

O RENASCIMENTO ASSOMBRADO PELA SIMETRIA E PERFEIÇÃO: REFLEXÕES A PARTIR DA REVOLUÇÃO COPERNICANA

 *Johnnie Richard Pereira*¹
 *Antônio Marcelo Martins Maciel*²

Resumo: Tudo é possível! É assim que Alexander Koyré procura sintetizar o conturbado, caótico e irregular período da renascença. Período em que o ocidente precisou se redescobrir. Há, neste cenário, uma curiosa oposição entre contemplação e técnica, ciência e misticismo, liberdade e censura. O processo de ruptura com o passado parece acontecer em um cenário assombrado por velhos fantasmas. Embora existisse uma certa insatisfação com o modelo aristotélico-ptolomaico, ele ainda era a base da astronomia renascentista, sendo que seus defensores procuravam propor alternativas que preservassem o modelo aristotélico-ptolomaico. Neste aspecto, muitos foram os ajustes feitos, contudo tanto a mecânica aristotélica quanto o modelo de cosmo ptolomaico começavam a despertar dúvidas e questionamentos. É nesse cenário sociocultural, político e científico que pretendemos investigar a importância do modelo copernicano de cosmo. Um modelo que vislumbra novas possibilidades de interpretar o cosmo, trazendo neste movimento de ruptura todo um arcabouço sociocultural circunscrito no período do renascimento. Portanto, investigamos como o desenvolvimento da ciência se dá neste meio, entre a ânsia de reinterpretar o cosmo e as amarras do passado.

Palavras-chave: Simetria; Perfeição; Revolução Copernicana; Astronomia.

EL RENACIMIENTO ATORMENTADO POR LA SIMETRÍA Y LA PERFECCIÓN: REFLEXIONES DESDE LA REVOLUCIÓN COPERNICANA

Resumen: ¡Todo es posible! Es así como Alexander Koyré busca sintetizar el período convulso, caótico e irregular del renacimiento. Período en el que Occidente necesitaba redescubrirse a sí mismo. Hay, en este escenario, una curiosa oposición entre contemplación y técnica, ciencia y mística, libertad y censura. El proceso de ruptura con el pasado parece ocurrir en un escenario acechado por viejos fantasmas. Aunque hubo cierta insatisfacción con el modelo aristotélico-ptolemaico, seguía siendo la base de la astronomía renascentista, y sus defensores buscaron proponer alternativas que preservaran el modelo aristotélico-ptolemaico. En este aspecto se hicieron muchos ajustes, sin embargo, tanto la mecánica aristotélica como el modelo ptolemaico del cosmos empezaron a despertar dudas y cuestionamientos. Es en este escenario sociocultural, político y científico que pretendemos investigar la importancia del modelo copernicano del cosmos. Un modelo que vislumbra nuevas posibilidades de interpretación del cosmos,

¹ Universidade Federal de Lavras/Departamento de Educação em Ciências Físicas e Matemática, Lavras-MG, Brasil. johnnie.richard13@gmail.com

² Universidade Federal de Lavras/Departamento de Educação em Ciências Físicas e Matemática, Lavras-MG, Brasil. antoniom@ufla.br

trayendo en este movimiento de ruptura todo un entramado sociocultural circunscrito en el Renacimiento. Por ello, investigamos cómo se desarrolla el desarrollo de la ciencia en este entorno, entre la urgencia por reinterpretar el cosmos y las ataduras del pasado.

Palabras clave: Simetría; Perfección; Revolución Copernicana; Astronomía.

THE RENAISSANCE HAUNTED BY SYMMETRY AND PERFECTION: REFLECTIONS FROM THE COPERNICAN REVOLUTION

Abstract: Everything is possible! This is how Alexander Koyré seeks to synthesize the troubled, chaotic and irregular period of the renaissance. Period when the West needed to rediscover itself. There is, in this scenario, a curious opposition between contemplation and technique, science and mysticism, freedom and censorship. The process of breaking with the past seems to happen in a scenario haunted by old ghosts. Although there was some dissatisfaction with the Aristotelian-Ptolemaic model, it was still the basis of Renaissance astronomy, and its defenders sought to propose alternatives that preserved the Aristotelian-Ptolemaic model. In this aspect, many adjustments were made, however, both Aristotelian mechanics and the Ptolemaic cosmos model began to arouse doubts and questions. It is in this sociocultural, political and scientific scenario that we intend to investigate the importance of the Copernican model of the cosmos. A model that envisions new possibilities for interpreting the cosmos, bringing in this movement of rupture an entire sociocultural framework circumscribed in the Renaissance period. Therefore, we investigate how the development of science takes place in this environment, between the urge to reinterpret the cosmos and the shackles of the past.

Keywords: Symmetric; Perfection; Copernican Revolution; Astronomy.

1 Introdução

Chalmers (1993), em seu livro *O que é ciência afinal?*, propõe uma profunda reflexão sobre o conceito de ciência e de método científico, conduzindo os leitores a importantes indagações sobre diversos aspectos da natureza e do desenvolvimento da ciência. Desse modo, por exemplo, quando se afirma que a ciência é fruto de uma construção humana, temos diante de nós um argumento que não deve ser resumido, simplesmente, a considerar que ela é desenvolvida por homens e mulheres. Devemos reconhecer que a ciência se desenvolve em um contexto sociocultural e político, sofrendo influências de todo um arcabouço historicamente desenvolvido pela humanidade. Nessa perspectiva, discutir o desenvolvimento da ciência requer uma abordagem interdisciplinar, com forte presença da história, filosofia e sociologia atreladas ao conhecimento científico investigado.

O trabalho que apresentamos tem como proposta analisar e refletir sobre como a insatisfação com a astronomia (pautada pela tradição aristotélico-ptolomaica) conduz à Revolução Copernicana, de modo a verificar que essa insatisfação emerge de um contexto sociocultural pertencente ao período renascentista

(tendo seu início por volta do século XIV e se estendendo até meados do século XVII). No que tange à aspectos sobre o ensino de astronomia, reconhecemos que um dos grandes desafios desta área são as barreiras impostas pelo ensino tradicional. Tendo isto em vista, Moura (2014) apresenta, a partir de uma ampla revisão bibliográfica, o conceito de Natureza da Ciência, destacando que além de aprender Ciência, os(as) alunos(as) também precisam aprender sobre a Ciência. Em seguida, acreditando que há um consenso entre pesquisadores e acadêmicos da área, Moura (2014) destaca a necessidade e o desafio de como incorporar a Natureza da Ciência nas aulas de ciências, em particular nas aulas de física.

Uma das estratégias apontadas para enfrentar este desafio são as propostas de ensino de física fundamentadas na história e filosofia da ciência. Nesta perspectiva, optamos por concentrar nossos esforços em produzir um material que sirva de suporte para os(as) professores(as) e que dialoga com os seguintes aspectos presentes no artigo de Moura (2014): (1) *a ciência é mutável, dinâmica e tem como objetivo buscar explicar os fenômenos naturais*, (2) *não existe um método científico universal*, (3) *a teoria não é consequência da observação/experimento e vice-versa*, (4) *a ciência é influenciada pelo contexto social, cultural, político, etc.*, e (5) *os cientistas utilizam imaginação, crenças pessoais, influências externas, entre outros para fazer Ciência*.

Portanto, o nosso objetivo é evidenciar o potencial de ensino que o debate sobre o simbolismo do renascimento, com enfoque na revolução copernicana, possui um grande potencial para fomentar aulas que versem sobre a história e filosofia da ciência dentro do ensino de astronomia, tanto no que tange ao despertar de uma curiosidade, interesse e criatividade científica, quanto em um ganho de significados na construção dos fundamentos da chamada Física Clássica. Com efeito, nossa proposta é refletir sobre a simbologia desse *renascer*, procurando realçar aspectos do desenvolvimento da ciência que indicam não apenas uma reconstrução da astronomia (e da ciência, de um modo geral), mas também de uma sociedade que passava por um colapso (isto é, uma transição do sistema feudal para um novo tipo de organização social) e precisava se reestruturar. Paralelo a isso, temos também a intenção de mapear as possíveis influências da astronomia pitagórica na obra de Copérnico, indicando que o movimento de ruptura com a tradição grega também parece preservar certos ideais pitagóricos.

2 Uma possível releitura da simbologia do renascer

O que significa renascer? Segundo o dicionário de conceitos históricos (Silva & Silva, 2005) existem diferentes maneiras de interpretar a simbologia do período renascentista. O que difere essas vias de entendimentos são as chaves de leituras utilizadas para compreender as diversas particularidades desse período histórico. Um exemplo, segundo Silva e Silva (2005), é a interpretação de que o período renascentista foi um momento de ruptura com a Idade Média. Neste aspecto, passa a ser possível contrastar não só uma ruptura intelectual, mas também evidenciar a revitalização da vida urbana europeia, a crise do feudalismo frente ao surgimento do Capitalismo Ocidental, dentre outros aspectos que indicam um possível colapso social, cultural e político (Silva & Silva, 2005). Em resumo, essa via de entendimento nos permite fazer uma releitura do Renascimento conectando algumas camadas de insatisfação intelectual e científica, proporcionada por diversos personagens e questionamentos da época, com uma complexa e densa manifestação sociocultural. No entanto, para avançar em nossa análise precisamos compreender melhor sobre que tipos de manifestações estamos nos referindo.

A ruptura com o período medieval pode ser vista como uma transição entre duas maneiras distintas de organização social e política. De maneira satisfatória podemos assumir que o modelo feudal caminhava gradativamente para seu fim, sendo que sintomas dessa crise podem ser destacados na medida em que refletimos sobre uma mudança de comportamento e pensamento da sociedade. Por hipótese, podemos assumir a visão genérica de que haviam certos grupos no período renascentista (com as devidas ressalvas) que se colocavam como um ser humano indagador, questionador, que procuravam por respostas sobre as regras socioculturais que a sociedade medieval aceitava. Ora, naturalmente, a generalização feita por essa interpretação é repleta de equívocos, porque acaba por romantizar a figura do indivíduo renascentista. De todo modo, podemos ressaltar que havia uma transição lenta, entre a maneira como se portava o ser humano fruto da sociedade feudal e estes grupos que começavam a repensar seu papel frente ao mundo que o cerca (Schmitt et al. 1988; Hankins, 2007).

Uma vez que conseguimos tatear a existência desta insatisfação social e cultural, a insatisfação científica parece emergir de um contexto análogo. Ora, os bastidores da ciência não encontravam isentos e excluídos das manifestações socioculturais que procuramos evidenciar, pelo contrário ao considerar que essa insatisfação é um advento isolado que emergiu de um repentino despertar de um dado grupo nós excluimos da análise uma riqueza considerável de detalhes. Isto significa que, de modo razoável, a busca por uma reinterpretação do universo tem sua origem em uma espécie de “crise existencial” do indivíduo renascentista. Contudo, de que maneira podemos interpretar essa “crise existencial”? Ora, dentro da perspectiva de conceitos próprios da história da Astronomia, podemos considerar que o universo que se apresentava frente aos olhos (e a razão) do cidadão renascentista começa a ser desconstruído, implicando em reflexões e questionamentos que soavam contraditórias às interpretações e abstrações oriundas da tradição medieval. Logo, talvez essa “crise existencial”, movida pela estranha sensação de não pertencimento ao cosmo, impulsionou certos grupos propor releituras sobre o lugar que ocupamos no universo, sendo isto uma maneira de se reconciliar (ou ressignificar) teoria e experiência, contemplação e técnica, o ser humano e a sua finitude frente à imensidão cósmica (Schmitt, et al, 1988; Hankins, 2007). Com efeito, o indivíduo renascentista começava sua caminhada em busca da compreensão sobre o seu lugar no universo. Sobre este aspecto, Silva e Silva (2005) afirmam que:

O Renascimento, o Humanismo e a Reforma foram expressões dessa crise, da necessidade que os grupos sociais então em ascensão tinham para explicar seu papel no Universo sem recorrer às explicações católicas e feudais, representantes de uma ordem que contestavam. (Silva e Silva, 2005, p. 359).

Um questionamento que pode ser feito a partir da afirmação de Silva e Silva (2005) é o seguinte: de que maneira este cenário de insatisfação sociocultural veio a influenciar a reconstrução da ciência ocidental? Para responder a essa pergunta se faz necessário refletir sobre o processo de transformação da linguagem matemática, pois, o renascimento na ciência (e em particular, na física), está conectado com o surgimento de uma nova estrutura matemática. À vista disso, o primeiro aspecto importante a ser ressaltado é que, ao contrário do processo de recuperação de textos clássicos e difusão de livros sobre literatura e ciências naturais, os tratados e livros sobre matemática e física passaram por uma lenta e gradativa assimilação, entre os séculos XIV e XV.

A hipótese para explicar essa recuperação e difusão lenta dos tratados e textos sobre matemática e física, de acordo com Boyer e Merzbach (2018), é que a linguagem matemática passava por uma transformação quanto à estrutura lógica de seu formalismo. A questão é que a tradição grega utiliza uma

abordagem geométrica para estruturar seus sistemas e teorias (sendo que este modelo permaneceu vigente durante muito tempo no ocidente), no entanto, em sentido contrário a essa estrutura, a ciência ocidental começou a ter conhecimento, e contato, com o formalismo algébrico, introduzido pela cultura árabe (Boyer; Merzbach, 2018). De acordo com Silva (2007), a introdução do pensamento algébrico na matemática renascentista causou uma certa estranheza, mas, paralelo a isso, permitiu que a ciência contemplasse e interpretasse o universo por meio de um novo conjunto de regras, princípios e hipóteses. Naturalmente, não se deve assumir que o formalismo algébrico substituiu por completo a linguagem geométrica, pois essas duas estruturas se somaram. Nessa perspectiva, o indivíduo renascentista continuava a buscar por um universo harmônico regido por círculos e esferas concêntricas, tendo agora em seu arcabouço teórico a possibilidade de fazer uma leitura mais algébrica. O universo começava a se estruturar por meio de axiomas, variáveis e constantes. Em outras palavras:

Do ponto de vista filosófico, o que mais chama a atenção nessa época são a crescente autonomia do simbolismo matemático e as novas concepções de número germinadas nos domínios da álgebra, além de uma inusitada disposição dos matemáticos para se envolverem com o infinito sob diversas formas [...] a notação algébrica [...] irá se constituir num sistema simbólico bastante flexível, capaz de expressar em sinais os termos numéricos (incógnitas e parâmetros) e as operações às quais as quantidades denotadas por esses termos estão submetidas. (Silva, 2007, p. 77).

A simbologia algébrica tornou possível a estimativa de quantidades e valores que possibilitam uma reinterpretação da natureza. Talvez, dentro desse cenário, a física vislumbrou uma alternativa à máxima pitagórica “*tudo é número*”, pois passou a descrever a natureza dos fenômenos por meio de equações que atribuíam significados e propunham estimativas para realidade observável. Logo, o formalismo algébrico permitiu ao ser humano investigar a estrutura dos fenômenos naturais, mas quais foram os percalços e obstáculos encontrados nos primeiros passos dessa longa caminhada até a consolidação da Física Clássica? Segundo Alexandre Koyré³ (2011), a construção dessa nova linguagem matemática foi um processo conturbado e complexo. O que Koyré (2011) procura destacar, em seu argumento, é que antes do surgimento da Física Clássica o ocidente passou por uma forte influência de uma ontologia mágica. Nesta perspectiva, uma vez que os pilares que sustentavam a tradição aristotélico-ptolomaica foram contestados e revogados, muitas foram as teorias postulantes a explicar as causas dos fenômenos naturais. A questão é que as novas ideias propostas pela física eram contraintuitivas. A física aristotélica, em linhas gerais, detém a seu favor o argumento de que se descreve aquilo que nossos sentidos conseguem captar. Nesta perspectiva, a lógica e encadeamento dos argumentos se constroem e são gradativamente consolidados pela verificação de nossos sentidos, respaldados pela própria razão que analisa essas informações. Logo, o argumento de que, por exemplo, a Terra se encontra parada no centro do universo faz sentido, pois, ao observarmos nosso entorno, constatamos que outros corpos se movem, mas a Terra realmente parece estar “parada”.

Com efeito, o formalismo algébrico não só introduziu as interpretações axiomáticas e abstratas ao pensamento ocidental, como também passou a ser sustentado por uma teoria que era contraintuitiva. As evidências de que a Terra na verdade se movia no universo e orbitava o Sol não encontravam respaldo direto

³ Em linhas gerais, Alexandre Koyré (29/08/1892 - 28/04/1964) foi um filósofo francês de origem russa. Entre suas várias contribuições, Koyré desenvolveu importantes estudos sobre história e filosofia da ciência.

na experiência cotidiana. Isto possibilitou, por sua vez, o surgimento e popularização de diferentes perspectivas místicas sobre a natureza e comportamento das coisas, pois além de se tratar de explicações mais palpáveis aos ouvidos leigos, também se faziam mais influenciadas por aplicações mais “diretas” à realidade observável. Em resumo, temos que:

No mundo da ontologia aristotélica, há uma infinidade de coisas que não são possíveis; uma infinidade de coisas, portanto, que sabemos de antemão serem falsas. Uma vez essa ontologia destruída, e antes que uma nova ontologia, elaborada somente no século XVII, seja estabelecida, não se dispõe de critério algum que permita decidir se a informação que se recebe de tal ou qual "fato" é verdadeira ou não. Daí resulta uma credulidade sem limites. (Koyré, 2011, p. 44).

Para melhor compreender o argumento de Koyré vamos separá-lo em dois tópicos. Em primeiro lugar, o autor parece não se opor a uma interpretação do renascimento como um período de reconstrução, porque o seu argumento nos conduz a um ambiente histórico onde as possibilidades de explicações sobre os fenômenos naturais eram variadas e heterogêneas. Em segundo lugar, a pretensão de Koyré talvez seja destacar que a sociedade ocidental passou por um período confuso, pois, frente a um cenário no qual novos pilares precisavam ser construídos, o indivíduo renascentista não sabia, de maneira coesa e harmônica, qual caminho seguir. Na ausência deste direcionamento, emergiu no ocidente uma curiosa corrente mística e esotérica. Neste sentido, podemos interpretar esta "credulidade sem limites" como sendo um possível sintoma da tal “crise existencial” a qual chamamos atenção anteriormente (Koyré, 2011).

De modo geral, podemos considerar que o esforço para ressignificar a interpretação sobre seu lugar no cosmo exigiu do indivíduo renascentista paciência e resiliência, afinal, para além de um querer (de uma vontade) de romper com a tradição medieval, o indivíduo renascentista precisava desenvolver e lapidar as ferramentas necessárias para a reconstrução almejada. Lembre-se que revogar a mecânica aristotélica implicava em ter que propor uma nova mecânica e, conseqüentemente, uma nova Filosofia Natural. Naturalmente, o formalismo algébrico emergente era incompatível com a Filosofia Natural aristotélica e isto fez com que houvesse uma forte resistência à aceitação destas novas ideias. Além do mais, a Filosofia Natural de Aristóteles contava com o apoio da Igreja Católica, porque ao longo da história suas ideias foram incorporadas pela fé judaico-cristã. Logo, propor uma nova Filosofia Natural capaz de substituir as ideias de Aristóteles era se opor também às bases que sustentavam o cânone da religião predominante naquele momento. Sobre este cenário, Koyré (2011) afirma que:

[...] se se desejasse resumir em uma frase a mentalidade da Renascença, eu proporia a fórmula: tudo é possível. A única questão é saber se "tudo é possível" em virtude de intervenções de forças sobrenaturais [...] ou se se recusa à intervenção de forças sobrenaturais, para afirmar que tudo é natural e que mesmo os fatos miraculosos se explicam por uma ação da natureza. (KOYRÉ, 2011, p. 45).

Tudo é possível. É por meio desta formulação que Koyré sintetiza o período do renascimento. Um dos fatos inusitados sobre esse período é que astronomia e astrologia caminharam lado a lado durante algum tempo. Para Jammer (2011), não devemos entender o conceito de astrologia simplesmente como a arte de fazer previsões (e prognósticos), tendo por base a data e hora de nascimento de uma dada pessoa. A abordagem precisa ir além desta interpretação convencional, porque a astrologia traz consigo a suposição

de que existe uma relação entre o posicionamento dos corpos celestes e a vida na Terra. Logo, de modo satisfatório, podemos considerar que o misticismo que a astrologia evoca conduz a uma interpretação errada dessa relação, porém a suposição que sustenta sua arte provém de uma sociedade que mantinha uma curiosa relação com os corpos celestes. Os cidadãos daquela época acreditavam que existia uma relação entre os acontecimentos cotidianos e a posição e o movimento dos corpos celestes. Isto nos conduz, em última instância, a considerar que a admiração que o indivíduo renascentista mantinha com a crença astrológica fez com que a profissão de astrólogo fosse benquista.

3 A Revolução Copernicana

A produção intelectual que antecedeu a obra de Nicolau Copérnico (1473 - 1543) foi vasta e ampla, se destacando, dentro da área da matemática, os trabalhos desenvolvidos por Johannes Müller von Königsberg (1436 - 1476). Segundo Boyer e Merzbach (2018), os trabalhos de Müller consistem em um dos arcabouços teóricos mais influentes do século quinze, com seu arsenal geométrico tendo, porventura, sido utilizado por Copérnico em seu modelo planetário. Um dos indicativos desta possível influência surge quando se reconhece que, na área da astronomia, uma das contribuições feitas por Müller foi completar a tradução de uma nova versão do *Almagesto* de Ptolomeu. Isto permitiu, também, que Müller desenvolvesse outros projetos visando descrever, com riqueza de detalhes, o formalismo matemático contido na obra de Ptolomeu, sendo que este esforço resultou na publicação da *De triangulis omnimodis*, uma rica exposição de métodos que permitiam a resolução de problemas envolvendo triângulos (Boyer; Merzbach, 2018).

No que diz respeito ao modelo planetário aristotélico-ptolomaico, podemos assumir de maneira satisfatória que essa visão do universo ainda representava uma explicação plausível para os estudiosos da época. A questão é que apesar de existir um movimento gradativo e crescente de críticas quanto a validade do modelo aristotélico-ptolomaico, também havia, em contrapartida, um movimento de defesa desta tradição. Isto, eventualmente, resultou em uma produção de obras que propunham correções para as falhas evidenciadas pelos críticos da tradição. A necessidade de se propor uma nova mecânica esbarrava na ausência de uma Filosofia Natural que se adequasse a essa nova conjectura de ideias. Portanto, os defensores da tradição aristotélica argumentavam que, feitas as devidas correções, o modelo posto seguia servindo aos propósitos esperados (Boyer; Merzbach, 2018; Jammer, 2009; Jammer, 2011).

Por outro lado, se seguirmos na linha da interpretação feita por Ponczek (2015), podemos supor uma espécie de efeito contrário que emerge destas correções realizadas para salvar o modelo aristotélico-ptolomaico. O argumento de Ponczek (2015) supõe que essas correções acabaram por provocar um certo descontentamento em certos grupos de cientistas. Descontentamento, este, que teria despertado em Copérnico quando os aristotélicos introduziram a ideia dos equantes e dos movimentos excêntricos, no modelo ptolomaico. De certo modo, assumir a existência de equantes e de movimentos excêntricos atendia, ainda que parcialmente, a necessidade de explicar a natureza das anomalias observadas. Nesta perspectiva, os aristotélicos da época consideravam que a dinâmica dos movimentos descritos por meio de epiciclos pudesse ser uma válvula de escape para o movimento não uniforme dos corpos celestes (Ponczek, 2015).

Contudo, a interpretação que Copérnico fazia da mecânica aristotélica parecia evocar uma contradição com a ideia de movimentos não uniformes. Ora, se lembrarmos que os ideais pitagóricos previam que os corpos celestes deveriam se movimentar de maneira harmônica, simétrica e perfeita, sendo o círculo a figura que melhor representaria este movimento, então a concepção de um movimento desigual (não harmônico) parece romper com esses ideais. Neste aspecto, talvez seja razoável considerar que Copérnico entendia que, dada as bases da Filosofia Natural estabelecidas pela mecânica aristotélica, todos os corpos celestes deveriam girar com uma velocidade invariável. Deste modo, uma vez que o centro do universo estava fixado na Terra, a ideia dos equantes e do movimento excêntrico não solucionava o problema, mas sim gerava um novo enigma (Vesel, 1965). Para Vesel (1965):

[...] A primeira objeção de Copérnico, frente a astronomia ptolomaica, não surge, portanto, como um resultado de seu desacordo com as observações ou pela sua incapacidade em calcular as posições dos corpos celestes, mas sim por causa de uma violação evidente do antigo princípio do movimento circular uniforme. Esta é a razão pela qual as suposições ptolomaicas não são suficientemente “absolutas”, ou “perfeitas”, ou “de acordo com a razão”. (Vesel, 1965, p. 52, tradução nossa.)⁴

A pedra angular do argumento de Vesel (1965) é que a crítica de Copérnico à astronomia de seu tempo tem como principal embasamento uma violação dos próprios ideais que a dita tradição aristotélica julgava defender. A questão é que a introdução do conceito de equantes não resolve o problema dos movimentos irregulares dos corpos celestes, mas sim cria uma contradição interna com a mecânica aristotélica, pois introduz um novo tipo de movimento circular que, a princípio pelo menos, não é uniforme. Vesel (1965), em contrapartida, indica que não é claro os motivos que conduzem Copérnico a julgar o conceito dos equantes como algo “*que não está em acordo com a razão*”, no entanto cita que ao longo da história da astronomia outros cientistas também discordavam deste artifício usado por Ptolomeu.

A construção copernicana do modelo heliocêntrico de cosmos tem sua estrutura fundamentada em duas vias que se candidataram como explicações plausíveis para o irregular movimento aparente celestial, a saber: (1) a suposição de que qualquer um dos círculos (que constituem os modelos) possuem pólos diferentes ou (2) a hipótese de que a Terra não se encontra no centro do universo. Quando consideramos a primeira via de explicação temos que é dela que se evoca a suposição dos chamados movimentos excêntricos. Nesta perspectiva, segundo Vesel (1965), Copérnico argumenta que a introdução destes movimentos fornece uma explicação satisfatória para a aproximação dos corpos celestes, contudo quando se considera o afastamento dos mesmos, frente a posição central da Terra, a explicação se torna imprecisa. Para Vesel (1965), este curioso e intrigante mistério do movimento retrógrado dos planetas indicava, para Copérnico, que a Terra deveria ocupar uma posição descentralizada, e não central como defendiam os ptolomaicos. À vista disso, Copérnico parece introduzir o movimento de translação como uma consequência dessa descentralização da Terra. Em outras palavras:

⁴ Texto original: Copernicus' first objection to the Ptolemaic astronomy therefore arises not from its disagreement with observations or its incapacity to calculate the positions of the celestial bodies, but from its violation of the ancient principle of uniform circular motion. That is the reason why the Ptolemaic speculation is not sufficiently “absolute” or “perfect” and “in accordance with reason.”

[...] Se assumirmos a rotação diária realizada pela Terra, outra questão não menos importante surgirá sobre sua posição. Com toda certeza, até este momento existe praticamente uma aceitação unânime da crença de que a Terra se encontra posicionada no centro do universo. Qualquer um que eventualmente discorde de que a Terra ocupe o meio ou centro do universo pode, no entanto, afirmar que sua distância [para o centro] é insignificante em comparação com a [a distância da] esfera de estrelas fixas, no entanto é perceptível e notável em relação às orbes do Sol e dos outros planetas. Ele pode considerar que esta é a razão pela qual seus movimentos aparentes não são uniformes, em conformidade com um centro diferente do centro da Terra. Talvez, ele possa [assim] produzir uma explicação satisfatória do aparente movimento não uniforme. Porque o fato notável de que os mesmos planetas são observados mais perto da Terra e mais longe necessariamente prova que o centro da Terra não é o centro de seus círculos. É menos evidente se a aproximação e retirada são executadas pela Terra ou pelos planetas. Não causaria surpresa se, em adição ao movimento de rotação diário, algum outro movimento fosse executado pela Terra. (Copérnico Apud Vesel, 1965, p. 208, tradução nossa.)⁵

A desconstrução do geocentrismo foi introduzida por Copérnico de maneira gradual, porque Copérnico se preocupou em justificar e discutir os resultados obtidos pelos dados observáveis da própria astronomia, frente às anomalias que já eram vigentes à época. O intuito de criar esse paralelo era o de estabelecer um cenário onde o novo formalismo matemático se apresentasse como uma correção dessas anomalias, contribuindo para um ajuste dos dados observáveis a nova teoria que vem para substituir a tradição aristotélica. Efetivamente, o argumento de Copérnico é cuidadoso, pois não ataca abertamente a tradição geocêntrica. A articulação que podemos observar na citação acima procura, de maneira sutil, conduzir os leitores a refletirem sobre uma nova maneira de organização do Cosmos.

De modo satisfatório, podemos supor que o primeiro objetivo de Copérnico era o de indagar os leitores sobre o *modus operandi* que prevalecia na astronomia de sua geração. Para isto, Copérnico propõe o exercício de descentralizar a posição da Terra no universo. Entretanto, a mudança de posicionamento precisa vir acompanhada da introdução do movimento de rotação e de um segundo movimento (ao qual será chamado de translação), de modo que esse conjunto de alterações resolvam os problemas vigentes da astronomia. Para Vesel (1965), existe a possibilidade de que a suposição destes dois movimentos, executados pela Terra, tenham emergido da estrutura e formalismo matemático construídos por Copérnico para sustentar seu modelo planetário.

Outro ponto curioso do argumento de Copérnico é que ao descentralizar a Terra do centro universo, consequentemente, abre-se espaço para supor quem deveria ocupar este lugar de destaque no cosmos. A

⁵ Texto original: If we assume its daily rotation, another and no less important question follows concerning the earth's position. To be sure, heretofore there has been virtually unanimous acceptance of the belief that the middle of the universe is the earth. Anyone who denies that the earth occupies the middle or centre of the universe may nevertheless assert that its distance [from the centre] is insignificant in comparison with (the distance of) the sphere of the fixed stars, but perceptible and noteworthy in relation to the orbs of the sun and the other planets. He may deem this to be the reason why their motions appear nonuniform, as conforming to a centre other than the centre of the earth. Perhaps he can [thereby] produce a not inept explanation of the apparent nonuniform motion. For the fact that the same planets are observed nearer to the earth and farther away necessarily proves that the centre of the earth is not the centre of their circles. It is less clear whether the approach and withdrawal are executed by the earth or the planets. It will occasion no surprise if, in addition to the daily rotation, some other motion is assigned to the earth.

proposição de um universo heliocêntrico, para Vesel (1965), pode ser explicada por meio de dois argumentos, a saber: (1) Copérnico entendia que os próprios astrônomos discordavam (entre si) quanto a duração do chamado ano tropical⁶ e (2) não há uma organização (ou harmonia) quanto ao uso de princípios, suposições e demonstrações na astronomia renascentista; configurando, naturalmente, em um cenário caótico. Em outras palavras, segundo Vesel (1965), Copérnico afirma que:

Em primeiro lugar, eles não têm nenhuma clareza sobre os movimentos do Sol e da Lua, de modo que se torna improvável qualquer tipo de demonstração e observação constante, como no caso do ano tropical. Em segundo lugar, quando se verifica a determinação não apenas destes corpos, mas também dos outros cinco planetas, constata-se que não há a aplicação dos mesmos princípios, suposições e demonstrações das revoluções e movimentos aparentes. (Copérnico apud Vesel, 1965, p. 34, tradução nossa.)⁷

A crítica de Copérnico à comunidade de astrônomos e cientistas de sua época é pontual e objetiva. Parece que não havia um consenso sobre quais estratégias, modelos ou sistemas usar para classificar e interpretar os dados observáveis da época. Isto, naturalmente, nos conduz a um cenário de imprecisões, onde a comunidade científica provavelmente se via perdida sem saber o que fazer para justificar as anomalias e contradições existentes entre o modelo aristotélico-ptolomaico e os dados provindos das observações astronômicas. Se lembrarmos que no período renascentista este cenário de confusão se estende para um colapso sociocultural e político, então é razoável considerar que a física (bem como a astronomia) também passasse por algo similar.

De acordo com Koyré (2011), neste período o ocidente ainda se indagava sobre as possibilidades de reconstrução, porque pouco se sabia sobre como, e de que jeito, este renascer poderia vir a acontecer. À vista disso, como apontado por Vesel (1965) na citação acima, temos o exemplo de uma astronomia que se via perdida em si mesma, porque, apesar dos esforços para salvar o modelo vigente, já não havia harmonia e concordância interna sobre quais métodos, demonstrações e princípios usar. Talvez o descontentamento ao qual Ponczek (2015) chama atenção tenha surgido deste cenário, sendo a insatisfação de Copérnico um sintoma de como esse cenário de indecisões e incertezas afetava a comunidade de astrônomos de sua época. De todo modo, o desafio de Copérnico e dos demais opositores à tradição grega não era simples, pois, como ressaltamos anteriormente, contestar a tradição significava questionar a Filosofia Natural de Aristóteles (Koyré, 2011; Koyré, 1986). Em outras palavras, não bastava apresentar uma nova estrutura matemática, pois, na medida em que esse novo formalismo rompia com o geocentrismo aristotélico-ptolomaico,

⁶ Por definição, chama-se de ano tropical o intervalo de tempo medido a cada duas passagens consecutivas do Sol pelo ponto vernal, também conhecido como equinócio de primavera. Atualmente estima-se que o ano tropical tem a duração de 365,2422 dias solares. Fonte: www.if.ufrgs.br/riffel/notasaula/ensinoastro/roteiros/Tempos.htm

⁷ Texto original: [f]or, in the first place, they are so uncertain about the motion of the sun and moon that they cannot demonstrate and observe a constant length even for the tropical year. Secondly, in determining the motions not only of these bodies but also of the other five planets, they do not use the same principles, assumptions, and demonstrations of the apparent revolutions and motions.

passava-se a existir a necessidade de uma nova Filosofia Natural; compatível com a nova interpretação do cosmo.

Um exemplo desta incompatibilidade entre a Filosofia Natural aristotélica e o formalismo matemático copernicano são as evidências de que o modelo heliocêntrico renascentista traz consigo traços de influência das idéias de Aristarco de Samos. Para Aristarco o modelo geocêntrico não se sustentava por causa da relação entre o tamanho dos astros Terra e Sol. O tamanho da Terra já era algo razoavelmente conhecido, na época de Aristóteles, pois Eratóstenes de Cirene (276 a.C – 194 a.C) havia feito um engenhoso cálculo do raio da Terra, tendo encontrado um valor aproximado satisfatório para a época⁸. Todavia, pouco se sabia sobre os tamanhos da Lua e do Sol. Deste modo, para justificar seu argumento, Aristarco procurou estimar a distância entre a Terra e a Lua, e entre a Terra e o Sol. As medidas realizadas por Aristarco, em proporção, o conduziu a estimar que a Lua deveria ser menor que a Terra, enquanto que, por sua vez, o Sol deveria ser muito maior que a Terra. Com efeito, se o Sol, em proporção, é muito maior que a Terra, então a ele deveria ser atribuído o local de destaque no universo. Isto implica dizer que não deveríamos supor que a Terra está localizada no centro do universo, pois o maior astro celeste é que deve ocupar o lugar de destaque (Heath, 1991; Heath, 2013; Martins, 1994). No entanto, apesar dos cálculos e estimativas realizados por Aristarco de Samos suas ideias não foram aceitas.

Paralelo ao pensamento de Aristarco, podemos supor que quando se considera a estrutura planetária por meio da proporção entre os corpos celestes, é satisfatória assumir como resultado um sistema onde os corpos menores deveriam executar movimentos uniformes ao redor de corpos considerados grandes. Nessa perspectiva, a Terra, frente a imensidão do céu, seria um corpo pequeno. Portanto, como o estado de "repouso" (aqui citado com muitas aspas) era considerado o estado mais nobre de todos os corpos (afinal, um corpo em repouso havia atingido seu lugar natural, de acordo com Aristóteles), então esse estado deveria ser reservado ao mais divino dos seres celestes (Koyré, 1986).

Para Roberto Martins (1994), ao introduzir a ideia de movimento para a Terra, e optar por deixar o Sol em “repouso” no centro do universo, Copérnico não promovia uma ruptura total com a tradição aristotélica, porque a suposição de movimento para a Terra tinha por intenção preservar os ideais pitagóricos. Efetivamente, Copérnico queria corrigir a imprecisão que, segundo os opositores ao geocentrismo, a introdução dos equantes causava. Isto significa que o movimento atribuído à Terra era uma estratégia para manter os ideais de movimentos uniformes, simétricos e perfeitos. A principal diferença é que ao invés de os corpos celestes estarem orbitando a Terra agora eles deveriam orbitar o Sol. Neste aspecto, é razoável supor que a própria tradição grega que sustentava algum tipo de movimento para a Terra (ou que previa que o Sol deveria ser o centro do universo) não parecia promover uma ruptura total com os ideais pitagóricos. A diferença é que para quem defendia o geocentrismo tinham a seu favor o suporte da Filosofia Natural aristotélica, enquanto que os opositores se viam limitados pela ausência de uma Filosofia Natural compatível com o sistema heliocêntrico.

Um outro exemplo sobre a incompatibilidade do sistema heliocêntrico com a Filosofia Natural aristotélica se dá frente a seguinte questão: por qual motivo um dado corpo precisa se mover? De acordo com Ponczek (2015), a resposta de Aristóteles ao questionamento proposto foi direta e simples, a saber: um corpo se move para ocupar o lugar natural, ao qual conseqüentemente pertence. Quando consideramos a queda de uma pedra, a física aristotélica explica esse movimento de modo que a pedra, ao cair de um dado

⁸ Para maiores informações sobre este experimento consulte (Heath, 1991).

lugar mais elevado em direção ao chão, está buscando seu lugar natural. Logo, isto implica que o movimento natural de queda da pedra indica uma busca pelo seu lugar natural, que é abaixo, respectivamente, dos elementos fogo, ar e água (Martins, 1994). Ao atirar a pedra para cima naturalmente estamos afastando-a de seu lugar natural, por intermédio de uma causa externa. Quando esta causa externa para de atuar sobre o corpo o movimento violento encontra seu fim, dando lugar, conseqüentemente, ao movimento natural de retorno da pedra ao seu lugar natural (Ponczek, 2015).

Em sentido contrário, Copérnico argumenta que a busca dos corpos "pesados" em voltar para a Terra se dá não pela condição de retorno a seu lugar natural, mas sim por ação de um *querer* que move esses corpos de volta à Terra. Ao introduzir o conceito de *querer*, Copérnico caminha na direção contrária do que é proposto pela mecânica aristotélica, flertando com ideias que tempo mais tarde encontrariam sua formulação robusta na mecânica clássica (Koyré, 1986; Koyré, 2011). Talvez, em linhas bem gerais, o *querer* ao qual Copérnico menciona tenha em si o embrião daquilo que viria a ser o conceito de *força*.

4 Considerações Finais

Apesar de possuir méritos e se colocar como uma obra que inaugura uma nova visão de universo no ocidente, o modelo copernicano foi alvo de diversas críticas. Algumas delas tinham como embasamento a já mencionada ruptura com o geocentrismo aristotélico-ptolomaico, mas outros pontos do sistema copernicano também se mostraram inconsistentes. Segundo Ponczek (2015) um resumo sobre as críticas feitas ao modelo copernicano pode ser feito por meio das quatro grandes perguntas que o heliocentrismo deixava em aberto, a saber:

Por que os corpos insistem em cair para o centro da Terra e não para o Sol, já que este é o centro do universo? Por que não somos atirados para fora da Terra, como ocorre num carrossel em rotação? Por que uma pedra atirada para cima, volta às nossas mãos? Por que as estrelas parecem não se mover? (Ponczek et al., 2015, p. 74)

Se o propósito de Copérnico era o de apresentar um modelo planetário claro e objetivo, podemos considerar que ele não alcançou este objetivo. Segundo Martins (1994), para que o modelo geocêntrico fosse superado se fazia necessário que uma nova física fosse estruturada para sustentar esse modelo de universo. Um aspecto importante a ser ressaltado é que o heliocentrismo, defendido por Copérnico, era contra intuitivo, isto é, gerava uma contradição com os fatos conhecidos pela experiência cotidiana. Isto se justifica na medida em que, por meio do senso comum, não sentimos efeitos do movimento da Terra. Quando se observa o movimento dos corpos celestes - a partir de um referencial em repouso na Terra - o que se nota é que os corpos celestes estão se movendo, enquanto nós - que estamos no referencial em repouso - seguimos parados. Nesta perspectiva, parece ser uma escolha razoável assumir que a Terra deveria ocupar o centro do universo, estando imóvel na imensidão cósmica, pois o que se pode captar, através dos sentidos, é que a Lua, os planetas e as estrelas estão se movendo ao nosso redor. Logo, a física aristotélica é mais intuitiva, isto é, ela dialoga de forma mais clara com o mundo.

Um dos defensores do sistema copernicano foi Kepler. Segundo Field (2013), Kepler entendia que a eficiência, ou superioridade, do sistema copernicano residia na estrutura matemática que sustentava suas ideias. Embora Copérnico não tenha tido êxito no desafio de propor um modelo mais simples e objetivo (tendo esbarrado, por exemplo, no problema de não conseguir reduzir o número de esferas e círculos, originalmente propostos pelo sistema de Ptolomeu), Kepler acreditava que a obra de Copérnico possuía certas virtudes que precisavam ser mantidas e, conseqüentemente, desenvolvidas (Field, 2013). Um aspecto curioso é que dependendo do método de análise adotado o modelo copernicano pode apresentar um número maior de círculos que o de Ptolomeu. Entretanto, para que seja feita uma análise justa, Field (2013) também destaca que a descrição das órbitas, feitas por Copérnico para organizar o movimento planetário, se aproximam de um modelo circular com maior nitidez do que as órbitas geocêntricas que foram propostas por Ptolomeu. Neste aspecto, a introdução dos chamados epiciclos funcionam como pequenos ajustes para corrigir as lacunas entre os círculos que marcam as órbitas médias dos planetas.

Uma das virtudes do sistema copernicano destacadas por Kepler era a objetividade com que Copérnico explicava os chamados pontos materiais cósmicos que, dentro do sistema ptolomaico, eram tidos como dados observáveis “nus” (Koyré, 2013). Ao considerar estes pontos materiais como dados observáveis “nus”, o sistema ptolomaico não era capaz de explicar certos movimentos anômalos, e desiguais, dos planetas. Isto significa dizer que questões como as estações do ano e movimentos retrógrados seguiam sem uma explicação convincente, abrindo brechas para aquele cenário de discordância quanto a princípios, métodos e demonstrações destacados na seção anterior. Por outro lado, Kepler defendia a tese de que, a partir de Copérnico, esses fenômenos passaram a ter uma explicação convincente, pois o seu modelo apresentava métodos, princípios e demonstrações que convergiam para um resultado plausível e passível de ser verdadeiro. Com efeito, Kepler também considerava que a rejeição do sistema copernicano se pautava em uma resistência em reconsiderar o posicionamento da Terra no universo, porque isso abalava certas estruturas socioculturais consolidadas na época. (Koyré, 2013). A questão é que o sistema copernicano conseguia explicar pontos que o sistema ptolomaico não podia, tais como:

Por que os planetas inferiores nunca podem se mover a uma distância muito grande do sol de modo a se opor a ele, como fazem os planetas superiores - sendo isto um fato que Ptolomeu foi obrigado a aceitar - por que, no caso dos planetas superiores, apogeu (ponto orbital mais afastado da Terra) está sempre em conjunção, e perigeu (ponto orbital mais próximo da Terra) é sempre em oposição ao Sol. Ele explicou por que, no sistema de círculos em que os planetas têm seu movimento, há sempre um deles - o deferente dos planetas inferiores e o epiciclo dos planetas superiores - que completam seus cursos no mesmo tempo que o sol completa o seu próprio. Em outras palavras, ele explicou por que o Sol possui uma importância fundamental no sistema planetário. (Koyré, 2013, p. 129, tradução nossa.)⁹

⁹ Texto original: Why the inferior planets can never move far enough away from the Sun to be in opposition to it as in the case of the superior planets; he explained also—and this was something - he explained also — and this was something Ptolemy was obliged to accept as a plain fact - why, in the case of the superior planets, apogee is always at conjunction, and perigee is always at opposition to the Sun. He explained why, in the system of circles on which the planets have their motion, there is always one of them (the deferent of inferior planets and the epicycle of superior

A narrativa de Koyré procura destacar as virtudes centrais do sistema copernicano, indicando que Kepler via estas virtudes como um fundamento sólido que precisava ser resguardo, e não descartado. Neste contraste entre os dois sistemas também é possível notar que o Sol exerce uma função fundamental em ambas estruturas planetárias, sendo que Koyré (2013) entende que Kepler assume que o Sol possui uma relevância emblemática no sistema copernicano que se assemelha a interpretação ptolomaica. No entanto, Koyré (2013) assume uma posição mais cautelosa ao enfatizar que a simbologia e importância do Sol no sistema ptolomaico é construída sem uma justificativa aparente, o que significa dizer que Ptolomeu postula esta importância do Sol sem se preocupar com maiores explicações. Por outro lado, no sistema copernicano a relevância emblemática do Sol se solidifica por meio de argumentos matemáticos. Neste aspecto, talvez a herança mais simbólica do sistema copernicano, para seus sucessores, seja o formalismo matemático criado por Copérnico para sustentar suas ideias.

Com efeito, para Koyré (2013), Kepler atribuía a Copérnico o mérito de ter apresentado a astronomia um modelo que articulava com elegância e harmonia os dados observáveis com a linguagem matemática. Consequentemente, isto possibilitou que o sistema copernicano pudesse explicar de maneira satisfatória eventos astronômicos anteriores a seu tempo, como, também, viesse a estabelecer boas previsões para eventos futuros. No entanto, de modo a relativizar seu posicionamento, Koyré (2013) menciona que nenhum sistema astronômico, até a época de Kepler, era capaz de fazer medidas com precisão absolutas, entretanto o que Kepler destacava era que o sistema copernicano entregava dados mais apurados. Por fim, talvez a revolução copernicana não obteve seu êxito de modo instantâneo, mas serviu como o estabelecimento de diretrizes daquilo que precisava ser repensado, reorganizado e ressignificado na astronomia e na física.

No que diz respeito ao ensino de Astronomia, o conjunto de informações descrito neste trabalho fornece ao(a) professor(a) diversos aspectos que podem aparecer ao longo do ensino de Física, em sala de aula. Na prática, quando o(a) professor(a) for desenvolver tópicos sobre geocentrismo e heliocentrismo, movimento planetários, leis de Kepler, tendo como objetivo final apresentar a gravitação universal newtoniana, este trabalho pode contribuir na fomentação de debates sobre a Natureza, filosofia e História da Ciência. Neste aspecto, abre-se a possibilidade de articular o arcabouço algébrico que constitui a fundamentação da Física Clássica com elementos que discutem como foi desconstruída a astronomia ptolomaica e a dinâmica aristotélica.

As possibilidades de debates e reflexões que o tema apresentado evocam podem abordar diferentes aspectos da Natureza da Ciência, principalmente quando recorreremos àqueles destacados por Moura (2014). De modo efetivo, o(a) professor(a) pode optar por um plano de aula que favoreça um debate sobre a construção de modelos científicos com o objetivo de explicar os fenômenos naturais observados (1), ou, se preferir, pode optar por uma via de ensino que instigue os(as) alunos(as) a questionarem a existência de um método científico universal (2). Há também a possibilidade de uma reflexão sobre a afirmação de que toda teoria científica é consequência de experimentos/observações, o que, por sua vez, abre horizonte para uma curiosa discussão na qual um outro grupo poderia defender a posição contrária, a saber: todo experimento/observação é consequência da teoria (3). Neste cenário de conflito de ideias, o(a) professor(a)

planets) which completes its course in the same time as the Sun completes its own; in other words, he explained why the Sun plays such an important part in the planetary system.

O Renascimento Assombrado pela Simetria e Perfeição:
Reflexões a partir da Revolução Copernicana

pode vir a articular diferentes estratégias para conduzir os(as) alunos(as) a um consenso de que nenhum dos dois extremos é totalmente verdadeiro.

Portanto, existe, também, a alternativa de evidenciar a importância da imaginação, criatividade, crenças pessoais e tantos outros aspectos dentro da ciência, indicando que a ciência não é formada por gênios isolados, mas sim por pessoas curiosas, sonhadoras e que todos nós somos, em certa medida, cientistas quando nos indagamos sobre os mistérios do mundo que nos cerca (5). Aspectos extrínsecos da época podem ser buscados com a finalidade de abrir espaço para uma reflexão em que se considera com maior ênfase o contexto histórico, cultural e social da época em que os cientistas viveram, ressaltando como estes fatores influenciaram na construção de sua teoria (4), os quais não estamos evidenciando neste trabalho, mas que são indicados por Koyré (1986) quando o mesmo afirma que o Renascimento foi um período histórico onde: “Tudo é possível”.

Logo, em nosso entendimento, os cinco aspectos indicados por Moura (2014) podem ser trabalhados em sua totalidade - se o(a) professor(a) considerar ser esta uma via de ensino interessante - ou podem ser utilizados de maneiras articuladas. Isto significa que o(a) professor(a) tem a liberdade de escolher quais aspectos melhor se encaixam dentro da sua realidade e da sua metodologia de ensino. Logo, não há a necessidade de se abranger todos os cinco aspectos de Moura (2014) de uma única vez, ou obrigatoriamente. Na verdade, estas reflexões podem ser feitas de maneira a se adequar a realidade de cada professor(a) e suas respectivas escolas. Isto significa que, caso seja necessário, pode ser feita a opção de trabalhar apenas um dos aspectos citados, desde que isto contribua para um melhor entendimento da Revolução Copernicana.

Agradecimentos

Agradeço a Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde passei dez anos de minha vida ao longo de duas graduações (Física e Filosofia). Agradeço imensamente ao professor Antônio Marcelo, por ter aceitado o convite de ser meu orientador e a todos(as) os(as) professores(as) do Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas (ICET) da UFLA, pelas correções e ensinamentos que constituem o meu processo de formação profissional, cidadã e acadêmica.

Referências

Boyer, C. B. & Merzbach, U. C. *História da matemática* (3ª). São Paulo :Editora Blucher.

Chalmers, A. F. & Raul, F. *O que é ciência afinal?* (1ª). São Paulo: Brasiliense.

Field, J. V. *Kepler's geometrical cosmology*. London: Bloomsbury Publishing, 2013.

Hankins, James, ed. *The Cambridge companion to Renaissance philosophy* (1ª). Cambridge: Cambridge University Press.

- Heath, T. *Greek astronomy* (1ª). North Chelmsford: Courier Corporation, 1991.
- Heath, T. *Aristarchus of Samos, the Ancient Copernicus: A History of Greek Astronomy to Aristarchus, Together with Aristarchus's Treatise on the Sizes and Distances of the Sun and Moon* (2ª). Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- Jammer, M. *Conceitos de espaço, a história das teorias do espaço na física* (3ª). Rio de Janeiro: PUC Rio.
- Jammer, M. *Conceitos de força, estudos sobre os fundamentos da dinâmica* (1ª). Rio de Janeiro: PUC Rio.
- Koyré, A. *Estudos de história do pensamento científico* (2ª). Rio de Janeiro: Forense Universitária.
- Koyré, A. *Do mundo fechado ao universo infinito* (4ª). Rio de Janeiro: Forense Universitária.
- Koyré, A. *The Astronomical Revolution: Copernicus-Kepler-Borelli*. Abingdon: Routledge, 2013.
- Martins, R. d. A. *O universo: teorias sobre sua origem e evolução* (1ª). São Paulo: Moderna.
- MOURA, Breno Arsioli. *O que é natureza da Ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da Ciência*. Revista Brasileira de História da Ciência, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.
- Ponczek, R. L. (2015). *Da bíblia a newton: uma visão humanística da mecânica*. In José Fernando Moura Rocha. *Origens e evolução das idéias da Física*. (Chap. 1, p. 17–135), Salvador: EDUFBA.
- Silva, J. J. d. *Filosofia da matemática* (1ª). São Paulo: FAPESP.
- Silva, K. V. & Silva, M. H. *Dicionário de conceitos históricos* (2ª). São Paulo: Contexto.
- Simões, C. & Fernandes, J. (2000). Astrologia e astronomia: uma conversa entre as duas. *Millenium*, 19.
- Schmitt, Charles B., & Skinner, Q., & B., Kessler, E., & Kraye, J. eds. *The Cambridge history of Renaissance philosophy* (1ª). Cambridge: Cambridge University Press.
- Vesel, M. *Copernicus: Platonist Astronomer-Philosopher. Cosmic Order, the Movement of the Earth, and the Scientific Revolution* (1ª). Berne: Peter Lang, 1965.