estudamos anteriormente, há experimentos de Galileu que podem ser considerados *experimentos mentais*, experimentos no quais não foram realizados empiricamente (o que basicamente sustentou a ideia de que a filosofia natural de Galileu era de cunho especulativo) e há, também, *experimentos reais*, sustentando uma visão empirista do autor. Este tipo de questionamento, de que Galileu não teria realizado este experimento, surgiu a partir de Marin Mersenne, contemporâneo de Galileu. Em seu livro intitulado *Harmonie Universelle* (1636-7), Mersenne teria afirmado: “eu duvido se o Sr. Galileu realizou os experimentos deixando sobre um plano inclinado, sobre o qual ele não diz nada, e as proporções que ele dá frequentemente contradizem os experimentos” ¹⁵². Contudo, como destaca Michael Segre, Mersenne poderia ter errado ao reproduzir um plano inclinado onde teria deixado rolar esferas comparando-as com móveis que caem verticalmente com base no relato na Primeira Jornada do *Diálogo*, sendo que Galileu descreveu o experimento mais detalhadamente nos *Discursos* ¹⁵³. Alexandre Koyré afirmou que é altamente improvável que Galileu tenha realizado o experimento pela complexidade que a sua realização exige, pois ele carecia de equipamento adequado, e se houvessem tais instrumentos, deveriam ser totalmente precários, impossibilitando assim a realização dos experimentos empíricos. Koyré afirma:

Uma bola de bronze rolando numa ranhura ‘lisa e polida’, talhada na madeira! Um recipiente de água com um pequeno orifício pelo qual passa a água é recolhida num copo, para que seja pesada e, assim, medir o tempo da descida da bola (a clepsidra romana de Ctesibius era

¹⁵¹ Nota do autor: Imagem autoral.

¹⁵² MERSENNE *apud* SEGRE, 2008, p. 93-94.

¹⁵³ Segundo Segre, “A discrepância nos resultados de Mersenne foi causada nitidamente pela falha dele ao explicar a inércia rotacional. A inércia rotacional no caso de uma bola rolando não aparece até depois do tempo de Newton e Galileu não dá evidência de conhecer a respeito (...). Dificilmente se pode culpar Galileu por ser a fonte do erro; nos Diálogos ele não apresenta nenhuma descrição experimental detalhada. Ele faz assim apenas nos Discorsi de 1638, e a partir dessa descrição nós aprendemos que a inércia rotacional era irrelevante nos experimentos dele já que ele contava razões e não, como Mersenne fez, valor absoluto.” (SEGRE, 2008, p. 94).

um instrumento bem melhor): que acumulação de fontes de erro e de inexatidão! É evidente que as experiências de Galileu são destituídas de valor. A própria perfeição de seus resultados é uma rigorosa prova de sua inexatidão. (KOYRÉ, 1991, p. 275).

Maurice Clavelin concorda com Koyré e afirma que tanto o aparato quanto a execução do experimento eram extremamente rudimentares:

Como acreditar que ele [Galileu] poderia controlar com precisão as quantidades de água recolhidas sucessivamente durante a duração total da descida, durante sua metade ou sua quarta parte, para que depois, pesando-as, ele poderia observar entre elas uma progressão numérica equivalente ao quadrado dos tempos (do tipo 1-4-9)? Como insiste Koyré, era impossível para Galileu descobrir tal lei com este dispositivo. (CLAVELIN, 1986, p.38).

Stillman Drake, por outro lado, ao reproduzir os experimentos de Galileu com base no relato dos *Discursos* e nos fólhos, afirma:

Gostaria de salientar (...) o lugar de Galileu como um experimentalista. Tendo tentado estas experiências eu mesmo, eu sei que para obter resultados tão exatos como os de Galileu exigiria mais cuidado e mais elaborado preparo do equipamento do que eu mesmo usei. (...) O que até me surpreendeu nos manuscritos (...) foi o grau de precisão que Galileu exigiu na ordem de convencer ele mesmo antes dele ter feito aquelas afirmações. (DRAKE, 1999, p. 157).

Neste caso o experimento do plano inclinado é um experimento real ou um experimento puramente mental, já que o raciocínio matemático já havia lhe dado o resultado antes de sua realização empírica? O relato apresentado por Salviati a pedido de Simplicio (construção do aparato; o procedimento como deve ser realizado; o ambiente controlado; repetições com diferentes execuções com o propósito de observar regularidades ou acidentes etc.), junto com as várias alusões que Galileu faz aos instrumentos e máquinas simples em sua obra, e aliado aos fólhos descobertos por Drake, claramente demonstram que o experimento do plano inclinado foi realizado empiricamente para demonstrar a lei matemática da aceleração de um corpo que cai a partir do repouso. Contudo, o enunciado completo da lei da queda dos corpos contém duas afirmações: na primeira, diz que a velocidade de um corpo que cai aumenta proporcionalmente ao tempo; e na segunda, que no vácuo todos os corpos caem com a

mesma velocidade. Se atentarmos ao experimento do plano inclinado, ele assegura a demonstração empírica de que os espaços de um corpo que cai aceleradamente estão, entre si, como os quadrados desses mesmos tempos e, estes espaços, crescem em números ímpares a partir da unidade, ou seja: esse experimento demonstra a primeira afirmação dentro da lei da queda dos corpos, mas não a segunda, uma vez que é somente no vácuo que podemos observar que todos os corpos caem com a mesma velocidade. Porém, como Galileu afirma nos *Discursos*, “onde falta a observação sensível, devemos completa-la com o raciocínio” ¹⁵⁴ e, na Segunda Jornada do *Diálogo*, Salviati afirma de maneira similar: “Se querieis produzir uma experiência mais ajustada, deveríeis dizer que se observasse, se não com os olhos da frente, pelo menos com aquele da mente (...)” ¹⁵⁵. Como Galileu não dispõe de certo espaço, isto é, o vácuo, para observar a segunda afirmação da lei da queda dos corpos, resta-lhe recorrer ao raciocínio puramente mental, ou seja, a um experimento mental.

Como vimos no primeiro capítulo deste trabalho, um experimento mental consiste num processo análogo a um experimento empírico, mas realizado, pelo menos em parte, na mente humana, devido a uma impossibilidade da realização física do experimento. Além disso, um experimento mental requer afirmações de base empírica, ou seja, não podemos imaginar um comportamento de um fenômeno natural, numa determinada situação, sem termos informações empíricas prévias de como este fenômeno se comporta em ambiente natural se queremos, ao imaginar a situação desejada, extrair proposições sobre os fenômenos naturais físicos, ou seja, um experimento mental são considerações do que aconteceria com estas mesmas conclusões observadas empiricamente se elas fossem postas numa situação onde fossem eliminados os problemas que eles apresentavam na realidade física. Neste caso, Galileu pode observar empiricamente, através da queda dos corpos no ar ou no plano inclinado ¹⁵⁶, que o corpo cai aceleradamente a partir do repouso e, ao cair, percorre espaços iguais na proporção dupla de seus tempos, conclusões obtidas matematicamente, mas, quando realizasse o experimento empírico, alguns fatores, como o atrito existente no plano inclinado e a resistência do ar impediriam que este experimento ocorresse exatamente

¹⁵⁴ GALILEI, *Opere* VIII, p. 104; DNC, p. 54.

¹⁵⁵ GALILEI, *Opere* VII, p. 169; *Diálogo*, p. 225.

¹⁵⁶ Salviati afirma no Escolio referente ao Teorema II: “Portanto, o que foi demonstrado no referente às quedas verticais, também acontece do mesmo modo para os movimentos que se realizam em planos inclinados quaisquer; supusemos, com efeito, que em tais planos os graus de velocidade aumentam sempre na mesma proporção, ou seja, proporcionalmente ao tempo, ou ainda, segundo a simples série dos números inteiros” (GALILEI, *Opere* VIII, p. 214; DNC, p.142).

como demonstrado matematicamente em abstrato, obtendo-se valores aproximados (o fólio 116v é um bom exemplo do distanciamento das conclusões abstratas e de sua realização empírica). Assim, uma vez que as conclusões matemáticas abstratas estão isentas dos acidentes e dos impedimentos da realidade física, e após se deparar através da realização empírica do experimento com os problemas dos acidentes e impedimentos, Galileu começa a se perguntar o que aconteceria se estes acidentes fossem eliminados, como num meio totalmente idealizado, que não tenha nenhum atrito nem resistência do ar, tal como o vácuo, e com isto, conclui que todos os corpos, no vácuo, cairiam com a mesma velocidade.

Assim, do mesmo modo que Galileu usa o plano inclinado para relacionar a aceleração dos corpos que caem verticalmente com a queda através do plano (sendo esta uma comparação empírica), pretendemos apresentar outra funcionalidade deste experimento quando, a princípio, não é possível realizar uma correlação empírica, ou seja, a de servir como uma comparação entre o meio material e o meio imaterial: o recurso de *idealização* utilizado por Galileu. O termo possui alguns significados, podendo ele referir-se tanto a Ideia como o que é formal ou perfeito no sentido de pertencer à Ideia como forma, espécie ou perfeição (seguindo, assim, uma definição platônica); como a algo que não é real porque pertence à representação ou ao pensamento; ou, ainda, como referente ao termo *ideal*, designando o que é perfeito, mas irreal ¹⁵⁷. Em seu artigo *Galilean Idealization* (1985), Ernam McMullin define como entende este termo:

O termo, idealização, em si é muito vago. Devo toma-lo para significar uma simplificação deliberada de algo complicado (uma situação; um contexto, etc.) com uma visão que alcança pelo menos um entendimento parcial daquela coisa. Pode envolver uma distorção do original ou pode simplesmente significar uma saída de lado para alguns componentes num complexo em ordem de focar o melhor sobre os restantes. O ponto da idealização (...) não é simplesmente escapar de uma irregularidade intratável do mundo real dentro da ordem da inteligibilidade das Formas, mas fazer uso desta ordem numa tentativa de compreender o mundo real do qual a idealização toma sua origem. (MCMULLIN, 1985, p. 248) [grifo nosso].

Desta maneira, partindo da definição apresentada por McMullin, aqui o termo idealização pode ser entendido simplesmente como uma operação epistemológica pela

¹⁵⁷ ABBAGNANO, 1998, p.522 – 223.

qual se excluem ou ignoram certos dados de observação empírica, como as irregularidades e impedimentos da realidade física, para induzir às conclusões desta mesma realidade em ambientes livres dos erros que apresenta. No seu artigo, McMullin apresenta o uso da idealização presente na obra galileana sob diversas formas, das quais podemos destacar a idealização matemática (já tratada no segundo capítulo deste trabalho) e a idealização causal ¹⁵⁸, a qual afirma ser o tipo de idealização mais “galileano” em origem. McMullin diz:

Os impedimentos realmente problemáticos, Galileu diz mais de uma vez, são os causais. O desordenado mundo da Natureza é um emaranhado de linhas causais, não há esperança de “ciência firme” a menos que se possa de alguma forma simplificar o emaranhado por eliminando, ou de outra forma neutralizando as linhas causais que impedem, ou complicam, a ação dos fatores que está tentando resolver. (...) Este tipo de idealização é mais distintamente galileano em origem. Sua compreensão era que as situações causais complexas podem ser somente entendidas primeiramente tomando as linhas causais separadamente e então combinar elas. (MCMULLIN, 1985, p. 264-265).

A idealização causal apontada por McMullin refere-se aos impedimentos encontrados na matéria: o que impede um corpo, sobre um plano inclinado, de rolar aceleradamente de forma que no seu percurso os espaços percorridos pelo corpo estejam na proporção quadrada dos tempos e que esta proporção cresça segundo uma progressão numérica exatamente como ocorre matematicamente (de modo abstrato)? Entre o emaranhado de causas que existe na natureza, podemos apontar duas: a fricção e a resistência do meio, causando um distanciamento, por menor que seja, entre as conclusões matemáticas e as de quando elas são aplicadas na matéria, sendo o melhor modo para resolvê-las isolar cada impedimento e trata-las separadamente, de uma

¹⁵⁸ Nota do autor: É importante frisar, no entanto, que Galileu não foi o inventor destas técnicas ou que possuiu um papel principal no uso delas. A abstração matemática de Aristóteles, quando ele afirma que o matemático deve estudar os objetos matematicamente, é uma espécie de idealização, separando assim a matemática da física. Jairo José da Silva afirma: “A abstração aristotélica, a operação pela qual consideramos objetos e coleções de objetos empíricos como objetos matemáticos, comporta também um elemento de idealização. Tratar uma bola como uma esfera é uma operação complexa: abstrai-se da bola a sua forma mais ou menos esférica e, simultaneamente, idealiza-se essa forma, isto é, desconsiderando-se as diferenças entre ela e a esfera matemática perfeita (determinada pela sua definição como um lugar geométrico de pontos espaciais equidistantes do centro). Uma esfera matemática é, assim, uma idealização de um aspecto da bola, e só assim ela existe.” (SILVA, 2007, p.46). O que torna, portanto, a idealização matemática galileana um importante aspecto epistemológico é justamente utilizá-lo como um método para corrigir as dificuldades práticas na relação entre a matemática e a matéria, enquanto que Aristóteles não via nenhuma correlação entre a matemática e a física no estudo dos fenômenos naturais, como analisamos no segundo capítulo deste trabalho.

maneira idealizada, para posteriormente uni-las no mesmo experimento. Assim, a idealização galileana, no que se refere à execução dos experimentos empíricos, está associada com ao problema dos acidentes, problema no que Galileu teve que lidar ao longo de sua vida científica. No artigo *Galileo and the problem of accidents*¹⁵⁹, Norreta Koertge analisa como este problema foi encarado por Galileu ao longo de suas principais obras, deste modo, Koertge afirma que, no período em que se encontrava em Pádua, Galileu percebeu que a teoria matemática e o experimento não correspondiam por causa dos acidentes, e sua primeira solução foi lista-los e imaginar o que aconteceriam se fossem ausentes, e no período da retomada dos estudos mecânicos, época da elaboração dos *Discursos*, Galileu enfrenta o problema variando o grau do acidente, e anotando cada efeito, assim ele pode extrapolar os efeitos para o caso limite. Sendo os *Discursos* uma obra que marca a retomada do estudo da mecânica por Galileu, em sua época de Pádua, é interessante notar, como aponta Koertge, a semelhança entre este método no período paduano e nos *Discursos*.

Deste modo, de acordo com a idealização causal exposta por McMullin, com a qual Galileu trata deste problema tanto em seu período paduano como nos *Discursos*, Galileu varia o grau dos acidentes reduzindo-os seus efeitos tanto quanto possível para, a partir do resultado obtido, projetar (extrapolar) os resultados do experimento para o ideal. A partir deste ponto, um termo que devemos prestar atenção na obra galileana é o termo *deveria* (*doveria*). Galileu não elimina os acidentes e impedimentos físicos, ele tenta reduzi-los tanto quanto pode para os resultados dos experimentos chegarem o mais próximo possível do desejável matematicamente, do ideal. É por este motivo que ele insiste em eliminar todos os impedimentos externos, como a resistência do meio no plano inclinado ou horizontal (para os movimentos uniformes), numa *tentativa* de construí-los perfeitamente retos (sem nenhuma fricção, como uma linha geométrica), onde uma folha de pergaminho bastante polida é colocada sobre a ripa para ficar bem lisa e, com isso, as esferas mais próximas das perfeitamente redondas e lisas (como uma esfera geométrica, com todos os pontos equidistantes do centro) possam rolar com o menor atrito possível. Referimo-nos à “*tentativa*” porque Galileu reconhece as dificuldades e a insuficiência em representar o ideal matemático que estes experimentos apresentam no momento de sua realização empírica, sendo eles instrumentos limitados pelas causas naturais.

¹⁵⁹ KOERTGE, 1977, pp. 389-408.

Na exposição do plano inclinado na Primeira Jornada do *Diálogo*, Galileu se refere a um móvel no plano que, “removidos todos os impedimentos externos e acidentais”, se move segundo “o curso ordinário da natureza” ¹⁶⁰, e na Primeira Jornada dos *Discursos*, Salviati afirma: “quis também eliminar os obstáculos que pudessem nascer do contato desses móveis com o plano inclinado” ¹⁶¹, demonstrando, assim, a preocupação que ele possuía com este problema. Na Quarta Jornada dos *Discursos*, Simplicio critica Salviati sobre as dificuldades físicas impostas nos experimentos, sendo eles uma tentativa de reproduzir o fenômeno ideal livre de acidentes. Salviati reconhece os problemas ¹⁶² e afirma que o movimento sobre um plano horizontal retirado todos os impedimentos externos, *deveria* ser uniforme e constante, como considerado em abstrato, mas não é isto que ocorre quando posto na matéria; na matéria, a aceleração natural *deveria* acontecer segundo a proporção do quadrado do tempo, a trajetória de um projétil *deveria* ser parabólica; etc. do mesmo modo, uma bola de bronze rolando sobre um plano inclinado *deveria* rolar sem impedimentos, mas não é isto que ocorre em concreto.

Se, portanto, o modo de proceder nas ciências intermediárias é apresentar experiências que concordem com as conclusões demonstradas (ciências que aplicam as demonstrações matemáticas nos fenômenos naturais, como na perspectiva, na astronomia, na mecânica, e na música), como Salviati alega para Simplicio na Terceira Jornada dos *Discursos* e que antecede o relato do experimento do plano inclinado; a experiência de jogar corpos de diferentes pesos e materiais para verificar que suas velocidades são a mesma no vazio não pode ser realizada porque Galileu não dispõe de certo espaço, restando-lhe recorrer a um experimento mental. Este experimento, neste caso pode ser entendido como uma projeção do que ocorre no meio material para um meio imaterial, assim, essa projeção também é realizada no plano inclinado, que pode servir à Galileu também como um meio comparativo entre os dois ambientes, um cheio de ar e outro vazio de ar. Salviati, na Primeira Jornada da mesma obra, afirma:

Salviati - Estamos tentando investigar o que aconteceria com os móveis de pesos muito diferentes num meio cuja resistência fosse nula, de modo que qualquer diferença de velocidade encontrada entre esses móveis deveria ser referida unicamente a desigualdade de peso.

¹⁶⁰ GALILEI, *Opere* VII, p. 52; DMS, p. 111.

¹⁶¹ GALILEI, *Opere* VIII, p. 128; DNC; p. 71.

¹⁶² Ver seção II, capítulo 2, p. 58.

Já que *somente um espaço totalmente vazio de ar e de qualquer outro corpo*, ainda que sutil e penetrável, poderia mostra-nos perceptivamente o que buscamos, e *posto que não dispomos de semelhante espaço, observaremos* o que ocorre nos meios mais sutis e menos resistentes por *comparação* com o que se vê acontecer nos meios menos sutis e mais resistentes. (GALILEI, *Opere* VIII, p. 117; DNC, p. 62-63) [grifo nosso].

Diferentemente da Terceira Jornada, na passagem que Galileu alude à metodologia das ciências intermediárias, Simplicio não pede para Salviati apresentar alguma experiência, mas este apresenta a dificuldade da observação de corpos caindo num meio cuja resistência fosse nula. Não dispondo de um espaço para comprovar que os corpos caem no vácuo com velocidades iguais, independente de seus pesos ou de seus materiais, resta-lhe, como única alternativa, *observar e comparar* o que ocorre num espaço o mais próximo possível do vácuo, que seja mais sutil e menos resistente. Na natureza o único meio que possui estas características e que nos é acessível é o ar, ao passo que eliminando a resistência do meio, todos os corpos se moveriam com igual velocidade. Assim é somente *comparando* o movimento de queda livre de um corpo no ar que Galileu pode, “numa conjectura altamente provável”¹⁶³, comprovar que no vácuo todos os corpos atingem a mesma velocidade. Porém, como não dispomos do espaço vazio, só podemos *observar* o movimento de queda no ar e através do plano inclinado (pois o movimento acelerado obtido neste plano é o mesmo obtido de um objeto solto a partir do repouso de uma enorme altura, fazendo com que o plano seja um modelo reduzido das imensas quedas verticais) para *compará-lo* num meio vazio da qual não dispomos, ou seja, idealizar este movimento através de um experimento mental, em busca de saber como este movimento se comportaria num meio livre dos impedimentos e das irregularidades que a realidade física apresenta. Deste modo, podemos sustentar que o conjunto total da investigação da lei da queda dos corpos pode ser dividido em duas partes: uma observável diretamente com auxílios de experimentos, e outra não observável, onde devemos supor o que ocorre no vácuo a partir de um meio não vazio. Com isto, podemos concluir que o experimento do plano inclinado dentro da composição da lei da queda dos corpos segue certo *método comparativo* entre o material e o imaterial, ou seja, entre o espaço no qual há resistência do meio e o espaço no qual não há, que é o vácuo. Esta nomenclatura, devemos dizer, não pertence a Galileu nem

¹⁶³ GALILEI, *Opere* VIII, p. 117; DNC, p. 63.

define por completo a função de seus experimentos, ela tem por finalidade revelar um aspecto deste experimento dentro dos *Discursos*. É bem verdade que não há vácuo no plano inclinado. As condições postas para possuir este espaço são dadas por Salviati na Primeira Jornada:

Salviati - Em verdade, não sou capaz de ver diferença alguma entre as constituições respectivas do meio envolvido (*ambito*) e do meio envolvente (*ambiente*), enquanto numa o meio envolvente (*ambiente*) não pressiona em nada o meio envolvido (*ambito*), noutra, o meio envolvido não exerce pressão alguma sobre o meio envolvente; *essas constituições são a localização de algum corpo no vácuo e a localização do ar no frasco, onde foi comprimido.* (GALILEI, *Opere* VIII, p.126; DNC, p. 69) [grifo nosso].

Galileu consegue produzir o vácuo retirando o ar comprimido de dentro de um frasco¹⁶⁴, mas este espaço, obviamente, não é suficiente para deixar corpos caírem para observarmos seu movimento. Assim, a localização de um corpo no vácuo dá-se pela não relação entre dois meios: o meio envolvido (*ambito*) e o meio envolvente (*ambiente*). Enquanto no ar a relação entre eles é dada pela pressão que um exerce sobre o outro, eliminando a resistência do ar, que é o meio envolvente de um corpo envolvido, não ocorre a relação, porque no vácuo um corpo não interage com o seu meio, uma vez que este é vazio. A partir disto, verificamos que o corpo que desce pelo plano inclinado está envolvido pelo ar, que é o meio envolvente, mas não podemos observar este mesmo corpo no vazio. Galileu não dispõe deste espaço para verificar seus postulados mas afirma, como vimos, que onde falta a sensação devemos completar com o uso da razão. Devemos, então, imaginar um plano perfeitamente liso prolongado ao infinito e com bolas perfeitamente lisas¹⁶⁵, retirados todos os impedimentos e acidentes externos para observarmos como um corpo mover-se-ia (condições espaciais que o vácuo apresenta por não possuir os impedimentos do meio ambiente – da realidade natural - que um plano real apresentaria). Assim, O experimento do plano inclinado permite a Galileu projetar o que ocorre no meio material no meio imaterial na formulação da lei queda dos corpos, servindo-lhe como base comparativa entre os meios distintos.

¹⁶⁴ GALILEI, *Opere* VIII, p.126; DNC, p. 69.

¹⁶⁵ No início da Quarta Jornada dos *Discursos*, na leitura do texto latino de Galileu por Salviati intitulado *De Motu Proiectorum* (texto na qual faz parte do texto *De Motu Locali*, lido na Terceira e Quarta jornadas), o autor afirma: “Imagino que um móvel foi projetado sobre um plano horizontal livre de qualquer obstáculo; já é evidente, de acordo com o que expusemos longamente em outro lugar, que dito móvel se movimentará sobre esse mesmo plano com um movimento uniforme e perpétuo, *supondo que esse plano seja prolongado ao infinito.*” (GALILEI, *Opere* VIII, p. 268; DNC, p. 197) [grifo nosso].

Por fim, o diálogo entre Salviati e Sagredo que abre a Primeira Jornada dos *Discursos* resume, de certo modo, esta relação entre experimento e matemática ou, realidade física e realidade abstrata, no âmbito da ciência mecânica de Galileu, a qual analisamos ao longo dos três capítulos apresentados. Nesta passagem os interlocutores ressalvam a grande utilidade da prática dos artesãos pois, de acordo com Sagredo, que é “curioso por natureza”, a frequente conversação com os mestres do ofício, a observação das construções e do manuseio dos arsenais favorecem os intelectos especulativos “na investigação das razões de efeitos não somente maravilhosos, mas também ocultos e quase inimagináveis” ¹⁶⁶, contudo, “É também verdade que por vezes isso me deixou confuso e desanimado sobre a possibilidade de penetrar o que está afastado de minha concepção, ainda que os sentidos o demostram ser verdadeiros” ¹⁶⁷. Para Nascimento, no artigo *Galileu e o Arsenal*, esta afirmação de Sagredo representa, em linhas gerais, o confronto da prática e da teoria ¹⁶⁸, representando no diálogo através de um caso particular. Sagredo revela ter escutado um pronunciamento de um “bom velho” sobre a construção de bases de sustentação, armações, e outros reforços para grandes embarcações, que são necessárias para evitar a inclinação de um navio pelo seu próprio peso durante a navegação, “inconveniente ao qual não estariam sujeitas as embarcações menores” ¹⁶⁹. Este relato abre a discussão sobre a resistência dos materiais devido a Sagredo não acreditar ser possível argumentar, das estruturas pequenas às grandes, nesta e em outras máquinas similares. Sagredo afirma:

Sagredo - *Todas as leis da mecânica têm seus fundamentos na geometria, na qual não vejo que o tamanho grande ou pequeno altera as propriedades dos círculos, triângulos, cilindros, cones e qualquer outra figuras sólida*, se a máquina maior é fabricada de forma que todas as suas partes sejam proporcionais à menor sendo forte, e resistente para o trabalho ao qual se destina, não entendo porque ela não pode resistir intacta às situações severas e destrutivas a que pode ser submetida. (GALILEI, *Opere* VIII, p. 50; DNC, p. 11- 12) [grifo nosso].

Na sequência, Salviati responde:

Salviati – O dito popular é absolutamente falso, e tão falso que o seu contrário é verdadeiro, afirmando que muitas máquinas podem ser

¹⁶⁶ GALILEI, *Opere* VIII, p. 49; DNC, p. 11.

¹⁶⁷ *Idem; Ibidem.*

¹⁶⁸ NASCIMENTO, 1998, p. 169.

¹⁶⁹ GALILEI, *Opere* VIII, p. 50; DNC, p. 11.

construídas com maior perfeição no tamanho grande que no pequeno, como, por exemplo, um relógio, que mostra e bate as horas, que poderá ser mais perfeito em tamanho grande que no pequeno. Defendem essa sentença outros mais inteligentes dando-lhe melhor fundamento, pois, ao constatar que o desempenho das máquinas de grande porte contrariam o que se apreende das puras e abstratas demonstrações da geometria, atribuem a causa à imperfeição da matéria, que está sujeita a muitas alterações e imperfeições. Mas aqui não sei se posso dizer, sem parecer arrogante, que nem mesmo o recurso às imperfeições da matéria, capazes de contaminar as claras demonstrações matemáticas, será suficiente para explicar a desobediência das máquinas reais às máquinas abstratas e ideais. Apesar disso, afirmarei também que, abstraindo todas as imperfeições da matéria e supondo-a perfeitíssima, inalterável e isenta de toda mudança accidental, sua existência material faz com que a máquina maior, fabricada com a mesma matéria e com as mesmas proporções que à menor, seja perfeitamente simétrica em todas as outras condições à menor, menos no vigor e resistência ao tratamento violento; mas quanto maior for, proporcionalmente mais fraca será. Considerando que suponho que a matéria é inalterável, ou seja, sempre a mesma, é evidente que dela, como de toda disposição eterna e necessária, podem-se produzir demonstrações não menos rigorosas que as demonstrações matemáticas. Portanto, Sr. Sagredo, abandone também a opinião que sustentava, conjuntamente com outros que estudaram a mecânica, de que as máquinas e as estruturas feitas da mesma matéria, com observância rigorosa das mesmas proporções entre as partes, devem estar igualmente ou, para dizê-lo melhor, proporcionalmente em condições de resistir e de ceder às invasões e aos ímpetus externos, posto que se pode demonstrar geometricamente que as maiores são sempre proporcionalmente menos resistentes que as menores. De modo que finalmente existe um limite que se impõe necessariamente não somente a todas as máquinas e estruturas artificiais, mas também às naturais, além do qual não pode transpor nem a arte nem a natureza; transpor, digo, desde que se preserve sempre as mesmas proporções e a identidade da matéria. (GALILEI, *Opere* VIII, p. 50-51; DNC, p. 12).

Sagredo compreende o pronunciamento de Salviati e afirma que “parece-me que se segue ser impossível construir duas estruturas similares em matéria, desiguais no tamanho, resistentes em igual proporção”¹⁷⁰. A partir deste momento, no diálogo que se segue Galileu introduz o estudo da ciência da resistência dos materiais, visto que somente o recurso à imperfeição da matéria utilizado pela tradição não pode *explicar a desobediência das máquinas reais às máquinas abstratas e ideais*. Para Galileu, a matéria é perfeita, perfeita em seu nível ontológico, ou seja, enquanto parte da existência do mundo natural em si, sendo inalterável, sempre a mesma. Contudo, mesmo a matéria sendo perfeita, ela contém em si impedimentos e irregularidades que

¹⁷⁰ GALILEI, *Opere* VIII, p. 51-52; DNC, p. 12.

alteram os resultados dos experimentos empíricos frente aos resultados matemáticos (o que não signifique que a matéria seja imperfeita), fazendo com que Galileu utilize de seu método: tomar em conjunto experimento e matemática para poder tratar sua nova ciência de forma rigorosa, como as demonstrações matemáticas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nestes três capítulos analisamos dois aspectos da ciência de Galileu que estão relacionados entre si: experimento e matemática, presentes na lei da queda dos corpos e no plano inclinado. Analisar os fenômenos naturais tomando em conjunto estes dois fatores significa: por um lado, variar o grau do acidente observado nos experimentos para calcular as diferenças entre a teoria e a prática, e por outro, ter consciência de que, para uma melhor compreensão do fenômeno e para melhor extrair suas propriedades, o melhor meio de conhecer a natureza é exprimir e fundar suas propriedades nas leis da matemática, no caso de Galileu mais especificamente, na geometria. Com isto os experimentos de Galileu podem ser tidos como meios comparativos entre o abstrato (geométrico) e o mundo físico (a própria matéria). Os instrumentos mecânicos e as demonstrações matemáticas contestam-se ou comprovam-se numa relação mútua. Galileu não elimina os problemas das irregularidades da matéria e dos impedimentos do mundo físico, restando-lhe utilizar deste método na sua ciência como um recurso para contornar o distanciamento entre o abstrato e o mundo físico (problemas que surgem quando se aplica a matemática na natureza) para podermos tratar os fenômenos naturais de maneira rigorosa e então, extrair suas propriedades e construir um saber rigorosamente científico. Aliás, esta é uma característica que poderíamos observar em Galileu e em Aristóteles, ambos reconhecem a disparidade entre a matemática e a matéria; porém enquanto Aristóteles afirma que as não podem ser tomadas conjunto, Galileu afirma que é somente desta maneira que podemos saber como a natureza exprime suas leis e propriedades.

Neste sentido, diante de várias vertentes possíveis de interpretação acerca de Galileu e de como se procedeu a sua ciência, evidenciamos aqui através de uma exposição de alguns temas concernentes às principais obras galileanas, *um método* de Galileu; no entanto, da mesma forma que alguns historiadores da ciência, tais como Koyré ou Drake, não podemos cometer o erro anacrônico de definir e defender Galileu como unicamente um racionalista, ou unicamente um empirista, como também um platônico ou um aristotélico, tendo em vista a multiplicidade de sua epistemologia científica. Acreditamos que a possibilidade de ser denominado como platônico ou seguidor de qualquer outro filósofo, tal como suas escolas filosóficas, dá-se por alguns

motivos: o primeiro significa que um filósofo B concorda com o pensamento do filósofo A, e a defende; segundo, que um filósofo B desenvolve novas ideias que correspondem às propostas iniciais do filósofo A, e a evolui; e terceiro, que o filósofo B constrói sua filosofia diferente do filósofo A, mas com alguns pressupostos presentes neste último, seja para negar ou concordar com o filósofo precedente ou simplesmente para construir sua própria filosofia. Destas três razões, Galileu se adéqua melhor à terceira, ou seja, Galileu não pode ser classificado como platônico ou seguidor de outro filósofo, mas podemos afirmar que foi influenciado por diversos aspectos, não somente platônicos ou aristotélicos, mas por todo um contexto de retomada da filosofia grega no renascimento, o que lhe permitiu desenvolver novas descobertas acerca da investigação da natureza.

Obviamente, como não poderia deixar de ser, quando nos deparamos e nos propomos a analisar temas e conceitos longamente debatidos na história da filosofia não estamos livres de um posicionamento crítico acerca de determinada ideia, pois não existe interpretação neutra. Com isso, ambas as principais interpretações de Galileu tratadas ao longo do texto, a de que a teoria e a matemática previam o resultado do experimento, como também a de que o experimento oferecia e dava suporte teórico a Galileu, são congruentes. Apesar disto, o uso de ambos os meios apresentou dificuldades a Galileu: a matemática nem sempre exprime *exatamente* o que vai acontecer nos resultados dos experimentos (como no folio 116v), e os experimentos também possuem dificuldades, eles possuem “limites” na sua construção e na execução, como os acidentes e irregularidades da matéria, fazendo com que o resultado não seja o mesmo que o esperado (pois o plano inclinado não é totalmente liso, sendo totalmente liso quando ele é considerado em abstrato); com isso, queremos afirmar também que os experimentos podem oferecer outras funções além de confirmar ou negar teorias: eles eram essenciais para uma demonstração didática, posto que Galileu apresentava muitos dos seus experimentos ao público através de suas obras (fazendo com que o conhecimento científico se baseie em fatos naturais demonstrados através dos experimentos, ou seja, como demonstrado no parágrafo 48 d’*O Ensaaiador*, do que pode ser medido e quantificável, como também acompanhado de sua base teórica); ou eles também serviam como um recurso de idealização (sendo possível realizar um experimento mental, que é capaz de extrapolar a proposta do experimento empírico a um ambiente ou uma situação que não é acessível ao cientista para ele confrontá-la com os resultados empíricos, permitindo-lhe deduzir e fazer declarações sobre o experimento

empírico prévio ao experimento mental); ou como, por exemplo, o experimento do plano inclinado, que serve como meio comparativo entre o abstrato e o meio material dentro da lei da queda dos corpos. Neste sentido e, diante de nosso estudo, é correto afirmar que, na sua nova ciência, Galileu une experimento e matemática e toma ambas em conjunto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fólios:

GALILEI, G. MS. GAL. 72, f. 81r; f. 114r; f. 116v. Electronic Representation of the Manuscript. Biblioteca Nazionale Centrale. Istituto e Museo di Storia della Scienza, Florence. Max Planck Institute for the History of Science, Berlin, 1999.

HILL, D. K. *Essential details of folio 81r* (p. 647); *f. 114r* (p. 658); *f. 116v* (p. 663). *Dissecting Trajectories: Galileo's Early Experiments on Projectile Motion and the Law of Fall*. Isis, Vol. 79, No. 4 (Dec., 1988), pp. 646-668.

Primária:

GALILEI, G. *Edizione Nazionale Le Opere di Galileo Galilei*. Firenze: S.A.G.Barbèra, 1968. 20 v.

GALILEI, G. *Le opere di Galileo Galilei, edizione nazionale sotto gli auspici di sua maestà il re d'Italia*. Progetto Manuzio. Ed. E-Text, 1998.

_____. *Carta de Galileu Galilei a Fortunio Liceti em Pádua*. Tradução: Pablo Mariconda. Revista Scientia e studia, São Paulo, v. 1, n. 1, pp. 75-80, 2003.

_____. *Carta de Galileu Galilei a Francesco Ingoli*. Tradução: Pablo Mariconda. Revista Scientia e studia, São Paulo, v. 3, n. 3, pp. 477-516, 2005.

_____. *Ciência e Fé, Cartas de Galileu sobre a questão religiosa*. Tradução: Carlos Arthur R. do Nascimento. Editora Nova Stella – Rio de Janeiro, 1988.

_____. *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*. Tradução, introdução e notas: Pablo Rubén Mariconda. Editora 34. São Paulo, 2011.

_____. *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*. 1ª Edição Eletrônica. 1998. Disponível em: <http://www.liberliber.it/online/autori/autorig/galileo-galilei/>

_____. *Duas Novas Ciências* (incluindo: *Da força de percussão*). Introdução de Pablo R. Mariconda. Tradução e notas de Letizio Mariconda e Pablo R. Mariconda, Nova Stella Editorial, São Paulo, SP, 1988.

_____. *O Ensaíador*. Tradução e notas de Helda Barraco. Coleção “Os Pensadores” Abril Cultural, 2ª edição, São Paulo, 1978.

_____. *O Ensaíador*. Tradução do parágrafo 48. Revista Guairacá, Volume 29, nº 2, pp. 211-218, 2013.

_____. *Sidereus Nuncius, O mensageiro das estrelas*. Tradução, Estudo e Notas por Henrique Leitão. 3ª Edição. Fundação Calouste Gulbenkian, 2010.

_____. *Two New Sciences*. Second Edition. Translated, with a New Introduction and Notes by Stillman Drake. Wall and Emerson WE, Inc, Toronto, 1989.

Secundárias:

ABBAGNANO, N. *Dicionário de Filosofia*. Martins Fontes, 1998.

ARISTÓTELES, *Física*. Trad. Lucas Angioni, Editora da Unicamp, Campinas, 2009.

_____, *Metafísica*. Tradução de Leonel Vallandro, Editora Globo, Porto Alegre, 1969.

ARISTOTLE. *Physics*. Trad. David Ross. In: BARNES, J. *The Complete Works of Aristotle*. Princeton. Princeton University Press, 1995, V. II. pp. 315 – 447.

_____. *Posterior Analytics*. Trad. David Ross. In: BARNES, J. *The Complete Works of Aristotle*. Princeton. Princeton University Press, 1995, V. II. pp. 114 – 167.

_____. *On the Heavens*. Trad. David Ross. In: BARNES, J. *The Complete Works of Aristotle*. Princeton. Princeton University Press, 1995, V. II. pp. 447 – 512.

BRÁS, E. *A locomoção natural dos elementos: Tomás de Aquino, crítico de Aristóteles latino*. ANALYTICA, Rio de Janeiro, vol 18 nº 2, 2014, p. 123-151.

BEDINI, S. *The instruments of Galileo Galilei*. In: In: MCMULLIN, Ernan. *Galileo Man of Science*. The Scholar's Bookshelf, New Jersey, 1988, p. 256 – 292.

BROWN, J. R. *Thought experiments since the Scientific Revolution*. International Studies in the Philosophy of Science, Volume 1, Number 1, Sept. 1986.

BUTTS, R. E. / PITT, J. C. *New perspectives on Galileo. Papers deriving from and related to a workshop on Galileo held at Virginia Polytechnic Institute and State University*. D. Reidel Publishing Company. V. 14, 1978.

BUTTS, R. E. *Some tactics in Galileo's propaganda for the mathematization of scientific experience*. In: BUTTS, R. E. / PITT, J. C. *New perspectives on Galileo*. D. Reidel Publishing Company. V. 14, pp. 59 - 85, 1978.

CLAVELIN, M. *A Revolução Galileana: Revolução Metodológica ou Teórica?*. Tradução: Roberto Martins. "Cadernos de História e filosofia da Ciência", Campinas, Série 9, pp. 35-44, 1986.

COMBRIE, A. C. *Historia de la ciencia: de San Agustín a Galileo. La ciencia en la baja edad media y comienzos de la edad moderna: siglos XIII al XVII / Volume 2*. Alianza Universidad, 1974.

_____. *Robert Grosseteste and the origins of experimental Science*. Oxford, 1971.

COPÉRNICO, N. *As revoluções dos orbes celestes*. Fundação Calouste Gulbenkian. Tradução de A. Dias Gomes e Gabriel Domingues. Introdução e notas de Luis Albuquerque. 2ª Edição. Lisboa. 1996.

CUSTÓDIO, M. A. D. *Implicações do problema da interdependência da filosofia da ciência e da história da ciência em Inre Lakatos*. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Unicamp, Campinas, SP, 1999.

DAMEROW, P.; FREUDENTHAL, G.; MCLAUGHLIN, P.; RENN, J. *Exploring the limits of preclassical mechanics, A study of conceptual development in early modern Science: free fall and compound motion in the work of Descartes, Galileo, and Beeckman*. Second Edition. Spring, 2004.

DAWES, G. W. *Experimental versus Speculative Natural Philosophy: The Case of Galileo*. Disponível em <https://blogs.otago.ac.nz/emxphi/files/2011/02/GDF-Experimental.pdf> (acessado em 05/05/2015).

DJIKSTERHUIS. *The mechanization of the world picture*. Londres: Oxford University Press, 1969.

DRAKE, S. *Essays on Galileo and the History and Philosophy of Science*. Volume 1 and 2. Selected and introduced by N.M. Swerdlow and T.H. Levere. University of Toronto Press, Canada, 1999.

_____. *Galileo's 1604 Fragment on Falling Bodies (Galileo Gleanings XVIII)*. In: *Essays on Galileo and the history and philosophy of science*, 1999, pp. 187- 207.

_____. *Galileo's Discovery of the Law of Free Fall*. In: *Essays on Galileo and the history and philosophy of science*, 1999, pp. 248-264.

_____. *Galileo's Experimental Confirmation of Horizontal Inertia: Unpublished manuscripts (Galileo Gleanings XXII)*. In: *Essays on Galileo and the history and philosophy of science*, 1999, pp. 147-159.

_____. *Galileo's Works on free fall in 1604*. In: *Essays on Galileo and the history and philosophy of science*, 1999, pp. 281-291.

DREYER, J.L.E. *A History of astronomy from Thales to Kepler*. Revised with a Foreword by W. H. STALL. Dover Publications, Second edition, Canada, 1953.

ÉVORA, F. R. R. *A revolução copernicana-galileana*. Campinas, SP: UNICAMP/CLE, 1988.

_____. *Discussão Acerca do Papel Físico do Lugar Natural na Teoria Aristotélica do Movimento*. Cad. Hist. Fil. Ci., Campinas, Série 3, v. 16, n. 2, p. 281-301, jul.-dez. 2006.

_____. *Natureza e Movimento: um estudo da física e da cosmologia aristotélicas*. Cad. Hist. Fil. Ci., Campinas, Série 3, v. 15, n. 1, p. 127-170, jan.-jun. 2005.

FRANCISQUINI & SOARES. *O paradoxo cinemático de Galileu*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 36, n. 1, 1304. 2014.

FELDHAY, R. *The Use and abuse of mathematical entities: Galileo and the Jesuits revisited*. In: MACHAMER, P. (Ed.). *The Cambridge Companion to Galileo*. Cambridge University Press, 1998, p. 80-145.

GENDLER, T. S. *Thought Experiments Rethought—and Reperceived*. Philosophy of Science, Vol. 71, No. 5, December 2004, pp. 1152-1163.

GEYMONAT, L. *Experimento e Matemática*. In: 350 Anos dos “Discorsi Intorno a due nuove scienze” de Galileo Galilei. Coordenação de Fernando Lobo Carneiro. Núcleo de publicações da Coppe. 1989, pp. 61-71. 42.

HALL, R. *The Revolution In Science, 1500 – 1750*. 1983.

HANKINS, J. *Plato in the Italian Renaissance*. E. J. Brill, 1990.

HILL, D. K. *Dissecting Trajectories: Galileo's Early Experiments on Projectile Motion and the Law of Fall*. Isis, Vol. 79, No. 4 (Dec., 1988), pp. 646-668.

KOYRÉ, A. *An Experiment in Measurement*. Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. 97, No. 2, pp.222-237, 1953.

_____. *Do mundo fechado ao universo infinito*. Alexandre Koyré. Tradução de Donaldson M. Garschagen; apresentação e revisão técnica Manoel Barros da Motta. 4ª. Ed. – Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2006.

_____. *Estudos de História do Pensamento Científico*. Tradução e revisão técnica de Márcio Ramalho. Ed. Forense universitária, Rio de Janeiro, 1991.

_____. *Estudos Galilaicos*. Publicações Dom Quixote. Lisboa, 1986.

_____. *Galileo and Plato*. Journal of the history of Ideas. Vol. 04, Nº. 04, pp. 400-428, 1943. 39.

KUHN, T. S. *Uma função para os experimentos mentais*. In: A tensão essencial: estudos selecionados sobre tradição e mudança científica; Trad. Marcelo Amaral Penna-Forte; Ed. UNESP; 2011; pp. 257-282.

LAUDAN, L. *Teorias do Método Científico de Platão a Mach*. “Cadernos de História e filosofia da Ciência”, Suplemento 1, 1980.

LEFÈVRE, W. *Galileo engineer: art and modern Science*. In: RENN, Jürgen (Ed.). *Galileo in context*. Cambridge University Press. 2001, pp. 11 – 27.

LOPARIC, Z. *Andreas Osiander: Prefácio ao “De revolutionibus orbium caelestium” de Copérnico*. Cadernos de História e filosofia da Ciência. Nº 1. 1980.

MACHAMER, P. *Galileo's machines, his mathematics, and his experiments*. In: MACHAMER, P. (Ed.). *The Cambridge Companion to Galileo*. Cambridge University Press, 1998, p. 53-79.

MARICONDA, P. R / VASCONCELOS, J. *Galileu e a nova Física*. Ed. Odysseu. 1ª ed, São Paulo, SP, 2006.

MARICONDA, P. R. *As mecânicas de Galileu: as máquinas simples e a perspectiva técnica moderna*. Scientiæ Studia, São Paulo, v. 6, n. 4, p. 565-606, 2008.

_____. *Lógica, experiência e autoridade na carta de 15 de setembro de 1640 de Galileu a Liceti*. Revista Scientia e studia, São Paulo, v. 1, n. 1, pp. 63-73, 2003.

_____. *O Diálogo de Galileu e a condenação*. “Cadernos de História e filosofia da Ciência”, Campinas, Série 3, v. 10, pp. 77-160, 2000.

MCALLISTER, J. W. *The Evidential Significance of Thought Experiment in Science*. Stud. Hist. Phil. Sci., Vol. 21, No. 2, pp. 233-250, 1996.

MCMULLIN, E. *Galilean idealization*. University of Notre Dame. Stud. Hist. Phil. Sci., Vol. 16. No. 3 pp. 247-273, 1985.

MOSCHETTI, M. *Copérnico X Osiander: breve nota sobre um célebre equívoco*. In: Souza, O. A.; Branco, C. C. Z.; Lopes, M. C.; Weide, D. F.; Wikler, C.. (Org.). “Universidade: ação e interação”. 1ed. Guarapuava: Editora Unicentro, 2003, v. 2, p. 194-198.

_____. *Galileu e as cartas sobre as manchas solares: a experiência telescópica contra a inalterabilidade celeste*. Cadernos de Ciências Humanas - Especiaria. v. 9, n.16,jul./dez., 2006, p. 313-340.

_____. *Navegando em um oceano infinito. A física geométrica de Galileu e o problema do contínuo*. Tese de Doutorado. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Unicamp, Campinas, SP, 2011.

NASCIMENTO, C.A. R. *Galileu e o arsenal*. In: *De Tomás de Aquino a Galileu*. Campinas: IFCH/UNICAMP, 1995, pp. 167-174.

_____. *Três tradições explicativas sobre a lei da queda dos corpos*. In: *De Tomás de Aquino a Galileu*. Campinas: IFCH/UNICAMP, 1995, pp. 153-166.

_____. *Um pouco mais sobre Galileu e as ciências mistas*. RBHM, Vol. 11, no23, Anais IX SNHM, 2011, p. 15-26.

NAYLOR, R.H. *Galileo and the problem of free fall*. The British Journal for the History of Science, Vol. 7, No. 2, pp. 225-244, Jul. 1974.

NAYLOR, R. H. *Galileo: Real Experiment and Didactic Demonstration*. Isis, Vol. 67, No. 3 (Sep., 1976), pp. 398-419.

NORTON, J. D. *On Thought Experiments: Is There More to the Argument?*. Philosophy of Science, 71, December 2004 pp. 1139–1151.

PLATÃO. *A República*. Introdução, tradução e notas de Maria Helena de Rocha Pereira. 9ª edição. Fundação Calouste Gulbenkian, 2001.

POPPER, K. *Três pontos de vista sobre o conhecimento humano*. In: POPPER, Karl. *Conjecturas e Refutações*. Tradução de Sérgio Bath. Editora Universidade de Brasília. 2ª ed, 1982, pp. 125-146.

RENN, J.; DAMEROW P.; RIEGER, S; GIULINI, D. (2001). *Hunting the White Elephant: When and How did Galileo Discover the Law of Fall?* Science in Context, nº 14, pp. 29-149, 2001.

RENN, J. (Ed.); DAMEROW, P.; RIEGER, S. *Galileo in context*. Cambridge University Press. 2001.

SEGRE, M. *O Papel do experimento na física de Galileu*. Tradução de Wilson Pereira de Jesus. Caderno de Física da UEFS. 06 (01 e 02). p. 87-114, 2008.

SILVA, J. J. *Filosofias da Matemática*. 2007.

VASCONCELOS, J. C. R. *A criação do mundo e a queda dos corpos segundo Galileo Galilei*. Ideação (UEFS), Feira de Santana, v. 6, p. 81-104, 2000.

WALLACE, W. *Galileo Galilei and the doctor parisienses*. In: BUTTS, Robert E. / PITT, Joseph C. *New perspectives on Galileo*. Reidel Publishing Company. 1978 p. 87 - 138.