Caderno de Física da UEFS

https://doi.org/10.13102/cad.fs.uefs.v21i02.10412

Cad. Fís. UEFS, *24*(01):1603.1-27, **2026**

OPEN ACCESS

ARTIGO DE PESQUISA

A Ciência de Galileo e o rompimento das concepções aristotélico-ptolomaicas: prelúdio da Ciência Moderna

Galileo's science and the break with Aristotelian Ptolemaic conceptions: a prelude to Modern Science

Santos, M. E. A[1] e M. S. R., Miltão[2]

[1]*Colegiado de Filosofia, Universidade Estadual de Feira de Santana, adorno.elayne@gmail.com*

[2]*Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, miltaaao@uefs.br*

Resumo: No presente artigo haverá uma descrição do contraste entre a ciência aristotélico-ptolomaica e a desenvolvida por Galileu, na qual serão pontuados os elementos mais importantes da Ciência Moderna, mais precisamente dando-se ênfase às características epistemológicas da experimentação, observação e a utilização de instrumentos como ampliação de sentidos, no qual configura-se um método descoberto por Galileu e perpetuado na História da Ciência. Como fundamento dessas inovações, há a reflexão a respeito de sua posição contra a concepção do mundo da época através de dois importantes feitos que ele fez: a observação de corpos celestes com a luneta e a experiência do plano introduzido para a demonstração da constância do movimento. Nesse ínterim, haverá também uma discussão sobre o método científico de Galileu quanto às questões em torno da controvérsia historiográfica a respeito dele ser considerado ou não um experimentador no âmbito científico.

***Palavras-Chaves**: experimento; observação; ciência; filosofia; Galileu.*

Abstract: This article will describe the contrast between Aristotelian-Ptolemaic science and that developed by Galileo, highlighting the most important elements of modern science, specifically emphasizing the epistemological characteristics of experimentation, observation, and the use of instruments to enhance the senses. This constitutes a method discovered by Galileo and perpetuated throughout the history of science. As foundation of these innovations is a reflection on his stance against the worldview of the time through two important achievements: the observation of celestial bodies with a telescope and the experiment with the plane he introduced to demonstrate the constancy of motion. Meanwhile, there will also be a discussion of Galileo's scientific method in light of the historiographical controversy surrounding whether or not he was considered an experimenter in the scientific field.

***Keywords:** experiment; observation; science; philosophy; Galileo.*

Citação: Santos, M. E. A e M. S. R., Miltão. A Ciência de Galileo e o rompimento das concepções aristotélico-ptolomaicas: prelúdio da Ciência Moderna. (2026). Cad. Fís. UEFS, 24(01):1603.1-28.

Recebido: 24/03/2026
Aceito: 13/04/2026
Publicado: 29/04/2026

Copyright: © 2026 pelos os autores. Submetido para possível publicação em acesso aberto sob os termos e condições da licença Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1.Introdução

Na História da Ciência, os eventos importantes são marcados por batalhas de conceitos, as quais revogam concepções, que perdem o seu posto para a concepção vitoriosa. Algumas batalhas duram séculos, outras não terminam. Talvez não exista objeto de maior disputa na História da Física que se exceda pela sua acirrada guerra de conceitos do que o problema do movimento, que desde a antiguidade foi protagonizada por Aristóteles e sua autoridade prevalecida, e suas tentativas de elucidação. Além disso, a disputa de um modelo cosmológico teve diversos *rounds*, com Aristóteles e Ptolomeu de um lado, e Copérnico e Galileo de outro, sendo esses dois últimos os que contribuíram para consolidar uma ruptura efetivamente significativa. Nesse artigo nos dedicaremos a assistir esse embate, no qual teremos Galileo como figura principal. Olharemos mais de perto como o florentino, através de suas inovações filosófico-científicas – observação com a luneta de forma inovadora e suas descobertas, e experimentação - através de instrumentos e guiada pelo rigor lógico - brilhantemente derruba as concepções adversárias com um golpe fatal.

2. A concepção cosmológica aristotélico-ptolomaica

De maneira geral, entendemos por Problema Cosmológico aquele que se ocupa da constituição essencial das coisas materiais, de sua origem e de seu devir, i.e., é aquele problema que estuda o ser considerando a sua mutabilidade. Mutabilidade tomada em sua

acepção filosófica "*de passagem de um estado a outro [da matéria] sem excluir o movimento espacial. É o Universo do real sensível e corpóreo*" (LIMA, 1954, p. 11). Desta maneira, abstrai-se, assim, da matéria singular, dela extraindo a matéria 'mutável' enquanto uma razão formal (a mobilidade). Não é desconhecido que "*o problema cosmológico foi um dos primeiros que a mente humana se colocou. Tão logo o homem adquiriu o poder de refletir, começou a interrogar-se sobre a origem das coisas: quem é a sua causa última? De que modo essa causa produziu todo o complexo sistema do universo? Qual é o constitutivo fundamental do mundo?*" (MONDIN, 1987, p. 46).

Todo sistema cosmológico nasce de um consenso e justamente por isso é tomado como verdade. Consequentemente, o sistema cosmológico no qual Galileo enfrentou perdurou por séculos. A influência de seus criadores e também sua autoridade consolidada fizeram de suas concepções entidades intocáveis, que se sustentaram alheias, mesmo aos resultados de observações não coerentes com as ideias propostas. A física e também a cosmologia de Aristóteles possuíam força em sua autoridade, na qual foram consideradas como aceitáveis mesmo que já houvessem argumentos que demonstrassem a sua fraqueza conceitual; o intricado sistema de esferas desenvolvido por Ptolomeu assegurou uma interminável discussão entre os pensadores da época sobre se deviam aceitar a complexidade crescente de esferas conforme a cada novidade era detectada nos céus, ou se deviam admitir a falência de sua estrutura, embora esse sistema conseguisse suprir, de certa forma, as necessidades cotidianas imediatas.

Para entendermos a adoção das concepções de movimento, em relação ao caráter igualitário, no que diz respeito à semelhança dos corpos nos céus e na Terra feitas por Galileo Galilei, devemos primeiro analisar as argumentações de dois importantes pensadores (Aristóteles e Ptolomeu) a respeito de suas concepções cosmológicas, e também a respeito do problema do movimento dos corpos e suas soluções dadas.

2.1. Aristóteles: de céus imutáveis e perfeitos a Terra estática e perecível

Aristóteles foi sem dúvidas uma das figuras mais importantes na História da Ciência, e seu legado abrange diversas áreas de estudo, tais como Lógica, Biologia, Política e Ética. Nascido no ano de 384 a. C. em Estagira, Aristóteles desenvolveu estudos também sobre Metafísica e Física. Suas contribuições são perpetuadas na História e sua autoridade influenciou um grande número de pensamentos decorrentes.

Existem dois aspectos da física de Aristóteles que interessam à nossa investigação: a sua cosmologia e como ele explicava o movimento dos corpos. Toda a concepção de Aristóteles, tanto física quanto cosmológica, era guiada pela postulação do caráter estático da Terra. Tudo o que será desenvolvido pelo estagirita girará em torno dessa atribuição.

Para construir seu sistema físico e cosmológico, Aristóteles utilizou em sua física os quatro elementos de Empédocles – terra, água, fogo e ar - afirmando que para cada um desses elementos existia um lugar natural, e os objetos que eram compostos por eles deviam ser atraídos pelos seus respectivos lugares naturais. Segundo Aristóteles, os objetos constituídos dos elementos pesados - terra e água- são atraídos para o centro da Terra, que era considerada na época o centro do universo. Se quando solta no ar uma pedra cai naturalmente ao chão, por exemplo, é porque ela está se dirigindo espontaneamente ao seu lugar natural. Por outro lado, os objetos constituídos dos elementos leves - ar e fogo - possuem como lugar natural os confins do universo, isto é, para além do firmamento, por isso tendem a se elevar. Por exemplo, quando acesa, a chama de uma vela se eleva, dirigindo-se para cima, para o firmamento. Para Aristóteles, tudo o que existia na Terra é

oriundo dos quatro elementos mencionados. Os conceitos de "pesado" e "leve" assumem, portanto, uma predicação relacionada ao destino desses corpos: aqueles de natureza mais leve, devem se dirigir para cima, pois justamente por causa de sua levidade a sua tendência é flutuar, e por outro lado, os objetos considerados pesados (devido à sua gravidade) devem se dirigir para baixo, pois a Terra é propriamente pesada. A explicação para o argumento de Aristóteles de que um corpo mais pesado tende a cair mais depressa em detrimento ao mais leve se dá, segundo ele, ao fato de os corpos mais pesados possuírem uma propensão maior do que os mais leves de chegarem ao lugar natural. Ou seja, quanto mais pesado é um corpo, mais rápida é a sua velocidade em direção ao centro da Terra. Ainda segundo essa concepção, os corpos devem ficar essencialmente parados, sendo, portanto, o movimento a mudança de seu estado natural, ou seja, tudo o que impulsiona o movimento tira o corpo de seu estado natural. (DIJKSTERHUIS, 1986, p. 22, 24-25).

A respeito do movimento, este era definido por Aristóteles como uma mudança de lugar e não podia ocorrer sem uma causa. Para ocorrer um movimento que não fosse caracterizado como natural de um objeto, devia haver um agente exterior, que cria o que Aristóteles chama de transmissão de movimento, que só poderia existir através de influência não pertencente ao objeto. Ainda segundo essa concepção, existem duas formas dessa transmissão: a pressão e a tração. Além disso, há dois tipos de movimento: o "natural", no qual os elementos fazem ao atingir o seu lugar natural, e o movimento "violento", causado pelas forças externas sobre o objeto. Este conceito de movimento violento é contrário ao movimento natural dos corpos e está diretamente relacionado a existência de uma força causadora. A concepção de o movimento ser possível a partir de uma causa é um ponto crucial que irá servir como alvo para Galileo séculos mais tarde: para Aristóteles, um objeto permanecerá imóvel se nenhuma causa exercer força sobre ele.

A cosmologia de Aristóteles era regida pelas seguintes concepções, nas quais são fomentadas com a ideia da divisão do universo físico em dois mundos, o sublunar e o supralunar: a Terra e o que está próximo a ela estão suscetíveis à transformação e à perecibilidade: os seres vivos passam por transformações fisiológicas para no fim morrerem e se decomporem; os corpos inanimados passam por transformações químicas, de modo que mudam de forma ou de cor ao longo do tempo. Na Terra, que corresponde ao mundo sublunar, estão os objetos feitos dos quatro elementos - água, terra, fogo e ar.

Em vantagem em relação ao mundo sublunar, o mundo supralunar, por outro lado, é constituído pelos objetos adjuntos da mais pura perfeição. Ou seja, de acordo com a concepção aristotélica, os objetos pertencentes ao céu são inteiramente eternos como são, com suas propriedades e características físicas inalteradas. Nele estão os corpos celestes: planetas visíveis, a Lua, o Sol e também as estrelas fixas. Diferentemente da composição da Terra, a estância celeste é constituída de um elemento distinto do mundo sublunar, segundo Aristóteles. Chamado de éter, esse quinto elemento é responsável pela categorização atribuída aos corpos da mais pura perfeição. A imutabilidade, perfeição e imperecibilidade são características pertencentes à estância chamada por Aristóteles de supralunar.

Enquanto o mundo sublunar está sujeito à mudança, alteração e degradação, o mundo supralunar, no entanto, é eterno, absoluto e imutável. Segundo essa concepção, outra característica que distingue esses corpos do mundo sublunar e aqueles do supralunar é o movimento natural deles: pertencentes à perfeição, os corpos celestes se movem eternamente em trajetórias circulares fixas, sem ter as suas propriedades alteradas. O círculo era considerado a representação geométrica mais perfeita, por possuir de seu centro para as extremidades todos os raios com distâncias equidistantes. Além disso, segundo Aristóteles, todos os corpos celestes giram em torno do centro do universo: a Terra.

Enquanto a Terra está parada, os corpos celestes se movem, pois é natural que se movam em trajetórias circulares os corpos de absoluta perfeição: sendo circular o movimento natural dos corpos celestes, que são constituídos do éter, esse movimento era considerado perfeito, porque tudo o que é circular é perfeito.

A física de Aristóteles era caracterizada pelo apelo intuitivo da aparente coerência referente às observações imediatas dos fenômenos físicos, sem um rigor experimental, regido por testes de caráter regrado. Para ele, o discurso filosófico e a observação da natureza de cunho contemplativo eram suficientes instrumentos para a consolidação de suas ideias acerca do universo. Justamente por esses motivos, Aristóteles foi tido por muitos autores e pesquisadores como "o filósofo do senso comum", que se apoiava no fato de suas teorias serem explicadas por fenômenos facilmente observáveis, aparentemente dispensando um criticismo cientifico que Galileo nos concederia mais tarde e que figurariam resquícios de fatores cruciais para o desenvolvimento de uma Ciência Moderna.

2.2 Ptolomeu e o modelo geocêntrico

Outro personagem importante nessa jornada de disputas é Cláudio Ptolomeu (90 d.C - 168 d.C) e suas concepções cosmológicas iam em certa medida ao encontro das de Aristóteles. Segundo Claudio Ptolomeu, os corpos celestes realizam trajetórias circulares concêntricas em torno da Terra. Ou seja, nesse modelo cosmológico a Terra seria o centro no universo, e estaria parada, enquanto os demais astros estariam se movendo em torno dela. Ptolomeu aprimorou o modelo de Eudóxo das esferas concêntricas e construiu o geocêntrico, que foi defendido também por Aristóteles. De acordo com esse modelo, a Terra teria sua localização estabelecida no centro do universo, e os demais astros girariam em torno dela. A Terra devia estar parada, e além disso devia haver diversos círculos envolvendo os demais planetas para explicar os movimentos vistos da Terra. Esses círculos foram chamados por Ptolomeu de deferentes e epiciclos, e foram criadas por ele para a teoria do sistema geocêntrico se adequar às observações, que indicavam gradualmente novos fenômenos a serem explicados. Os planetas, a Lua e o Sol realizavam trajetórias circulares em órbitas menores com centros diversos sobre o respectivo deferente, essas órbitas foram denominadas por Ptolomeu de "epiciclos" de tais corpos celestes. Esses epiciclos (ou mais precisamente, o centro dos epiciclos de cada corpo celeste), por sua vez, também estariam se movendo em trajetórias circulares em órbitas maiores, chamadas de "deferentes". Além disso, ainda haviam os "equantes", que seriam centros ou pontos geométricos fictícios em relação ao qual os centros dos epiciclos deveriam se mover com velocidade angular constante. O sistema de Ptolomeu tinha muito em comum com o sistema de Aristóteles, e por isso costuma-se chamar o sistema geocêntrico de sistema aristotélico-ptolomaico.

Esse sistema possuía uma complexidade acentuada, não explicava perfeitamente todos os fenômenos, como por exemplo, o movimento retrógrado dos planetas.

O sistema de Ptolomeu admitia o aparente distanciamento dos astros da Terra, que era constatado pelas variações de brilho ao longo do ano. Além disso, considerava-se que a Terra não deveria estar necessariamente sempre exatamente no ponto central em relação aos outros astros que giravam em torno dela, e isso era explicado pela variação de brilho dos corpos celestes vistos da Terra.

3. Interlúdio: Nicolau Copérnico e o sistema heliostático renegado

Nicolau Copérnico foi um padre polonês que nasceu no ano de 1453 e se dedicou ao estudo da Astronomia. Ele foi o responsável por contribuir para o desenvolvimento de um

novo sistema cosmológico, que mesmo oferecendo evidências de sua solidez e coerência, fora renegado por anos pela Igreja Católica e por diversos astrônomos. Mais de um século mais tarde, Galileo se tornou adepto ao sistema copernicano, e defendeu suas ideias na mesma ênfase em que atacou as adversárias.

No sistema cosmológico de Nicolau Copérnico, os problemas encontrados na teoria de Ptolomeu ganhavam uma explicação mais simples. Nesse sistema, a Terra fazia movimentos circulares em torno do Sol junto com os demais planetas conhecidos na época: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno. Segundo Copérnico, os planetas percorrem trajetórias circulares: anuais em torno do Sol, e diárias em torno de si mesmos. Chamadas de revoluções, esses movimentos eram capazes de explicar a aparente retroação do planeta Marte visto da Terra. Além disso, era estabelecido nesse sistema que quanto mais próxima fosse a órbita em torno do Sol, maior era a velocidade de sua revolução anual, fato constatado através de observações celestes.

O modelo de Copérnico oferecia uma concepção não estacionária da Terra, além de tirá-la do centro do cosmos. Embora se entenda que na cosmologia de Copérnico o Sol tenha a sua localização centralizada em relação às órbitas dos planetas, Copérnico atribuía a sua localização ligeiramente deslocada do centro. Assim, o termo heliostático parece mais adequado, uma vez que heliocêntrico se refira ao Sol no centro, contrariando, portanto, o sentido da posição do Sol prevista na teoria de Copérnico. (COHEN,1967 p. 50).

Além de ter revolucionado a astronomia, Copérnico mudou a forma do homem ver a si mesmo:

> Copérnico tira a Terra do centro do universo e, com ela, o homem. A terra não é mais o centro do universo, mas um corpo celeste como os outros: ela, precisamente não é mais aquele centro do universo criado por Deus em função de um homem concebido como o ponto mais alto da criação, em função do qual estaria todo o universo. (ANTISERI e REALE, 1990, p. 186).

Colocar o Sol no centro do universo e rebaixar a Terra como mais um entre os outros planetas que estariam a girar em torno dele trazia diversas implicações, que iam além das astronômicas. A própria concepção de homem teve uma modificação gigantesca: enquanto a Terra estava no centro do universo, o homem também estava. Quando a Terra passou a ser mais um planeta orbitando um Sol, no qual possuía outros planetas, o homem perdeu o seu status de protagonista do universo.

4. Galileo Galilei e a Ciência Moderna

Galileo Galilei nasceu em Pisa no ano de 1564 e é uma das figuras imortais no cânone científico. Filho de uma família tradicional, primeiro se destinou ao estudo da medicina. No entanto, suas propensões para a Física começaram a surgir ainda durante os estudos médicos, e nesse interim ele decidiu largar a profissão para se dedicar ao exercício do estudo da Física e da Matemática. As suas contribuições no âmbito das ciências da natureza são inúmeras, com notáveis destaques à Astronomia.

Galileo é atribuído propriamente como o genitor da Ciência Moderna, e suas contribuições sustentam esse legado. Tendo sido condenado pela Igreja Católica em 1632 por heresia, mais de cem anos mais tarde teve de forma pública pela Igreja, que o condenara, um pedido de desculpas póstumo pelas teorias que ele defendia, na qual a Igreja reconhecia como legítimas suas ideias acerca do universo.

Muito se discute em torno desse célebre astrônomo e físico, sobre sua ciência empregada e as metodologias envolvidas. Galileo, através de inovações científicas, realiza uma ruptura

de concepções, as quais foram um prelúdio para o que nós conhecemos hoje como a Ciência Moderna.

4.1. A observação na Ciência de Galileo

Galileo Galilei utilizou em sua ciência um importante elemento no âmbito científico, que já perdura há séculos, e que, possivelmente, possui significativas contribuições na História e Filosofia das Ciências: a observação.

Talvez considerado um dos aspectos científicos predominantemente cruciais na Ciência de Galileo, o elemento observação também possui aspectos de indistinta importância na História da Ciência. Proveniente da curiosidade humana, a observação consiste em um ato aparentemente simples, mas possui em sua origem várias complexidades fisiológicas e também filosóficas, que rendem debates igualmente frutíferos. Muito se discute a respeito da observação e de seu papel na ciência, mas um fato indiscutível é que Galileo, amparado em um instrumento científico óptico, através da observação derrubou concepções solidificadas e ressignificou conceitos um dia considerados imutáveis: ele conseguiu observar na Lua características que puseram em contradição com a teoria cosmológica de Aristóteles; através da observação minunciosamente rigorosa de Júpiter, elaborou um arcabouço empírico muito mais sólido para sustentar a teoria de Copérnico, em detrimento do sistema argumentativo de Ptolomeu; determinou dedutivamente a existência do movimento terrestre através da observação em um período determinado de tempo, das fases de Vênus. São inúmeros os feitos realizados por Galileo através de observações cuidadosamente empregadas que estava longe de ser uma mera contemplação dos fenômenos da natureza. (COHEN,1967).

Entretanto, convém e é muito importante enfatizar que essas observações feitas por Galileo possuíam como pano de fundo a teoria heliostática de Copérnico, na qual possui cálculos matemáticos elaborados, e disso entende-se que essa teoria tem um caráter *a priori* em relação às observações realizadas por ele. O ato em si mesmo de observar um objeto com intenção científica possui um lugar de extrema importância em Filosofia da Ciência, pois faz parte de um método científico moderno, no qual enuncia um conjunto de passos rigorosos, que já se prenunciava com Galileo em sua época através de procedimentos científicos.

A observação de Galileo contribuiu para a aniquilação de um dos maiores sistemas cosmológicos, e possibilitou significativos avanços na Ciência, que causariam uma ruptura de concepções solidificadas pela autoridade de Aristóteles, mesmo que essas concepções fossem pautadas na errônea interpretação da observação imediata e contemplativa. Convém, entretanto, antes de detalhar os feitos de Galileo sob essa perspectiva, conceituar o termo “observação”.

A concepção vulgar de observação a assume erroneamente como sinônimo de apenas uma olhadela, sem um caráter crítico e intencional. Em Filosofia da Ciência, no entanto, esse elemento assume um significado distinto do popular, que é tido como uma apreensão imediata, através da luz, pelos sentidos, de um objeto qualquer. Além disso, o conceito e definição de observação possuem um vasto espectro de discussões e debates em torno dos aspectos epistemológicos e cognitivos envoltos no ato de captar um objeto através de aparelhos fisiológicos com a ajuda da luz. Nesse artigo a observação será definida como

> A função de análise da consciência pela qual está se aplica a um objeto, discriminando-o ou dissociando-o de outros simultâneos... Quando a atenção se aplica aos objetos externos,

> recebe o nome de observação; quando se aplica, porém, aos fatos de consciência, toma o nome de reflexão (CRUZ, 1940, p. 84-85).

Embora a observação tenha um importante significado em Ciência, é importante salientar que sem um aparato crítico ela não possui nenhum valor significativo no âmbito científico. Sendo assim, uma observação desprovida de teoria, ou até mesmo sem o aspecto reflexivo, não fornece significativamente um avanço em Ciência alguma. Nesse artigo, a observação do cosmos feita por Galileo Galilei é considerada sob o pano de fundo das teoria de Copérnico que o guiou nas suas investigações científicas, não sendo portanto considerada uma observação inocente, não direcionada por um sistema de crenças pré-estabelecidas e sem uma intensão (enquanto sentido inerente) e, também, intenção (enquanto o que convém ao inerente) empregada quando se pensa, por exemplo, nesse astrônomo que teve o ato de apontar sua luneta para o céu estrelado.

Sendo assim, entende-se e assume-se que a observação, admitindo uma concepção crítica, tem um gigantesco potencial no âmbito científico. Nesse caráter, e assumindo-se que a teoria a antevê, em termos contemporâneos e invocando as ideias de Karl Popper, ela pode servir de suporte para defender - ou atacar- uma teoria ou lei. Quando se observa um fenômeno e essa observação entra em consonância com uma teoria e disso se resulta em uma constatação, ela é usada como arma. Quando se tem, ao contrário disso, evidências que contradigam o modelo ou teoria em questão, e disso se obtém uma contraposição ao que é defendido na teoria, ela é ferramenta de ataque e também possibilidade de fazer uma reforma conceitual. Em outras palavras, é possível *falsear* uma teoria (POPPER, 2013). No caso de Galileo, ao fazer uso da observação - nutrida de intensão e intenção científicas - ao apontar a luneta para o céu, ele teve uma atitude de ataque e disso extraiu duas grandes vantagens. A primeira de intensão, a de apontar para a Lua e observar suas crateras. Através disso ele conseguiu dissonar a teoria de Aristóteles na afirmação de que as esferas lunares eram perfeitas, lisas e sem protuberâncias (foi contra a perfeição dos corpos celestes). A segunda de intenção, ao observar pequenos objetos disformes flutuantes, que permeavam ao entorno do planeta Júpiter, ele concluiu que a teoria de Aristóteles, de que todos os objetos giravam em torno unicamente da Terra, estava falsa (foi contra o geocentrismo). Ademais, Galileo conseguiu se munir de evidências observacionais muito sólidas contra o sistema cosmológico vigente com os resultados de observações aliadas aos seus experimentos e ao aparato conceitual por meio das ideias de Copérnico no qual ele se proveu.

No entanto, Galileo realizou tais observações se amparando em um instrumento, que embora não fosse novo, foi utilizado de uma forma completamente nova, e através dele Galileo pôde se munir de provas que finalmente derrubariam as concepções aristotélico-ptolomaicas.

4.2. Galileo e o uso do instrumento como ferramenta científica

Muito se especula sobre a autoria da luneta. Mas é consenso entre os historiadores que ela foi criada na Holanda. Galileo ouve falar pela primeira vez dela em Maio de 1609, e através de algumas modificações, a aprimora e consegue desenvolver um instrumento novo, capaz de ampliar um objeto a certa distância, chegando a quase mil vezes do seu tamanho original. O que antes era usado, entre outras coisas, para observar os navios no mar, agora, nas mãos de Galileo e sob seu sistema cognoscitivo, possui um alcance potencializado. Quando Galileo aponta esse instrumento para o céu, observa um cenário de aspecto que é inteiramente novo e interessante para a Ciência, pois ele cria uma direção epistemológica e faz alargar as limitações impostas aos sentidos dos seres humanos, mais especificamente

os que estão envolvidos no ato de observar determinado fenômeno ou objeto. Além disso, Galileo consegue com esse feito importantes elementos provadores contra a teoria vigente:

> [...] apontando a luneta para o céu, Galileu começou a acumular toda uma série de provas que, por um lado, assestavam golpes decisivos à venerável imagem do mundo aristotélico-ptolomaica, enquanto, por outro lado, afastavam do caminho os obstáculos que se interpunham à aceitação do sistema copernicano, oferecendo a este uma forte cadeia de suportes. (ANTISERI e REALE, 2005, p. 251).

Essa atitude inteiramente revolucionária deu a Galileo uma vantagem na qual os defensores de Aristóteles e Ptolomeu não possuíam: ele podia provar. E como estavam lidando com objetos a milhões de quilômetros de distância, obter um instrumento que, de certa forma, diminuía esse obstáculo espacial, dava a Galileo um olhar privilegiado e potencializado. Se diz, portanto, em "potencialização dos sentidos":

> [...] A invenção da luneta por obras de holandeses ou até mesmo, um pouco antes, por mãos de italianos, ou a redescoberta e reconstrução da luneta por parte de Galileu não é um episódio que possa causar uma grande admiração. O fato realmente importante é que Galileu levou a luneta para *dentro* da ciência, usando-a como instrumento científico e concebendo-a como uma potencialização dos nossos sentidos. [...] (ANTISERI e REALE, 2005, p. 253).

Quando se fala em "potencialização dos sentidos", entram dois importantes elementos em Ciência: a observação e o uso de recursos tecnológicos através de instrumentos com intuito científico. No embate contra os sistemas vigentes, foram nesses dois elementos que Galileo fez sua brigada epistemológica e obteve notável sucesso. A sua inovação, como sabemos, não reside em ter aperfeiçoado um instrumento óptico, ou, se fosse o caso, ter sido o responsável pela sua criação. O que torna o ato de Galileo singular e revolucionário é a inauguração dessa ferramenta no âmbito da ciência, ou melhor, *como* ferramenta com propósito investigativo-científico. A partir do momento em que Galileo utiliza a luneta como instrumento científico, ele ultrapassa fronteiras nunca antes exploradas no terreno da Ciência: realiza uma transmutação conceitual e prática. O que era antes uma luneta para observar objetos a longa distância em atividades náuticas, passou através das mãos de Galileo a ser um instrumento para comprovação de suas ideias acerca do universo através da observação em detrimento às concepções adversárias, a qual foi feita com o rigor análogo à metodologia científica moderna:

É impossível exagerar os efeitos das descobertas telescópicas sobre a vida de Galileu, tão profundos foram eles. Não somente é isto verdadeiro quanto à vida pessoal e ao raciocínio de Galileu, mas também quanto à influência na história do pensamento científico. Galileu tinha a experiência de contemplar os céus como eles realmente são, talvez pela primeira vez, e onde quer que olhasse encontrava provas em apoio do sistema de Copérnico contra o de Ptolomeu, ou pelo menos provas que enfraqueciam a autoridade dos antigos. Essa destruidora experiência - de observar as profundezas do universo, de ser o primeiro mortal a saber como é realmente o céu - formou uma impressão tão profunda em Galileu, que somente considerando os acontecimentos de 1609 nas suas devidas proporções é que poderemos compreender a subsequente direção de sua vida. E é só desta maneira que podemos compreender como surgiu aquela grande revolução na ciência da Dinâmica, que podemos com propriedade dizer que marca o começo da Física Moderna. (COHEN,1967, p.65).

Quando foi anunciado o novo instrumento de Galileo e a promoção de seus atributos, uma atmosfera de desconfiança se instaurou, muito embora o aperfeiçoador desse instrumento tenha ganhado notoriedade e recompensas materiais e morais graças ao seu feito. Isso se explica pela desconfiança nos sentidos, que era predominante devido ao sistema de mundo em vigor, e era mais fácil confiar na palavra da autoridade de Aristóteles ao invés de aceitar uma simples checagem e observação do fenômeno em questão. Além disso, o uso de um objeto como apoio para os órgãos sensoriais, perfeitos aos olhos de Deus, era recebido pelos herdeiros da concepção aristotélica como uma afronta aos seus princípios, pois os olhos eram perfeitos criações divinas, dispensando, portanto, a necessidade de qualquer aparato que pudesse "potencializar" a sua funcionalidade.

Numa época em que o pensamento era dominante, o uso da observação através dos sentidos era como um ataque à concepção oponente, ainda mais aliada a instrumentos que não fossem os olhos juntamente com o sentido da visão. A despeito do posicionamento de que os seres humanos eram dotados de órgãos sensoriais suficientemente capazes de suprir as necessidades que o mundo pudesse oferecer, Galileo fornece outra perspectiva: como membro adjacente: a luneta, enquanto instrumento científico, serve para alargar as possibilidades que a faculdade humana não é capaz de alcançar. Ao utilizá-la como instrumento de apoio para as suas observações e experimentos, Galileo não só deu início ao hoje conhecido método científico, mas também descobriu que ele, enquanto ser humano, podia se apoiar em instrumentos capazes de realizar, entre outras coisas, um grande feito que ele próprio não era capaz: olhar *de perto* um objeto a muitos quilômetros de distância e ampliar as capacidades sensoriais e assim trazer o objeto de estudo para uma investigação mais detalhada e de forma aproximada, cuja legitimação de suas descobertas "telescópicas" foi feita, dentre outros, por seu contemporâneo Johannes Kepler (1571-1630). E disso extrair conclusões com mais propriedade:

> [...] Mas Galileu apontou a luneta para o céu. [...] ao ver montanhas e vales sobre a Lua, Galileu compreendeu logo que podia ser desencadeada uma ofensiva sem precedentes sobre os peripatéticos. Então, transformou a luneta de um instrumento sem significado científico em um elemento decisivo do saber. Em suas mãos, ou melhor, nos seus projetos cognoscitivos, a luneta transformou-se em uma coisa diferente do que era antes. (ANTISERI e REALE, 2005, p. 254-255).

Em sua sagacidade genuína, ele explora um objeto com determinada funcionalidade em suas modalidades expansivas, trazendo para si uma nova função para dentro com aspecto científico: a de expandir, tanto a sua utilização quanto o seu significado, alargando de forma indireta as capacidades fisiológicas e cognitivas de seu condutor, fornecendo assim atributos visuais que a olho nu ele não é capaz de ter. O propósito de Galileo ao utilizar esse instrumento é de significado crucial sob o senso filosófico-científico. Além disso, sua observação não foi pura e simples, foi sagaz e com precedentes. Ao apontar a luneta para o céu, Galileo contribuiu para a Revolução na Ciência. Faz necessário, no entanto, discutirmos de forma mais detalhada *o quê* precisamente Galileo observou para que fosse abalado sistemas quase inabaláveis em sua época.

5. As observações de Galileo que fizeram ruir as concepções aristotélico-ptolomaicas

Galileo dedicou muitas noites a olhar o céu atentamente e catalogou os dados de suas observações de forma precisa e com o rigor próprio de um cientista. Os resultados de suas descobertas foram reunidos em um texto que ele publicou posteriormente intitulando como *Sidereus Nuncius* - O Mensageiro das Estrelas (1610). A intenção principal de Galileo era que essa novidade se propagasse o máximo possível entre as pessoas e vale-se notar que por essa mesma razão ele publicou o seu texto em italiano, não em latim, como era comum os textos eruditos serem publicados em sua época. O texto traz uma série de novas descobertas dos céus, que Galileo pontuou de forma magistral, arrancando de vez a solidez a respeito dos argumentos das ideias adversárias. É bastante notável em sua obra a metodologia empregada, com indícios de uma observação rigorosa, seguindo passos metódicos e com o registro constante e detalhado de suas descobertas.

Empunhado da luneta, Galileo observou o céu e obteve significativas descobertas. Vamos prosseguir e analisar mais detalhadamente as principais e mais notáveis observações que Galileo fez e de que forma essas descobertas tiveram um impacto - do ponto de vista científico - sobre a concepção cosmológica aristotélico-ptolomaica que persistiu por séculos.

5.1. Galileo e a observação da Lua

Em 1609 Galileo começa a observar a Lua. Antes de qualquer consideração a esse respeito, cabe ressaltar que Galileo não foi o primeiro a realizar esse empreendimento. Entretanto, deve-se reconhecer que ele conseguiu impor uma tenacidade impressionante ao registrar de forma inaugural minuciosos detalhes ilustrativos de observações realizadas a respeito das características físicas da Lua. Isso se deve também, como já se discutiu, ao seu admirável empenho no aperfeiçoamento da luneta, que o possibilitou a analisar os corpos celestes com o privilégio de captar sensorialmente com mais precisão os detalhes do que se fosse observado a olho nu. No entanto, a Lua já há muito tempo estivera no centro de observações, indagações e especulações pela imaginação da humanidade. Já se afirmava, inclusive, que a Lua possuía imperfeições em sua superfície, além de ter uma natureza semelhante à da Terra. Como afirma Henrique Leitão:

A natureza da Lua e, em particular, da sua superfície, fora sempre objeto de discussões e debates desde a Antiguidade, ao longo de toda a Idade Média até às vésperas do surgimento do telescópio. As manchas da Lua são bem visíveis a olho nu e levaram a que praticamente todos os povos as tenham tentado interpretar. Já no Neolítico se havia discutido essas manchas. [...] (2010, p. 57).

Além disso, questões que ainda permeiam o imaginário atual acerca da povoação da Lua já eram centros de debates e discussões em épocas anteriores a Galileo. O físico, no entanto, ao publicar suas descobertas na obra O Mensageiro da Estrelas, não estendeu essas discussões e não mencionou todos os personagens envolvidos em torno do debate a respeito dos possíveis fatos sobre a Lua. De qualquer forma, deve-se reconhecer que na história da Ciência a Lua já era uma personagem, mesmo antes de Galileo.

De qualquer forma, mesmo que se tenha discutido amplamente sobre a Lua, sua natureza e suas possíveis propriedades físicas antes de Galileo ter efetivamente apontado a luneta para o céu, pertence a ele o mérito de ter empreendido esforços notáveis e de ter extraído de seu empenho e tenacidade provas concretas e substanciais a respeito da Lua possuir crateras, fases e se assemelhar à Terra. Ainda segundo Henrique Leitão:

O estudo da superfície lunar por Galileu é antes de mais nada um monumento à sua capacidade de observação e ao seu talento gráfico. Fica bem patente a sua grande

capacidade artística, mas fica ainda mais explícita a sua compreensão da importância das representações visuais como elementos persuasivos de imenso poder. (2010,p. 62)

Um aspecto interessante do trabalho de Galileo e que merece ser mencionado, é o seu esforço juntamente com a sua intensionalidade (referente à intensão, i.e., compreensão, à ação de tornar intenso) empreendidos ao fazer as descrições visuais do que vira através do telescópio. Galileo, numa tentativa de "fotografar" o que estava vendo através das lentes vítreas, desenhou a Lua desnuda com seus mais íntimos detalhes físicos. Não se trata, estritamente, de uma descrição fiel do objeto observado. Na verdade, Galileo deu alguns detalhes exagerados em suas ilustrações de forma intensional para reforçar a sua argumentação de que a Lua possuía imperfeições - um ataque sutil à teoria do mundo supralunar de Aristóteles. O cientista embebido de traços modernos faz esboços de seu objeto de estudo no intuito de ter como registro protótipos coerentes com a teoria que é, nesse caso, de que a Lua não era perfeita, como descrita no mundo supralunar de Aristóteles.

Assim, ao apontar a sua luneta para o céu, Galileo, através desse instrumento e também de seus sentidos ópticos, além de fazer registros visuais com intuito de apelar através de seus desenhos, consegue com sua luneta observar *realmente* algumas imperfeições na superfície da Lua. Com isso, ele atinge a concepção aristotélica em seu aspecto mais vulnerável em termos conceituais e argumentativos. Em sua obra "O Mensageiro das Estrelas" ele escreve:

> [...] Do seu exame muitas vezes repetido deduzimos que podemos discernir com certeza que a superfície da Lua não é perfeitamente polida, uniforme e exatamente esférica, como um exército de filósofos acreditou, acerca dela e dos outros corpos celestes, mas é, pelo contrário, desigual, acidentada, constituída por cavidades e protuberâncias, como a face da própria Terra, que está marcada, aqui e acolá, por cadeias de montanhas e profundezas de vales. [...] (GALILEI, 2010, p.156).

Assim, uma vez estabelecida e legitimada a funcionalidade do instrumento tornado como científico, isto é, utilizado enquanto instrumento de intensão científica, Galileo consegue provar empiricamente através da luneta que pelo fato de a Lua se assemelhar à Terra quanto às imperfeições em sua superfície, a muralha hierárquica que dividia céus e terra é derrubada: agora Terra e Lua são da mesma natureza e as leis que as governam são indistintas. De crateras a vales, essas características observadas na superfície da Lua primeiro puseram em evidência o desalinho nas afirmações presentes no sistema de Aristóteles quanto as esferas do mundo supralunar serem perfeitas, isto é, o que se afirmava na teoria não entrava em consonância com as observações feitas e registradas por Galileo Galilei. Ao observar que a Lua possuía elevações e sinuosidades, e considerando o fato de que essa afirmação era demonstrável empiricamente - através da repetição da observação por meio da luneta - Galileo contribuiu para a derrocada conceitual da teoria de Aristóteles:

> [...] Daí, consequentemente, que qualquer pessoa compreenda, com a certeza dos sentidos, que a Lua não é de maneira nenhuma revestida de uma superfície lisa e perfeitamente polida, mas sim de uma superfície acidentada e desigual, e que, como a própria face da Terra, está coberta em todas as partes por enormes

> protuberâncias, depressões profundas, e sinuosidades. (GALILEI, 2010, p.152).

Ao apontar sua luneta para a Lua, Galileo observou que ela possuía características que não condiziam com as que a teoria de Aristóteles sustentava, no que tange à categorização do firmamento como a estância de absoluta perfeição. Ora, foi provado empiricamente que a Lua não tinha uma superfície lisa e polida, mas repleta de depressões e elevações desiguais. O que Galileo constatou em suas observações não podia existir sob a concepção de Aristóteles.

Assim, Galileo une os dois mundos sublunar e supralunar estabelecidos e separados por Aristóteles sob um único arremate conceitual, sustentado por um aparato empírico completamente inovador do ponto de vista cientifico, e consegue estabelecer indiscriminadamente que as leis que governam a natureza são as mesmas para todos os lugares, pelo menos no que tange à composição física desses corpos. Se para o peripatético as leis da natureza deviam ser de acordo com o seu grau hierárquico quanto a sua essência, para o italiano as mesmas leis governadas pela natureza deveriam se comportar igualmente em todos os lugares.

5.2. Galileo, as observações de Júpiter e seus satélites, e a arguição decisiva contra a posição aristotélico-ptolomaica

Se Galileo é posto em posição de incerteza pelos historiadores em relação à primazia das observações da Lua, e é envolto em rumores a respeito da identidade do verdadeiro responsável pela fabricação do telescópio, e, portanto, suas atuações são em certa medida secundárias quanto a contribuição de seus feitos e descobrimentos, a observação de Júpiter e de suas luas cumprem, sob o ponto de vista científico, um êxito inaugural. Assim, segundo Henrique Leitão, Galileo "*[...] declarou que essa descoberta fora uma graça especial que Deus lhe concedera e insistiu sempre que ninguém antes dele tinha alguma vez visto, ou sequer suspeitado da existência desses astros, e que ele fora absolutamente o primeiro a observá-los*" (2010, p. 78).

Se auto intitulando o primeiro a realizar tal feito, Galileo, portanto, garante em seus escritos que foi o precursor e único até o seu presente momento a fazer as descobertas sobre as peculiaridades físicas em torno de Júpiter, literalmente. Peculiaridades estas que, conceitualmente, arrancaram de vez a Terra de seu *status* geocêntrico. Ele também registrou essas observações em sua obra *Sidereus Nuncius* e esse feito lhe rendeu um protagonismo memorável.

Durante as observações rotineiras a perscrutar o céu com a luneta, Galileo costumava observar também o planeta Júpiter. Em certa ocasião, ele notou que havia ao entorno desse astro alguns pontos incomuns, aos quais ele atribuiu primeiramente aos possíveis planetas que poderiam haver para além do firmamento. Ainda em sua obra "O Mensageiro das Estrelas" ele escreve que observou "*[...] quatro PLANETAS nunca vistos desde o princípio do mundo até aos nossos dias, as circunstâncias da sua descoberta e observação, as suas posições e as observações feitas nos últimos dois meses acerca dos seus deslocamentos e mudanças*" (GALILEI, 2010, p. 179).

Consciente do caráter inovador de sua descoberta, Galileo manteve suas observações e seguiu catalogando os resultados, e fez mais algumas informações importantes. Ele observou:

> Assim, então, no sétimo dia de janeiro do presente ano de 1610, na primeira hora da noite, quando eu examinava os astros do céu através da luneta, Júpiter mostrou-se, e, como me tinha munido de um instrumento excelente, vi [...] que três pequenas estrelas estavam perto dele - pequenas, mas muito brilhantes. Embora achasse que eram do número das estrelas fixas, apesar de tudo intrigar-me, pois pareciam estar dispostas exatamente ao longo de uma linha reta paralela à elíptica, e ser mais brilhantes do que as outras da mesma grandeza. (GALILEI, 2010, p. 179).

Essa descoberta causou um estranhamento imediato, e Galileo exerceu a sua função de cientista e passou a investigar o que estava acontecendo em torno do planeta. Após uma observação mais minuciosa, ele percebeu que as pequenas "estrelas" brilhantes se dispunham em arranjos distintos em dias diferentes, e disso ele pôde deduzir e notar que de fato esses corpúsculos estavam girando em torno de Júpiter, e que, além disso, mantinham o mesmo padrão orbital previsto na teoria de Copérnico. É importante afirmar que quando os satélites de Júpiter foram detectados pela primeira vez, eles foram chamados por Galileo de planetas: "*[...] Então, estabeleci e determinei, sem a mais pequena dúvida, que existiam no céu três estrelas errantes em torno de Júpiter, como Vênus e Mercúrio em torno do Sol [...]*" (GALILEI, 2010, p. 181).

Deixando de ser centelhas no espaço, e a partir de então chamadas por ele de Estrelas Mediceias, as luas de Júpiter possuíam movimentos curiosos, que despertaram em Galileo a necessidade de acompanhá-los de forma ainda mais atenta. Fazendo esboços realísticos relativos às posições de Júpiter e seus satélites, que podem ser verificadas em sua célebre obra, Galileo, de forma lenta e gradual, compreendeu que esse curioso fenômeno se tratava de movimentos de astros menores em torno de um astro maior. Após obter um conjunto de observações, feitas de forma cuidadosa e bem organizada, ele notou que as estrelas realizavam movimentos em torno de Júpiter. Inicialmente Galileo observava três astros, depois de alguns dias o quarto astro se mostrou ao campo de visão limitado da luneta, e concluiu que "*não eram apenas três, mas sim quatro astros errantes, fazendo as suas revoluções em torno de Júpiter*" (GALILEI, 2010, p. 181).

Mais uma vez o apoio de Galileo em esboços visuais para a argumentação em favor de seu ponto de vista estavam presentes em sua forma de fazer ciência além de estar amparado na sua arma epistemológica indubitavelmente inovadora e igualmente ousada. Galileo, com sua expressão ilustrativa, empregou uma sistemática científica metódica, pautada em rigorosos testes com a luneta, com repetições de observações e catalogação de resultados. Quanto a esse fato, é bastante relevante prestar a atenção à metodologia de observação que Galileo Galilei se direcionou para entender *o porquê* de Júpiter apresentar aqueles pequenos corpos celestes movendo-se em torno de si: ele registrou detalhadamente de forma visual os aspectos inesperados dessas observações e pontuou rigorosamente as posições relativas desses corpos em dias específicos, por um período de aproximadamente 30 dias. Além disso, através de seus cálculos, ele pôde fazer previsões a respeito das posições futuras desses astros: "*[...] ninguém pode duvidar que completam as suas revoluções em torno dele, ao mesmo tempo que, todos juntos, completam um período de doze anos em torno do centro do mundo*" (GALILEI, 2010, p. 204).

Ainda que a descoberta dos satélites de Júpiter tenha sido impactante para Galileo, entregando-lhe um mérito intransponível na História da Ciência, esse feito revolucionário arrastou também Copérnico para o centro das atenções e triunfos científicos nessa revolução científica. Com a constatação da velocidade alterada de acordo com a excentricidade das órbitas pela razão de sua distância relativa ao ponto de entorno, é

confirmada também que como a teoria de Copérnico prevê, os planetas mais próximos do Sol tendem a girarem com velocidade superior aos planetas mais distantes, afirmando que "*as revoluções dos planetas que descrevem círculos menores em torno de Júpiter são mais rápidas*" (GALILEI,2010, p.205). Uma vez constatado esse fato, a teoria de Copérnico ganha força pelo peso esmagador de uma evidência incontestável.

Outro aspecto importantíssimo no arcabouço científico de Galileo e em favor da teoria de Copérnico é a constatação de que a observação das luas de Júpiter em seu entorno ofereceu para Galileo um certo protótipo privilegiado da teoria de Copérnico: assim como o Sol, Júpiter fica no "centro", e assim como os planetas, as luas giram em seu entorno, realizando uma série de movimentos previstos na teoria de Copérnico. Com, digamos, uma vista panorâmica dos movimentos desses corpos celestes, Galileo podia ter o próprio sistema copernicano relativamente em miniatura.

Uma análise filosófica a respeito das descobertas de Galileo permite que seu triunfo nessa batalha seja ainda mais memorável. Quando Galileo percebe as Luas de Júpiter e conclui que elas percorrem em seu entorno, ele aponta para a concepção ptolomaica uma contradição contundente: se nos escritos de Ptolomeu e também de Aristóteles é assegurado que a Terra - e somente ela - é o centro do universo, a descoberta de um objeto, por mais ínfimo que seja - mesmo até um grão de poeira no espaço - em torno de qualquer objeto que não seja a Terra, torna falsa essa concepção. Esse tipo de conclusão é facilmente sustentado por um termo lógico chamada contradição, no qual ocorre quando uma afirmação universal "A" é enunciada como verdadeira, e é confrontada com uma afirmação "O", que consiste em uma afirmação particular negativa. Uma afirmação "A" é aquela em que abrange de forma universal objetos a determinada característica ou propriedade (COPI,1978). Assim, se na teoria de Ptolomeu é afirmado que todos os astros giram em torno da Terra, sendo, portanto, essa afirmação uma "A", a observação posterior de Galileo, através das singelas, mas poderosas lentes da sua luneta, de que havia alguns corpos girando em torno de outro planeta - que não era a Terra - põe em contradição a afirmação de Ptolomeu. Embora seja muito difícil e até inimaginável realizar todas as observações possíveis em favor de uma afirmação universal afirmativa, por se tratar de um número empiricamente inviável, é muito fácil realizar uma observação particular negativa, pois ela é singular, isto é, possui um caráter estritamente plausível dentro das possibilidades empíricas. Assim, bastou uma única observação - dentro de um parâmetro viável - contra a teoria aristotélico-ptolomaica para torná-la falsa. É também neste aspecto que filosófico-cientificamente Galileo Galilei possui feitos incorruptíveis.

5.3. Galileo e a observação das fases de Vênus

Outra descoberta de grande relevância em favor do sistema copernicano feita por Galileo foi a observação do planeta Vênus e suas fases vistas da Terra. Semelhante à Lua, Vênus se mostra em diferentes fases ao longo de determinados intervalos de tempo. Através desses aspectos, Galileo pôde constatar também que Vênus não possuía luz própria, mas sim refletida pelo Sol. Isso significava que o planeta só podia girar em torno da sua fonte de luz, na qual seria a responsável por Vênus se apresentar em fases. A observação de Vênus e suas fases põem definitivamente a concepção cosmológica adversária em posição de vencida, conceitualmente falando. Como afirma Henrique Leitão:

Quando Galileu observou Vênus com um telescópio, constatou que o planeta exibia ao longo dos dias um ciclo de fases completo, passando de Vênus crescente e Vênus cheio. Ficava assim demonstrado que Vênus circulava em torno do Sol: um resultado

excepcionalmente importante, que lançava um golpe definitivo no sistema ptolomaico. (2010, p. 97).

Admitindo, portanto, a veracidade das observações de Vênus, deve-se assumir concomitantemente a invalidade e falsidade do sistema ptolomaico, pois esse sistema não admitia o comportamento que Vênus demonstrava. E se tratando de termos evidências, o telescópio é um objeto mais simples de se conferir, enquanto uma evidência tangível e incontestável, do que ter de reformular o sistema de modo que se adeque aos fatos, como se tinha feito sempre que aparecia alguma inconsistência entre a correspondência do fenômeno e teoria. O argumento que Galileo tinha em mãos é indubitavelmente de forte apoio ao sistema de Copérnico, em detrimento ao de Ptolomeu.

Após a publicação do Mensageiro das Estrelas, Galileo continuou a fazer observações através de seu instrumento científico. Dessa vez, ele fez observações acerca do planeta Saturno e detectou a presença de formas estranhas que faziam movimentos em seu entorno. Além disso, ele fez previsões sobre uma possível aparição desses corpos em 1613, que posteriormente obteve a sua confirmação. As formas estranhas observadas por Galileo, através de vários anos, são os celebrados anéis de Saturno, os quais começaram a ser entendidos meio século depois.

6. Galileo e a física aristotélica

Galileo, além de ter dedicado seus estudos sobre a cosmologia, se ocupou em desenvolver um conjunto de argumentos a respeito do movimento, mais precisamente contra a noção criada por Aristóteles. Além de ter elaborado uma ciência baseada em abstração matemática, Galileo também desenvolveu experimentos. E sobre esse elemento, há uma série de discussões envolvendo as possibilidades de um Galileo experimentador e as complicações envolvidas nisso.

6.1 O experimento em Galileo e a controvérsia historiográfica

Há um debate muito importante em torno da ciência empregada por Galileo, que assume algumas implicações filosóficas seja qual for a posição adotada e defendida. O debate diz respeito a possibilidade da existência do cunho experimental da ciência empregada por ele, e se sua natureza é empírica ou apriorística. Quando se questiona "como Galileo desenvolveu sua ciência?" há duas concepções que se enfrentam: a racionalista e a empirista. A racionalista defende que as formulações apriorísticas são pautadas no raciocínio, e a empirista de que o fundamento de suas ideias está na experimentação.

Dentro desses debates entre filósofos e historiadores da Ciência, em geral, se assume, de um lado, que na da ciência galileana se tem uma evidente deficiência no quesito experimental, devido ao caráter rudimentar dos instrumentos tecnológicos utilizados por ele, uma vez que, segundo tais afirmações, os instrumentos eram simples demais para alcançar resultados tão satisfatórios ou precisos. Segundo Alexandre Koyré, as alegações a respeito dos experimentos feitos por Galileo são fabulações criadas em torno das histórias propagadas ao longo dos anos. Portanto, ao tecer seu plano científico, Galileo empregou uma metodologia apriorística, na qual a razão antevê o método experimental, o qual figura como um elemento secundário em seu arcabouço científico:

> A maneira pela qual Galileu concebe um método científico correto implica numa predominância da razão sobre a simples experiência, substituição de uma realidade empiricamente conhecida por modelos ideais (matemáticos), a primazia da teoria sobre os fatos. (KOYRÉ,1991, p.154).

De outro lado, porém, faz-se objeções a essa posição, apontando a impecável consistência e coerência entre as previsões teóricas elaboradas e os resultados obtidos através dos experimentos empreendidos cuidadosamente por Galileo. Os que defendem a figura de um Galileo experimentador são intitulados como empiristas, e sustentam que a ciência empregada por ele tem embasamento empírico, isto é, Galileo *baseia* sua teoria nos resultados obtidos através da experimentação:

> [...] Galileu, para começar, teve a habilidade de transpor o problema da queda livre propriamente dita para um problema com o qual seria mais fácil lidar experimentalmente: o de uma bola que rola sobre um plano inclinado. O dispositivo é descrito com muita minúcia: Galileu indica particularmente que revestiu o "canal" com uma folha de pergaminho. Para medir o tempo, utilizava "um grande balde cheio d'água". A água escoava por um orifício feito no fundo e era em seguida pesada "com a ajuda de uma balança muito sensível". Comparando as quantidades de água recolhidas, era possível determinar "as diferenças e proporções entre os tempos". De modo perfeitamente metódico, fazendo variar as distâncias percorridas e as inclinações do plano, dados variados se acumulavam. Galileu, a se acreditar em seu testemunho, repetiu tais manipulações pelo menos cem vezes. Não temos aí o arquétipo de uma experiência "moderna"? (THUILLIER,1994, p. 121).

Quem defende que Galileo possui características de um experimentador aponta a sua metodologia empregada ao tentar controlar fenômenos, catalogar resultados, repetir inúmeras vezes as observações. No entanto, quando se afirmar que suas ideias são *baseadas* em seus experimentos, considera de forma subliminar postulado que as suas ideias nascem *durante* as experimentações. Essa noção é completamente diferente da defendida da de um Galileo com ação apriorística, e essa última assume que as ideias surgem primeiro, e os experimentos são realizados no intuito de *conferir* os resultados.

É indispensável o reconhecimento da existência da experimentação na ciência galileana. Entretanto, é igualmente conveniente admitir a capacidade de Galileo de elaborar experimentos mentais, os quais independiam do experimento propriamente dito, no sentido de formular uma teoria em questão. De forma geral, Galileo "*[...], elaborou uma dialética que tinha a razão num dos polos e no outro a prática experimental (sob formas e experimentações propriamente ditas ou de observações bem formuladas)*" (THUILLIER, 1994, p.129)

O fato de o experimento do plano inclinado ser possível de repetir inúmeras vezes dá a seu autor o caráter de experimentador. Se pode repetir, então pode ser considerado um experimento. Além disso, apenas esse, ou seja, o ato de tentar controlar o movimento da queda livre já é em si mesmo um experimento. A respeito de seus experimentos, Galileo empregava uma metodologia previsora, isto é, ele antevia os resultados dos seus experimentos através dos cálculos. Esse procedimento é característico do método dedutivo, no qual se faz previsões de fenômenos com embasamento teórico a respeito do raciocínio em questão. Para o caso de Galileo, ele esperava obter em seus experimentos resultados que em suas previsões indicavam uma constante de proporcionalidade entre a queda dos corpos e o tempo. Além disso, em seu experimento do plano inclinado, Galileo fez uma abstração completamente além da estância empírica ao *imaginar* a bola de seu plano inclinado rolar pelo espaço infinitamente em ausência de atrito, o que tem **analogia** com um juízo sintético *a priori*, pois originado na experiência, tem um alcance que ultrapassa

os limites do que está contido na própria experiência (se distinguindo, portanto, de um juízo sintético *a posteriori* que não ultrapassa os limites da experiência).

De forma geral, um experimento é feito com o intuito de controlar fenômenos, estipular resultados, sendo capaz de prevê-los com uma precisão considerável. Mesmo que hoje tenhamos uma concepção contemporânea de experimento, Galileo, com os instrumentos que dispunha, intentou controlar fenômenos, conferir resultados e tê-los como elementos para assegurar sua força argumentativa no que diz respeito às suas ideias.

6.2 Galileo e o problema do movimento

Após a publicação da obra "Sidereus Nuncius: O Mensageiro das Estrelas", a qual possuía os resultados de suas observações revolucionárias com a luneta, Galileo foi acusado pela Igreja Católica de Heresia e foi condenado a prisão domiciliar, sob o juramento de nunca mais propagar as ideias contrárias às estabelecidas pela Igreja. Enquanto esteve em prisão domiciliar, Galileo se ocupou e desenvolveu estudos sobre o problema do movimento dos corpos. Alheio ao mundo exterior em sua clausura, os seus dias foram permeados por uma série de desenvolvimentos teóricos e práticos sobre as questões envolvendo a queda dos corpos. Galileo estava empenhado em provar que, ao contrário do que afirmava Aristóteles, corpos de diferentes pesos caiam sob idêntica velocidade. Como meio de tentativa de refutação das ideias aristotélicas, Galileo utilizou a experimentação, isto é, se Aristóteles dizia que dois objetos soltos ao chão não caiam de forma simultânea, Galileo demonstrou de forma empírica que essa afirmação era incorreta através da demonstração da queda de dois corpos com pesos diferentes, que caiam ao mesmo tempo.

Ele realizou experimentos com planos inclinados, nos quais tinham rampas para uma bola, que tinha o seu tempo de queda medido com a queda de gotas d'água em um recipiente, que Galileo pesava e convertia em valores de tempo. Basicamente, o experimento do plano inclinado é o da queda livre dos corpos de forma controlada, sendo intuída a observação do movimento de forma mais retardada e detalhada. A inclinação do plano é uma representação da gravidade agindo quando um objeto cai ao chão, permitindo, tal inclinação, desacelerar a queda dos corpos para possibilitar a medição do tempo de queda, algo difícil na queda livre. Frisemos que ao usar planos inclinados, Galileo revela sua percepção de que as forças agem independentemente em cada dimensão espacial, assim sendo, o movimento para baixo no plano inclinado é o resultado da combinação da força descendente devido à gravidade sobre a bola e da força do plano sobre a bola, que age perpendicularmente ao plano, resistindo a ele e desviando-o horizontalmente, ou seja, o estudo da componente descendente das forças atuantes na bola, desprezando o atrito, equivale a estudar a força que puxa o objeto em queda livre.

Galileo, assim descreve o experimento do plano inclinado:

Pegamos um pedaço de moldura de madeira, ou escantilhão, com cerca de 12 côvados[1] de comprimento, meio côvado de largura e três dedos de espessura; em sua borda, cortamos um canal com pouco mais de um dedo de largura; tendo feito esse sulco bem reto, liso e polido, e tendo-o forrado com pergaminho, também o mais liso e polido possível, rolamos ao longo dele uma bola de bronze dura, lisa e muito redonda. Tendo colocado essa tábua em uma posição inclinada, levantando uma extremidade cerca de um ou dois côvados acima da outra, rolamos a bola, como eu estava dizendo, ao longo do canal, anotando, de uma maneira que será descrita em breve, o tempo necessário para fazer a descida. Repetimos esse experimento mais de uma vez para medir o tempo com uma precisão tal

[1] Côvado foi uma antiga unidade de medida linear que correspondia à distância do cotovelo até a ponta do dedo médio.

que o desvio entre duas observações nunca excedesse um décimo de uma pulsação. Tendo realizado essa operação e nos assegurado de sua confiabilidade, rolamos a bola por apenas um quarto do comprimento do canal; e, tendo medido o tempo de sua descida, descobrimos que era precisamente metade do anterior. Em seguida, tentamos outras distâncias, comparando o tempo para todo o comprimento com o da metade, ou com o de dois terços, ou três quartos, ou mesmo para qualquer fração; em tais experimentos, repetidos cem vezes, sempre descobrimos que os espaços percorridos eram entre si como os quadrados dos tempos, e isso era verdade para todas as inclinações do plano, isto é, do canal, ao longo do qual rolávamos a bola. Observamos também que os tempos de descida, para várias inclinações do plano, apresentavam entre si precisamente aquela razão que, como veremos mais tarde, o Autor havia previsto e demonstrado para eles. (GALILEI, 1914, p. 136-137).

Com esse experimento do plano inclinado, Galileo fez as seguintes demonstrações e conclusões: (i) ao utilizar o plano inclinado para desacelerar o movimento de queda, observou e mediu **a relação entre a distância percorrida e o tempo gasto pelo corpo** estabelecendo que a distância percorrida é diretamente proporcional ao quadrado do tempo, i.e., distância $\propto$ tempo^2 (GALILEI, 1914, p. 168, 174) e a partir daí, combinando seus experimentos e o raciocínio geométrico, usando o 'teorema da velocidade média', Galilei (1914, p. 174-175) determina para a constante de proporcionalidade o termo $a/2$, em uma notação algébrica atual; (ii) confirmou que a aceleração ao longo do plano inclinado era constante, independentemente da massa do corpo, mostrando que **a velocidade de queda aumentava uniformemente com o passar do tempo** e assim, refutou a concepção aristotélica de que objetos mais pesados caem mais rápido; (iii) concluiu, ao extrapolar a conclusão (ii) para a queda livre que, no vácuo, **objetos de massas distintas deveriam cair com a mesma aceleração**, atingindo ao mesmo tempo o solo; (iv) considerando um par de planos inclinados, observou que, ao subir no segundo plano inclinado, o corpo alcançava quase a mesma altura inicial e, à medida que a inclinação do segundo plano diminuía, o corpo percorria uma distância maior, buscando atingir a mesma altura, o que levou Galileo a concluir que, na ausência de atrito e sem a inclinação do segundo plano (ausência de força), o corpo continuaria indefinidamente seu movimento, idéia precursora da **Lei da Inércia**; (v) como uma síntese de seus estudos sobre o movimento dos corpos, Galilei (1914, p. 257) estabelece o conceito de **decomposição de movimentos**, Figura 1, onde o movimento horizontal é inercial e o vertical é acelerado, no caso de um projétil e, assim, tal movimento é a soma de tais componentes.

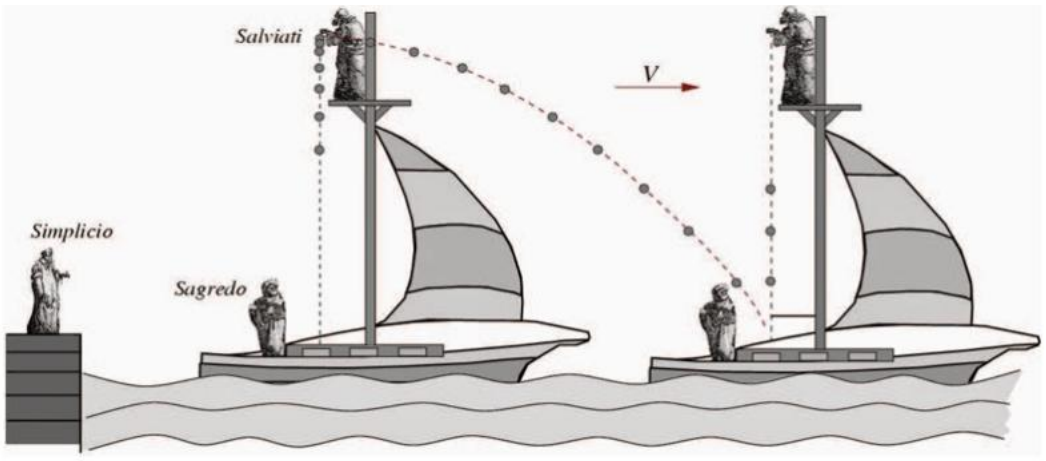

Figura 1: Navio em Movimento. Fonte: Xavier *et al*. (2017, p. 4).

Ainda sobre os experimentos mentais, há um experimento que indica que embora a Terra esteja em movimento, não é possível determinar esse movimento com a experiência imediata. Segundo Galileo, se estivermos em um barco, Figura 1, em movimento uniforme e constante e soltarmos uma bola do alto do mastro, ela se dirigirá em linha reta, e quando ela cair, cairá exatamente no ponto do pé do mastro - que é o movimento unidimensional visto por Salviati (que representava o próprio Galileo e defendia a teoria heliocêntrica de Copérnico) e Sagredo (que representava um nobre veneziano e o público culto da época, sendo um observador neutro e inteligente, interagindo com os argumentos de ambos os lados para formar sua própria opinião) que estão no barco (XAVIER et all, 2017, p. 4). Por outro lado, para Simplicio (que representava a visão aristotélica e ptolomaica tradicional defendendo o sistema geocêntrico), que está em repouso do lado de fora do barco, temos um movimento bidimensional da bola descrito "*através da decomposição dos movimentos: o movimento retilíneo uniforme, na horizontal, e o movimento retilíneo uniformemente acelerado, na vertical, e qualquer partícula que se move dessa forma é comumente chamada de projétil*" (XAVIER et all, 2017, p. 2).

Esse fenômeno é utilizado para argumentar que é possível que a Terra se mova sem que notemos isso de imediato, e que não é possível determinar se ela está em repouso ou em movimento. Além disso, se estivermos em movimento e um outro navio passar por nós, não seremos capazes de determinar qual dos dois navios está parado ou em movimento. Foi com esses experimentos que Galileo chegou ao princípio da relatividade do movimento, que se expressa pelas denominadas transformações de Galileo (KITTEL et all, 1970, p. 66): segundo Galileo, é impossível determinar o movimento ou o não movimento de um corpo a partir da observação de dois corpos (SUDARSHAN; MUKUNDA, 1983, p. 255-256).

Em uma notação algébrica atual para a transformação de Galileo, temos o que segue, Figura **2**: "*Seja S um sistema de coordenadas Cartesiano inercial, e seja S' um outro do mesmo tipo, que se move com velocidade* $\boldsymbol{V}$ *em relação ao primeiro. Os eixos x', y', z' de S' são tomados paralelos aos eixos x, y, z de S. Escolhemos* $\boldsymbol{V}$ *na direção de x*" (KITTEL et all, 1970, p. 64), ademais, munamos cada sistema de coordenadas com seus respectivos medidores de tempo, *t'* em *S'* e *t* em *S*, denominando-os, respectivamente, Sistema de Referência *SR'* e *SR*; ou seja, um sistema de referência é uma estrutura básica munida de um sistema de coordenadas (que é um medidor do espaço) e de um relógio (medidor de tempo). Para uma velocidade de *S'* em uma direção genérica em relação à *S*, bem como uma posição de *S'* em uma orientação fixada qualquer em relação à *S*, veja-se Sudarshan e Mukunda (1983, p. 255-256). Consideremos uma transformação que relaciona as coordenadas *x'*, *y'*, *z'* e o tempo *t'*, como são medidas em *SR'*, às coordenadas *x*, *y*, *z* e o tempo *t*, medidas em *SR*. O sistema *SR'* se move com velocidade $V = V_x$, quando visto de *SR*. Suponha que para $t = 0$, $t' = 0$, e que neste instante, as origens *O* e *O'* coincidem. Se escolhermos escalas idênticas para as distâncias, teremos as seguintes equações de transformação:

$$t = t';\ x = x' + V_x t';\ y = y';\ z = z'.$$

Esta transformação é chamada de Transformação de Galileo, de onde emerge o celebrado Princípio da Relatividade de Galileo: as leis básicas da mecânica são invariantes (as mesmas) em qualquer sistema de referência inercial (KITTEL et all, 1970, p. 66).

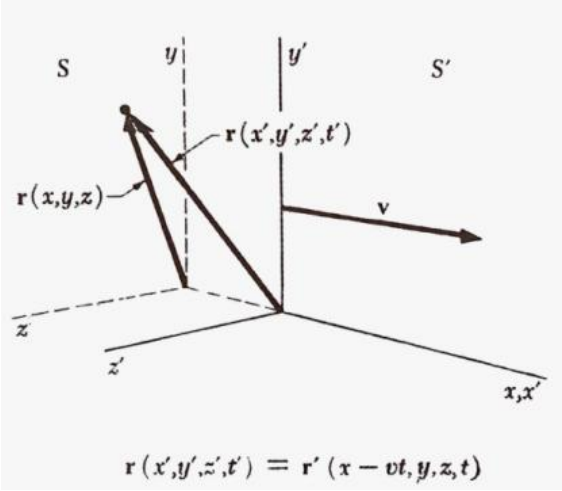

Figura 2: Transformação de Galileo para dois observadores S e S' paralelos. Fonte: Kittel et all (1970, p. 66).

A relativização do movimento de Galileo serve como argumento em favor do copernicanismo, porque, sendo impossível determinar se um corpo está se movendo ou não, sem ter outro corpo como referência, a nossa sensação de sentir a Terra parada sob os nossos pés e também perceber o Sol e os demais planetas se movendo em torno da Terra pode ser explicado com a relativização do movimento:

> O movimento aparente do Sol no céu significa não só que o Sol está em movimento relativo em relação à Terra, mas também que a Terra está em movimento relativo em relação ao Sol. É ilusório, portanto, perguntar qual dos dois, o Sol ou a Terra, está animado de um movimento absoluto. (BEN-DOV, 1996, p. 24).

O estudo da inércia foi desenvolvido mais tarde por Newton e suas conclusões diferem da de Galileo. O estudo do movimento foi continuado por Isaac Newton, que também entrou nas batalhas de conceitos, e desenvolveu estudos sobre a Dinâmica.

Há algumas asserções contra a inércia circular que importam ao escopo de entender a ciência galileana. A concepção de uma inércia circular, atribuída a Galileo, a qual é rejeitada de forma enfática pelo especialista Júlio Vasconcelos, possui aparente força de consenso por algumas razões. Seja por Galileo ter deixado de forma subliminar que possuía em sua física o aspecto circular inercial em sua interpretação, seja por esse tema constituir um elemento cobiçado academicamente, quase como um santo graal na física clássica, e além dos argumentos dos defensores de uma inercial circular possuírem solidez. (VASCONCELOS, 2005, p. 396). Entretanto, embora dê margens para uma interpretação voltada para a inércia circular, através de uma leitura mais acurada dos textos de Galileo é possível extrair citações nas quais ele defende uma posição distinta. O autor Júlio Vasconcelos utiliza passagens de obras de Galileo para refutar a ideia de uma inércia circular. Segundo Júlio, há nessas passagens claras alusões ao não partidarismo de uma inércia circular. (VASCONCELOS, 2005, p. 396). De acordo com esse autor, o que há nos textos de Galileo em relação à inércia é uma postulação quanto ao caráter retilíneo dado por uma conservação de uma velocidade angular:

> Com a recusa de Sagredo, apoiada pelo elogio de Salviati, de que um grau de velocidade possa multiplicar-se como por geração espontânea de novos graus de velocidade, evidencia-se que a conservação do grau de velocidade é a característica mais fundamental do que se pode chamar “lei de inércia de Galileu”,

> e revela-se insustentável a presunção dos defensores da inércia circular de que sua interpretação descreva perfeitamente o conceito galileano de movimento inercial. (VASCONCELOS,2005, p. 410)

Assim, se alude a uma lei de conservação do grau de velocidade, e não necessariamente a uma inércia circular de forma estrita. Essa referida conservação do grau de velocidade angular é mencionada em algumas passagens do *Discorsi* e igualmente oferece uma interpretação aos seus leitores. E, segundo Júlio, o "*entendimento de que em Galileu há uma lei de conservação do grau de velocidade dissolve-se o conflito interpretativo inércia circular versus inércia retilínea [...]*" (VASCONCELOS,2005, p. 412).

Há divergência entre Newton e Galileo quanto a questão do universo ser finito ou infinito. Para Newton, um corpo, na ausência de atrito, deve permanecer em movimento infinitamente no espaço. Galileo, entretanto, não nos deixa em seus escritos posto de forma incisiva de qual característica ele considera pertencente ao universo. A respeito desse debate em torno da concepção cosmológica galileana em relação ao universo em seu caráter abrangedor, isto é, se Galileo possuía uma ideia de universo finito ou infinito, fica evidente que Galileo não deixa explícita sua postura, muito embora dê margem para uma interpretação voltada para um universo infinito. Como observa Koyré:

> Com efeito, no debate sobre a finitude ou a infinitude do universo, o grande florentino, a quem a ciência moderna deve talvez mais do que a qualquer outro homem, não toma posição. Jamais nos diz se acredita em uma ou em outra das hipóteses. Parece não ter-se resolvido, ou mesmo que, embora se incline para a infinitude, considera a questão insolúvel. Galileu não esconde, naturalmente, que em oposição a Ptolomeu, Copérnico e Kepler, ele não admite a limitação do mundo ou o crê fechado por uma *esfera* real de estrelas fixas. [...] (2006, p. 86)

Assim, embora seja propenso a acreditar em um universo infinito, Galileo não nos deixa nenhuma assertiva explícita quanto a qual conceito defende. Talvez por essa razão um número amplo de estudiosos assume interpretações trilhando irregularmente caminhos distintos.

6.3 Galileo e a concepção de Mundo

Em termos de visão de mundo, o estudo desenvolvido por Galileo representa uma ruptura, como vimos, com o modelo aristotélico-escolástico, estabelecendo o prelúdio da Ciência Moderna. Na visão medieval, baseada na concepção de Aristóteles, temos um universo hierárquico, um cosmos finito e ordenado, tendo a Terra no centro, imóvel, que é o lugar da corrupção, Figura 3.

Figura 3: Visões de Mundo Medieval e Galileana. Fonte: Burtt (1983, p. 79).

A filosofia medieval, que tentava explicar os *porquês* últimos dos fatos, ao invés de seu *como* imediato e que realçava, assim, o princípio da causalidade final (pois a resposta a essa pergunta só pode ser dada em termos de propósito ou uso), tivera sua própria concepção de Deus. Aí estava a hierarquia teleológica das formas aristotélicas, que culminavam em Deus, ou na Forma Pura, cabendo ao homem uma posição intermediária, em termos de realidade e importância, entre ele e o mundo material. O *porquê* final dos fatos nesse mundo podia ser explicado principalmente em termos de seu uso para o homem; o *porquê* final das atividades humanas, em termos da eterna busca da união com Deus. (BURTT, 1983, p. 78).

Em Galileo, tal concepção é abandonada, emergindo uma outra de um universo infinito a uniforme, no qual as leis físicas, baseadas na matemática, são as mesmas em todos os lugares, tanto na Terra (espaço sublunar) quanto nos céus (espaço supra lunar), Figura 3.

Estando a super-estrutura, a partir do homem para cima, banida do reino primário, o qual, para Galileu, identifica-se com átomos materiais em suas relações matemáticas, o *como* dos fatos passa a ser o único objeto do estudo exato e deixa de haver lugar para qualquer tipo de causalidade final. O mundo real é simplesmente uma sucessão de movimentos atômicos em continuidade matemática. Nessas circunstâncias, a causalidade só poderia ser colocada, de maneira inteligível, nos próprios movimentos dos átomos, e tudo o que acontece deve ser visto como efeito apenas das mudanças matemáticas nesses elementos materiais. (BURTT, 1983, p. 78).

Nessa nova concepção de mundo, "*conduzido pelas necessidades inerentes desta metafísica matemática a explorar sempre novas coisas, Galileu, como Kepler, foi inevitavelmente levado à doutrina das qualidades primárias e secundárias, mas, no caso do gênio italiano, tal doutrina aparece em uma forma muito mais pronunciada e desenvolvida*" (BURTT, 1983, p. 67). Nesta doutrina, por qualidades primárias, Galileo considera aquelas que são intrínsecas e essenciais aos corpos materiais, objetivas, imutáveis, matematicamente determináveis e independentes da existência do ser humano (como por exemplo: extensão, tamanho, forma, figura, repouso, movimento, posição, massa); por qualidades secundárias, Galileo considera aquelas que são extrínsecas e inessenciais aos corpos materiais, subjetivas, mutáveis, não matematicamente determináveis e dependentes da existência do ser humano (como por exemplo cor, odor, sabor, som, calor, frio) (BURTT, 1983, p. 67, 71).

Como consequência da doutrina das qualidades primárias e secundárias, Galileo estabelece o método de se estudar as propriedades quantificáveis e replicáveis, o que se tornaria a base da física moderna, influenciando pensadores como René Descartes (1596 - 1650) e John Locke (1632 - 1704).

Ademais, em relação ao ser humano, em termos da doutrina das qualidades primárias e secundárias, Figura 3,

este foi um passo fundamental no rumo da expulsão do homem do grande mundo da natureza e do tratamento dado ao homem como um efeito do que acontece em tal mundo, procedimento que se tornou uma característica bastante constante da filosofia da ciência moderna e que simplificou extraordinariamente o campo da ciência, mas que trouxe em seu bojo os grandes problemas metafísicos e especialmente epistemológicos da filosofia moderna. Até a época de Galileu, sempre se aceitara que tanto o homem quanto a natureza eram partes de um todo maior, no qual a posição do homem era a mais fundamental. Em quaisquer distinções que pudessem ser feitas entre o ser e o não-ser, entre o primário e o secundário, o homem era visto como essencialmente aliado ao positivo e ao primário. ... Com efeito, para todos os pensadores mais importantes da Antiguidade e da Idade Média, o homem era um genuíno microcosmos; nele configurava-se a mesma união entre coisas primárias e secundárias que caracterizava as relações existentes no vasto macrocosmos, quer se considerem como reais e primárias as ideias, quer as substâncias materiais. *Ora, no processo de transferência dessa distinção entre o primário e o secundário em termos adequados à nova interpretação matemática da natureza, encontramos o primeiro estágio da visão do homem como algo claramente separado do reino real e primário.* Obviamente, o homem não era tema adequado ao estudo matemático. Suas atividades não podiam ser tratadas pelo método quantitativo senão de maneira mais chã. Sua vida compunha-se de cores e sons, de prazeres, de dores, de amores apaixonados, de ambições e de lutas. Por conseguinte, o mundo real tinha de ser o mundo fora do homem, o mundo da astronomia e o mundo dos objetos terrestres em repouso ou em movimento. A única coisa comum entre o homem e este mundo real era a capacidade humana de descobri-lo, fato que, sendo necessariamente pressuposto, era facilmente negligenciado e não era, de todos os modos, suficiente para exaltá-lo a uma paridade, em termos de realidade e de eficiência causal, com aquilo que ele era capaz de conhecer. Naturalmente, ao lado dessa exaltação do mundo exterior como mais primário e mais real, ocorria também a atribuição, a esse mundo, de maior dignidade e maior valor. (BURTT, 1983, p. 71-72).

Neste sentido, enquanto para Platão e Aristóteles, "a*quilo que o homem é capaz de conhecer e contemplar, que, no seu caso, era o reino das Ideias ou Formas, é superior ao próprio homem*" (BURTT, 1983, p. 72), para Galileo,

existe uma diferença de grande alcance. As características do mundo, já então classificadas como secundárias, irreais, ignóbeis e vistas como derivadas das ambiguidades dos sentidos, são justamente aquelas características mais intensas para o homem em todas as suas atividades, exceto a puramente teórica e, mesmo neste caso, exceto quando ele se limita estritamente ao método matemático. Era inevitável que, nessas circunstâncias, o homem parecesse estar fora do mundo real; o homem é pouco mais que um feixe de qualidades secundárias. Observe-se que o cenário está montado para o dualismo cartesiano - no lado do primário, o reino matemático; no outro lado, o reino do homem. E os requisitos de importância e valor, assim como de existência independente, estão todos com o primeiro. O homem começa a aparecer, pela primeira vez na história do pensamento, como espectador irrelevante e um efeito insignificante do grande sistema matemático que é a substância da realidade. (BURTT, 1983, p. 72).

Em termos da entidade Deus, o que a concepção de mundo galileana estabelece, considerando a doutrina das qualidades primárias e secundárias? Figura 3.

Com a derrubada da causalidade final, Deus, como concebido pelo aristotelismo, estava praticamente perdido; negar francamente sua existência, no entanto, era, à época de Galileu, um passo demasiado radical para que qualquer pensador importante pudesse considerá-lo. A única maneira de mantê-lo no universo era inverter a metafísica aristotélica e encará-lo como a Primeira Causa Eficiente, ou o Criador dos átomos. Essa visão já percorrera vagamente alguns quadrantes da Europa, adotada provavelmente a partir de uns poucos especuladores árabes que dessa maneira haviam buscado reconciliar o atomismo com o deísmo maometano. Ela também se adequava admiravelmente, em muitos aspectos, à concepção cristã popular de Deus como o construtor original do mundo a partir do nada. Desse modo, Deus deixa de ser o Bem Supremo em qualquer sentido importante; ele é um imenso inventor mecânico, a cujo poder se faz apelo somente para explicar o aparecimento inicial dos átomos. Com o passar do tempo, torna-se mais e mais irresistível a tendência a colocar nos próprios átomos toda a causalidade ulterior de quaisquer efeitos. Galileu, contudo, não chega a dar esse passo de maneira clara. Parecia haver alguma realidade invisível que produzia a aceleração observada nos corpos. Os movimentos dos átomos são tratados simplesmente como causas secundárias dos fatos, enquanto que as coisas primárias ou últimas eram sempre concebidas em termos de forças. (BURTT, 1983, p. 78-79).

Assim, "*a causa de todo movimento que não seja simples e uniforme deve ser expressa em termos de força*" (BURTT, 1983, p. 78); no primeiro caso dos movimentos simples e uniformes, a causa é a inércia, nos outros, a força impressa, "*sendo a gravidade ... um exemplo das mais perceptíveis dessas forças primárias*" (BURTT, 1983, p. 79). No entanto, uma questão que emerge é: qual a natureza desta força?

Como o ser humano foi banido do mundo real e como passou-se a buscar uma explicação causal em termos próprios para uma metafísica (isto é, sem o ser humano como elo entre a matéria e Deus), tal explicação da causalidade, por Galileo, se deu "*exclusivamente em termos de forças que se revelam nos movimentos matematicamente expressáveis da própria matéria*" (BURTT, 1983, p. 80); mas qual "*a natureza destas forças últimas que se revelam no vasto sistema de movimentos que constitui o mundo real?*" (BURTT, 1983, p. 80). De acordo com Burtt (1983, p. 80), "*aqui está a última prova da grandeza revolucionária de Galileu*":

Em uma era em que a especulação descontrolada era a ordem do dia, encontramos um homem com suficiente autocontenção para deixar sem respostas certas perguntas últimas, considerando-as como além do domínio da ciência positiva. Esse toque de agnosticismo em Galileu impressiona os que estão familiarizados com as correntes de pensamento de sua geração como uma marca de gênio, superior mesmo a suas maravilhosas realizações construtivas. Na verdade, não se tratava de um agnosticismo tão amplo quanto o que prevaleceu depois. Galileu nunca pensou em negar uma resposta religiosa de última análise para os problemas do universo. Mas foi suficiente para proporcionar à ciência a oportunidade de novas vitórias estupendas na interpretação matemática do mundo; ele impediu que o homem gratificasse suas fraquezas animistas às custas do caráter rigorosamente matemático da realidade e colocou a metafisica moderna diante dos mais curiosos constrangimentos. Segundo Galileu, não sabemos nada a respeito da natureza intima da força, ou de sua essência; só conhecemos seus efeitos quantitativos em termos de movimento. (BURTT, 1983, p. 80).

Assim sendo, a distinção entre qualidades primárias e secundárias, que leva à opção pelas causas eficientes, com o método científico baseado na observação e experimentação, levando em consideração a matematização da natureza como premissa de análise, podem

ser vistos como precursores de uma tendência positivista do pensamento galileano, ainda que Galileo mantivesse considerações metafísicas. (BURTT, 1983, p. 81).

7. Considerações Finais

De acordo com Burtt (1983, p. 59-82), Galileo estabelece uma desvinculação da concepção de mundo aristotélica, colocando novas bases metafísicas para o que se denominou Ciência Moderna. Para tanto, rejeitou a física aristotélica e o seu finalismo, ao se opor à concepção de que os objetos possuem tendências ou propósitos inerentes na determinação de seus movimentos (concepção teleológica), trazendo à lume que a natureza se apresenta "*como um sistema simples e ordenado, no qual todos os procedimentos são absolutamente regulares e inexoravelmente necessários*" (BURTT, 1983, p. 61), sendo uma visão de um universo descrito por fenômenos mecânicos, o que implica que a natureza pode ser entendida por meio da matemática ao descobrirmos as regularidades dos fenômenos naturais: "*são as demonstrações matemáticas, portanto, e não a lógica escolástica, que proporcionam a chave para desvendar os segredos do mundo*" (BURTT, 1983, p. 61). Assim, para Galileo, a ciência ganha uma autonomia em relação à autoridade teológica, visto que se combinam "*os métodos matemáticos e experimental na ciência*" (BURTT, 1983, p. 63), prelúdio metodológico da Ciência Moderna.

No estabelecimento desta nova visão de mundo metafísica matemática, Galileo diferencia qualidades primárias e secundárias, ao fazer "*claramente a distinção entre o que no mundo é absoluto, objetivo, imutável e matemático e o que é relativo, subjetivo, flutuante e sensorial. O primeiro é o reino do conhecimento, divino e humano; o último é o reino da opinião e da ilusão*" (BURTT, 1983, p. 67): Galileo diferencia as qualidades primárias, que são objetivas, quantificáveis, e matematizáveis, das qualidades secundárias, que são subjetivas, não quantificáveis, e sensíveis. "*As qualidades secundárias são declaradas como efeitos produzidos nos sentidos pelas qualidades primárias, as únicas reais na natureza*" (BURTT, 1983, p. 67-68).

Com essa nova metodologia unindo matemática e experimentação, ao estudar a queda dos corpos, Galileo estabelece o conceito de movimento inercial e a lei de movimento dos corpos, unificando o movimento supra lunar (considerado pelos aristotélicos perfeito e circular) com o movimento sublunar (considerado pelos aristotélicos imperfeito e retilíneo) (BURTT, 1983, p. 72), derrubando esta visão aristotélico-ptolomáica, em defesa do heliocentrismo de Copérnico. Galileo põe em relevo o *como* e não o *porquê* do movimento, e com isso, "*o estudo matemático de como acontece o movimento coloca inevitavelmente em evidência os conceitos de espaço e tempo*" (BURTT, 1983, p. 73).

Daí, trazer um objeto para mais perto do observador (experimentação), mesmo que ele permaneça no lugar, é uma atitude paradoxal, no entanto revolucionária na História da Ciência. A partir de observações sob esse espectro de significados, Galileo consolida uma ruptura de sistemas. Repetir cuidadosamente acontecimentos da natureza sob o rigor de controlar e observar os fenômenos, é uma consagração triunfante do método experimental. Se aliar ao sistema conceitual e tê-lo na penumbra para guiar suas observações e experimentações, à luz da teoria, de acordo com um propósito coerente e consistente é revolucionário. Sem sombra de dúvidas Galileo conquistou irrefutavelmente o seu lugar na Ciência. E mesmo que ele tivesse evidências em favor de sua posição, esse embate contra a concepção aristotélico-ptolomaica criou uma atmosfera silenciosa de grande disputa, por, de um lado, perdurar um sistema de mundo com seus argumentos epistemológicos prestes a serem derrotados, a despeito de outro, um novo modo de se fazer ciência, que tinha mais solidez argumentativo-sistemática. As evidências puseram as concepções de Aristóteles e

de Ptolomeu em uma situação não favorável, muito embora a preferência na autoridade tivesse peso dominante por séculos.

A despeito das controvérsias e discussões, não há como negar as grandiosas contribuições que Galileo fez na História da Ciência, de como ela foi inovadora para o seu tempo, e que de fato ele enunciou em seus grandes feitos os primeiros traços na genealogia da História para o nascimento de uma Ciência Moderna. As conclusões obtidas por esse célebre físico contribuíram para nortear uma metodologia nova, além da baseada na contemplação pura. Mesmo que suas ideias tivessem que esperar anos para serem aceitas, hoje é consenso que Galileo Galilei contribuiu de formas significativas no âmbito científico, e fez levantar discussões sobre a observação e a experimentação assumirem papeis de extrema importância no campo filosófico-científico, e demonstrar por que esses elementos são suficientemente substanciais no embate contra o simples e velho "valor da palavra". Se em uma batalha vence aquele que possui as melhores armas e estratégias, Galileo tem a vantagem sobre seus adversários, por possuir a luneta como arma, e a teoria de Copérnico como estratégia. Mas se há quem não se dê como satisfeito por esse *round* ter sido interminável, pela razão de ser um recorte atemporal na História da Ciência, basta *olhar* e *apontar* para a Ciência ulterior a Galileo e verificar suas ideias fecundadas.

Referências

BEN-DOV, Yoav. *Convite à Física*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1996.

BURTT, E. A. As Bases Metafísicas da Ciência Moderna. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1983. v. 17. (Coleção Pensamento Científico, v. 17). Tradução: José Viegas Filho e Orlando Araújo Henriques.

COHEN, I. Bernard. *O nascimento de uma nova física*: de Copérnico a Newton. São Paulo: EDART, 1967.

COPI, Irving M. *Introdução à Lógica*. 2.ed. São Paulo: Mestre Jou, 1978

CRUZ, E. *Compêndio de Filosofia*. Porto Alegre: Livraria da Globo, 1940.

DIJKSTERHUIS, E. J. *The Mechanization of the World Picture: Pythagoras to Newton*. First edition. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1986. Translated by C. Dikshoorn.

GALILEI, Galileo. *Dialog Concerning Two New Sciences*. New York: Macmillan 1914. Translated by Henry Crew and Alfonso de Salvio.

GALILEI, Galileo. *Sidereus Nuncius: o mensageiro das estrelas*. 3.ed. Porto: Oficinas da Imprensa Portuguesa, 2010.
KOYRÉ, Alexandre. *Estudos e História do Pensamento Científico*. Rio de Janeiro: Editora Forense Universitária, 1991.

KITTEL, Charles; KNIGHT, Walter D.; RUDERMAN, Malvin A. ***Curso de Física de Berkeley***: mecânica, v.1. Tradução de José Goldemberg e Wiktor Wajntal. São Paulo: Edgard Blücher, 1970.

KOYRÉ, Alexandre. *Do mundo fechado ao universo infinito*. 4º ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2006.

LIMA, A. A. de. *Os prolegômenos da metafisica. Letras*, v. 2, p. 5–18, 1954.

MONDIN, B. Introdução à filosofia: problemas, sistemas, autores, obras. São
Paulo: Paulinas, 1987. (Filosofia Paulinas).

POPPER, Karl. *A lógica da Pesquisa Científica*. 2.ed. São Paulo: Cultrix, 2013.

REALE, Giovanni; ANTISERI, Dário. *História da Filosofia*: antiguidade e Idade Média. 3.ed. Vol. 1. São Paulo: Paulus, 1990.

REALE, Giovanni; ANTISERI, Dário. *História da Filosofia*: do Humanismo a Kant. 2.ed. Vol. 2. São Paulo: Paulus, 1990.

SUDARSHAN, E. C. G.; MUKUNDA, N. Classical Dynamics: A Modern Perspective. Malabar, Florida: Robert E. Krieger Publishing Company, 1983.

THUILLIER, Pierre. *De Arquimedes a Einstein*: a face oculta da invenção científica. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1994.

VASCONCELOS, Júlio Celso Ribeiro de. *Galileu contra a inércia circular. Scientiæ Studia*, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 395-414, 2005.

XAVIER, Sabrina; GRILLO, Felipe; PAGEL, Carlos; CARDOSO, Daniel Souza; DAMASCENO, Júlio. O Movimento Composto segundo Diálogo de Galileu, introduzido através do Lançamento de Projéteis. Anais do II ENLICSUL, UNISINOS, 2017.

Isenção de responsabilidade/Nota do editor: As declarações, opiniões e dados contidos em todas as publicações são exclusivamente de responsabilidade do(s) autor(es) e colaborador(es) individual(is) e não do *Caderno de Física da UEFS* e/ou do(s) editor(es). O *Caderno de Física da UEFS* e os editores isentam-se de responsabilidade por qualquer dano a pessoas ou propriedades resultante de quaisquer ideias, métodos, instruções ou produtos mencionados no conteúdo.