

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CURSO DE LICENCIATURA EM FILOSOFIA**

DARLEY BERNARDES DE SOUZA

**PRINCÍPIO DE INÉRCIA NO *DIÁLOGO* DE 1632 E NOS
DISCORSI DE 1638 DE GALILEU GALILEI**

Brasília
2011

DARLEY BERNARDES DE SOUZA

**PRINCÍPIO DE INÉRCIA NO *DIÁLOGO* DE 1632 E NOS
DISCORSI DE 1638 DE GALILEU GALILEI**

Monografia apresentada à Faculdade de Filosofia da Universidade de Brasília, como requisito obrigatório para conclusão do curso de licenciatura filosofia.

Orientador: Prof. Dr. Samuel José Simon Rodrigues

Brasília
2011

“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”

Galileu Galilei

Sumário

Conteúdo

INTRODUÇÃO	5
CAPÍTULO I - CONTEXTUALIZAÇÃO DO <i>DIÁLOGO</i> DE 1632 E DOS <i>DISCORSI</i> DE 1638 E CITAÇÕES REFERENTES À INÉRCIA	10
1.1- PRINCÍPIO DE INÉRCIA NO <i>DIÁLOGO</i>	18
1.2- PRINCÍPIO DE INÉRCIA NOS <i>DISCORSI</i>	22
CAPÍTULO II - ARGUMENTOS EM FAVOR DA INÉRCIA CIRCULAR	25
CAPÍTULO III -ARGUMENTOS EM FAVOR DA INÉRCIA RETILÍNEA	31
CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

INTRODUÇÃO

O termo “inércia” foi usado provavelmente pela primeira vez por Johannes Kepler (1571-1630), na obra **Epitome Astronomiae Copernicanae** (publicada em 3 partes, de 1617 a 1620). No entanto, o sentido atribuído ao termo foi outro: para Kepler, tal termo referia-se à resistência ao movimento, baseado na presunção de que o descanso era um estado natural dos objetos e que não exigia explicação.

Galileu anunciou a lei da inércia, mas também não fez uso do referido termo. Para Galileu, um móvel – uma vez dado um impulso qualquer – pode permanecer eternamente em movimento retilíneo uniforme ou circular uniforme, Newton, na obra **Princípios Matemáticos da Filosofia Natural**, utilizou a expressão “força inata” (definição III), ou seja, uma força inata possuída pelo objeto a fim de resistir à mudança do movimento.

A força inata (ínsita) da matéria é um poder de resistir pelo qual cada corpo, enquanto depende dele, persevera em seu estado, seja de descanso, seja de movimento uniforme em linha reta (NEWTON, 1996, p. 21).

Com o tempo, os físicos acordaram que o termo “inércia” iria se referir ao próprio fenômeno em si, e não à força inata do objeto.

Atualmente, os físicos usam o referido termo no sentido newtoniano: “Todo corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, a menos que seja obrigado a mudar seu estado por forças impressas nele” (NEWTON, 1996, p. 31, lei I).

Antes de traçar um quadro comparativo geral da física aristotélica-ptolomaica e da física galileana, que figura como um pano de fundo do presente estudo, vale destacar uma pequena biografia de Galileu.

Galileu Galilei nasceu na cidade de Pisa, em 15 de fevereiro de 1564, e morreu em Florença, em 8 de Janeiro de 1642. Figurou para a história devido às pesquisas em Física, Astronomia, Matemática e Filosofia. É considerado o “pai da ciência moderna”, segundo Denis Huisman¹, e também um dos fundadores da Física moderna devido aos seus inventos e por estabelecer um novo método científico, logicamente, diferente do método aristotélico. Entre as suas invenções, destacam-se: o aperfeiçoamento do telescópio refrator, a balança hidrostática e o termômetro de Galileu. Com o aperfeiçoamento do telescópio, aquele cientista pôde observar a superfície da Lua, os outros planetas e as estrelas e, em 1610, devido às observações astronômicas, o pisano publica **Sidereus Nuncius**, anunciando as descobertas dos quatro satélites de Júpiter, nomeando-os de “Astros Medíceos”, em homenagem à família Médici.

Devido às observações das manchas solares, das crateras da Lua, da “nova estrela” de 1572, dos planetas do sistema solar e da descoberta das semelhanças entre a Lua e a Terra, Galileu havia concluído que o universo era homogêneo, ou seja, não possuía a clássica divisão aristotélica das regiões sublunar e supralunar, fato que ajudou na substituição da cosmologia aristotélico-ptolomaica pela cosmologia copernicana.

Após a publicação de **Sidereus Nuncius**, a vida de Galileu começa a ficar agitada, pois ingressara em disputas e discussões com várias autoridades

¹ HUISMAN, Denis. **Dicionário dos Filósofos**. São Paulo: Martins Fontes, 2001. P 427.

teológicas a respeito da validade e interpretação das Sagradas Escrituras: para Galileu, a Bíblia deveria ser interpretada à luz das descobertas científicas, e não o contrário².

Em 1616, Galileu é proibido pela Igreja Católica de defender publicamente e diretamente o sistema heliocêntrico copernicano, a não ser, como pura hipótese matemática e, consoante, como compromisso instrumentalista vigente.

Galileu publica em 1632, a obra **Diálogo sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico e Copernicano**, onde defende o modelo heliocêntrico. Tal escrito teve grande dimensão cultural e científica na Europa do século XVII: a dimensão cultural deu-se em relação à forma dialogada da obra, que vem da influência platônica vigente da época; a dimensão científica originava-se do novo método de pesquisa na filosofia natural: observação, experimentação, matematização – particularmente com o uso de funções –, anúncio de leis gerais, previsões de fatos novos.

Em 1633, Galileu é condenado à prisão perpétua domiciliar e, em 1638, publica seu último livro: **Discursos e Demonstrações Matemáticas em torno de Duas Novas Ciências**.

Sobre a comparação da física aristotélica e a física galileana, pode-se afirmar que, para Aristóteles, o cosmos era fechado e finito, e não poderia existir o vazio, pois, entre a Terra e o Céu, tudo estaria preenchido pelo éter. Além disso, o cosmos era dividido em duas regiões: sublunar e supralunar e a

² (...) que duas verdades não podem jamais se contradizer (...) como já disse, que as Escrituras, ainda que ditadas pelo Espírito Santo, admitem, (...) interpretações longínquas ao significado literal em muitos pontos; e, ainda mais, não nos sendo possível assegurar com absoluta certeza que todos os seus intérpretes falam sob inspiração divina, eu acredito que seria prudente não permitir a ninguém o emprego das passagens das Escrituras de forma que venham a sustentar como verdadeiras algumas conclusões naturais, quando a experiência racional e necessária evidenciar o contrário (GALILEI, 1988, p. 19-20).

Terra estava imóvel e o Sol e os outros planetas giravam em torno da Terra (geocentrismo). Aristóteles limitava-se a fazer apenas um registro visual dos eventos observados a olho nu. No que se refere ao movimento de um projétil, após ser arremessado o meio (ar), segundo Aristóteles, o ar movimenta o objeto. Aquele filósofo apresenta como exemplo o movimento de uma flecha: ao ser lançada, o ar que estava na ponta da flecha desloca-se para a parte traseira impulsionando-a para frente. Pode-se dizer que, nesse tipo de movimento, existe uma ação motora contínua. Assim, é possível afirmar que, em Aristóteles, não há experimentação (controle do fenômeno) e nem experiências de pensamento, como em Galileu.

Assim como Copérnico, Galileu pensava que o cosmo era muito maior do que imaginavam os aristotélicos. Galileu fazia experiências de pensamento, o que o levou a propor que o movimento pode conservar-se tanto circularmente quanto retilineamente³.

Conforme exposto, percebe-se que Galileu esforçou-se em contestar substancialmente a física aristotélica. A história mostrou que tal esforço não foi em vão, visto que seu método científico inspirou vários cientistas modernos e contemporâneos.

No que se refere à lei da inércia em Galileu, observar-se-á, em capítulos seguintes, que aquele cientista anunciava tal lei de forma peculiar, gerando várias interpretações por parte dos especialistas.

Em suma, o presente estudo tem como objetivo dissertar sobre o conceito de inércia na obra **Diálogo sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico e Copernicano**, de 1632, e na obra **Discursos e Demonstrações**

³ Existe uma divergência entre os intérpretes de Galileu no que se refere a conservação do movimento, essa aparente oposição será examinada logo mais.

Matemáticas em torno de Duas Novas Ciências, de 1638, ambas de Galileu Galilei.

No primeiro capítulo, tem-se o resumo das obras supracitadas, bem como os contextos em que foram escritos, seus personagens e os assuntos das jornadas. O primeiro capítulo também remete às influências filosóficas, físicas e matemáticas sofridas por Galileu, bem como as passagens das referidas obras que destacam a questão do princípio de inércia.

No segundo capítulo, observam-se os argumentos utilizados por Fátima Évora e Paolo Rossi para defender a inércia circular em Galileu.

O terceiro e último capítulo do estudo destaca os contra-argumentos de Júlio Vasconcelos e Stillman Drake, a fim de provar a possibilidade da definição de uma inércia retilínea em Galileu. O que alguns autores chamam de “inércia circular”, em Galileu pode ser interpretado como a conservação do momento angular. Sendo assim, é possível definir, em Galileu, a inércia retilínea – como fez Newton – e a conservação do momento angular, um não interferindo no outro – conforme se destacam nas palavras finais do estudo.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZAÇÃO DO **DIÁLOGO**, DE 1632, E DOS **DISCORSI**, DE 1638 E CITAÇÕES REFERENTES À INÉRCIA

O **Diálogo Sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico e Copernicano**, de 1632, é uma obra de Galileu Galilei bem peculiar; dividido em quatro jornadas, aquele cientista discorre sobre vários assuntos, dentre eles: o princípio de inércia, a teoria das marés, o movimento uniforme, o movimento acelerado, os movimentos diurno e anual da Terra, etc. É interessante observar que, apesar de Galileu ser um “físico-geômetra” (como gostava de ser chamado), ele não escreve a referida obra no formato científico-dissertativo, como era de se esperar de um homem de ciência, mas a escreve no formato de um diálogo, no estilo platônico. A seguir, tem-se as próprias palavras de Galileu, em carta enviada a Leopoldo de Toscana, em 1640:

Não me inclino (com efeito) a comprimir doutrinas filosóficas em espaços acanhadíssimos e a adotar aquele estilo rígido, conciso e desgracioso, aquele estilo despido de qualquer adorno que é próprio dos geômetras puros e que os leva a só utilizar palavras que a eles se tenha imposto por estrita necessidade... não considero errôneo falar de coisas múltiplas e diversas, mesmo nos tratados devotados a um único assunto... pois entendo que a grandeza, nobreza, excelência de nossos feitos e invenções não está no que é necessário – embora, de outra forma, passasse a corresponder a um grande equívoco – mas no que não o é... (GALILEI apud ÉVORA, 1993-94, epígrafe).

Antes de destacar as quatro jornadas do Diálogo, vale observar quem são os personagens que compõem a obra.

O primeiro personagem em destaque é Filippo Salviati (1582-1614), um nobre florentino. Acredita-se que ele tenha sido aluno de Galileu e que tenha

pertencido a Academia dos Linceus. Galileu teria pesquisado e escrito as **Cartas sobre as Manchas Solares** em sua casa, em 1613; o **Diálogo** foi dedicado a Salviati, que representa o novo homem de ciência, isto é, “o especialista que alia à experiência o conhecimento profundo da matemática, e nesse sentido, suas posições expressam as de Galileu”, (MARICONDA, 2004, p. 561, nota 13). O personagem de Salviati – porta-voz do pensamento de Galileu – segue uma argumentação do tipo socrática, ou seja, aos poucos, ele vai persuadindo Simplício (outro personagem da referida obra) das novas ideias cosmológicas, até fazê-lo declarar o princípio de inércia, como é conhecido hoje.

O segundo personagem da obra supracitada é Simplício, que representa a tradição cosmológica aristotélico-ptolomaica. Segundo Pablo Mariconda (2004, p. 562, nota 16), Simplício representa também os professores peripatéticos dogmáticos das universidades, que conciliavam as novas descobertas ao pensamento geocêntrico dominante da época. Este personagem, em especial, foi citado na condenação de Galileu, pois os inquisidores acusavam Galileu de fazer uma caricatura do papa Urbano VIII. Simplício também é um termo que remete a “simples”, que, também, é uma forma de ver o mundo, que é justamente o que Galileu critica. Simplício remete a um comentador de Aristóteles do século VI d.C, chamado Simplício. No decorrer do livro, Simplício é – aos poucos – convencido (mas não totalmente) das ideias copernicanas por Salviati e Sagredo.

O terceiro e último personagem a ser destacado é Giovanfrancesco Sagredo (1571-1620), que foi aluno e, talvez, o melhor amigo de Galileu. Segundo Mariconda (2004, p. 561, nota 13), Sagredo representa “o gentil-

homem não especialista, mas diletante e entusiasta das novas ideias científicas”. O papel de Sagredo é ser apoiador das ideias de Salviati. Sagredo é uma pessoa importante tanto no **Diálogo** quanto na vida de Galileu, pois eles mantiveram correspondências sobre “experimentos magnéticos”, fato que evidencia a constante preocupação de Galileu em “elucidar ao máximo os dados da experiência” (CLAVELIN apud MARICONDA, 2004, p. 561).

Na primeira jornada do **Diálogo**, Salviati se propõe a fazer uma crítica às concepções cosmológicas dos peripatéticos, que defendiam as ideias aristotélicas. Inicialmente, Salviati defende as ideias copernicanas, principalmente, sobre a mobilidade da Terra, a estabilidade do Sol e a homogeneidade do mundo, ou seja, põe fim à dicotomia entre as regiões sublunar e supralunar. Mais adiante, Galileu fala sobre as semelhanças e as diferenças entre a Terra e a Lua:

(...) tenho por certo que na Lua não acontecem chuvas, porque, quando se acumulassem nuvens em alguma parte, como em torno da Terra, ver-se-iam esconder alguma daquelas coisas que vemos na Lua através do telescópio, e, em suma, em alguma pequena parte variaria a vista; efeito que jamais vi no decorrer de longas e apuradas observações (GALILEI, 2004, p. 181).

A Lua – assim como a Terra – é tenebrosa, montanhosa, redonda e densa, diz Galileu.

Ao final da primeira jornada, Galileu destaca o intelecto humano e divino; para aquele cientista, o intelecto divino é perfeito e difere do intelecto humano, porque este é falho⁴. Galileu entendia que a mente humana foi criada por Deus:

⁴ Nas 4 últimas páginas do **Diálogo**, Galileu muda o tom da conversa que estava tendo com Simplício e Sagredo. Ele cita o “sapiéntíssimo da Grécia” (GALILEI, 2004, p. 182) – Sócrates – afirmando que Sócrates, apesar de ser o mais sábio da Grécia, afirmava que nada sabia, ou seja, Galileu cita a vida de Sócrates para dizer que a sabedoria do homem é limitada e que somente a sabedoria da natureza é

“entendo que a mente humana é obra de Deus e das mais excelentes”, (GALILEI, 2004, p. 185), e que a mente humana produzia conhecimentos, como a invenção da escrita, que é um dos maiores inventos humanos. Em suma, na primeira jornada, Galileu destaca os movimentos naturais e violentos, da dissolução da dicotomia entre Céu-Terra, da semelhança e diferença entre Terra-Lua e do intelecto humano e divino.

A segunda jornada é dedicada ao movimento diurno da Terra. Salviati principia tal jornada expondo os argumentos de autoridade de Aristóteles, sobre a imobilidade da Terra; na segunda parte da jornada, ele contradiz a autoridade de Aristóteles. No argumento sobre a queda livre – por exemplo – a tradição dizia que se uma pedra cair do alto de uma torre, ela chegará ao solo próximo ao pé da torre apenas porque a terra está parada; se a Terra estivesse em movimento, a pedra ficaria para trás. Galileu contesta a referida teoria, afirmando que existem dois tipos de movimentos, a saber: o movimento de queda vertical e o movimento de rotação – que a pedra realiza junto com a Terra. A terra possui o movimento de rotação – gira em torno de seu próprio eixo – e tudo mais que faz contato com a Terra, participa do seu movimento, inclusive o ar que contorna a mesma. Isto faz com que a pedra, ao ser lançada do alto da torre, projete os dois movimentos supracitados, simultaneamente. Assim, Galileu demonstra que a trajetória que a pedra faz para cair próximo ao pé da torre é uma trajetória semi-parabólica⁵.

Simplício cita os argumentos dos corpos suspensos no ar: pássaros e nuvens, argumento da extrusão, argumentos das balas de canhão para provar a não mobilidade da terra, e, pacientemente, Salviati contesta um por um dos

“infinita”, e se o homem quer conhecer a Verdade, deve estudar a natureza na sua estrutura interna, que possui uma linguagem matemática.

⁵ A trajetória é semi-parabólica para um observador externo a Terra.

argumentos para provar justamente a tese contrária: a mobilidade da terra. É nesta segunda jornada que se encontra a formulação do conceito de inércia – circular e retilínea – admitida por Simplicio.

Na terceira jornada, Salviati inicia esclarecendo sobre a posição de uma estrela que aparece em 1572, conhecida como “Estrela Nova”, nome dado por Tycho Brahe. Segundo Chiaramonti⁶ (1628), aquela estrela estaria na posição sublunar, ou seja, abaixo da lua, mas Galileu demonstra, com o auxílio de cálculos, que a estrela está muito mais afastada do que se pensava, rompendo assim com a divisão sub e supralunar. O aparecimento de uma nova estrela abalou profundamente a cosmologia aristotélica, que acreditava ser o Céu imutável. A segunda parte dessa jornada é dedicada a defender o movimento anual da Terra:

(...) retornemos ao nosso principal assunto; no qual, se toma em consideração o movimento anual comumente atribuído ao Sol, mas depois, primeiramente por Aristarco de Samos, e, posteriormente por Copérnico, é tirado do Sol e transferido para a Terra (GALILEI, 2004, p. 404).

Na quarta jornada, Salviati tenta explicar o fluxo e refluxo do mar (as marés). Para Galileu, o principal motivo das águas do mar subirem e descerem dá-se em relação ao movimento de rotação e translação da Terra: o movimento das marés é semelhante a uma bacia, onde ocorrem movimentos – ora a água sobe de um lado e abaixa do outro, e vice-versa. Em dois pontos diferentes da Terra, quando ocorresse maré alta em um, no outro ocorreria maré baixa. Curiosamente, Francis Bacon (1561-1626) contestou Galileu simplesmente dizendo para ele verificar tal fato, ou seja, se de fato em um ponto da Terra,

⁶ Scipione Chiaramonti (1565-1652) ele polemizou com os três maiores astrônomos de sua época, Tycho Brahe, Kepler e Galileu.

estando a maré alta, no outro, estaria baixa. No entanto, Bacon não deu outra explicação plausível para o fenômeno das marés. Paolo Rossi, na obra **O Nascimento da Ciência Moderna na Europa**, comenta que Galileu simplesmente “descartou” a atração entre a massa da Lua e a massa de água dos oceanos na explicação das marés. Segundo Rossi, Galileu pensava que a explicação por atração envolvia “mentalidade mágica” e “qualidades ocultas”. Rossi ainda destaca que Galileu:

(...) exprime também a sua grande surpresa pelo fato que um homem como Kepler, de ‘intelecto livre e agudo’, que já conhecia a verdade copernicana ‘e tinha em mãos os movimentos atribuídos à Terra’, inexplicavelmente tenha no entanto ‘dado ouvido e assentimento a predomínios da Lua sobre a água e a propriedades ocultas e semelhantes infantilismos’ (GALILEI apud ROSSI, 2001, p. 182).

Apesar de Galileu ter falhado na explicação das marés, muito do seu método ficou para a posteridade, como o uso de experimentos (controle do fenômeno) e a matematização dos experimentos referentes à natureza, mas a forma de escritura – dialogar – não prevaleceu na ciência, visto que os escritos científicos rogam ser concisos, objetivos, claros, não deixando margem para diversas interpretações. Em suma, o **Diálogo**, juntamente com os **Discorsi**, é uma obra de extrema importância, tanto para a carreira de Galileu quanto para o desenvolvimento da Física moderna e para a ciência de outrora, que estava em pleno desenvolvimento no continente europeu.

Os **Discorsi**, de 1638, é uma obra com menos páginas que o **Diálogo**, mas não menos rica em detalhes; possui mais demonstrações geométricas dos teoremas apresentados por Salviati. Salviati, Simplicio e Sagredo ainda são os três colegas que discutem assuntos referentes ao movimento. A diferença dos **Discorsi** em relação ao **Diálogo** é que, nos **Discorsi**, tanto Salviati como

Sagredo representam a opinião de Galileu; Simplicio, apesar de ainda representar a posição aristotélica, já está mais convencido das novas ciências apresentada por Salviati, e até arrepende-se de não ter seguido o conselho platônico de estudar geometria.

O título completo da obra é **Discursos e Demonstrações Matemáticas em torno de Duas Novas Ciências**. O termo “Discursos” remete à própria forma dialógica do livro – comum no renascimento –, inspirada nos diálogos platônicos. O termo “Demonstrações matemáticas” refere-se às demonstrações geométricas realizadas por Salviati, citando o “Acadêmico Conhecido” – o próprio Galileu. Este termo representa a importância do uso da matemática nas investigações das leis da natureza; as “duas novas ciências”, de acordo com Galileu, são a mecânica e os movimentos locais.

A primeira nova ciência fala sobre a resistência dos materiais – segunda jornada dos **Discorsi** –, e a segunda nova ciência, fala sobre o movimento uniforme e o movimento uniformemente acelerado – terceira e quarta jornada dos **Discorsi**. A lei da inércia encontra-se dissertada na terceira e quarta jornadas. Galileu faz conexão entre as duas obras quando, nos **Discorsi**, aponta que esta lei (da inércia), está “de acordo como que expusemos longamente em outro lugar” (GALILEI, 1998). O “outro lugar” é, justamente, o **Diálogo**; por isso, os **Discorsi** são mais sintéticos na apresentação da referida lei.

Faz-se importante recordar que, quando Galileu publicou os **Discorsi**, em 1638, aquele cientista encontrava-se completamente cego e, por isso, o livro tem um caráter mais matemático-demonstrativo, sendo assim, mais dedutivo.

Vale também observar as influências filosóficas nas obras de Galileu. Primeiramente, nota-se a influência de Platão sobre o pensamento galileano na forma dialógica empregada nas obras. Outra influência filosófica no **Diálogo** é o uso da maiêutica e da reminiscência: no **Diálogo**, Salviati emprega tais métodos para convencer Simplício de suas teses copernicanas. Existe ainda a presença de outra semelhança: Platão e Galileu acreditavam no uso da matemática para conhecer a estrutura última do mundo. Em sua famosa frase: “o livro da natureza está escrito em caracteres matemáticos e que, sem um conhecimento dos mesmos, os homens não poderão compreendê-lo” (GALILEI, 1996), tem-se a demonstração da preocupação de Galileu e dos modernos em criar funções matemáticas que descrevam as regularidades observadas na natureza.

Uma clara diferença dos diálogos platônicos em relação aos diálogos de Galileu é que, nos diálogos deste último, os interlocutores – Simplício e Salviati – do personagem principal (Salviati) são mais ativos, ou seja, participam mais ativamente da discussão, fazendo objeções relevantes, fato que não é observado em Platão. Outra diferença é que a preocupação de Platão é, sobretudo, com a política. Mas, vale notar que, em Platão, antes de se chegar à política, discutem-se vários temas, tais como: amor, educação dos jovens, cosmogonia, ética, etc. No que concerne a Galileu, sua principal preocupação dá-se com o estudo do movimento e do cosmos, assuntos que perpassam todas as suas obras. É interessante observar que Galileu usou a forma platônica de escritura, mas com um conteúdo anti-aristotélico e em um contexto científico.

Outra importante influência sofrida por Galileu foi a de Nicolau Copérnico (1473-1543). Depois de conhecer a obra **De Revolutionibus Orbium Coelestium**, de 1543, aquele cientista torna-se defensor do heliocentrismo. O impacto da tese copernicana foi tamanho que a inquisição romana proibiu a impressão e a circulação da obra na Itália.

1.1- PRINCÍPIO DE INÉRCIA NO DIÁLOGO

Apesar de René Descartes (1596-1650) ter formulado o princípio de inércia retilíneo, físicos e estudiosos da ciência concordam (inclusive Isaac Newton) que o princípio de inércia foi anunciado, primeiramente, por Galileu. No entanto, há uma divergência em relação ao tipo de movimento inercial: circular ou retilíneo.

O **Diálogo** contém passagens que reforçam a teoria do movimento inercial retilíneo em Galileu:

Salviati - Parece-me, portanto, até aqui, que vós me haveis explicado os acidentes de um móvel sobre dois planos diferentes; (...) Dizei-me agora o que aconteceria com o mesmo móvel sobre uma superfície que não estivesse nem em aclave nem em declive.

Simplício – Aqui preciso pensar um pouco na resposta. Como não existe declividade, não pode existir uma inclinação natural ao movimento e, não existindo aclividade, não pode existir resistência a ser movido, de modo que seria indiferente à propensão e à resistência ao movimento: parece-me, portanto, que ele deveria ficar naturalmente em repouso.

Salviati – Assim acredito, quando alguém o colocasse parado; mas se lhe fosse dado um ímpeto em direção a alguma parte, o que aconteceria?

Simplício - Continuará a mover-se na direção daquela parte.

Salviati - Mas com que espécie de movimento? Por um movimento continuamente acelerado, como nos planos em declive, ou por um movimento sucessivamente retardado, como nos aclives?

Simplício – Eu não consigo perceber causa de aceleração nem de retardamento, não existindo nem declividade nem aclividade.

Salviati – Sim. Mas se não existisse causa de retardamento, muito menos deveria existir de repouso: quanto acreditais, portanto, que duraria o movimento do móvel?

Simplicio – Tanto quanto durasse o comprimento daquela superfície que não é nem subida, nem descida.

Salviati – Portanto, se esse espaço fosse ilimitado, o movimento nele seria igualmente sem fim, ou seja, perpétuo?

Simplicio – Parece-me que sim, sempre quando o móvel fosse de matéria duradoura (GALILEI, 2004, p.228-229, grifo meu).

Infere-se desta passagem que o plano, não sendo nem declive nem aclave, será um plano horizontal e, uma vez horizontal e ilimitado, o móvel movimentar-se-ia perpetuamente, desconsiderado os impedimentos.

A seguir, tem-se outra defesa da inércia retilínea:

Salviati – Do mesmo modo pelo qual soubeste até aqui, também sabereis, antes já sabeis, o restante: e ao pensar sobre isso, lembrar-vos-ei também por vós mesmos, mas, para abreviar o tempo, ajudar-vos-ei a recordá-lo. Até aqui soubestes por vós mesmos que o movimento circular do arremessador imprime no projétil o ímpeto de mover-se (quando acontece que eles se separam), pela reta tangente ao círculo do movimento no ponto da separação, e continuando o movimento por essa tangente, afasta-se sempre do arremessador; e dissestes que por tal linha reta o projétil continuaria a mover-se, quando não lhe fosse acrescentada pelo próprio peso uma inclinação para baixo, da qual deriva a encurvação da linha do movimento (GALILEI, 2004, p.275, grifo meu).

O movimento de extrusão ocorre quando um objeto é girado (circularmente) com velocidade constante e, em um dado momento, tal objeto é lançado; o movimento de lançamento dá-se pela tangente. Segundo Galileu, a projeção seguiria ao infinito com “movimento uniforme”, não havendo impedimentos, e “quando a gravidade, não o inclinasse para baixo” (caso a gravidade inclinasse o projétil para baixo), ele descreveria uma trajetória semi-parabólica.

O trecho a seguir é um desdobramento da citação anterior, que trata do movimento de extrusão:

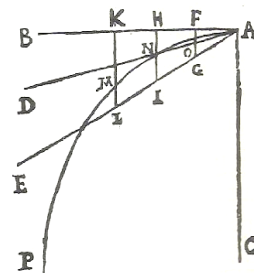
Salviati - De modo que aqui, entram em consideração dois movimentos: um da projeção, que começa no ponto de contato e segue pela tangente; e outro da inclinação para baixo, que começa no projétil e vai pela secante para o centro: ora, para querer que a

projeção continue, é necessário que o ímpeto pela tangente prevaleça à inclinação pela secante: não é assim?

Simplicio - Assim me parece (GALILEI, 2004, p.278, grifo meu).

Galileu continua com a explicação do movimento de extrusão, acrescentando uma imagem à citação a fim de facilitar o entendimento. A referida figura foi retirada de um exemplo em que ocorre um movimento circular do arremesso de um projétil: o movimento pela tangente prevalecerá - justamente - por conta do movimento inercial retilíneo:

Salviati – Dúvida digna do Sr. Sagredo; e para elucidá-la, para que mais claramente seja compreendida por nós, posto que vós ainda dizeis estar confuso, deixá-la-emos mais clara por meio de uma figura, a qual talvez nos traga também maior agilidade em resolvê-la. Tracemos [...] uma linha perpendicular para o centro [da Terra], e seja esta AC e, formando ângulos retos com ela, seja a *horizontal* AB, sobre a qual se faria o movimento da projeção e pela qual continuaria o projétil *com um movimento uniforme (con movimento equabile)*, quando a gravidade não o inclinasse para baixo (GALILEI, 2004, p.281).



O exemplo a seguir refere-se à queda de um móvel da Lua à superfície da Terra. Com este exemplo Vasconcelos quer provar que não há conservação do momento angular em Galileu e, conseqüentemente, uma inércia circular. Um móvel na Lua possui todos os movimentos desta – da lua – (inclusive o movimento circular); o móvel – caindo – deve *augmentar* a velocidade angular, e, também, deve manter constante o “grau de velocidade” (movimento retilíneo uniforme), como diz o próprio Galileu. Por essa razão, Vasconcelos não concorda com a inércia circular, defendida por Feyerabend, que dizia que a velocidade angular deveria conservar-se:

(...) o princípio da inércia circular (tal como o denominarei) propicia a necessária solução: um objeto que se move com determinada

velocidade angular em uma esfera livre de atrito, ao redor da Terra, continuará a mover-se com a mesma velocidade angular (FEYERABEND apud VASCONCELOS, 2005, p. 397).

Salviati destaca a explicação de Galileu sobre a queda de uma bala da Lua à Terra. No trecho a seguir, Vasconcelos enfatiza que a velocidade angular do móvel deve aumentar, e a velocidade linear deve conservar-se para que a bala chegue à Terra *não* naquela mesma posição em que se encontrava anteriormente, mas antecipada. Como foi dito anteriormente, Vasconcelos quer destacar que Galileu conservou o movimento retilíneo uniforme do móvel que cai da Lua a Terra.

Salviati – O efeito pode ser ou não ser admirável, mas é natural e ordinário, conforme são as coisas precedentes. Pois, se a bala (conforme às suposições que faz o autor), enquanto se mantinha no côncavo da Lua, tinha o movimento circular das vinte e quatro horas juntamente com a Terra e como restante do contido dentro desse côncavo, aquela mesma virtude que a fazia girar antes de descer, continuará a fazê-la girar também na descida; e *tantum abest*⁷ que ela não acompanhe o movimento da Terra, mas deva ficar para trás, ao invés de dever antecipá-lo, sendo que, ao aproximar-se da Terra, o movimento giratório deve ser continuamente feito por círculos menores: de modo que, mantendo-se na bala aquela | mesma velocidade que ela tinha no côncavo, deveria antecipar, como afirmei, a rotação da Terra (GALILEI apud VASCONCELOS, 2005, p. 407, grifo meu).

No **Diálogo**, há dois momentos em que se interpreta a conservação do movimento como sendo da inércia circular, a saber:

Mas o movimento pela linha horizontal, que não é declive nem aclave, é movimento circular em torno do centro: o movimento circular, portanto, nunca será adquirido naturalmente sem o precedente movimento reto, mas uma vez adquirido, ele continuará perpetuamente com velocidade uniforme (GALILEI, 2004, p.109, grifo meu).

⁷ Tradução: “tão longe”

No trecho a seguir, pertencente à primeira jornada do **Diálogo**, percebe-se que o movimento que se conserva é o movimento inercial circular, que será defendido por Fátima Évora e Paolo Rossi. A segunda passagem, que trata do movimento circular, é a justificação dita falaciosa por Évora da primeira citação.

Salviati - Isso já foi suposto, quando se disse que se removiam todos os impedimentos acidentais e externos, e a fragilidade do móvel, nesse caso, é um dos impedimentos acidentais. Dizei-me então: qual estimais que seja a razão do movimento espontâneo daquela bola pelo plano em declive, e do movimento que não se faz sem violência pelo plano em aclave?

Simplicio – Porque a tendência dos corpos pesados é a de mover-se para o centro da terra, e somente por violência para cima em direção à circunferência; e a superfície inclinada é aquela que se aproxima do centro, enquanto o aclave afasta-se dele.

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

Simplicio – Não faltam: existe aquela de nosso globo terrestre, se ela fosse, porém bem polida e não, como é áspera e montanhosa; mas existe aquela da água, quando está calma e tranqüila (GALILEI, 2004, p.229, grifo meu).

Segundo os comentadores do pensamento de Galileu, a passagem supracitada deixa transparecer que a superfície que ele faz referência é a superfície esférica da terra; por isso, a inércia nele seria circular.

1.2- PRINCÍPIO DE INÉRCIA NOS **DISCORSI**

Nos **Discorsi**, existem passagens na qual Galileu atribui ao movimento inercial linha reta. Em capítulo posterior, observar-se-á que Júlio Vasconcelos utiliza a seguinte passagem como princípio padrão para o movimento de inércia, em Galileu:

Além disso, deve-se observar que um grau de velocidade qualquer, uma vez comunicado a um móvel, imprime-se nele de forma indelével por sua própria natureza, desde que não intervenham causas

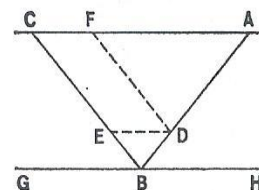
externas de aceleração ou retardamento; o que acontece apenas no plano horizontal (GALILEI, 1998, p.173).

A teoria de que o movimento no plano horizontal pode perpetuar-se sem a influência de forças é chamada de movimento neutro por Stillman Drake.

Com efeito, nos planos inclinados descendentes está presente uma causa de aceleração, enquanto que nos planos ascendentes está presente uma causa de retardamento; segue-se disso ainda que o movimento sobre um plano horizontal é eterno; posto que, se é uniforme, não aumenta nem diminui, e muito menos se acaba (GALILEI, 1998, p.173).

A seguir, tem-se uma típica passagem citada por Vasconcelos e Drake, onde Galileu defende a inércia retilínea.

Com o intuito de dissipar os possíveis pontos obscuros deste raciocínio, recorramos a uma figura para uma explicação mais clara. Imaginemos, portanto, que o movimento acontece sobre um plano descendente AB e que, após ter sido desviado, continua imediatamente pelo plano ascendente BC [...] no plano horizontal GH , o movimento continuaria uniforme ao infinito com o grau de velocidade adquirido em B , após a descida por A . Por sua parte, essa velocidade seria tal que, num tempo igual ao tempo de descida por AB , o móvel percorreria sobre a horizontal GH uma distância que é o dobro de AB . Imaginemos agora que o mesmo móvel com o mesmo grau de velocidade se movimenta uniformemente sobre o plano BC , de tal forma que ainda sobre este ele percorre num tempo igual ao tempo de descida por AB uma distância que seria o dobro da própria distância AB . Devemos entender, contudo, que apenas começa a subir, acontece-lhe por sua própria natureza o mesmo que lhe acontecia quando se movimentava a partir de A sobre o plano AB , ou seja, um movimento acelerado a partir do repouso, com o qual, sendo a aceleração a mesma, ele desceria pelo plano ascendente no mesmo tempo uma distância igual àquela que desce por AB . É evidente que, devido a essa mistura de um *movimento uniforme ascendente* e de um movimento acelerado descendente, o móvel será levado sobre o plano BC até o extremo C com os mesmos graus de velocidade que serão iguais (GALILEI, 1998, p.174).



O trecho em destaque a seguir foi retirado da quarta jornada dos **Discorsi**, em que os personagens Salviati, Sagredo e Simplicio discutem sobre o movimento semi-parabólico dos projéteis:

Examinamos anteriormente tanto as propriedades do movimento uniforme, como aquelas do movimento naturalmente acelerado sobre planos de qualquer inclinação. 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 maneira: 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, 1998, p. 197, grifo meu).

Em suma, esta parte do estudo destacou os resumos do **Diálogo** e dos **Discorsi**, bem como as influências que Galileu recebeu, principalmente a copernicana e a platônica. Observaram-se ainda as citações do princípio de inércia, feitas por Galileu, e que serão usadas nos capítulos posteriores.

Conforme destacado, o princípio de inércia recebe, em Galileu, duas formulações que parecem antagônicas, levando em conta o **Diálogo** e os **Discorsi**. A seguir, destacar-se-ão as análises de alguns autores considerando essa aparente divergência.

CAPÍTULO II

ARGUMENTOS EM FAVOR DA INÉRCIA CIRCULAR

“O movimento retilíneo infinito é impossível por natureza, porque a natureza ‘não se move para onde é impossível chegar’”

Galileu Galilei

No presente capítulo, apresentam-se os argumentos de Fátima Évora⁸ e Paolo Rossi⁹, no que se refere à inércia circular em Galileu.

Na obra *A Revolução Copernicano-Galileana*, volume II – Évora explica como se dá o processo de formulação da inércia circular. A seguir, tem-se a seguinte citação do **Diálogo**, de 1632.

Salviati - Parece-me, portanto, até aqui, que vós me haveis explicado os acidentes de um móvel sobre dois planos diferentes; (...) Dizei-me agora o que aconteceria com o mesmo móvel sobre uma superfície que não estivesse nem em aclive nem em declive.

Simplício – (...) parece-me, portanto, que ele deveria ficar naturalmente em repouso.

Salviati - (...) mas se lhe fosse dado um ímpeto em direção a alguma parte, o que aconteceria?

Simplício - Continuaria a mover-se na direção daquela parte.

Salviati - Mas com que espécie de movimento? Por um movimento continuamente acelerado, como nos planos em declive, ou por um movimento sucessivamente retardado, como nos aclives?

Simplício – Eu não consigo perceber causa de aceleração nem de retardamento, não existindo nem declividade nem aclividade.

Salviati – Sim. Mas se não existisse causa de retardamento, muito menos deveria existir de repouso: quanto acreditais, portanto, que duraria o movimento do móvel?

Simplício – Tanto quanto durasse o comprimento daquela superfície que não é nem subida, nem descida.

Salviati – Portanto, se esse espaço fosse ilimitado, o movimento nele seria igualmente sem fim, ou seja, perpétuo?

Simplício – Parece-me que sim, sempre quando o móvel fosse de matéria duradoura (GALILEI, 2004, p. 228-229, grifo meu).

⁸ Fátima Regina Rodrigues Évora é doutora em filosofia pela Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - USP.

⁹ Paolo Rossi é especialista em Filosofia da Ciência.

Segundo aquela autora, até o presente momento do **Diálogo**, Galileu anuncia o princípio de inércia da mesma maneira em que faria Isaac Newton (1643-1727) em tempos posteriores, ou seja, a inércia retilínea; mas, quando Galileu tenta justificar a causa do movimento do móvel e do próprio princípio da inércia, comete uma falácia, a saber:

Salviati - Isso já foi suposto, quando se disse que se removiam todos os impedimentos acidentais e externos, e a fragilidade do móvel, nesse caso, é um dos impedimentos acidentais. Dizei-me então: qual estimais que seja a razão do movimento espontâneo daquela bola pelo plano em declive, e do movimento que não se faz sem violência pelo plano em aclave?

Simplício – Porque a tendência dos corpos pesados é a de mover-se para o centro da terra, e somente por violência para cima em direção à circunferência; e a superfície inclinada é aquela que se aproxima do centro, enquanto o aclave afasta-se dele.

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

Simplício – Não faltam: existe aquela de nosso globo terrestre, se ela fosse, porém bem polida e não, como é, áspera e montanhosa; mas existe aquela da água, quando está calma e tranqüila (GALILEI, 2004, p.229, grifo meu).

Fátima Évora explica que quando Galileu diz que a superfície que não é nem aclave nem declive e “deveria necessariamente ser em todas as suas partes igualmente afastadas do centro”, aquele cientista admite a inércia como sendo circular e, por isso, nunca anunciou o princípio de inércia plenamente. Nos **Discorsi**, Fátima Évora comenta que Galileu chegou muito próximo de anunciar corretamente o princípio ao discutir o movimento de projéteis.

Salviati – porta-voz de Galileu – explica para Simplício que o movimento do projétil é composto de outros dois movimentos, a saber: o movimento uniforme e perpétuo, e o naturalmente acelerado, gerando assim, uma trajetória semiparabólica:

Imagino (afirma ele) 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 o dito móvel se movimentará sobre esse mesmo plano com um movimento uniforme e perpetuo, supondo que esse plano seja prolongado ao infinito. Se, ao contrario, supusermos um plano limitado e situado a certa altura, um móvel que supusermos dotado de gravidade, uma vez chegado à extremidade do plano e continuado 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 apud ÉVORA, 1994, v.4, p. 128).

Simplicio não se convence, pois, um plano horizontal que não está em declive e nem em aclave, e que está equidistante do centro, não pode ser jamais uma linha reta, mas sim uma circunferência.

Simplicio – (...) em supor que um plano horizontal, que não está em aclave nem em declive, é uma linha reta como se uma tal linha fosse em todas as 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 tampouco se mantenha uniforme para qualquer distância, mas irá sempre diminuindo (GALILEI apud ÉVORA, 1994, v.4, p. 129).

Évora destaca que Galileu reconhece as dificuldades, mas a simples autoridade de Archimedes pode, *de per si*, tranquilizar qualquer um, posto que:

(...) em sua *Mecânica* e na primeira parte da *Quadratura da Parábola*, toma como um princípio verdadeiro que o braço da balança é uma linha reta, na qual todos os pontos são equidistantes do centro comum dos graves, e que as cordas, às quais estão suspensos os pesos, são paralelas entre si (ÉVORA, 1994, v.4, p. 130).

Évora cita um importante especialista canadense em Galileu, chamado Stillman Drake (1910-1993), que afirma que Galileu, na condição de físico, reconhece os movimentos inerciais como retilíneos e, na condição de propagandista do **Diálogo** e do copernicanismo, o movimento retilíneo não

pode ser perpétuo, enquanto pode sê-lo o circular. Drake desconfia que Galileu tenha um “propósito último”, conforme exposto a seguir:

Galileu, nas condições de físico, tratou os movimentos inerciais como retilíneos. Não obstante, Galileu na condição de propagandista, ao escrever o *Dialogo*, assinalou que o movimento retilíneo não pode ser perpétuo, enquanto pode sê-lo o circular... Por isso mesmo, não concluo, como a maioria dos historiadores, que o autor foi incapaz de fugir do sortilégio das antigas tradições, antes, suspeito fortemente de que, nessas passagens, haja um propósito último (DRAKE apud ÉVORA, 1994, v.4, p. 131).

Évora destaca que a grande questão é que, para Galileu, uma superfície que não é nem aclive nem declive deveria, necessariamente, ser em todas as suas partes igualmente afastadas do centro e, segundo aquela autora, essa superfície é esférica, e não retilínea. Ou seja, Évora pensa que para Galileu, a superfície, que não é nem descida nem subida, e que tem as suas partes equidistantes do centro, é uma circunferência e não uma reta. Deste modo, Galileu teria anunciado o princípio de inércia circular.

Para reforçar seu argumento, Évora cita a autoridade de Paul Feyerabend (1924–1994), que acrescenta que Galileu teria feito uso de hipóteses *ad hoc*, ou seja, ele introduziu premissas sem referência a experimentos, ou observações independentes, mas somente fez referência ao que supostamente todos já conheciam. Feyerabend acrescenta ainda que a ‘experiência’ de Galileu contém ingredientes metafísicos, pois Simplicio é convencido da lei da inércia retilínea não com experimentos, mas com o uso da imaginação. O que Feyerabend chama de “ingredientes metafísicos”, atualmente, é chamado de experiências de pensamento, ou seja, uso da imaginação.

Outra citação que corrobora os argumentos de Évora em favor da inércia circular em Galileu, é a seguinte:

Salv: ... um navio, quando se move sobre um mar calmo, é um desses móveis que percorrem sobre uma superfície que não é nem aclive nem declive, e se todos os obstáculos acidentais e externos fossem removidos, ele então iria dispor-se a mover-se incessantemente e uniformemente, uma vez recebido um impulso (GALILEI apud Évora, 1994, v.4, p. 133).

Galileu tinha consciência de que a terra era redonda, e ainda que, uma vez dado impulso a um móvel, ele movimentar-se-ia – não havendo impedimentos – infinitamente. Logo, Galileu conclui que se a Terra fosse perfeitamente lisa – como o mar – e não havendo impedimentos, um navio poderia navegar infinitamente pela superfície dos oceanos. Fátima Évora interpreta tal explicação como sendo um princípio de inércia circular.

Outro importante autor e especialista em Filosofia da Ciência é Paolo Rossi, que defende uma inércia circular em Galileu. Na obra **O Nascimento da Ciência Moderna na Europa**, Rossi dedica cinco páginas ao assunto, citando o mesmo argumento de Fátima Évora, daquela superfície que tem todas as suas partes igualmente distantes do centro da Terra, e que não é nem aclive e nem declive. Para Rossi, (2001, p. 177), essa superfície também é esférica.

Outro argumento utilizado por Rossi é de que, na primeira jornada do **Diálogo**, Galileu diz que o movimento circular é natural, e discute a impossibilidade do movimento retilíneo perpetuar-se:

Sendo o movimento reto infinito por natureza, porque a linha reta é infinita e indeterminada, é impossível que algum móvel tenha por natureza o princípio de se mover em linha reta, isto é, para onde é impossível chegar, não havendo um término predefinido (GALILEI apud ROSSI, 2001, p. 177-178).

O movimento reto serviria – segundo Galileu, inspirado em Platão – para ordenar o caos primitivo do universo, quando este se encontrava desordenado e, uma vez ordenado pelo movimento retilíneo e acelerado, é impossível que

os planetas continuem com este movimento, sendo natural que eles adquiram o movimento circular e uniforme:

Podemos desse modo 'imaginar', de acordo com Platão, que o corpo dos planetas em um primeiro momento foi movimentado em movimento reto e acelerado e que em seguida, aquele movimento tenha sido convertido em movimento circular "cuja velocidade a seguir é oportuno que seja uniforme" (ROSSI, 2001, p. 178).

Percebe-se que Évora realiza uma leitura mais pontual do **Diálogo**. Rossi, por sua vez, faz uma leitura mais abrangente do mesmo, mas, mesmo assim, tais autores citam somente as passagens que corroboram a inércia circular. A cosmologia de Galileu era circular – devido à influência platônica e copernicana –; o movimento circular é natural para os corpos terrestres e celestes – influência copernicana. Assim, é compreensível que Galileu pensasse que, nesse caso, o movimento retilíneo não se perpetuasse; mas, como se observará em capítulo posterior, aquele cientista começa a mudar sobre tal opinião no próprio **Diálogo** e, posteriormente, nos **Discorsi**.

CAPÍTULO III

ARGUMENTOS EM FAVOR DA INÉRCIA RETILÍNEA

“(...) segue-se disso ainda que o movimento sobre um plano horizontal é eterno; posto que, se é uniforme, não aumenta nem diminui, e muito menos se acaba.”

Galileu Galilei

No presente capítulo, apresentam-se os argumentos de Júlio Vasconcelos¹⁰ e Stillman Drake¹¹, no que se refere ao princípio de inércia retilínea em Galileu Galilei.

Faz-se importante observar que Fátima Évora e Paolo Rossi não analisam as outras passagens do **Diálogo** e dos **Discorsi** em que Galileu faz referência ao movimento retilíneo uniforme e perpétuo, sobre um plano horizontal. Diante do fato, vale observar como Vasconcelos (2005, pp. 395-414) trata do assunto em questão.

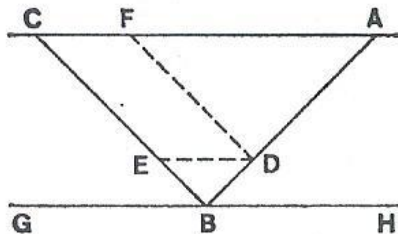
Primeiramente, nota-se que Vasconcelos utiliza as próprias palavras de Galileu para tentar desconstruir o argumento da inércia circular, teorizado pelos seus antecessores, como Feyerabend (1924 - 1994) e Dijksterhuis (1892 - 1965), por exemplo.

No trecho a seguir, Vasconcelos destaca que o movimento pelo plano horizontal GH e o movimento ascendente BC – “imaginado” – podem perpetuar-se, utilizando-se de passagem dos **Discorsi** para refutar àqueles que pensavam que somente o movimento circular poderia ser inercial, ou seja, esta é uma prova de que Galileu tinha noção da conservação do movimento

¹⁰ É professor adjunto da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), pela qual atua no corpo docente do Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências UEFS-UFBA, bem como no Mestrado em Filosofia UFBA, como professor colaborado.

¹¹ Historiador canadense da Filosofia da Ciência e especialista em Galileu Galilei.

retilíneo uniforme, ou seja, do princípio de inércia retilínea. Segundo Vasconcelos:



Com o intuito de dissipar os possíveis pontos obscuros deste raciocínio, recorramos a uma figura para uma explicação mais clara. Imaginemos, portanto, que o movimento acontece sobre um plano descendente *AB* e que, após ter sido desviado, continua imediatamente pelo

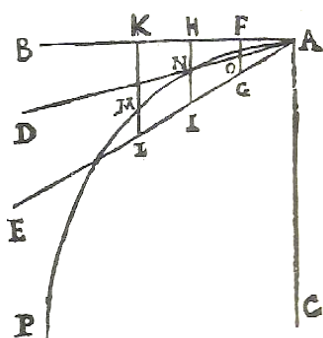
plano ascendente *BC* [...] no plano horizontal *GH*, o movimento continuaria uniforme ao infinito com o grau de velocidade adquirido em *B*, após a descida por *A*. Por sua parte, essa velocidade seria tal que, num tempo igual ao tempo de descida por *AB*, o móvel percorreria sobre a horizontal *GH* uma distância que é o dobro de *AB*. Imaginemos agora que o mesmo móvel com o mesmo grau de velocidade se movimenta uniformemente sobre o plano *BC*, de tal forma que ainda sobre este ele percorre num tempo igual ao tempo de descida por *AB* uma distância que seria o dobro da própria distância *AB*. Devemos entender, contudo, que apenas começa a subir, acontece-lhe por sua própria natureza o mesmo que lhe acontecia quando se movimentava a partir de *A* sobre o plano *AB*, ou seja, um movimento acelerado a partir do repouso, com o qual, sendo a aceleração a mesma, ele desceria pelo plano ascendente no mesmo tempo uma distância igual àquela que desce por *AB*. É evidente que, devido a essa mistura de um *movimento uniforme ascendente* e de um movimento acelerado descendente, o móvel será levado sobre o plano *BC* até o extremo *C* com os mesmos graus de velocidade que serão iguais (GALILEI apud VASCONCELOS, 2005, p. 400-401, grifo meu).

A seguir, tem-se em destaque citação retirada do **Diálogo**, por Vasconcelos, com tradução de Pablo Mariconda (2004, p. 275):

[...] Até aqui soubeste por vós mesmos que o movimento circular do arremessador imprime no projétil o ímpeto de mover-se (quando acontece que eles se separam) pela reta tangente do círculo do movimento no ponto de separação, e continuando o movimento por essa tangente, afasta-se sempre do arremessador; e dissestes que por tal linha reta o projétil continuaria a mover-se, quando não lhe fosse acrescentada pelo próprio peso uma inclinação para baixo, da qual deriva a encurvação da linha do movimento. Parece-me também que soubestes por vós mesmos que esse encurvamento tende sempre para o centro da Terra, porque para lá tendem todos os graves (GALILEI apud VASCONCELOS, 2005, p. 402- 403, grifo meu).

Vasconcelos destaca que as palavras de Galileu não estão muito diferentes das de Newton. As citações anteriormente apresentadas não são utilizadas, nem estudadas, e muito menos citadas nos trabalhos de Évora e Rossi. O que Vasconcelos quer mostrar é o outro lado da mesma moeda, ou seja, na mesma obra – **Diálogo** – o próprio Galileu reconhece a uniformidade e perpetuação do movimento circular, e admite também a conservação do movimento retilíneo uniforme; no **Diálogo**, Galileu começa sendo a favor do movimento uniforme circular (princípio de inércia circular), e termina defendendo o movimento retilíneo uniforme (princípio de inércia clássico).

A citação a seguir foi retirada do momento do **Diálogo** em que Salviati, Sagredo e Simplicio discutem o movimento de extrusão de um projétil:



Tracemos [...] uma linha perpendicular para o centro [da Terra], e seja esta AC e, formando ângulos retos com ela, seja a *horizontal AB*, sobre a qual se faria o movimento da projeção e pela qual continuaria o projétil *com um movimento uniforme (con movimento equabile)*, quando a gravidade não o inclinasse para baixo (GALILEI apud VASCONCELOS, 2005, p. 403).

Salviati – porta-voz de Galileu – está explicando a experiência comum de se observar os “meninos lançarem as pedras à grande distância, com o giro de um pedaço de cana, na ponta do qual foi encaixada a pedra” (GALILEI apud VASCONCELOS, 2005, p. 402).

O movimento de extrusão dá-se quando um objeto é girado (circularmente) com velocidade constante e, em um dado momento, esse objeto é lançado. O movimento de lançamento dá-se pela tangente. Segundo Galileu, a projeção seguiria ao infinito, com “movimento uniforme”, não

havendo impedimentos e, “quando a gravidade não o inclinasse para baixo”. Caso a gravidade inclinasse o projétil para baixo, ele descreveria uma trajetória semiparabólica AONMP, como foi possível observar na figura exposta em citação anterior e, também, na explicação da citação que destaca: “[...] Até aqui soubeste por vós mesmos que (...)”.

Vasconcelos cita novamente o próprio Galileu para reforçar seu pensamento de que a velocidade se conserva no plano horizontal, e que o movimento retilíneo uniforme é incompatível com a inércia circular defendida por Feyerabend, por exemplo.

[...] deve-se observar que um *grau de velocidade* qualquer, uma vez comunicado a um móvel, *imprime-se nele de forma indelével por sua própria natureza*, desde que não intervenham causas externas de aceleração ou retardamento, o que acontece apenas no plano horizontal (GALILEI apud VASCONCELOS, 2005, p. 405).

Vasconcelos cita o exemplo da queda de um móvel da Lua à superfície da Terra: um móvel na Lua possui todos os movimentos desta (inclusive o movimento circular); o móvel - caindo - deve *umentar* o momento angular, caso queira cair *antecipada* aquele ponto da Terra em que se encontrava antes e, também, deve manter constante o “grau de velocidade” (movimento retilíneo uniforme), como diz o próprio Galileu. Por isso, Vasconcelos não concorda com a inércia circular teorizada por Feyerabend, que dizia que a velocidade angular deveria conservar-se.

A seguir, tem-se o texto de Salviati – porta-voz de Galileu – citado por Júlio Vasconcelos:

Salviati – O efeito pode ser ou não ser admirável, mas é natural e ordinário, conforme são as coisas precedentes. Pois, se a bala (conforme às suposições que faz o autor), enquanto se mantinha no

côncavo da Lua, tinha o movimento circular das vinte e quatro horas juntamente com a Terra e como restante do contido dentro desse côncavo, aquela mesma virtude que a fazia girar antes de descer, continuará a fazê-la girar também na descida; e *tantum abest* que ela não acompanhe o movimento da Terra, mas deva ficar para trás, ao invés de dever antecipá-lo, sendo que, ao aproximar-se da Terra, o movimento giratório deve ser continuamente feito por círculos menores: de modo que, mantendo-se na bala aquela mesma velocidade que ela tinha no côncavo, deveria antecipar, como afirmei, a rotação da Terra (GALILEI apud VASCONCELOS, 2005, p. 407, grifo meu).

É possível notar que, no decorrer do artigo, Júlio Vasconcelos defende um contraponto à opinião daqueles que defendem uma inércia circular em Galileu, como por exemplo, Feyerabend e Dijksterhuis. Vasconcelos destaca várias passagens do **Diálogo** e dos **Discorsi**, a fim de reforçar sua tese da conservação de um grau de velocidade qualquer. Faz-se importante destacar que na conclusão do artigo, Vasconcelos opta pelo ceticismo, ou seja, aponta que a conservação do movimento em Galileu não é nem retilínea e nem circular e, para isso cita o melhor enunciado, em sua opinião, que descreve o movimento de inércia:

[...] deve-se observar que um grau de velocidade qualquer, uma vez comunicado a um móvel, imprime-se nele de forma indelével por sua própria natureza, desde que não intervenham causas externas de aceleração ou retardamento; [...] (GALILEI apud VASCONCELOS, 2005, p. 411).

Para Vasconcelos, essa é a melhor formulação da “lei da conservação do movimento” (VASCONCELOS, 2005) e, ainda considera que Galileu não fez “referências às trajetórias ou a quaisquer outras características dos movimentos” (idem). Sendo assim, não se pode dizer se a inércia é retilínea ou circular. Mas Vasconcelos esquece-se de citar o final do parágrafo, onde Galileu destaca: “o que acontece apenas no plano horizontal.” (GALILEI, 1988,

p. 173). A indicação do plano horizontal oferece a idéia de que o princípio de inércia é retilíneo, conforme demonstrou o próprio Vasconcelos.

Mais contraditório ainda é a passagem em que Vasconcelos diz que Galileu não precisava:

Explicar os círculos e não é preciso, assim, reduzir o movimento circular ao movimento retilíneo. Não é necessário um princípio de inércia retilínea, basta argumentar com um conceito mais geral de conservação do grau de velocidade de um móvel (VASCONCELOS, 2005, p. 412).

Pressupõe-se que Vasconcelos finaliza seu artigo como cético, devido ao fato de Galileu ora afirmar a conservação do movimento circular, ora afirmar a conservação do movimento retilíneo, fato pelo qual é motivo de várias discordâncias entre os especialistas.

Até aqui, foram destacados os circularistas – Évora e Rossi – e o retilíneo – Vasconcelos. Faz-se importante teorizar sobre o pensamento de Stillman Drake, que também defende uma inércia retilínea no pisano.

Stillman Drake (1964) dedica oito páginas ao assunto. Drake inicia o artigo lembrando que o ano de 1964 marca o quadringentésimo ano do nascimento de Galileu Galilei, e afirma que é justa a homenagem ao primeiro professor de física dos tempos modernos. Galileu foi corajoso – diz Drake – ao pronunciar que, para estudar a natureza, não era necessário saber latim ou ler as Sagradas Escrituras, mas apenas olhar para o grande livro da natureza, aberto diante de nossos olhos. Drake reconhece ainda que Galileu foi o grande pioneiro na astronomia moderna, ao aperfeiçoar e apontar para o céu o telescópio, e descobrir o que nunca antes se imaginava: crateras na Lua, satélites de Júpiter etc.

Drake relembra que os antigos historiadores da ciência creditavam à René Descartes (1596-1650) a formulação completa do princípio da inércia, devido a sua publicação, no ano de 1644, da obra **Princípios de Filosofia**. Mas, para os físicos, “é irônico dizer que essa lei particular tenha sido creditada a Descartes, cuja física como um todo impedia o progresso científico iniciado por Galileu e continuado com Newton” (DRAKE, 1964). Drake defende que a lei da inércia estava implícita na trajetória semiparabólica dos projéteis e no estudo do movimento no plano horizontal, que gerou o conceito de movimento neutro.

O movimento neutro dá-se quando não há nem movimento violento (plano ascendente) e nem movimento natural (plano inclinado); e somente acontece num plano horizontal, desprezando-se os impedimentos externos; uma bola perfeitamente esférica, nesse plano horizontal, pode mover-se em qualquer direção infinitamente – dada uma força inicial mínima.

Drake aponta que a gestação da lei da inércia em Galileu dá-se em etapas: primeiro, no **De Motu**; depois, nos trabalhos não publicados de mecânica; em seguida, na **História e Demonstração em Torno das Manchas Solares**, de 1613, até chegar ao **Diálogo**, de 1632, e nos **Discorsi**, de 1638.

Nos trabalhos de mecânica, Galileu apresenta a ideia de que no plano horizontal, um móvel pode ser movido com uma força mínima:

Uma bola em uma superfície perfeitamente horizontal poderia permanecer indiferente ao movimento ou ao repouso, de modo que qualquer força mínima seria suficiente para movê-la. (...) podemos concluir com um axioma: que os corpos pesados, retirando os impedimentos externos e acidentais, podem ser movidos no plano horizontal com uma força mínima (GALILEI apud DRAKE, 1964, p. 606).

Nos trabalhos das manchas solares, Galileu – diz Drake - observa que um móvel colocado num plano horizontal concêntrico com a terra, ficará indiferente ao movimento, podendo mover-se em qualquer direção, uma vez dado um impulso inicial, ou o móvel pode permanecer em repouso. Tal indiferença ao movimento é o que Drake chama de movimento neutro, que foi decisivo para formulação do princípio de inércia retilínea em Galileu.

Tenho observado que os corpos físicos têm uma inclinação em direção a algum movimento, como os corpos pesados para baixo, movimento que é exercido por eles através de uma propriedade intrínseca e sem necessidade de um motor externo especial, sempre que não são impedidos por algum obstáculo. E alguns outros movimentos são forçados, como os mesmos corpos pesados quando são movimentados pelo plano ascendente, portanto eles nunca se movem daquela forma, a menos que, pela ação de um motor externo. Finalmente, alguns movimentos são indiferentes, como são os corpos pesados ao movimento horizontal, para que eles não têm nem inclinação... nem aversão. E, por conseguinte, removendo os impedimentos externos, um corpo pesado sobre uma superfície esférica concêntrica com a terra será indiferente ao repouso ou ao movimento em direção a qualquer parte do horizonte. E permanecerá no mesmo estado em que ele foi uma vez colocado, ou seja, se foi colocado em estado de repouso irá conservar-se, e se colocado em movimento em direção ao oeste, por exemplo, vai manter-se nesse movimento (GALILEI apud DRAKE, 1964, p. 606, grifo meu).

Na citação anterior, Drake destaca a conservação do movimento no plano horizontal para a posterior formulação do movimento inercial clássico. No entanto, segundo Drake, os historiadores da ciência acentuam somente a “superfície esférica concêntrica com a terra” para dizer que Galileu conservou apenas o movimento circular, o que é equivocado, uma vez que aquele cientista conservou, sobretudo, o movimento retilíneo, conforme apontou Vasconcelos; Drake atenta que o princípio de inércia não foi uma simples derivação lógica da teoria do *impetus* medieval, mas sim uma junção do estudo e dos testes no plano inclinado com o conceito do movimento neutro.

Drake comenta o esforço de Galileu em dar bons exemplos do movimento da Terra e do compartilhamento desse movimento pelos corpos que se encontram na sua superfície, ou seja, os corpos que se encontram na superfície da Terra – e a própria Terra – compartilham os mesmos movimentos de rotação e translação. Como exemplo, tem-se a situação de uma bola que cai do mastro do navio à popa: segue o movimento de rotação e translação da Terra; por isso, não fica para trás e cai próximo do pé do mastro.

Os críticos de Galileu destacam o caráter místico que aquele cientista deu aos círculos e aos movimentos circulares e, conseqüentemente, à inércia circular. Mas Drake recorda que, apenas como divulgador das ideias de Copérnico e do próprio **Diálogo**, Galileu defendeu o movimento circular, mas com consciência da preservação do movimento retilíneo uniforme, como pesquisador físico. Ao final de seu estudo, Drake não cita as passagens onde Galileu teoriza uma inércia retilínea, mas é possível concluir que são as mesmas que Vasconcelos utiliza em seu artigo, analisado anteriormente.

Em outro artigo, intitulado **Galileo's Experimental Confirmation of Horizontal Inertia: Unpublished Manuscripts (Galileo Gleanings XXII)**, datado de 1973, Drake apresenta cálculos feitos por Galileu, que provam que aquele cientista empregava a matemática e experimentos no desenvolvimento de suas pesquisas físicas sobre o movimento e, em tal estudo, o referido autor destaca que o princípio de inércia está implícito nos esboços dos cálculos.

A grande questão destacada por Drake é que Galileu, nos seus escritos de Juventude, como é o caso, não é explícito em relação à lei da inércia. Somente no **Diálogo** e nos **Discorsi** Galileu explicita a referida lei.

CONCLUSÃO

No decorrer do estudo, observou-se que existem divergências quanto à interpretação do conceito de inércia em Galileu. O primeiro obstáculo que se impõe em relação a interpretação das obras de Galileu é devido à forma de dialogar dos livros: se aquele cientista tivesse optado por escrever um texto sem tantos rebuscamentos literários, curto e em forma de dissertação, talvez não houvesse tantas divergências entre os especialistas no que tange à interpretação da lei da inércia.

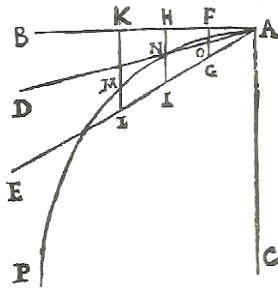
Percebe-se nas entrelinhas que há uma questão que perpassa os especialistas de Galileu aqui apresentados, a saber: como é o formato do plano horizontal descrito por Galileu? Plano horizontal reto e infinito, ou plano circular?

Galileu diz que:

[...] deve-se observar que um grau de velocidade qualquer, uma vez comunicado a um móvel, imprime-se nele de forma indelével por sua própria natureza, desde que não intervenham causas externas de aceleração ou retardamento; o que acontece apenas no plano horizontal (GALILEI, 1998, p. 173. Grifo meu).

Os especialistas circularistas – Évora e Rossi – interpretam a referida passagem como tendo o plano horizontal características de ser circular, devido o móvel estar com um movimento uniforme em torno da Terra: como esta é redonda, a inércia defendida por Galileu é circular.

Já os especialistas retilíneos – Drake e Vasconcelos – destacam que o plano horizontal tem características de ser retilíneo devido aos outros exemplos de Galileu, como o exemplo da projeção, destacado a seguir:



Tracemos [...] uma linha perpendicular para o centro [da Terra], e seja esta AC e, formando ângulos retos com ela, seja a *horizontal AB*, sobre a qual se faria o movimento da projeção e pela qual continuaria o projétil *com um movimento uniforme (con movimento equabile)*, quando a gravidade não o inclinasse para baixo (GALILEI apud VASCONCELOS, 2005, p. 403).

Observa-se que existe um consenso entre os especialistas de que Galileu formulou a lei da inércia, mas a diferença está no tipo de trajetória atribuído ao movimento inercial. Vasconcelos, apesar de ser retilíneo, diz que não importa a trajetória que Galileu tenha tentado dar à inércia, mas importa que a velocidade de um móvel, uma vez dado um impulso qualquer, se conserve.

É possível concordar com as palavras de Drake, quando este afirma que Galileu, na condição de divulgador das ideias de Copérnico e do **Diálogo**, defende o movimento circular constante; mas o mesmo Galileu também defende o movimento retilíneo uniforme na condição de pesquisador do movimento, conforme se segue:

Galileu, nas condições de físico, tratou os movimentos inerciais como retilíneos. Não obstante, Galileu na condição de propagandista, ao escrever o Diálogo, assinalou que o movimento retilíneo não pode ser perpetuo, enquanto pode sê-lo o circular... Por isso mesmo, não concluo, como a maioria dos historiadores, que o autor foi incapaz de fugir do sortilégio das antigas tradições, antes, suspeito fortemente de que, nessas passagens, haja um propósito último (DRAKE apud ÉVORA, 1994, v.4, p. 131).

Em suma, a resposta do questionamento apresentado anteriormente dá-se conforme a leitura realizada nas obras de Galileu.

Finalmente, em diálogo com o professor Dr. Samuel¹², observou-se que o que os especialistas chamam de inércia circular, na verdade, seria o que os físicos chamam de conservação do momento angular. Galileu tinha a noção de que um móvel poderia conservar o seu movimento em torno da superfície da Terra, se esta fosse livre de impedimentos. Galileu tinha também a noção de que um móvel poderia conservar um movimento retilíneo uniforme. Assim, conclui-se que a “inércia circular” não é incompatível com a inércia linear em Galileu.

No que se refere às conclusões filosóficas, é possível afirmar que a vida e as obras de Galileu auxiliaram na mudança do cenário intelectual e cultural europeu. Galileu mudou a forma filosófica de interpretar as Sagradas Escrituras, ou seja, estas deveriam ser interpretadas à luz da ciência, e não o contrário. Tal fato lhe rendeu a condenação pelo Tribunal da Inquisição da Igreja Católica Romana.

Galileu ajudou a mudar o pensamento físico-filosófico aristotélico-ptolomaico, visto que, este não respondia aos fatos novos observados no cosmo. Aquele cientista ainda contribuiu para uma gradual e benéfica separação entre pensamento filosófico e pensamento teológico.

¹² Dr. Samuel José Simon Rodrigues é professor de Teoria da Ciência da Universidade de Brasília.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DRAKE, Stillman. Galileo's Experimental Confirmation of Horizontal Inertia: Unpublished Manuscripts (Galileo Gleanings XXII). In: **JSTOR**. 1973.

_____. Galileo and the Law of Inertia. In: **JSTOR**. 1964, v. 32, Issue 8, p. 601.

ÉVORA, Fátima R R. **A Revolução Copernicano-Galileana**. 2ª Ed. Campinas: UNICAMP, 1994.

GALILEI, Galileu. **A Mensagem das Estrelas**. Trad.: Carlos Z. Camenietzki. Rio de Janeiro: Museu de Astronomia e Ciências Afins: Salamandra, 1987. 72p - (Coleção Clássicos da Ciência; 1).

_____. **Ciência e Fé**. Trad.: Carlos Arthur R. do Nascimento. São Paulo: Nova Stella Editorial; Rio de Janeiro: Mast, 1988. 112p - (Coleção Clássicos da Ciência; V)

_____. **Diálogo sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico e Copernicano**. 2ª Ed. Trad. Pablo R. Mariconda. São Paulo: Discurso Editorial/Imprensa Oficial, 2004. 882p.

_____. **Duas novas Ciências**. Trad. Pablo R. Mariconda; Letizio Mariconda. São Paulo: Nova Stella Editorial/Ched Editorial, [1998?]. 288p.

_____. **O Ensaíador**. Trad.: Helda Barraco. São Paulo: Nova cultural, 1996. 256p - (Coleção Os Pensadores).

HUISMAN, Denis. **Dicionário dos Filósofos**. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

NEWTON, Isaac.. Trad. Carlos L. de Mattos, Pablo R. Mariconda e Luiz Possas. São Paulo: Nova cultural, 1996. 335p. (**Coleção Os Pensadores**).

ROSSI, Paolo. **O Nascimento da Ciência Moderna na Europa**. Trad. Antonio Angonese, São Paulo: Edusc, 2001.

VASCONCELOS, Júlio C. R.. Galileu contra a inércia circular. In: **Scientiae Studia**, São Paulo, v.3, n.3, p.395-414, 2005.