

INSTITUTO DE FÍSICA/USP

4300156 — GRAVITAÇÃO

Notas de Aula

3^a parte

João Zanetic

2^o semestre/2019

GRAVITAÇÃO/Notas de Aula

(Versão parcialmente revista em setembro de 2017)

3ª parte

João Zanetic/IFUSP

Índice

Capítulo 8 – Algumas contribuições de Galileu Galilei	111
8.1. Introdução	111
8.2. Galileu: um inovador de muitas faces.....	111
8.3. Galileu, Kepler e o telescópio	115
8.4. O princípio da inércia de Galileu, segundo Koyré	120
8.5. A solução da queda dos corpos por Galileu, segundo Koyré	126
8.6. Galileu e o “argumento da torre”	138
Capítulo 9 – Galileu e Kepler: aspectos pedagógicos e literários.....	143
9.1. Alguns aspectos histórico/pedagógicos	143
9.2. Homenagem de um poeta e professor português a Galileu	146
9.3. Kepler e a ficção científica.....	149
9.4. Uma avaliação da obra de Galileu, por Italo Calvino.....	152

Capítulo 8 – Algumas contribuições de Galileu Galilei

8.1. Introdução

Galileu Galilei, nasceu na cidade de Pisa, na Itália, no dia 15 de fevereiro de 1564, dia da morte de Michelangelo e cerca de vinte anos após a publicação do **De revolutionibus**. Galileu morreu, com setenta e oito anos, na cidade de Arcetri, no dia 8 de janeiro de 1642, ano do nascimento de Isaac Newton.

Galileu, para satisfazer os desejos de seus pais, iniciou sua vida acadêmica estudando medicina. Galileu não permaneceu muito tempo dedicado a esses estudos, passando logo a demonstrar interesse pelo estudo da geometria e na construção de máquinas simples, aparentemente sob a influência da leitura dos trabalhos de Arquimedes. Quando tinha 25 anos, tornou-se professor de matemática da Universidade de Pisa, onde permaneceu por alguns anos. Em seguida ganhou uma cátedra na Universidade de Pádua, em Veneza¹²³.

A partir de então dedicou-se aos estudos que deixariam marca indelével na história da mecânica e da física.

8.2. Galileu: um inovador de muitas faces

A figura científica de Galileu é de suma importância histórica pois, ao longo de sua longa vida produtiva ele passou por diferentes concepções de mundo: foi aristotélico quando muito jovem, depois passou a trabalhar com os conceitos da física parisiense, a física do impetus, e, finalmente, criou sua própria concepção de mundo e de investigação científica, aliando a observação e a experimentação com a matematização da física.

¹²³ KOYRÉ, Alexandre, **op. cit.**, nota 79, pág. 43.

DISCORSI
E
DIMOSTRAZIONI
MATEMATICHE,
intorno à due nuoue scienze

Attenenti alla
MECANICA & I MOVIMENTI LOCALI,
del Signor
GALILEO GALILEI LINCEO,
Filosofo e Matematico primario del Serenissimo
Grand Duca di Toscana.
Con vna Appendice del centro di gravità d'alcuni Solidi.



IN LEIDA,
Appresso gli Elsevirii. M. D. C. XXXVIII.

Figura 34. Capa da primeira edição dos *Discursos*.

Alexandre Koyré apresenta o seguinte resumo da física presente na juventude galileana:

"A história do pensamento científico (físico) da Idade Média e da Renascença - que começamos a conhecer melhor graças sobretudo aos trabalhos admiráveis de Duhem¹²⁴ - pode ser dividida em três períodos. Ou,

¹²⁴ Alexandre Koyré refere-se aqui ao físico e historiador da Física, Pierre Duhem que elaborou uma série de importantes trabalhos históricos sobre a mecânica e suas origens.

*mais exatamente, visto que a ordem cronológica corresponde muito mal a esta divisão, a história do pensamento científico apresenta-nos grosso modo três etapas, correspondendo, por sua vez, a três tipos de pensamento. Física aristotélica, inicialmente; física do **impetus**, inaugurada, como todas as coisas, pelos gregos, mas elaborada sobretudo no decurso do século XIV pela escola parisiense de Buridan e de Nicolau Oresme, em seguida; física matemática, experimental, arquimediana ou galilaica, por fim.*

Ora, são justamente esta três etapas que nós reencontramos nas obras de juventude de Galileu, que, assim, não se limitam a dar-nos algumas informações sobre a história - ou a pré-história - do seu pensamento, sobre os motivos e os móveis que o dominaram e impeliram, mas apresentam-nos ainda, num resumo surpreendente, condensada e de alguma maneira clarificada pelo admirável espírito do seu autor, a evolução completa da física pré-galilaica."¹²⁵

Galileu iniciou, em muitos aspectos, uma outra etapa importante e complementar àquela iniciada por Kepler. Foi responsável pela introdução de inovações na investigação da natureza física que modificaram completamente as características desta área do conhecimento. Tais inovações complementaram a modificação do que viria a ser a mecânica, já insinuada com os trabalhos de Buridan e Oresme, por exemplo. Como destacava Alexandre Koyré, geometrizou o estudo do movimento; elaborou sofisticadas experiências de laboratório, que levaram muitos a considerá-lo o inventor da física experimental; introduziu de modo muito eficiente o artifício das experiências de pensamento, que podem ser "realizadas" com uma abstração idealizada do real; introduziu as superfícies lisas sem atrito, corpos perfeitamente elásticos e o movimento de corpos no vácuo; polemizou de forma dramática, quase teatral, com os aristotélicos nas suas últimas obras; tentou a fusão da física celeste com a física terrestre; foi um dos pioneiros no

¹²⁵ KOYRÉ, Alexandre. **Estudos galilaicos**. Publicações Dom Quixote, Lisboa, 1986, págs. 19/20.

estudo dos céus com o telescópio, tendo realizado incríveis observações; enfim, foi um dos mais completos articuladores do paradigma copernicano.

Estudaremos apenas algumas das suas contribuições, entre elas a sua contribuição para o estabelecimento do princípio da inércia e sua explicação do movimento de queda dos corpos que permite relacioná-lo também com a história da gravitação.

Galileu foi também um dos primeiros a utilizar uma língua leiga, o italiano, para escrever e publicar seus principais trabalhos: *Discursos e demonstrações sobre duas novas ciências* e *Diálogos sobre os dois sistemas de mundo*. Seguindo o exemplo de Giordano Bruno, ou talvez de Platão, Galileu escreveu essas duas obras utilizando-se da estrutura de diálogos entre alguns personagens, parecendo às vezes mais uma peça de teatro do que um livro de investigação científica. Um dos personagens, Salviati, representaria o pensamento do próprio Galileu enquanto outro desempenharia o papel de um pensador aristotélico, ganhando para isso um nome bastante sugestivo, Simplicio. Havia ainda um terceiro personagem, Sagredo, que seria um intelectual pretensamente neutro e imparcial.

Logo nas primeiras frases dos **Discursos, Galileu** apresentava o plano dessa obra e parte de suas intenções:

*"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. Observaram-se algumas mais simples, como, por exemplo, que o movimento natural dos graves em queda livre se acelera continuamente; porém, não foi demonstrado até o momento a proporção segundo a qual se produz sua aceleração. Também não foi demonstrado, que eu saiba, que um móvel, que cai a partir do repouso, percorre em tempos iguais espaços que mantém entre si a mesma*

*proporção que têm os números ímpares sucessivos a partir da unidade. Foi observado que os corpos arremessados, a saber, os projéteis, descrevem uma linha curva de certo tipo; também é verdade que ninguém evidenciou que tal curva é uma parábola. Que assim é, será demonstrado conjuntamente com não poucas coisas dignas de serem conhecidas e, o que reputo muito mais importante, abrir-se-á assim o acesso a uma ciência muito mais vasta e importantíssima, da qual minha investigação estabelece os fundamentos e na qual outros espíritos mais perspicazes que o meu penetrarão em seus lugares mais recônditos."*¹²⁶

Galileu, assim como antes dele, Copérnico, teve contato não apenas com a ciência desenvolvida pelos gregos, como também com aquela que surgiu no decorrer da idade média. Durante esse período, embora aparentemente os trabalhos em física não fossem tão marcantes quanto os desenvolvidos pelos gregos, ou tão fundamentais quanto os que surgiram com Copérnico e os articuladores de sua proposta, os chamados comentadores, de Aristóteles principalmente, foram lançadas bases importantes sobre as quais os físicos dos séculos XVI e XVII construíram os seus sistemas. Galileu não foge desta regra.

8.3. Galileu, Kepler e o telescópio

Em 4 de agosto de 1597, Galileu escreveu sua primeira carta a Kepler. Eis um trecho dessa carta:

"Não recebi há alguns dias, mas apenas há algumas horas, meu culto doutor, o livro que me enviastes por intermédio de Paulus Amberger, visto que o mesmo Paulus me informou de seu regresso iminente à Alemanha.

¹²⁶ GALILEI, Galileu. **Discursos e demonstrações matemáticas sobre duas novas ciências**. Tradução e notas de Letizio Mariconda e Pablo R. Mariconda. Introdução de Pablo R. Mariconda. Ed. Nova Stella, São Paulo, 1985, pág. 121. A tradução foi muito bem produzida e a introdução e as notas são muito esclarecedoras.

Seria um ingrato realmente se vos não agradecesse imediatamente. Aceito o vosso livro com tanto mais gratidão pois o tenho por prova de ter sido considerado digno de vossa amizade. Até agora só corri os olhos pelo prefácio, mas adquiri com isso uma idéia do intento, e me congratulo por ter, no estudo da Verdade, um associado que é amigo da Verdade. É uma pena existirem tão poucos que persigam a Verdade e não pervertam a razão filosófica. Contudo, não cabe aqui deplorar as misérias deste nosso século e sim congratular-vos pelos brilhantes argumentos que apresentais em favor da Verdade. Só acrescentarei que prometo ler a obra tranqüilamente, certo de nela descobrir as coisas mais admiráveis, e fá-lo-ei alegremente, uma vez que adotei os ensinamentos de Copérnico há muitos anos, e o seu ponto de vista me permite explicar inúmeros fenômenos da natureza que, indubitavelmente, ficam inexplicáveis segundo as hipóteses mais correntes. Escrevi inúmeros argumentos em apoio a ele e em refutação ao parecer oposto, mas até agora não ousei publicá-los, atemorizado pelo destino do próprio Copérnico, nosso Mestre, que, embora adquirisse fama imortal com alguns, constitui ainda, para uma infinita multidão de outros, (que tal é o número de tolos) objeto de ridículo e zombaria. Certamente ousaria publicar as minhas reflexões imediatamente se existisse mais gente como vós; como não existe, saberei conter-me."¹²⁷

Kepler respondeu quase imediatamente a essa carta nos seguintes termos:

"Gratz, 13 de outubro de 1597. A vossa carta, meu excelentíssimo humanista, que me escrevestes em 4 de agosto, recebi-a em 1º de setembro, e me deu motivos para um duplo júbilo: primeiro, por significar o começo

¹²⁷ Citado por Arthur Koestler, **op. cit.**, nota 12, págs. 246/247.

de uma amizade com um italiano; segundo, porque estamos de acordo quanto à cosmografia Copernicana (...) Suponho que, se tivesses tempo, já travastes melhor conhecimento com o meu livrinho, e desejo ardentemente saber a vossa opinião crítica, pois é do meu feitio instar com todos aqueles a quem escrevo que me dêem uma opinião franca, e, crede-me, prefiro a crítica mais acerba de um só homem iluminado ao aplauso insensato da multidão.

Gostaria, entretanto que, possuidor de tão excelente inteligência, assumísseis uma posição diversa. Com os vossos hábeis modos sigilosos sublinhais, com o exemplo, a advertência de que deveríamos recuar perante a ignorância do mundo, e não deveríamos levianamente provocar a fúria dos professores ignorantes; a esse respeito seguis Platão e Pitágoras, os nossos verdadeiros mestres. Mas considerando que na nossa época, primeiro Copérnico, em pessoa, e depois dele uma multidão de cultos matemáticos assentaram esse imenso empreendimento, de modo que o movimento da Terra já não constitui nenhuma novidade, preferível seria que ajudássemos, com os nossos esforços, a empurrar para casa essa carruagem que já se movimenta (...) Não são apenas os italianos que se recusam a acreditar que se movem por nada sentirem; na Alemanha também não nos tornamos populares sustentando essas opiniões. Mas há argumentos que nos protegem em face de tais dificuldades (...) Comunicai-me, pelo menos em particular, se não desejais fazê-lo em público, o que descobristes em apoio a Copérnico (...)"¹²⁸

Essa troca de correspondência entre Kepler e Galileu leva-nos a conjecturar as razões da demora de Galileu em se pronunciar publicamente defensor das concepções copernicanas uma vez que, desde jovem, como ele próprio afirmava, era partidário do

¹²⁸ Citado por Arthur Koestler, **op. cit.**, nota 12, págs. 247/248.

sistema heliocêntrico. Alguns historiadores mencionam o temor da Inquisição, outros o medo do ridículo e outros ainda que Galileu esperava encontrar evidências mais poderosas em favor do sistema copernicano. Há ainda outros que apontam seu temor de perder os postos que desfrutava.

É verdade que Galileu tinha um bom relacionamento com os poderosos da época, tanto no interior da Igreja como entre os governantes. Diga-se de passagem que, aparentemente, Galileu realmente fez uso de seu telescópio, recentemente inventado, para conseguir aumentar seus salários vendendo-o para a armada de Veneza.

Que Galileu temia ser ridicularizado fica evidenciado em determinado trecho da carta a Kepler quando diz temer um destino semelhante ao de Copérnico que teria sido alvo de zombarias.

É verdade também que Galileu apenas se manifestou publicamente defensor das idéias de Copérnico através de seu livro *Siderius Nuntius*¹²⁹, publicado em 1610, quando Galileu tinha 46 anos. Nesse livro, Galileu relata suas revolucionárias descobertas realizadas com o auxílio de uma luneta.

Cabem aqui algumas palavras sobre esse inovador instrumento muitas vezes chamado com exagero de telescópio e cuja invenção é erradamente atribuída a Galileu. I. Bernard Cohen informa que, num livro publicado em 1571, Thomas Digges descrevia um instrumento semelhante ao telescópio e que um outro de 1590 teria sido feito na Itália. Cohen diz também que em 1608 esse instrumento teria sido reinventado na Holanda e provavelmente à venda na Itália à época em que Galileu construiu aquele com o qual fez suas observações em 1610¹³⁰.

Eis um trecho do **Sidereus Nuncius**:

¹²⁹ **Mensageiro das estrelas.**

¹³⁰ COHEN, I. Bernard. **The birth of a new physics.** Penguin Books, London, updated edition, 1992, págs. 56 e 185/186. Embora eu tenha utilizado essa edição inglesa, existe uma edição em português: *O nascimento de uma nova física*, Edart, São Paulo.

"(...) no dia sete de janeiro do presente ano de 1610, à primeira hora da madrugada, enquanto contemplava com o telescópio os astros celestes, apareceu Júpiter (...) percebi (...) que o acompanhavam três pequenas estrelas, pequenas sim, mas em verdade claríssimas; (...) Sua disposição mútua com relação a Júpiter era:

Oriente ★ ★ ● ★ Ocidente

(...) tendo voltado a contemplá-las no dia oito, não sei porque razão, observei uma disposição diferente (...)

Oriente ● ★ ★ ★ Ocidente

(...) no décimo dia de janeiro as estrelas apareceram nesta disposição com relação a Júpiter:

Oriente ★ ★ ● Ocidente"¹³¹

Galileu prosseguiu nessas observações telescópicas até a noite de 2 de março de 1610. Ainda nesse mesmo mês de março preparou para publicação o livro em que relata essas e outras observações. Entre suas conclusões encontramos a seguinte:

*"Temos aqui um argumento notável e ótimo para eliminar os escrúpulos de quem, aceitando com equanimidade a rotação dos planetas em torno ao Sol segundo o sistema Copernicano, sentem-se contudo perturbados pelo movimento da solitária Lua em torno da Terra, ao tempo que ambas descrevem uma órbita anual em torno ao Sol, até o ponto de considerar que se deve rechaçar por impossível esta ordenação do Universo."*¹³²

¹³¹ GALILEI, G.; KEPLER, J. **El mensaje y el mensajero sideral**. Alianza Editorial, Madrid, 1984, págs. 67/69.

¹³² Galileu Galilei, **op. cit.**, nota 126, págs. 88/89.

8.4. O princípio da inércia de Galileu, segundo Koyré

Vamos estudar brevemente a origem do princípio da inércia, geralmente atribuída a Galileu, seguindo o estudo histórico clássico **Estudo Galilaicos**, de Alexandre Koyré (1892-1964), publicado em 1939. Como em outros estudos históricos, a história da ciência também é passível de diferentes interpretações. Assim, enquanto Koyré destacava a importância dos modelos matemáticos desenvolvidos por Galileu e dava pouca importância aos experimentos que foram por ele realizados, Stillman Drake (1910-1993) ressaltava a experimentação, como podemos perceber por esta citação:

“Outra abordagem à ciência de Galileu foi iniciada em 1939 por Alexandre Koyré que a via como reação platonista ao aristotelismo tradicional das universidades. A ênfase que Galileu deu à física matemática tinha raízes, para Koyré, na doutrina de Platão, de que o único mundo digno de estudo de um filósofo era inacessível aos sentidos e só podia ser compreendido através da matemática. As investigações matemáticas medievais do movimento em abstrato, embora feitas pelos aristotélicos, tinham preparado o caminho, mas o platonismo de Galileu constituía uma verdadeira revolução na ciência, segundo Koyré. Na sua opinião, as experiências declaradas de Galileu eram puramente imaginárias e todos os seus estudos sobre o movimento podiam ser justificados pelo raciocínio matemática, no estilo de Arquimedes. (...) Notas de Galileu, não publicadas, revelaram recentemente também registros de medidas experimentais, invalidando a conclusão de Koyré”¹³³

¹³³ DRAKE, Stillman. **Galileu**. Publicações Dom Quixote, Lisboa, 1981, págs. 38/39.

Estudamos brevemente algo sobre a mecânica na idade média, quando apresentamos algumas ideias de Filopono, Buridan, Oresme e Nicolau de Cusa.¹³⁴ Suas concepções certamente tiveram influência sobre o pensamento de Galileu. Alexandre Koyré destaca a influência do conceito de **impetus** ou **força motriz imprimida** desses precursores sobre o trabalho do jovem Galileu:

"Mas não implica a noção de força motriz imprimida ao móvel a continuação indefinida do movimento? Noutros termos: não permite ela formular o princípio da inércia? Sabe-se que esta foi a opinião de muito historiador célebre. Não é, em todo o caso, a de Galileu (jovem). Contra alguns dos seus primogênitos (Cardano, Piccolomini, Scaliger) que afirmam que em certas condições, a saber, quando o movimento se faz sobre uma superfície horizontal, o impetus permanece imortal, Galileu afirma resolutamente o seu carácter perecível. O movimento eterno é impossível e absurdo, precisamente porque ele é o produto da força motriz que se esgota ao produzi-lo."¹³⁵

Deve-se notar que quando Galileu nos seus escritos, mesmo nos últimos, mencionava plano horizontal ou superfície horizontal lisa ele estava se referindo a uma superfície paralela à superfície da Terra, isto é, um pedaço de uma superfície esférica. Isso pode ser observado, por exemplo, no seguinte longo texto extraído dos Diálogos, segundo citação de Alexandre Koyré:

"Salviati: Então dissei-me: se tivésseis uma superfície plana, polida como um espelho e de uma matéria dura como a ágata, e que não fosse paralela ao horizonte, mas um pouco inclinada, e que sobre essa superfície pusésseis uma bola perfeitamente esférica e de uma matéria grave e

¹³⁴ Nestas **Notas de aula**, págs. 42/47.

¹³⁵ Alexandre Koyré, **op. cit.**, nota 125, págs. 79/80.

extremamente dura como, por exemplo, bronze, e que ela fosse deixada em liberdade, o que creis que ela fará? Não credes (como eu faço) que ela ficará imóvel?

Simplicio: *Se essa superfície fosse inclinada?*

Salviati: *Sim, pois é assim que se supõe que ela seja.*

Simplicio: *Eu não creio que ela pare de maneira alguma, mas estou certo de que se há-de mover espontaneamente na direção da inclinação.*

Salviati: *E quanto durará o movimento dessa bola, e com que velocidade? Reparai bem que eu disse uma bola perfeitamente redonda e um plano perfeitamente liso a fim de afastar todos os impedimentos externos e acidentais; e quero também que ponhais de parte a resistência do ar, e todos os outros obstáculos acidentais, se outros pudesse haver.*

Simplicio: *Compreendi-o muito bem; e à vossa pergunta respondo que essa bola continuará a mover-se in infinito desde que o plano assim se estenda; terá um movimento continuamente acelerado; pois tal é a natureza dos móveis graves que **vires acquirit eundo**; e a velocidade será tanto maior quanto maior for a declividade.*

Salviati: *Mas se se quisesse que a dita bola se movesse para cima sobre aquela mesma superfície, credes que ela o faria?*

Simplicio: *Espontaneamente, não; mas sim, se for empurrada ou atirada com violência.*

Salviati: *E se tivesse sido impelida por esse impetus nela violentamente imprimido, qual seria o seu movimento e quanto duraria este?*

Simplicio: *O movimento ir-se-ia retardando e afrouxando, porque seria contra a natureza, e seria mais longo ou mais breve consoante a impulsão fosse mais ou menos forte e consoante a declividade fosse maior ou menor.*

Salviati: *Assim explicastes os acidentes de um móvel sobre dois planos diferentes; e dizeis que sobre um plano inclinado o móvel grave desce*

espontaneamente e vai acelerando constantemente, e que para o reter em repouso há que usar a força; mas que sobre o plano ascendente é preciso força para o lançar e até para o reter e que o movimento nele imprimido vai enfraquecendo constantemente e finalmente se anula. Dizeis ainda que num e noutro caso nascem diferenças da maior ou menor inclinação ou elevação do plano; e que da inclinação maior resulta uma velocidade maior e, pelo contrário, no plano que se eleva, o mesmo móvel, lançado pela mesma força, se move a uma distância tanto maior quanto menor for a elevação. Ora, dizei-me o que acontecerá ao mesmo móvel numa superfície que não seja inclinada nem elevada.

Simplicio: *Aqui é preciso que eu pense um pouco na resposta. Não tendo aqui a superfície declividade, não pode haver inclinação natural para o movimento, e, não tendo subida, não pode haver resistência natural a ser movido. E assim a bola deverá permanecer indiferente entre a propulsão e a resistência ao movimento; parece-me, portanto, que ela deverá ficar naturalmente parada (em repouso).*

Salviati: *Também o creio, quando a supomos imóvel; mas, se lhe fosse dado um impetus para algum lado, o que é que daí se seguiria?*

Simplicio: *Seguir-se-ia que ela se moveria para esse lado.*

Salviati: *Mas qual será esse movimento? Continuamente acelerado, como no plano inclinado, ou sucessivamente retardado, como no ascendente?*

Simplicio: *Não vejo nenhuma causa de aceleração nem de afrouxamento, por não haver declive nem aclave.*

Salviati: *Sem dúvida; mas se não há causa de afrouxamento, muito menos ainda deve haver causa de imobilidade; por quanto tempo então estimais que o móvel continuará a mover-se?*

Simplicio: *Tanto tempo quanto dure o comprimento dessa superfície que não baixa nem se eleva.*

Salviati: Por conseguinte, se esse espaço fosse sem termo, o movimento seria de igual modo sem fim, isto é, eterno?

Simplicio: Parece-me, com a condição de o móvel ser de uma matéria que possa durar."¹³⁶

Deste diálogo, e de outros análogos, como bem salienta Koyré, a maioria dos historiadores da ciência conclui que Galileu estaria anunciando o seu **princípio da inércia**. Neste ponto Koyré anuncia aí um erro dos historiadores pois, embora Galileu tenha se aproximado bastante do enunciado do princípio da inércia, devido a sua incapacidade de se libertar da gravidade não consegue chegar a ele.¹³⁷

A argumentação de Koyré se baseia no fato de que a superfície horizontal de Galileu, como já foi destacado acima, é, na verdade, uma superfície esférica. A continuação do diálogo entre os dois personagens de Galileu ilustra esse fato:

"Salviati: Assim, pois, para que uma superfície não fosse nem inclinada nem elevada, seria preciso que em todas as suas partes ela estivesse igualmente afastada do centro. Mas encontra-se no mundo uma tal superfície?

Simplicio: Não falta. Assim, a do nosso globo terrestre, desde que seja bem polida e não tal como ela é, rugosa e coberta de montanhas; mas sim tal como uma água tranquila e plácida.

Salviati: Ora, não é o mar uma tal superfície? Por conseguinte, um navio que se mova sobre esta superfície, com uma impulsão uma vez conferida, mover-se-á uniforme e eternamente."¹³⁸

Assim, Galileu, segundo a análise de Koyré, chega ao **princípio da inércia circular**, e não à chamada primeira lei de Newton ou **princípio da inércia**.

¹³⁶ GALILEI, Galileu. **Diálogo**. Citado por Alexandre Koyré, **op. cit.**, nota 125, págs. 283/285.

¹³⁷ Alexandre Koyré, **op. cit.**, nota 125, pág. 286.

¹³⁸ Galileu Galilei. **Diálogo**. Citado por Alexandre Koyré, **op. cit.**, nota 125, pág. 286.

Não vamos continuar a abordar a história do princípio da inércia mas quero apenas adiantar nesta parte que, para muitos historiadores, entre os quais se inclui Koyré, o verdadeiro autor do princípio da inércia foi Descartes. O historiador da ciência Allan Franklin escreveu:

*"A visão inercial moderna foi estabelecida explicitamente por René Descartes (1595-1650). Descartes discutiu essas ideias no seu trabalho incompleto **Le monde** que foi iniciado em 1630 e interrompido em 1633 após a condenação de Galileu (...) Descartes estabelece claramente que movimento e repouso são estados equivalentes (...)"¹³⁹*

Allan Franklin cita um pequeno trecho do **Le monde** de Descartes onde ele introduz pela primeira vez o princípio da inércia e o conceito de **quantidade de movimento**:

"(...) Nós entendemos também que é uma medida da perfeição de Deus que não somente Ele é imutável em Si próprio, mas também que ele age de uma maneira a mais constante e imutável (...) Ele mantém na matéria a mesma quantidade de movimento presente nela quando Ele a criou (...)
Assim, podemos concluir que uma coisa que se move, mover-se-á para sempre tanto quanto possa e não tenderá ao repouso porque o repouso é contrário ao movimento, e nada por sua própria natureza, pode tender em direção ao seu contrário, isto é, em direção à sua destruição; assim, chegamos à primeira lei da natureza que diz que tudo persevera sempre no mesmo estado; portanto, tudo que começou a se mover continuará a se mover para sempre."¹⁴⁰

¹³⁹ Allan Franklin, **op. cit.**, nota 55, pág. 90.

¹⁴⁰ DESCARTES, René. **Le monde**, citado por Allan Franklin, **op. cit.**, nota 55, págs. 92/93.

8.5. A solução da queda dos corpos por Galileu, segundo Koyré

Na "terceira jornada" de seu último trabalho, **Discursos e demonstrações sobre duas novas ciências**¹⁴¹, já citado acima, Galileu trata dos movimentos "*uniforme*", "*local*" e "*naturalmente acelerado*".

Logo após a apresentação de seis teoremas referentes ao movimento uniforme, Galileu inicia a discussão **do movimento naturalmente acelerado** que tem início com uma observação de Salviati fazendo a ponte entre as discussões sobre os dois movimentos:

"Salviati: O que acabamos de ver é tudo o que nosso autor escreveu a respeito do movimento uniforme. Passemos agora a fazer algumas considerações mais originais e sutis a respeito do movimento naturalmente acelerado, que é o que geralmente acontece com os móveis graves descendentes. Eis aqui o título e a introdução.

DO MOVIMENTO NATURALMENTE ACELERADO

Tendo tratado, no livro anterior, das propriedades do movimento uniforme, examinemos minuciosamente o movimento acelerado. Antes de tudo, convém investigar e explicar a definição que corresponde convenientemente a esse movimento, tal como a natureza o utiliza. Sem dúvida, ainda que seja lícito imaginar arbitrariamente alguma forma de movimento e investigar a seguir as propriedades que dela derivam, (de fato, é assim que alguns, imaginando hélices ou concóides originadas por determinados movimentos de que a natureza não faz uso, têm conseguido demonstrar admiravelmente suas propriedades com argumentos ex suppositione), todavia, posto que a natureza se serve de uma forma determinada de aceleração na queda dos graves, não é inconveniente

¹⁴¹ GALILEI, Galileu. **Discorsi i Demonstrationi Matematiche intorno a due nuove scienze atte-
nenti alla Meccanica ed ai Movimenti Locali.**

*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 levamos em conta que as propriedades por nós demonstradas parecem corresponder e coincidir com os resultados da experiência. Finalmente, no estudo do movimento naturalmente acelerado, fomos, por assim dizer, conduzidos pela mão através da observação das regras observadas habitualmente pela própria natureza em todas suas outras manifestações nas quais ela faz uso de meios mais imediatos, mais simples e mais fáceis. Pois penso que na verdade nenhuma pessoa acredite poder nadar e voar com maior simplicidade e maior facilidade que os peixes ou as aves, que se servem do instinto natural."*¹⁴²

Interrompo o texto de Galileu para tecer alguns comentários. Galileu procurava uma definição do movimento acelerado "*tal como a natureza o utiliza*". Será o Galileu **realista** que falava aqui?

Galileu ainda estava à procura da **essência** do movimento. Voltemos ao seu texto:

"Quando, portanto, observo uma pedra que cai de uma certa altura a partir do repouso e que adquire pouco a pouco novos acréscimos de velocidade, por que não posso acreditar que tais acréscimos de velocidade não ocorrem segundo a proporção mais simples e mais óbvia? Se considerarmos atentamente o problema, não encontraremos nenhum acréscimo mais simples que aquele que sempre se repete da mesma maneira. O que entenderemos facilmente, se considerarmos a estrita afinidade existente entre o tempo e o movimento: do mesmo modo, com efeito, que a uniformidade do movimento se define e se concebe com base

¹⁴² Galileu Galilei, **op. cit.**, nota 126, págs. 126/127.

na igualdade dos tempos e dos espaços (com efeito, chamamos movimento uniforme ao movimento que em tempos iguais percorre espaços iguais), assim também, mediante uma divisão do tempo em partes iguais, podemos perceber que os aumentos de velocidade acontecem com simplicidade; concebemos no espírito que um movimento é uniforme e, do mesmo modo, continuamente acelerado, quando, em tempos iguais quaisquer, adquire aumentos iguais de velocidade. Assim, qualquer que seja o número de partes iguais de tempo que tenha decorrido do instante em que o móvel abandona o repouso e começa a descer, o grau de velocidade adquirido na primeira e segunda parte de tempo será o dobro do grau de velocidade adquirido pelo móvel na primeira parte; assim também, o grau que se obtém em três partes de tempo será o triplo e, na quarta parte, será o quádruplo do grau obtido na primeira parte; de modo que (para maior clareza) se o móvel continuar seu movimento com o grau ou momento de velocidade (momentum velocitatis) adquirido na primeira parte de tempo e conservar uniformemente essa velocidade, seu movimento será duas vezes mais lento que o obtido com o grau de velocidade adquirido em duas partes de tempo. Por este motivo acreditamos que não nos afastamos absolutamente da justa razão, se admitimos que a intensificação da velocidade (intentionem velocitatis) é proporcional à extensão do tempo; pelo que podemos definir o movimento, do qual devemos tratar, da seguinte maneira: chamo movimento igualmente, ou o que é o mesmo, uniformemente acelerado, àquele que, partindo do repouso, adquire em tempos iguais, momentos (momenta) iguais de velocidade."¹⁴³

¹⁴³ Galileu Galilei, **op. cit.**, nota 126, pág. 127.

Galileu expressava nessa citação um crescimento contínuo da velocidade do movimento uniformemente acelerado, particularmente seu crescimento contínuo a partir do repouso. Eis o comentário de Alexandre Koyré:

"Esta concepção que Galileu admitira desde Pisa, parecia, com inteira justiça, estranha e inverossímil aos melhores espíritos desse tempo. Como admitir, com efeito, um movimento dando-se com uma lentidão infinita? Como conceber uma passagem contínua do repouso ao movimento, isto é, do nada a qualquer coisa? Não há, antes, que admitir, na realidade física, um mínimo de movimento, correlativo de um mínimo de ação?"¹⁴⁴

O próprio Alexandre Koyré, em nota de rodapé à citação acima, afirma que a concepção contida na última frase é partilhada, entre outros, por Beeckman, o histórico interlocutor de Descartes, quando este estudava exatamente a queda dos corpos. E, Koyré completa:

"Esta concepção não é de modo nenhum absurda: é a da teoria dos quanta."¹⁴⁵

Galileu, que já havia sido questionado sobre este aspecto do movimento, coloca uma objeção à sua argumentação por intermédio de seu personagem Sagredo, como podemos perceber na continuidade de seu texto. Vamos a ele:

"Sagredo: Eu, racionalmente falando, objetarei a esta ou outra definição que por qualquer outro autor fosse dada, posto que são todas arbitrárias, e assim também posso, sem ofensa, duvidar que tal definição, concebida e admitida em abstrato, se adapte, e convenha e se verifique naquela espécie de movimento acelerado que se dá nos graves que caem naturalmente. E como parece que o autor nos promete que o movimento assim definido é

¹⁴⁴ Alexandre Koyré, **op. cit.**, nota 125, págs. 172/173.

¹⁴⁵ Alexandre Koyré, **op. cit.**, nota 125, pág. 173.

o movimento natural dos graves, de boa vontade desejaria remover certas dificuldades que me perturbam a mente, para que depois com maior atenção pudesse concentrar-me nas proposições e demonstrações correspondentes."¹⁴⁶

Sobre essa mesma objeção de Sagredo, Koyré afirma que o que "*está em jogo é o direito do matematismo em física*". Eis seu raciocínio:

*"Sagredo sabe bem que em geometria pura, ou em cinemática pura, se tem o direito de falar de uma série infinita de grandezas - de frações - intercaladas entre zero e alguma coisa; e mesmo que não se tem o direito de fazer de outro modo. Mas com que direito se transportam essas considerações abstratas do domínio matemático para o real."*¹⁴⁷

Em continuação, Salviati, outro personagem de Galileu, argumentava que também tinha tido dúvidas a esse respeito e, na sequência, Sagredo continuava com sua objeção:

"Salviati: *Parece-me oportuno que V.Sa. e o Sr. Simplicio coloquem as dificuldades, que imagino serem as mesmas que tive quando vi pela primeira vez este tratado, e que me foram resolvidas ou através de discussões com o próprio autor, ou por mim mesmo, através da reflexão.*

Sagredo: *Quando imagino um corpo grave que cai a partir do repouso, ou seja, da privação de toda velocidade, entrar em movimento, e no mesmo aumentar sua velocidade proporcionalmente ao tempo desde o primeiro instante do movimento e ter, por exemplo, em oito batidas de puldo adquirido oito graus de velocidade, da qual tinha adquirido quatro graus na quarta pulsação, dois na segunda e um na primeira, e considerando o*

¹⁴⁶ Galileu Galilei, **op. cit.**, nota 126, págs. 127/128.

¹⁴⁷ Alexandre Koyré, **op. cit.**, nota 125, pág. 175.

tempo divisível ao infinito, segue-se que, diminuindo-se sempre a velocidade antecedente na mesma proporção, não existirá grau de velocidade tão pequeno, ou ainda de lentidão tão grande, pelo qual não tenha passado o mesmo móvel depois de ter saído da infinita lentidão, ou seja, do repouso. Deste modo, se aquele grau de velocidade que adquiriria na quarta pulsação de tempo era tal que, permanecendo uniforme, tivesse percorrido duas milhas numa hora, enquanto que com o grau de velocidade adquirido na segunda pulsação tivesse percorrido uma milha por hora, deve-se convir que nos instantes de tempo cada vez mais próximos de seu ponto de partida se moveria tão lentamente que não teria percorrido (caso continuasse seu movimento com essa lentidão) uma milha nem numa hora, nem num dia, nem num ano, nem em mil anos, nem teria percorrido um só palmo num tempo ainda maior; consequência à qual parece que a imaginação dificilmente se acomoda, enquanto que os sentidos nos mostram que um grave em queda cai imediatamente com grande velocidade."¹⁴⁸

Na frase acima sublinhada, Koyré faz notar que realmente:

"(...) a imaginação recusa-se a aceitar o raciocínio matemático. Trata-se também, justamente de substituir a primeira pelo segundo."¹⁴⁹

Sagredo, como se percebe do texto acima, apela para os sentidos, apela para a experiência. É o debate entre a matematização, razão, os sentidos, bastante comum à **cultura científica** da época.

¹⁴⁸ Galileu Galilei, **op. cit.**, nota 126, pág. 128.

¹⁴⁹ Alexandre Koyré, **op. cit.**, nota 125, pág. 176.

Na sequência do texto dos **Discursos**, Salviati que, como sabemos, representa o pensamento do próprio Galileu, buscando auxílio numa experiência, procura responder a Sagredo do seguinte modo:

"Salviati: Esta é uma das dificuldades que desde o início me fizeram pensar muito; mas pouco depois consegui removê-la graças à mesma experiência que, no momento, a suscita. Afirmas que a experiência parece mostrar que tão logo um grave sai do estado de repouso, alcança uma velocidade bastante considerável; de minha parte, afirmo que esta mesma experiência nos esclarece que os primeiros ímpetus do corpo que cai, por mais pesado que seja, são muito lentos e demorados. Coloquei um grave sobre uma matéria que cede, deixando-o exercer aí apenas a pressão de sua simples gravidade. É evidente que, se o elevarmos uma ou duas braças, deixando-o a seguir cair sobre aquela matéria, exercerá com o choque uma nova pressão, maior que aquela produzida apenas pelo seu peso; e o efeito será causado tanto pelo móvel em queda como pela velocidade adquirida na queda, efeito esse que será tanto maior quanto maior for a altura que precede o choque, ou seja, quanto maior for a velocidade do percurso. Deste modo, podemos conjecturar sem erro qual é a velocidade de um corpo que cai, a partir da qualidade e quantidade do choque. Mas disse-me: um maço que se deixa cair de uma altura de quatro braças sobre uma estaca enterrando-a, por exemplo, quatro dedos, se caísse de uma altura de duas braças, enterrá-la-ia muito menos, e menos, se caísse de uma braça e menos ainda de uma altura de um palmo; finalmente, se o elevássemos apenas um dedo, o que faria a mais do que se tivesse sido deixado sobre ela sem qualquer percussão? Sem dúvida alguma muito pouco; e o efeito seria totalmente imperceptível, se fosse elevado a uma altura equivalente à espessura de uma folha. Contudo, posto que o efeito

da percussão depende da velocidade do próprio percussor, quem duvidará que o movimento será lentíssimo e quase mínima a velocidade, onde o efeito de percussão é imperceptível? Podem agora ver a força da verdade, pois a mesma experiência, que num primeiro momento parecia mostrar uma coisa, melhor considerada assegura-nos do contrário. Todavia, sem ater-nos a esta experiência (que, sem dúvida alguma, é totalmente concludente), parece-me que não é difícil penetrar com um simples raciocínio nesta verdade. Tomemos uma pedra pesada, que está em repouso no ar; liberada do suporte e deixada em liberdade, por ser mais pesada que o ar, ela começa a descer, não com movimento uniforme, mas lentamente no início e depois acelerando-se continuamente. Dado que a velocidade pode aumentar e diminuir ao infinito, que razão me persuadirá de que este móvel, que parte de uma lentidão infinita (como é o repouso), alcance imediatamente dez graus de velocidade ao invés de quatro, e quatro ao invés de dois, de um, de meio, de um centésimo de grau? E, numa palavra, de todos os graus de velocidade menores no infinito? Escutai, por favor. Não acredito que recusais conceder-me que a aquisição dos graus de velocidade pela pedra que cai a partir do estado de repouso possa efetuar-se com a mesma ordem que a diminuição ou perda dos mesmos graus, se a pedra impelida por alguma força motriz fosse reconduzida à mesma altura; mas, sendo isso possível, não vejo como se possa colocar em dúvida que, ao diminuir a velocidade da pedra ascendente até extingui-la totalmente, ela possa chegar ao estado de repouso antes de passar por todos os graus de lentidão.

Simplicio: *Mas se os graus de lentidão cada vez maior são infinitos, nunca poderão extinguir-se totalmente; razão pela qual um grave ascendente nunca chegará ao repouso, mas se moverá infinitamente, cada vez mais devagar, coisa que não vemos acontecer.*

Salviati: É isso o que aconteceria, Sr. Simplicio, se o móvel se detivesse durante algum tempo em cada grau de velocidade; acontece, porém, que ele simplesmente passa sem demorar mais que um instante. E, posto que em todo intervalo¹⁵⁰ de tempo, por menor que seja, existem infinitos instantes, estes são suficientes para corresponder aos infinitos graus de velocidade que diminui. Que esse grave ascendente não permaneça durante algum intervalo de tempo num mesmo grau de velocidade, fica evidente do seguinte modo: se, fixado um intervalo de tempo determinado, no primeiro instante desse tempo e também no último, se encontrasse que o móvel tem um grau de velocidade, poderia, a partir deste segundo grau de velocidade, ser igualmente elevado por um espaço semelhante, da mesma maneira que do primeiro foi levado ao segundo e, pela mesma razão, passaria do segundo ao terceiro, para continuar finalmente seu movimento uniforme ao infinito."¹⁵¹

Para se ter uma ideia da dificuldade de compreender a nova concepção de física que estava nascendo com trabalhos análogos a este de Galileu é interessante citar um breve comentário de Koyré sobre o tal contínuo de velocidade e de tempo imaginados por Galileu; para compreender a posição de Galileu:

"(...) é preciso formar a noção de uma infinidade de graus de velocidade percorrida num tempo finito, e, para o fazer, é preciso formar a noção - inimaginável - de velocidade no instante, isto é, a noção de um movimento, por assim dizer, imóvel, de um movimento que parece renegar de certa maneira a sua afinidade com o tempo. Noutros termos, a noção de uma diferencial do movimento."¹⁵²

¹⁵⁰ Qauntum, segundo Alexandre Koyré.

¹⁵¹ Galileu Galilei, **op. cit.**, nota 126, págs. 128/130.

¹⁵² Alexandre Koyré, **op. cit.**, nota 125, págs. 178/179.

E Koyré prossegue afirmando que estando afastada a objeção infinitesimal, Galileu pode anunciar finalmente a sua definição de movimento uniformemente acelerado:

"Chamo movimento uniformemente, ou igualmente, acelerado ao movimento cujos momentos, ou graus de velocidade, aumentam, a partir do repouso, com o próprio crescimento do tempo a partir do primeiro instante do movimento."

Será que depois disso tudo Galileu se acalmou? Isto é, a aceitação dessa definição de movimento acelerado passou a ser a última palavra sobre o assunto? Só para dar um exemplo de oposição às idéias de Galileu sobre o movimento uniformemente acelerado basta a seguinte opinião de René Descartes:

"O que diz Galileu, que os corpos que descem passam por todos os graus de velocidade, não creio que aconteça assim ordinariamente, mas sim que não é impossível que aconteça algumas vezes (...)"¹⁵³

Ou ainda este outro argumento cartesiano:

"E quando se bate numa bola com uma maça, não creio que penseis que esta bola, no começo de se mover, vá menos depressa que a maça (...)"¹⁵⁴

Tanto Galileu, alguns anos antes, quanto Descartes até o final de sua vida, trabalhavam com uma concepção de movimento que não utilizava a variação temporal do movimento. Tanto um quanto outro cometiam o mesmo erro, apontado por Koyré nesse seu estudo. Isto é, Galileu e Descartes imaginavam que a velocidade de queda do grave era proporcional à distância percorrida pelo grave e não ao tempo gasto em percorrê-la.

Descartes não conseguiu nesta etapa, a mesma em que Galileu **temporaliza** a sua cinemática e a sua dinâmica, trabalhar com a física abstrata do movimento. Galileu, ao

¹⁵³ Citado por Alexandre Koyré, **op. cit.**, nota 125, pág. 180.

¹⁵⁴ Citado por Alexandre Koyré, **op. cit.**, nota 125, pág. 181.

contrário, trabalhava com esta parte ao confronto com o real. É a física arquimediana tomando a dianteira na parada. Ou a física inspirada nos físicos medievais, como Buridan e Oresme, como indicariam os estudos de Pierre Duhem.

Essa forma nova de pensar, no entanto, surge com força nos **Discursos**. Eis um exemplo do raciocínio galilaico, no seguinte teorema:

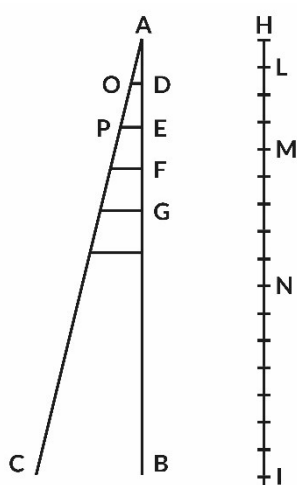


Figura 35

"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.

Representemos o tempo que tem início no instante A por meio da linha reta AB, na qual tomamos dois intervalos quaisquer de tempo AD e AE. Seja HI a linha segundo a qual o

móvel, partindo do repouso em H, cairá com um movimento uniformemente acelerado; seja HL o espaço percorrido durante o primeiro intervalo de tempo AD e HM o espaço percorrido durante o intervalo de tempo AE.

Afirmo que o espaço MH está para o espaço HL numa proporção dupla daquela que o tempo EA tem para o tempo AD; e podemos também afirmar que os espaços HM e HL têm a mesma proporção que os quadrados de EA e de AD. Tracemos a linha AC que forma um ângulo qualquer com a linha AB; e a partir dos pontos D e E tracemos as linhas paralelas DO e EP: se DO representa o grau máximo de velocidade adquirido no instante D do intervalo de tempo AD, PE representará, por definição, a velocidade máxima obtida no instante E do intervalo de tempo AE. Mas, conforme foi

demonstrado acima a propósito dos espaços percorridos, esses espaços são os mesmos, se um móvel, partindo do repouso, se move com um movimento uniformemente acelerado e se, durante um intervalo de tempo igual, ele se move com um movimento uniforme, cuja velocidade é a metade da velocidade máxima adquirida durante o movimento acelerado. Segue-se que as distâncias MH e LH são idênticas às que seriam percorridas nos intervalos de tempos AE e DA por movimentos uniformes, cujas velocidades seriam iguais à metade daquelas representadas por DO e EP. Se tiver, portanto, sido provado que as distâncias MH e LH estão na dupla proporção dos tempos EA e DA, a proposição terá sido provada. Na quarta proposição do livro primeiro foi demonstrado que os espaços percorridos por dois corpos com movimento uniforme estão entre si numa proporção que é igual ao produto da proporção das velocidades com a proporção dos tempos. Neste caso, porém, a proporção das velocidades é a mesma que a proporção dos tempos (uma vez que a proporção entre AE e AD é a mesma que a proporção entre a metade de EP e a metade de DO, ou entre PE e OD). Consequentemente, a proporção entre os espaços percorridos é a mesma que o quadrado da proporção entre os tempos; o que queríamos demonstrar."

Esta é finalmente a **lei da queda dos corpos** que permite a Galileu chegar ao seguinte corolário que, segundo Koyré, representa a "*sua maior vitória intelectual, porque submete o movimento, e portanto o tempo, à lei do número inteiro.*" Eis o corolário:

"Daí, segue-se claramente que, se a partir do primeiro instante do movimento fossem tomados sucessivamente intervalos de tempos iguais, como, por exemplo, AD, DE, EF, FG nos quais se percorrem os espaços HL, LM, MN, NI, estes espaços estariam entre si assim como os números ímpares a partir da unidade, a saber, 1, 3, 5, 7: esta é, com efeito, a

*proporção entre os excessos dos quadrados das linhas que se excedem igualmente, diferença essa que é igual à menor delas, ou seja, à proporção entre os quadrados dos números inteiros que se seguem à unidade. 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."*¹⁵⁵

Para finalizar esta resumida apresentação da construção da lei da queda dos graves por Galileu, segundo o historiador da ciência Alexandre Koyré que, é apenas uma das possíveis interpretações deste importante episódio da história da mecânica, mais uma breve citação do próprio Koyré:

*"É nessa intuição, na atenção constante e mantida ao caráter real do fenômeno que reside a razão que permite a Galileu evitar o erro de Descartes; e o seu próprio erro. O movimento é, antes de tudo mais, um fenômeno temporal. Passa-se no tempo. É, pois, em função do tempo que Galileu procurará definir a essência do movimento acelerado, e já não em função do espaço percorrido: o espaço é apenas uma resultante, um acidente, um sintoma de uma realidade essencialmente temporal."*¹⁵⁶

8.6. Galileu e o “argumento da torre”

Para os aristotélicos, o fato de os graves caírem segundo uma linha vertical, perpendicular à superfície da Terra como já tivemos a oportunidade de discutir inúmeras vezes, era a comprovação empírica de que a Terra não se move.

¹⁵⁵ Galileu Galilei, **op. cit.**, nota 126, pág. 138.

¹⁵⁶ Alexandre Koyré, **op. cit.**, nota 125, pág. 195.

Galileu, ao trabalhar com esse problema admitia como óbvio o conteúdo visível da observação da queda vertical dos corpos. Mas, ele afirmava que os sentidos, por si sós, podiam nos enganar. Vamos acompanhar uma fala de Sagredo, criticando o filósofo aristotélico Scipione Chiaramonti (1565-1652):

“Sagredo - Se eu pudesse encontrar-me alguma vez com esse filósofo, que me parece estar bem acima de muitos outros seguidores das mesmas doutrinas, em sinal de estima gostaria de lembrar-lhe um fenômeno que certamente ele já viu mil vezes, com o qual, em conformidade com isto que estamos tratando, pode-se compreender como outros podem facilmente enganar-se com a simples aparência, ou queremos dizer, representação dos sentidos. E o fenômeno é o de dar a impressão àqueles que de noite caminham por uma estrada de estarem sendo seguidos pela Lua com idêntico passo, enquanto a vêem rasar as pontes dos telhados sobre os quais ela lhes aparece, exatamente daquela maneira que faria uma gata que, realmente caminhando sobre as telhas, se mantivesse atrás deles; aparência de que, quando não interviesse o raciocínio, muito manifestamente enganar-se-ia a visão”¹⁵⁷

Portanto, Galileu sabia que a impressão dos sentidos, mediada pela razão, poderia levar a diferentes enunciados. O epistemólogo Paul Feyerabend, no qual me baseei para escrever este texto complementar afirmava que um fenômeno fornecido pelos sentidos é: **aparência mais enunciado**. E o enunciado é carregado de teoria não é neutro. Há, desse modo, uma forte unidade entre o enunciado e o fenômeno. É parte de um aprendizado que se inicia na infância e que comanda um processo de **operações mentais**. Os processos de ensino/aprendizagem delineiam e condicionam a **aparência** ou **fenômeno** estabelecendo forte conexão entre eles e as palavras que utilizamos. Daí acaba soando

¹⁵⁷ Galileu Galilei. Diálogo, op. cit, nota 141, págs. 338/339.

quase natural a descrição que fazemos dos mesmos. Como diz Feyerabend, "*os fenômenos parecem falar por si mesmos*".

*“A linguagem que **falam** está, naturalmente, influenciada pelas crenças de gerações anteriores, mantidas há tanto tempo que não mais parecem princípios separados, apresentando-se nos termos do discurso cotidiano e parecendo, após o treinamento natural exigido, brotar das próprias coisas.”*¹⁵⁸

Feyerabend denomina de **interpretações naturais** a origem e o efeito dessas operações mentais. Operações mentais que se mostram quase indissociáveis dos fatos, fenômenos ou aparências. Ele afirma que tais interpretações naturais ora são vistas como pressupostos a priori, como ocorria na filosofia de Kant, ora como preconceitos, lembrando o que propunha Bacon, que precisam ser evitados.

É claro que essas interpretações naturais não são as únicas nem tampouco definitivas. Elas também passam por um desenvolvimento histórico. Discutir o significado de uma aparência revelando sua falácia ou confirmando sua verdade, nada mais é que discutir a validade das interpretações naturais.

Feyerabend sugere que Galileu propôs uma discussão crítica promotora de novas interpretações naturais. A forma como Galileu teria construído seus diálogos, Presentes nas suas últimas obras, levaram-no exatamente à elaboração dessas novas interpretações naturais que dão a impressão de sempre terem existido, como se fossem reminiscências.

*“(...) a atitude de Galileu é relativamente fácil de caracterizar: as interpretações naturais são **necessárias**. Os sentidos puros, desajudados da razão, não nos proporcionam verdadeira compreensão da natureza. Necessários para chegarmos a essa compreensão verdadeira são os “sentidos, **acompanhados pela razão**” (Galileu no **Diálogo**)”*¹⁵⁹

¹⁵⁸ FEYERABEND, Paul. **Contra o método**, Ed. Francisco Alves, Rio de Janeiro, 1977, p. 107.

¹⁵⁹ Paul Feyerabend, **op.cit**, nota 158, pág. 108.

Para os aristotélicos o movimento de queda de um grave é “retilíneo e vertical”. Para Copérnico e seus seguidores esse mesmo movimento é “a um tempo, retilíneo e circular”. Ambas as afirmações são baseadas em argumentos nascidos da observação, isto é, tanto os aristotélicos quanto os copernicanos falam a linguagem do **movimento real**.

Ao se aceitar a concepção de movimento real dos aristotélicos, o pensamento de Copérnico é refutado. É dessa forma que se colocava o problema para Galileu: o pensamento comum, ou dominante no século XVII, apontava para o **caráter operativo** de todo movimento. Ou seja, todo movimento era considerado, por esse pensamento dominante como absoluto.

Obviamente há situações em que o movimento ilusório é patente, como é o caso do exemplo do movimento da Lua, anteriormente mencionado. Porém, há situações que já se configuram como casos paradigmáticos em que “*é psicologicamente muito difícil ou mesmo impossível admitir engano*”. É esse tipo de situação que aprendemos desde a infância. O movimento da pedra, utilizado no **argumento da torre**, é um dos exemplos típicos:

“Como poderíamos deixar de perceber o rápido movimento da grande porção de matéria que se supõe a Terra seja? Como poderia escapar-nos o fato de que a pedra, caindo, percorre ampla trajetória no espaço? Do ponto de vista do pensamento e da linguagem do século XVII, o argumento é, portanto, impecável e conveniente.”¹⁶⁰

Para sair desse enredo, que coloca obstáculos para uma nova teoria, é necessário apelar para alguma espécie de “*medida externa de comparação*” que inclui novos modos de relacionar conceitos e dados de percepção. Galileu teria introduzido, segundo Feyerabend, uma nova forma de relacionar teoria e fatos observados.

¹⁶⁰ Paul Feyerabend **op. cit**, nota 158, pág. 110.

Galileu introduziu uma nova interpretação natural, a de que o **movimento compartilhado** não seria perceptível, isto é, não conseguiríamos perceber o movimento da Terra assim como não percebemos o movimento circular de uma pedra caindo, pois compartilhamos do mesmo movimento.

Assim, Galileu dava realidade apenas ao **movimento relativo**. Desta forma Galileu introduzia uma “nova linguagem de observação” e a sua concepção de **relatividade**.

Um diálogo ente os personagens de Galileu, onde é explicitada uma situação envolvendo o conceito não-operativo de movimento serve de exemplo:

"Salviati: Imaginai agora estar num navio e ter fixado o olho na ponta do mastro: acreditais que, porque o navio se movesse também velocissimamente, ser-vos-ia necessário mover o olho, para manter a vista sempre no ponta do mastro e seguir o seu movimento?"

"Simplício: Tenho certeza de que não seria preciso fazer nenhuma mudança, e que não somente a vista, mas, quando eu tivesse ajustado a mira de um arcabuz, qualquer que fosse o movimento do navio, jamais seria preciso movê-lo um só fio de cabelo para mantê-la ajustada.

"Salviati: E isso acontece porque o movimento que o navio confere ao mastro confere-o também a vós e a vosso olho, de modo que não vos convém movê-lo para olhar a ponta do mastro; e, conseqüentemente, ela aparece-vos imóvel".¹⁶¹

¹⁶¹ Galileu Galilei. **Diálogo**, op. cit. nota 141, págs. 331/312.

Capítulo 9 – Galileu e Kepler: aspectos pedagógicos e literários

9.1. Alguns aspectos histórico/pedagógicos

Em geral os livros didáticos não apresentam um quadro histórico que permita conhecer os principais antecedentes que levaram à formulação de determinadas teorias científicas, tanto do ponto de vista conceitual quanto do ponto de vista metodológico.

Quando os livros didáticos se aventuram a oferecer uma apresentação histórica, via de regra esta é distorcida, isto é, apresenta-se uma reconstrução histórica que propicia a apresentação de um desenvolvimento linear e cumulativo da construção do conhecimento científico, como muito apropriadamente ressaltou Thomas Kuhn.

Para ilustrar essa prática dos livros didáticos, vou tomar duas breves citações de um livro largamente utilizado no ensino básico universitário de física. Trata-se do livro **Física**, de dois autores norte-americanos, Halliday e Resnick.

Sobre o sistema heliocêntrico é dito que:

"(...) No século XVI Copérnico sugeriu que uma descrição mais simples dos movimentos celestes poderia ser dada assumindo que o Sol estava em repouso no centro do universo. Na teoria Copernicana ou heliocêntrica, a Terra era um planeta girando em torno de seu eixo e orbitando em torno do Sol, e os outros planetas possuíam movimentos similares. A crescente controvérsia sobre as duas teorias (geocêntrica e heliocêntrica) estimulou os astrônomos a obter dados observacionais mais acurados. Tais dados foram compilados por Tycho Brahe (1546-1601), que foi o último grande astrônomo a fazer observações sem o uso do telescópio. Seus dados sobre os movimentos planetários foram analisados e interpretados durante cerca de vinte anos por Johannes Kepler (1571-1630), que foi assistente de Brahe (...)"¹⁶²

¹⁶² HALLIDAY, D.;e RESNICK, R. **Physics**. J. Willey, 1963, págs. 319/320.

A inexistência desse trecho "histórico" nesse livro didático seria mais valiosa pois, além de não fornecer elementos que permitam uma avaliação do processo de criação envolvido, distorce alguns fatos significativos: não menciona o heliocentrismo grego, afirma que o sistema de Copérnico é mais simples, deixa a impressão de que Tycho era Copernicano.

Esse mesmo texto, numa nota de rodapé, chega a afirmar que Galileu inventou o telescópio...

Quanto à questão da **simplicidade** do sistema copernicano já tratei desse tema quando citei um interessante comentário do filósofo Hugh Lacey¹⁶³.

No mesmo livro encontramos o seguinte comentário a respeito de Galileu:

"(...) Aristóteles afirmava que "o movimento de queda (...) de qualquer corpo provido de peso é mais rápido em proporção ao seu tamanho". A autoridade de Aristóteles foi seriamente ameaçada apenas muitos séculos depois, quando Galileu Galilei (1564-1642), um cientista italiano da Renascença, apelou para a experiência para descobrir a verdade, e então publicamente proclamou-a (...) "¹⁶⁴

E mais adiante, ao enunciar a **primeira lei de Newton**, é feita uma apresentação como se Galileu tivesse se baseado apenas em experiências, com o plano inclinado e superfícies horizontais cada vez mais lisas, para formular o **princípio da inércia**. Este princípio, aprende-se nessa obra, *representa uma generalização da experiência*. Veremos mais adiante que essa história é bem mais complexa e interessante que isso.

Não quero iniciar aqui uma polêmica sobre o papel da experimentação na construção do conhecimento em física. Que a física seja um empreendimento teórico e experimental não há dúvida alguma. Agora, que as teorias sejam construídas tão somente a partir de experimentações não é algo que possa ser aceito sem discussão. Embora a

¹⁶³ Nestas **Notas de aula**, pág. 67.

¹⁶⁴ D. Halliday e R. Resnick, **op. cit.**, nota 162, pág. 40.

visão positivista tenha perdido espaço na discussão filosófica sobre o desenvolvimento do conhecimento científico, ela é ainda bastante dominante na forma como a física é apresentada nos livros didáticos.

Embora a posição do historiador da ciência francês Alexandre Koyré seja contestada por outros historiadores, entre eles Stillman Drake, é interessante conhecer sua opinião a respeito de experiência e experimentação. Dizia ele:

*"Falou-se também frequentemente do papel da experiência, do nascimento de um "sentido experimental". E, sem dúvida, o caráter experimental da ciência clássica forma um dos seus traços mais característicos. Mas, de fato, trata-se de um equívoco: a experiência, no sentido de experiência bruta, de observação do senso comum, não desempenhou qualquer papel, a não ser o de obstáculo, no nascimento da ciência clássica; e a física dos nominalistas parisienses - e mesmo a de Aristóteles - estava frequentemente, bem mais próxima dela do que a de Galileu. Quanto à experimentação - interrogação metódica da natureza - ela pressupõe quer a linguagem na qual faz as suas perguntas, quer um vocabulário que permita interpretar as respostas."*¹⁶⁵

O historiador da física Stillman Drake discorda dessa interpretação radicalmente idealista de Koyré. Ele estudou manuscritos não publicados de Galileu onde este descrevia medidas efetuadas sobre a queda dos corpos, por exemplo, fundamentais para elaborar suas conclusões sobre o movimento e suas leis. O estranho em tudo isso é que Galileu tenha omitido essas medidas quando da publicação de suas últimas duas grandes obras já citadas. De qualquer forma fica claro que Drake tem boas razões para argumentar e defender a base experimental dos trabalhos de Galileu.¹⁶⁶

¹⁶⁵ Alexandre Koyré. **op. cit.**, nota 125, pág. 16.

¹⁶⁶ DRAKE, Stillman. **Galileo at Work: His Scientific Biography**. The University of Chicago Press, Chicago and London, 1978.

9.2. Homenagem de um poeta e professor português a Galileu

Mais um breve parêntesis: como vínhamos tratando das contribuições de Galileu Galilei para o estudo do movimento, lembrei-me de um poema escrito por um professor de física/poeta português, Antonio Gedeão. Aí vai a poesia que, creio eu, pode ser utilizada para alimentar uma boa discussão em torno da figura de Galileu, sua relação com o conhecimento tradicional de sua época e de suas contribuições ao conhecimento científico:

*"Estou olhando o teu retrato, meu velho pisano,
aquele teu retrato que toda gente conhece,
em que a tua bela cabeça desabrocha e floresce
sobre um modesto cabeção de pano.*

*Aquele retrato da Galeria do Ofícios da tua velha Florença.
(Não, não, Galileu! Eu não disse Santo Ofício.
Disse Galeria dos Ofícios).
Aquele retrato da Galeria dos Ofícios da requintada Florença.
Lembras-te? A Ponte Vecchio, a Loggia, a Piazza della Signoria ...
Eu sei... Eu sei...
As margens doces do Arno às horas pardas da melancolia.
Ai que saudades, Galileu Galilei!
Olha. Sabes? Lá na Florença
está guardado um dedo da tua mão direita num relicário.
Palavra de honra que está!
As voltas que o mundo dá!
Se calhar até há gente que pensa
que entraste no Calendário.*

*Eu queria agradecer-te, Galileu,
A inteligência das coisas que me deste.
Eu,
e quantos milhões de homens como eu
a quem tu esclareceste,
ia jurar - que disparete, Galileu!
- e jurava a pés juntos e apostava a cabeça
sem a menor hesitação -
que os corpos caem tanto mais depressa
quanto mais pesados são.
Pois não é evidente, Galileu?
Quem acredita que um penedo caia
com a mesma rapidez que um botão de camisa ou que um seixo da praia?*

Esta era a inteligência que Deus nos deu.

*Estava agora a lembrar-me, Galileu,
daquela cena em que tu estavas sentado num escabelo
e tinha à tua frente
um friso de homens doutos, hirtos, de toga e de capelo
a olharem-te severamente.
Estavam todos a ralhar contigo,
que parecia impossível que um homem da tua idade
e da tua condição,
se estivesse tornando um perigo
para a Humanidade
e para a Civilização.*

*Tu, embaraçado e comprometido, em silêncio mordiscavas os lábios,
e percorrias, cheio de piedade,
os rostos impenetráveis daquela fila de sábios.*

*Teus olhos habituados à observação dos satélites e das estrelas,
desceram lá das suas alturas
e poisaram, como aves aturdidas - parece-me que estou a vê-las -,
nas faces grávidas daquelas reverendíssimas criaturas.*

*E tu foste dizendo a tudo que sim, que sim senhor, que era tudo tal qual
conforme suas eminências desejavam,
e dirias que o Sol era quadrado e a Lua pentagonal
e que os astros bailavam e entoavam
à meia-noite louvores à harmonia universal.*

*E juraste que nunca mais repetirias
nem a ti mesmo, na própria intimidade do teu pensamento, livre e calma,
aquelas abomináveis heresias
que ensinavas e escrevias
para eterna perdição da tua alma.*

Ai, Galileu!

*Mal sabiam os teus doutos juízes, grandes senhores deste pequeno mundo,
que assim mesmo, empertigados nos seus cadeirões de braços,
andavam a correr e a rolar pelos espaços
à razão de trinta quilômetros por segundo.*

Tu é que sabias, Galileu Galilei.

*Por isso eram teus olhos misericordiosos,
por isso era teu coração cheio de piedade,*

*piedade pelos homens que não precisam de sofrer, homens ditosos
 a quem Deus dispensou de buscar a verdade.*

*Por isso, estoicamente, mansamente,
 resististe a todas as torturas,
 a todas as angústias, a todos os contratempos,
 enquanto eles, do alto inacessível das suas alturas,
 foram caindo,
 caindo,
 caindo,
 caindo sempre,
 e sempre,
 ininterruptamente,
 na razão direta dos quadrados dos tempos."¹⁶⁷*

9.3. Kepler e a ficção científica

Encontramos, num ramo literário até há muito pouco tempo considerado um ramo menor da literatura, a ficção científica, muitos exemplos de textos que podem também ser utilizados na ponte entre a física e a literatura, a exemplo do que estudamos brevemente no capítulo 6.

Alguns historiadores destacam o papel de Johannes Kepler também neste campo, situando sua obra **Somnium seu Astronomia Lunari (Sonho ou Astronomia da Lua)** como um dos primeiros trabalhos de ficção científica. **O Sonho** foi publicado, ainda como um fragmento, em 1634.

¹⁶⁷ GEDEÃO, Antonio. **Poema a Galileu**. Revista de Ensino de Física, vol.1, nº 1, jan/79, págs. 61/63.

No começo do século XVII, nos intervalos do seu trabalho sobre o movimento dos planetas, Kepler iniciara a escrita desse seu sonho, sonho de uma viagem à Lua, com a descrição do movimento dos corpos celestes a partir da visão de um suposto habitante da Lua. Aparentemente, ele teria se inspirado num trabalho de Plutarco, **A face da Lua**, que Kepler anexa ao seu Sonho, quando de sua publicação. Por cerca de duas décadas, de tempos em tempos, ele voltava a escrever algo mais nesse seu manuscrito. Como destaca um dos mais importantes biógrafos de Kepler, Max Caspar, é difícil separar o que seria seu pensamento poético de suas convicções científicas a respeito do nosso satélite natural. Além de descrever a astronomia da Lua, ele apresenta a geografia da Lua, uma descrição de suas cidades, a natureza de seus habitantes com seus hábitos e moradias, seus mares e pântanos, seu mundo animal e vegetal, entre outros.¹⁶⁸

Na parte mais próxima da ficção científica moderna, Kepler afirma que a viagem à Lua deveria ser empreendida durante um eclipse do satélite e que sua duração seria de cerca de quatro horas. Essa viagem só seria possível graças à mãe de um menino de catorze anos, que tem poderes para dialogar com os demônios - provavelmente uma referência à sua própria mãe-, que consegue convencer os espíritos a levar alguns mortais à Lua. Arthur Koestler, no seu livro **Os sonâmbulos**, outro exemplo digno de relação entre a Física e a literatura, reproduz o seguinte trecho da chegada à Lua:

"O choque inicial [de aceleração] é o pior, pois o viajante é atirado para cima como numa explosão de pólvora (...) Deve, portanto, ser entorpecido por narcóticos, tendo os membros cuidadosamente protegidos para não serem arrancados e para que o recuo se distribua por todas as partes do corpo. Encontrará, então, novas dificuldades, um frio imenso e uma respiração inibida (...) Quando a primeira parte da viagem estiver terminada, será mais fácil, porque em jornada tão longa o corpo escapa

¹⁶⁸ CASPAR, Max. **Kepler**. Dover Publications, New York, 1993, págs. 351/353. (Original alemão de 1948.)

*indubitavelmente à força magnética da terra e penetra na da Lua, de modo que esta vence. A essa altura, deixamos os viajantes livres e entregues aos seus próprios expedientes; como aranhas, esticar-se-ão e contrair-se-ão, e avançarão com as próprias forças, porque, visto que tanto a força magnética da terra como a da Lua atraem o corpo e o mantêm suspenso, o efeito é como se nenhuma delas o atraísse. No fim, a sua massa, por si própria, se voltará para a Lua."*¹⁶⁹

Notamos nesse trecho do **Sonho** que, coerente com o que já anunciara em 1609 na sua **Astronomia Nova**, Kepler não só menciona a ideia próxima do conceito de gravitação universal, como chega a imaginar a existência de regiões de gravidade zero.

Koestler indica que, logo após a chegada dos viajantes à Lua, são apresentadas descrições de pormenores lunares, como já fora indicado por Max Caspar. Por exemplo, é dito que o dia lunar, do nascer ao por do Sol, dura cerca de quinze dias, o mesmo ocorrendo com a noite, isto é, a Lua demoraria cerca de trinta dias para completar uma volta em torno do seu eixo, o mesmo que gasta para uma revolução completa em torno da Terra. Como consequência, "*mostra sempre a mesma face à Terra*".¹⁷⁰

Eis mais alguns trechos do **Sonho**, citados por Arthur Koestler:

"O crescimento é rápido; tudo vive pouco porque tudo se desenvolve em tão enorme massa corpórea (...) O crescimento e a decadência se fazem num único dia. (...) Os prevolvanos [habitantes da face oculta da Lua com relação à Terra] não possuem habitações fixas nem seguras; num só dia atravessam em hordas todo o seu mundo, seguindo as águas vazantes em pernas mais longas que as dos nossos camelos, ou em asas, ou em navios. (...) Os que ficam na superfície fervem com o Sol do meio dia e servem de alimento às hordas nômades que se aproximam (...) Outros, não podendo

¹⁶⁹ KEPLER, Johannes. **Sonho**. Citado por Arthur Koestler, **op. cit.** nota 12, pág. 289.

¹⁷⁰ Idem, pág. 290.

*viver sem respirar, retiram-se para cavernas servidas de água por estreitos canais, de modo que a água pode gradativamente esfriar-se no longo percurso, e eles a bebem; mas quando chega a noite, saem para caçar."*¹⁷¹

E Koestler, como numa avaliação dessa obra, mescla de ciência com ficção científica, afirma o seguinte:

*"Toda a obra de Kepler, e todos os seus descobrimentos, foram atos de catarse; nada mais justo que o derradeiro terminasse com um floreio fantástico."*¹⁷²

Certamente o **Sonho**, de Kepler, deve ter inspirado muitas obras de ficção científica, especialmente aquelas dedicadas a viagens à Lua como, entre outras, as de Júlio Verne e H. G. Wells.

9.4. Uma avaliação da obra de Galileu, por Italo Calvino

Dada a relevância da análise literário/filosófica efetuada, reproduzo a seguir um capítulo do livro **Por que ler os clássicos**, do escritor italiano, várias vezes já mencionado neste texto, Italo Calvino

"O livro da natureza em Galileu

A metáfora mais famosa da obra de Galileu - e que encerra em si o nó da nova filosofia - é o livro da natureza escrito em linguagem matemática.

"A filosofia está escrita nesse imenso livro que continuamente se acha aberto diante de nossos olhos (falo do universo), mas não se pode entender se antes não se aprende a compreender a língua, e conhecer os caracteres nos quais está escrito. Ele vem escrito em linguagem matemática e os caracteres são triângulos, círculos e outras figuras

¹⁷¹ J. Kepler. **Sonho**. Citado por A. Koestler, **op. cit.**, nota 12, pág. 290.

¹⁷² A. Koestler, **op. cit.**, nota 12, pág. 291.

geométricas, sem as quais é impossível para os homens entender suas palavras; sem eles é rodar em vão por um labirinto escuro."(*Saggiatore*¹⁷³, 6)

*A imagem do livro do mundo já possuía uma longa história antes de Galileu, dos filósofos da Idade Média a Nicolas de Cues, a Montaigne, e era usada por contemporâneos de Galileu como Francis Bacon e Tommaso Campanella. Nas poesias de Campanella, publicadas um ano antes do **Saggiatore**, existe um soneto que começa com estas palavras: "O mundo é o livro em que a inteligência eterna escreve os próprios conceitos".*

*Já na **Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari** (1613), ou seja, dez anos antes do **Saggiatore**, Galileu opunha a leitura direta (livro do mundo) à indireta (livros de Aristóteles). Essa passagem é muito interessante, pois Galileu aí descreve a pintura de Arcimboldo, com juízos críticos que valem para a pintura em geral (e testemunham suas ligações com artistas florentinos como Ludovico Cigoli), e sobretudo com reflexões sobre a análise combinatória que podem ser aproximadas daquelas que serão lidas mais adiante.*

"Restam somente em contradição alguns severos defensores de cada minúcia peripatética, os quais, daquilo que posso compreender, educados e nutridos desde a primeira infância de seus estudos nesta opinião que o filosofar não seja, nem possa ser outra coisa senão fazer grande práticas sobre os textos de Aristóteles, e assim prontamente e em grande número possam acorrer de diferentes lugares e juntar-se para examinar algum problema proposto, não querem mais saber de levantar os olhos daqueles papéis como se esse

¹⁷³ Livro Publicado em 1623.

grande livro do mundo não fosse escrito pela natureza para ser lido por outros, a não ser por Aristóteles, e que seus olhos tivessem que ver por toda a posteridade. Esses, que se sujeitam a leis tão estritas, me fazem lembrar certas obrigações, às quais às vezes de brincadeira se restringem os caprichosos pintores, em querer representar um rosto humano ou outras figuras com a junção ora de instrumentos agrícolas ora somente de frutas ou de flores desta ou daquela estação, cujas bizarrices, embora propostas como divertimento, são belas e agradáveis, e mostram maior perspicácia nesse artífice do que naquele, conforme ele tenha sabido mais adequadamente escolher e aplicar isto ou aquilo à parte imitada; mas, se alguém, talvez por ter consumido todos os seus estudos em semelhante maneira de pintar, quisesse depois universalmente concluir que qualquer outro modo de pintar seria imperfeito e criticável, certamente Cigoli e outros pintores ilustres ririam dele."

*A contribuição mais nova de Galileu à metáfora livro-mundo é a atenção ao seu alfabeto especial, aos "caracteres nos quais está escrito". Pode-se então precisar que a verdadeira relação metafórica se estabelece, mais do que entre mundo e livro, entre mundo e alfabeto. Conforme esta passagem do **Diálogo sopra i due massimi sistemi del mondo** (segunda jornada), o alfabeto é que é o mundo:*

"Tenho um pequeno livro que é menor que o de Aristóteles e de Ovídio, no qual estão contidas todas as ciências, e com pouquíssimos outros estudos se pode formar uma idéia bem perfeita: e isso é o alfabeto; e não há dúvida de que aquele que souber combinar e ordenar bem esta e aquela vogal com essas e aquelas outras consoantes obterá respostas muito verdadeiras para todas as dúvidas e daí extrairá os ensinamentos de todas as ciências e de todas as artes,

justamente daquela maneira que o pintor partindo de simples cores diferentes, separadamente colocadas sobre a tela, vai, com a mistura de um pouco desta com um pouco daquela e de outra mais, figurando homens, plantas, fábricas, pássaros, peixes e, em suma, imitando todos os objetos visíveis, sem que na tela apareçam nem olhos nem penas nem escamas nem folhas nem seixos: antes é necessário que nenhuma das coisas a serem imitadas ou certas partes delas estejam atualmente entre as cores, querendo que com elas possam ser representadas todas as coisas, e que, se aí estivessem, por exemplo, penas, estas só serviriam para pintar pássaros ou penachos."

*Quando fala do alfabeto, Galileu pretende, portanto, um sistema combinatório em condições de dar conta de toda a multiplicidade do universo. Também aqui vemos Galileu introduzir a comparação com a pintura: a combinação das letras do alfabeto é o equivalente da combinação das cores na tela. Notar-se-á que se trata de uma combinação num nível diferente daquela da pintura de Arcimboldo na citação precedente: uma combinação de objetos já dotados de significados (quadro de Arcimboldo, **collage** ou **assemblage** de penas, centenas de citações aristotélicas) não pode representar a totalidade do real; para chegar até aí é preciso recorrer a uma combinação de elementos mínimos, como as cores simples ou as letras do alfabeto.*

*Numa outra passagem do **Diálogo** (no final da primeira jornada) que faz o elogio das grandes invenções do espírito humano, o lugar mais elevado toca ao alfabeto. Aqui de novo se fala de combinação e também de rapidez de comunicação: outro tema, o da rapidez, importantíssimo em Galileu:*

"Mas sobre todas invenções estupendas, que eminência de mente foi aquela de quem imaginou encontrar modo de comunicar seus próprios pensamentos mais recônditos a qualquer outra pessoa,

mesmo que distante por enorme intervalo de lugar e de tempo? falar com aqueles que estão na Índia, falar com aqueles que ainda não nasceram e só nascerão dentro de mil ou 10 mil anos? e com que facilidade? Com as várias junções de vinte pequenos caracteres num pedaço de papel. Seja este o segredo de todas as admiráveis invenções humanas."

*Se relermos a passagem do **Saggiatore** que citei no início à luz do que acaba de ser transcrito, entenderemos melhor como para Galileu a matemática e sobretudo a geometria têm uma função de alfabeto. Este ponto é explicitado numa carta de janeiro de 1641 (um ano antes de sua morte) a Fortunio Liceti.*

"Mas eu considero de fato que o livro da filosofia é aquele que está perpetuamente aberto diante de nossos olhos; mas, porque se encontra escrito com caracteres diferentes daqueles do nosso alfabeto, não pode ser lido por todos: e são os caracteres de tal livro triângulos, quadrados, círculos, esferas, cones, pirâmides e outras figuras matemáticas, perfeitamente adequadas para tal leitura."

Pode-se observar que, em sua enumeração das figuras, Galileu, mesmo tendo lido Kepler, não fala de elipses. Porque em sua análise combinatória deve partir das formas mais simples? Ou porque sua batalha contra o modelo ptolomaico ainda se joga no interior de uma idéia clássica de proporção e perfeição da qual o círculo e a esfera permanecem como as imagens soberanas?

*O problema do alfabeto do livro da natureza está ligado ao da "nobreza" das formas, como se vê nesta passagem da dedicatória **do Diálogo sopra i due massimi istemi** ao grão-duque da Toscana:*

."Quem olha mais alto, se diferencia mais altamente; e voltar-se para o grande livro da natureza, que é o próprio objeto da filosofia, é o modo para erguer os olhos: livro no qual, embora tudo aquilo que se lê, como obra do Artífice onipotente, seja por isso extremamente proporcionado, aquele mesmo assim é mais expedito e mais digno, onde maior, em nossa opinião, parece a obra e o artifício. A constituição do universo, dentre os naturais apreensíveis, no meu entender, pode ser colocada em primeiro lugar: pois se aquela, como contentora universal, em grandeza supera tudo o mais, como regra e manutenção de tudo deve também ser superior em nobreza. Porém, se a ninguém jamais tocou em excesso diferenciar-se pelo intelecto dos outros homens, Ptolomeu e Copérnico foram aqueles que tão elevadamente leram, se fixaram e filosofaram sobre a constituição do mundo."

*Um quesito que Galileu se coloca várias vezes para ironizar o velho modo de pensamento é o seguinte: as formas geométricas regulares devem ser consideradas mais **nobres**, mais **perfeitas** que as formas naturais empíricas, acidentadas, etc. É sobretudo a propósito das irregularidades da Lua que a questão é discutida: existe uma carta de Galileu para Gallanzone Gallanzoni inteiramente dedicada ao tema; mas bastará citar a passagem do **Saggiatore** 38:*

"E eu, quanto a mim, não tendo nunca lido as crônicas e as nobrezas particulares das figuras, não sei quais delas são mais ou menos nobres., mais ou menos perfeitas; mas creio que todas sejam antigas e nobres de algum modo ou, melhor dizendo, que quanto a elas próprias não são nem nobres nem perfeitas, nem ignóbeis e imperfeitas, senão enquanto para erguer paredes creio que as quadradas sejam mais perfeitas que as esféricas, mas para fazer rolar

ou conduzir carroças sejam mais indicadas as redondas que as triangulares. Mas, voltando a Sarsi, ele diz que eu lhe ofereço inúmeros argumentos para provar a aspereza da superfície côncava do céu, porque eu próprio quero que a Lua e os outros planetas (corpos também eles ainda celestes e bastante mais que o próprio céu nobres e perfeitos) sejam de superfície montanhosa, áspera e irregular; e, se isso é, por que não se deve dizer que tal desigualdade se encontra ainda na figura celeste? Aqui pode o próprio Sarsi dar como resposta aquilo que ele responderia a alguém que lhe quisesse provar que o mar deveria estar cheio de espinhas e de escamas, pois assim são as baleias, os atuns e os outros peixes que o habitam."

Enquanto partidário da geometria, Galileu deveria apoiar a causa da superioridade das formas geométricas, mas enquanto observador da natureza ele recusa a idéia de uma perfeição abstrata e opõe a imagem da Lua "montanhosa, áspera e desigual" à pureza dos céus da cosmologia aristotélico-ptolomaica.

*Por que uma esfera (ou uma pirâmide) deveria ser mais perfeita que uma forma natural, por exemplo, a de um cavalo ou de um gafanhoto? A questão é recorrente em todo o **Diálogo sopra i due massimi sistemi**. Nesta passagem da segunda jornada voltamos a encontrar a comparação com o trabalho do artista, aqui o escultor: "Contudo, gostaria de saber se a mesma dificuldade se encontra ao representar um sólido de qualquer outra figura, isto é, para explicar melhor, se maior dificuldade se encontra em querer reduzir um pedaço de mármore à figura de uma esfera perfeita do que a uma perfeita pirâmide ou a um perfeito cavalo ou então a um perfeito gafanhoto".*

*Uma das páginas mais belas e importantes do **Diálogo** (primeira jornada) é o elogio da Terra como objeto de alterações, mutações, gerações.*

Galileu evoca com espanto a imagem de uma Terra de jaspe, de uma Terra de cristal, de uma Terra incorruptível, como petrificada pela Medusa.

"Não posso sem grande admiração, e direi grande repugnância para meu intelecto, ouvir atribuições de grande nobreza e perfeição aos corpos celestes e integrantes do universo por serem impassíveis, imutáveis, inalteráveis, etc., e ao contrário considerar grande imperfeição ser alterável, capaz de gerar, mutável, etc.: julgo a Terra nobilíssima e admirável pelas tantas e tão diversas alterações, mutações, gerações, etc. que nela incessantemente ocorrem; e quando, sem estar sujeita a nenhuma mutação, ela fosse toda uma vasta solidão de areia ou massa de jaspe ou que, no tempo do dilúvio, congelando-se as águas que a cobriam se transformasse num globo de cristal, onde não nascesse nem se alterasse ou mudasse coisa nenhuma, eu a consideraria um corpanzil inútil no mundo, cheio de ócio e, para usar poucas palavras, supérfluo e como se não estivesse na natureza e não faria diferença entre estar viva ou morta; e o mesmo digo sobre a Lua, Júpiter e todos os outros globos do mundo. [...] Esses que tanto exaltam a incorruptibilidade, a inalterabilidade, etc. creio que se reduzem a dizer tais coisas pelo grande desejo de viver muito e pelo terror que têm da morte; e não consideram que, quando os homens fossem imortais não lhes tocaria vir ao mundo. Estes mereceriam encontrar-se numa cabeça de Medusa, que os transformasse em estátua de jaspe ou de diamante, para tornar-se mais perfeitos do que são."

Se associarmos o discurso sobre o alfabeto do livro da natureza a este elogio das pequenas alterações, mutações, etc. vemos que a verdadeira oposição se situa entre imobilidade e mobilidade, e é contra uma imagem de inalterabilidade da natureza que Galileu toma partido, evocando a

*carranca de Medusa. (A mesma imagem e argumento já se achavam presentes no primeiro livro astronômico de Galileu, **Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari.**) O alfabeto geométrico ou matemático da natureza será aquele que, baseando-se em sua capacidade de ser decomposto em elementos mínimos e de representar todas as formas do movimento e da mudança, cancela a oposição entre céus imutáveis e elementos terrestres.*

*A dimensão filosófica desta operação está bem ilustrada por esta fala do **Diálogo** entre o ptolomaico Simplicio e Salviati, porta-voz do autor, em que retorna o tema da "nobreza":*

*"SIMP.: Este modo de filosofar tende à subversão de toda a filosofia natural e a desordenar e arruinar o céu, a Terra e todo o Universo. Mas acredito que os fundamentos dos peripatéticos sejam tais que não há perigo de que com a ruína eles possam construir novas ciências.
SALV.: Não se preocupe com o céu nem com a Terra, nem tema sua subversão, como tampouco da filosofia; porque, quanto ao céu, é vão que temam aquilo que vocês mesmos consideram inalterável e impassível; quanto à Terra, tratamos de nobilitá-la e aperfeiçoá-la, enquanto procuramos fazê-la semelhante aos corpos celestes e de certo modo colocá-la quase no céu, de onde os seus filósofos a expulsaram." (1985)¹⁷⁴*

Temos, nesse breve texto de Italo Calvino, uma avaliação da harmonia geométrica presente nos trabalhos de Galileu. Não deixa de ser uma análise que posiciona o físico italiano no campo filosófico ocupado pelos filósofos pitagóricos. Essa questão da mate-

¹⁷⁴ CALVINO, Italo. **Por que ler os clássicos**. Companhia das Letras, São Paulo, 1994, págs. 89/95. (Original italiano de 1991).

matização da física, e principalmente de sua geometrização, ganha, assim, uma dimensão que extravasa os limites da Física, aproximando-a do uso da geometria e da análise combinatória em atividades plásticas, como a pintura e a escultura, escolhidos como comparação por Calvino. É uma análise que não se limita ao nascimento da física clássica, estando presente também na avaliação da ciência contemporânea.