

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE FÍSICA

# A Física de Copérnico

Miguel Rocha Bento

Porto Alegre

2021

Miguel Rocha Bento

# A Física de Copérnico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Física.

Orientador: Prof. Dr. **Nathan Willig Lima**

Porto Alegre

2021

## **Agradecimentos**

Agradeço ao Professor Nathan Willig Lima, orientador do presente trabalho, e também ao Professor Leonardo Albuquerque Heidemann e à Professora Neusa Teresinha Massoni, que foram os demais membros da banca avaliadora, por terem aceito meu convite e colaborado com a elaboração deste trabalho por meio de valiosas críticas e sugestões.

*Pois dentro e fora, acima, em volta, abaixo,  
Não passa de um Show-de-Sombra Mágico,  
Feito num Palco em que a Vela é o Sol,  
E em roda dele nós, Vultos Fantásticos.*



*For in and out, above, about, below,  
'Tis nothing but a Magic Shadow-show,  
Play'd in a Box whose Candle is the Sun,  
Round which we Phantom Figures come and go.*



*Ĉar ene, ele, supre, sube, ĉio  
Nur estas ombroluda iluzio,  
Ludo en kesto, kie sun' kandelas,  
Kaj giras ni en ombra procesio.*

(Rubaiyat nº 46 de Omar Khayyam, segundo a edição inglesa de Edward Fitzgerald. As versões em português e em esperanto, baseadas na versão de Fitzgerald, são, respectivamente, de Gentil Saraiva Junior e William Auld. A respeito da postura heliocentrista do poema, cabe notar que as adaptações de Fitzgerald não têm uma fidedignidade tão alta quanto o seu valor literário...)

**Resumo (Português):** Este trabalho visa fornecer uma contextualização histórica da teoria heliostática de Copérnico, abordando os erros históricos e conceituais mais comuns a seu respeito. Para isso, são apresentadas as virtudes do sistema copernicano e as objeções físicas postas a ele, e é feita uma discussão a respeito dos posicionamentos realista e instrumentalista. Mais especificamente, são analisadas as ideias físicas de Copérnico, expressas por ele como uma tentativa de estabelecer uma base teórica à interpretação realista de seu sistema heliostático. Essa análise se baseia na extração e estudo de excertos do *De revolutionibus* de Copérnico. Mostra-se que os argumentos copernicanos são concisos e imersos na tradição metafísica e teleológica de seu tempo, mas também contêm alguns interessantes indicativos dos desenvolvimentos que estavam por vir.

**Palavras-chave:** Heliostatismo; Astronomia; História da Física; Copérnico.

**Abstract (English):** This work aims to provide a historical contextualization of Copernicus' heliostatic theory, addressing the most common historical and conceptual mistakes about it. In order to do that, the virtues of the copernican system and the physical objections made to it are presented, and a discussion about the realist and instrumentalist positions is made. More specifically, Copernicus' physical ideas, expressed by him as an attempt to establish a theoretical basis to the realist interpretation of his heliostatic system, are analysed. This analysis is based on the extraction and study of excerpts from Copernicus' *De revolutionibus*. It is shown that the copernican arguments are concise and immerse in the metaphysical and teleological tradition of their time, but also contain some interesting indicatives about the developments that were to come.

**Keywords:** Heliostatism; Astronomy; History of Physics; Copernicus.

**Resumo (Esperanto):** Ĉi tiu laboraĵo celas liveri historian kuntekstigon de la heliostatika teorio de Koperniko, pritraktante la plej oftajn konceptajn kaj historiajn erarojn pri ĝi. Cele al tio, la virtoj de la kopernika sistemo kaj la fizikaj objetoj starigitaj al ĝi estas prezentitaj, kaj diskuto pri la realisma kaj instrumentisma sintenoj estas farita. Pli specife, la fizikaj ideoj de Koperniko, esprimitaj de li kiel provo establi teorian bazon por la realisma interpreto de lia heliostatika sistemo, estas analizitaj. Tiu analizo baziĝas sur la elpreno kaj studo de pecoj el la kopernika *De revolutionibus*. Montriĝas, ke la kopernikaj argumentoj estas koncizaj kaj trempitaj en la siatempaj metafizika kaj teleologia tradicioj, sed enhavas interesajn indikojn pri la disvolvoj tiam okazontaj.

**Ŝlosilaj vortoj:** Heliostatikismo; Astronomio; Historio de Fiziko; Koperniko.

# Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. METODOLOGIA.....	7
2.1. Considerações Historiográficas.....	7
2.2. Sobre as Obras Primárias.....	9
3. CONTEXTO HISTÓRICO.....	10
3.1. Virtudes do Sistema Copernicano.....	10
3.2. Instrumentalismo e Realismo.....	13
3.3. Objeções Físicas ao Sistema Copernicano.....	17
3.4. O Contexto da Elaboração.....	20
4. ANÁLISE DE TRECHOS DAS OBRAS PRIMÁRIAS.....	24
4.1. <i>Narratio Prima</i> .....	24
4.1.1. A abolição do equante.....	25
4.1.2. Simplicidade e homogeneidade.....	26
4.1.3. A ordem dos orbes e sua coerência.....	26
4.2. <i>De revolutionibus</i> .....	27
4.2.1. A cinemática é equivalente.....	27
4.2.2. O Universo é esférico.....	28
4.2.3. O tamanho do Universo.....	28
4.2.4. A Terra não está no centro.....	29
4.2.5. Melhor mover a Terra!.....	30
4.2.6. O movimento circular é o mais perfeito e é natural.....	30
4.2.7. Um belo argumento.....	32
4.2.8. A água e o ar.....	33
4.2.9. A queda dos corpos.....	34
5. CONCLUSÃO.....	36
6. REFERÊNCIAS.....	36

## 1. INTRODUÇÃO

Como é o caso de muitos cientistas famosos, vários mitos e distorções envolvem a imagem de Nicolau Copérnico e sua obra. Não raramente livros didáticos e obras de divulgação científica adotam uma visão empirista ingênua e superestimam de forma anacrônica as virtudes explicativas que o sistema copernicano tinha à época de sua publicação. Essas posturas geralmente estão associadas à heroificação de Copérnico, o qual seria um gênio, que, sozinho, teria criado uma teoria pronta e lutado contra os "retrógrados" que não a aceitavam. Isso está ligado a uma visão simplista linearista da história da ciência, isto é, a tendência de explicar períodos históricos como uma sequência linear, lógica e cronológica de eventos, muitas vezes associados entre si por relações simplificadas de causa-consequência. Em suma, o sistema copernicano é frequentemente exposto sem a contextualização adequada, ocultando-se os seus pressupostos e limitações (MEDEIROS e MONTEIRO, 2002).

Neste sentido, o presente trabalho visa fazer uma contextualização da obra de Copérnico, a partir de fontes históricas primárias e secundárias, de forma a permitir uma discussão dos erros históricos e conceituais mais comuns a respeito da teoria copernicana. Essa contextualização explicita as virtudes e as objeções físicas ao sistema copernicano, envolvendo também uma discussão sobre os posicionamentos realista e instrumentalista em filosofia da física.

Mais especificamente, o objetivo deste trabalho é fazer um resgate histórico das ideias físicas de Copérnico, expressas por ele na tentativa de fornecer um embasamento teórico à interpretação realista de seu sistema heliostático. Tal resgate baseia-se na extração e análise de trechos do *De revolutionibus* de Copérnico (ao longo do trabalho cita-se, também, a *Narratio Prima* de Rético - o único discípulo de Copérnico). Em especial, busca-se apreender quais são os tipos de argumento desenvolvidos por Copérnico (empírico, metafísico, místico etc.).

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Considerações Historiográficas

Nas últimas décadas, a historiografia da ciência tem sido palco de muitas tensões acerca de sua própria natureza, sua identidade, seus objetivos, seus pressupostos, seus métodos, seus objetos

de estudo, sua relação com outras disciplinas etc. (VIDEIRA, 2007; MARTINS, 2001). Convém, portanto, ainda que de forma extremamente breve, definir o posicionamento do presente trabalho.

A historiografia moderna da ciência se originou do trabalho dos positivistas, os quais viam a ciência como um empreendimento objetivo, em constante progresso, fruto da racionalidade humana. Dessa forma, tinham uma visão internalista da ciência, no sentido de que esta seria autossuficiente, independente das demais esferas da vida humana. A visão oposta, representada notadamente pelo chamado programa forte da sociologia da ciência, seria a externalista, segundo a qual as influências do contexto sócio-político-econômico são muito relevantes, ou mesmo determinantes do desenvolvimento científico. Evidentemente, nenhum dos dois extremos desse espectro pode dar uma ideia completa da complexidade da ciência, e existem muitos esforços em manter uma postura intermediária e/ou conciliatória. Imre Lakatos, por exemplo, adota uma postura internalista sem entretanto negar a influência de fatores externos à ciência, ainda que essencialmente as relegue para os casos em que o percurso da ciência não pode ser explicado apenas por fatores internos.

O presente trabalho pende mais para o lado internalista desse contínuo, uma vez que foca a sua atenção nas obras de Copérnico e Rético e no contexto científico em que estavam inseridas. Isso, naturalmente, não significa que é adotada uma visão epistemológica positivista. Por exemplo, Alexandre Koyré, embora tenha sido criticado como "idealista" por não voltar muito a sua atenção a fatores sociais, fez grandes contribuições à historiografia da ciência ao contextualizar as obras daqueles tidos como "grandes gênios" da ciência, expondo as imperfeições destes e trazendo à tona os trabalhos de cientistas menos famosos (MARTINS, 2001).

Como o foco aqui são as obras científicas publicadas, poder-se-ia dizer que se trata de uma abordagem do contexto da justificativa. O contexto da justificativa é aquele no qual o cientista apresenta o seu trabalho à comunidade reconstruindo-o logicamente, diferente do contexto da descoberta, no qual o cientista desenvolve subjetivamente o seu trabalho (no caso de Copérnico, seria mais adequado falar em contexto de elaboração). Tal separação foi introduzida pelo positivista lógico Hans Reichenbach, o qual admitia uma independência entre os dois contextos como base para uma visão logicista do progresso científico (VIDEIRA, 2007; RAICIK e PEDUZZI, 2015). Todavia, o presente trabalho não tem essa ambição e adota uma posição mais moderada, uma vez que também é reconhecida a importância do contexto da elaboração para uma contextualização histórica mais adequada de uma obra científica, como se vê na seção 3.4.



## 2.2. Sobre as Obras Primárias

Copérnico publicou apenas três obras sobre astronomia: *Commentariolus*, Carta contra Werner e *De revolutionibus*. O primeiro, escrito por volta de 1510 e circulado de forma manuscrita e sem indicação do autor, é uma concisa apresentação de uma versão inicial do sistema copernicano, essencialmente descritiva e desprovida de minúcias matemáticas. A Carta contra Werner, escrita em 1524 e também circulada de forma manuscrita, trata-se, como o nome já diz, de uma crítica aos trabalhos do astrônomo Johannes Werner. Embora o sistema de Werner seja geostático, a Carta é um material de pouca utilidade no contexto deste trabalho, pois as ideias do sistema de Copérnico não são explicitadas.

O *De revolutionibus*, publicado em 1543, está em um patamar muito mais elevado. Trata-se da obra magna de Copérnico, o trabalho de sua vida, um livro muito extenso no qual são descortinados todos os detalhes, arranjos, cálculos, tabelas, teoremas, argumentos etc. de seu trabalho. As suas amplitude, estrutura e quantidade de dados utilizados de fato o colocam a par do *Almagesto* de Ptolomeu, obra máxima de referência em astronomia por mais de mil anos.

*De revolutionibus* não é um material de fácil de leitura, e seu estudo detalhado é penoso e exige muitos conhecimentos de astronomia e matemática antigas. O fato é que poucas pessoas ao longo da história de fato o analisaram completa e profundamente (MARTINS, 2003; GINGERICH, 2008). Felizmente, entretanto, os capítulos que aqui são de interesse, isto é, aqueles diretamente relacionados às considerações físicas, estão na parte inicial do livro e são de leitura mais acessível. Aliás, tanto no *Almagesto* como no *De revolutionibus* as primeiras páginas são dedicadas à exposição e à justificação das hipóteses adotadas ao longo da obra. Note-se que para este trabalho foi utilizada a tradução portuguesa de A. Dias Gomes e Gabriel Domingues, que tem o mérito de ter vindo a lume a partir da versão original em latim, sem dependência direta com qualquer tradução preexistente (infelizmente, por motivos práticos (poucas pessoas têm grande domínio de física, matemática, astronomia e de latim ou grego antigo!), são comuns traduções de traduções).

É comum em estudos de história da ciência, em especial quando o tema são pensadores da Antiguidade, utilizar também comentários feitos por outros autores antigos, com destaque aos possíveis discípulos e seguidores mais próximos do indivíduo em questão. Copérnico, por sua vez, teve um único discípulo: Rético, que produziu as primeiras efemérides baseadas no sistema copernicano (*Ephemerides novae*, publicadas em 1550) e editou, em 1542, uma separata do *De revolutionibus*, *De lateribus et angulis triangulorum*, a qual evidentemente trata de trigonometria, que aliás à época era formulada de maneira bem diferente da atual. Rético também escreveu a

*Epistolae de Terrae Motu*, impressa anonimamente e postumamente apenas em 1651, onde procura conciliar o heliostatismo com as sagradas escrituras, apoiando-se na teologia de Santo Agostinho.

Porém a sua obra astronômica de maior interesse é a *Narratio Prima*, um conciso "primeiro relato" a respeito do sistema copernicano, publicado em 1540, portanto antes de *De revolutionibus*. Nessa obra Rético descreve a astronomia heliostática, explicando como as aparências celestes são por ela reinterpretadas e fornecendo alguns detalhes numéricos. Ele adota uma postura cuidadosa e menciona os movimentos terrestres apenas ao final do primeiro terço da obra, depois de ter introduzido o assunto e apresentado Copérnico como um astrônomo competente e dedicado. É curioso notar também que ao final do livreto Rético incluiu um encômio à Prússia, no qual também aborda a hesitação de Copérnico e a persuasão de seus amigos.

A *Narratio Prima*, entretanto, não contém considerações mecânicas a respeito dos movimentos da Terra. Esse assunto, como conta Rético, fora reservado para uma *Narratio Secunda*, que entretanto infelizmente não chegou a se concretizar. Por outro lado, a *Narratio Prima* em vários momentos exalta a simplicidade e a coerência do sistema copernicano, o que a torna de interesse no presente contexto. Note-se que para este trabalho, uma vez que não foi encontrada uma tradução em português, foi utilizada a tradução em inglês de Edward Rosen. Os trechos aqui citados foram, portanto, traduzidos do inglês ao português pelo autor do presente trabalho, apenas com o intuito de permitir a elaboração de um texto inteiramente em português. O mesmo é válido para citações de outros trabalhos em língua inglesa.

### 3. CONTEXTO HISTÓRICO

#### 3.1. Virtudes do Sistema Copernicano

Como já aludido na introdução, frequentemente análises anacrônicas apontam um maior poder explicativo da teoria copernicana em relação às teorias geostáticas, versões aperfeiçoadas daquela de Ptolomeu. Todavia na realidade não existia, à época, nenhum fenômeno observado que o heliostatismo fosse capaz de explicar e o geostatismo não. As fases de Vênus são um exemplo de fenômeno para o qual as duas teorias forneceriam previsões conflitantes, mas elas foram observadas pela primeira vez muitas décadas após a publicação do *De revolutionibus*. Aliás, por vezes é dito que Copérnico teria aventado a ideia de que as fases de Vênus poderiam futuramente ser utilizadas como um teste para os dois sistemas, mas isso não passa de um mito. No *De revolutionibus*,

Copérnico apenas tangencia a questão, e em outro contexto, de comparação entre sistemas geostáticos com diferentes arranjos para os orbes planetários. Além disso, menciona discordâncias entre os estudiosos antigos, tendo alguns defendido que os planetas têm luz própria e outros que apenas refletem a luz do Sol, o que evidentemente impacta de forma direta a questão das fases. A verdade é que o tema das fases de Vênus só passou a ter relevância a partir de 1611, quando Galileo Galilei as observou por meio de um telescópio e passou a utilizá-las como argumento em favor da postura copernicana (ROSEN, 1965; GINGERICH, 2008).

Em termos de estrutura matemática o *De revolutionibus* não é radicalmente diferente do *Almagesto*, pois usa, de forma reorganizada, essencialmente os mesmos recursos geométrico-matemáticos (epíclis, deferentes, excêntricos)<sup>1</sup>. No entanto, há uma exceção importante: o equante. De fato, Copérnico abominava metafisicamente o equante, uma vez que este representava, no sistema geostático, uma não-uniformidade do movimento dos astros com relação ao centro de suas órbitas e também com relação à Terra. Trata-se então de uma considerável virtude do modelo heliostático, pois este senso de estética não era uma idiossincrasia copernicana:

"[...] a maioria dos astrônomos do século XVI achava que a eliminação do equante tinha sido a maior realização de Copérnico, uma vez que satisfazia o princípio estético antigo de que os movimentos celestiais eternos deveriam ser uniformes e circulares ou compostos de partes uniformes e circulares." (GINGERICH, 2008, p. 79)

Por vezes é dito que o heliostatismo copernicano tem como vantagem o menor número de círculos que emprega para descrever todos os movimentos celestes, o que o tornaria mais simples. Este é um engano que tem uma raiz histórica curiosa. De fato, a versão apresentada no *Commentariolus* possuía um total de 34 círculos, em contraste, por exemplo, com os 40 círculos presentes no sistema ptolomaico aperfeiçoado por Georg Peurbach. Copérnico percebeu este detalhe e o utilizou como um fechamento triunfal para o *Commentariolus*: "Portanto, bastam no Universo 34 círculos, com os quais fica explicada toda a estrutura do mundo e a dança dos planetas." (COPÉRNICO, 2003, p. 148). Todavia, tal simplicidade se esvaneceu ao longo da elaboração mais detalhada do sistema, e Copérnico sequer fez esse balanço final no *De revolutionibus*. Apenas a partir de uma análise detalhada de toda a obra é possível determinar o número total de círculos: 48 (BASSO, s.d.). Portanto, o sistema copernicano não é mais simples, em termos de número de círculos, do que, por exemplo, o sistema de Peurbach.

---

1 Um excêntrico é uma órbita circular, digamos, de B em volta de A, onde A não corresponde exatamente ao centro do círculo. Já "deferente" é o nome dado à órbita circular que serve como base para a descrição dos movimentos dos planetas. Ela, em geral, é percorrida não pelo planeta, mas pelo centro de um outro círculo menor, o primeiro epíclis. A este epíclis podem ainda ser adicionados outros epíclis, sendo o último aquele sobre o qual o planeta efetivamente descreve a sua trajetória. Por sua vez, o ponto equante, em um excêntrico no sistema ptolomaico, é o ponto geométrico oposto à Terra com relação ao centro do deferente, com respeito ao qual a velocidade angular do centro do primeiro epíclis é constante.

Entretanto, em alguns aspectos o heliostatismo se mostrou efetivamente mais simples do que o modelo ptolomaico. Apesar do maior número de círculos, a utilização de movimentos circulares uniformes facilita certos cálculos (MARTINS, 2003). Por outro lado, vale notar que as primeiras tabelas de efemérides calculadas com base no sistema copernicano, as *Ephemerides novae* de Rético (1550) e as *Tabulae prutenicae* de Erasmus Reinhold (1551), não eram muito melhores, em termos de precisão, do que suas predecessoras (GASSENDI, 2002).

Deve-se notar, também, a maior harmonia entre os planetas - os esquemas orbitais de cada planeta, no sistema heliostático, são qualitativamente semelhantes entre si, enquanto na estrutura ptolomaica existiam diferenças marcantes nos arranjos, nas proporções e na quantidade de equantes, epiciclos e deferentes de cada planeta.

Especialmente marcante é o fato de que, ao admitir o movimento da Terra em torno do Sol, Copérnico consegue dispensar os epiciclos principais de que os sistemas geostáticos precisam lançar mão para descrever os movimentos retrógrados dos planetas. Assim, se não consegue um maior poder explicativo, consegue no mínimo uma maior *coerência explicativa*, porquanto em seu sistema os movimentos retrógrados surgem como clara e necessária consequência dos movimentos de todos os planetas (incluindo a Terra), enquanto no geostatismo é necessário, para cada planeta, atribuir um epiciclo *ad hoc* (FINOCCHIARO, 2010). Adicionalmente, dispensando os grandes epiciclos, Copérnico obtém órbitas de traçado geometricamente mais simples.

Copérnico, é claro, não aboliu o uso de epiciclos, mas aqueles que utiliza são menores (por vezes chamados epicicletos), e, junto aos excêntricos, em última análise, têm o efeito de aproximar a trajetória dos planetas a elipses, ainda que achatadas na direção errada, se comparadas com o modelo de Kepler (KUHN, 1990; GINGERICH, 2008).

Outra característica marcante é o fato de que o modelo de Copérnico, novamente graças à substituição dos epiciclos maiores ptolomaicos pela translação terrestre, permite a estimativa dos tamanhos relativos dos raios das órbitas dos planetas. De maneira geral, até então os modelos eram desenvolvidos apenas para prever as posições angulares dos astros no céu, que afinal é o que podemos ver e tem utilidade direta. Os diferentes círculos utilizados para descrever a órbita de cada planeta eram, assim, dados em termos de proporções, e não havia maneira definida de comparar órbitas de diferentes planetas. A própria ordem de seus orbes no céu era inferida apenas a partir da ideia de que astros com períodos maiores de revolução deveriam estar mais distantes, dado o que era possível observar para o Sol e a Lua (MARTINS, 2003; GINGERICH, 2008; BASSO, s.d.).

A bem da verdade, Ptolomeu chegou a abordar o assunto, comparando os raios dos orbes planetários supondo que eles deveriam ser contíguos, pois não poderia haver vácuo entre eles. Todavia os seus resultados levavam a inaceitáveis variações de tamanho angular dos astros, o que

foi percebido pelo judeu Gersonides, o qual, assim como o árabe Ibn al-Shatir, também se ocupou do problema das distâncias planetárias. A grande questão é que, à época, os astrônomos da Europa Ocidental geralmente não davam grande importância a esse assunto, de forma que o intento de Copérnico não deve, à época, ter gozado do mesmo apelo que tem para um leitor atual. A razão disso ficará clara na próxima seção, onde será discutido o modelo lunar copernicano. Não custa notar também que, evidentemente, não existia uma forma de corroborar experimentalmente as previsões de Copérnico para as distâncias planetárias.

Em suma, apesar de não haver, à época, evidências físicas claras que favorecessem o sistema heliostático, este possuía uma série de aspectos que o tornavam mais simples e coerente de um ponto de vista estético-matemático. Alguns desses aspectos por vezes sutis, que não pretendi esgotar aqui, serão notados nos textos copernicanos, e especialmente naqueles de Rético.

### **3.2. Instrumentalismo e Realismo**

Na época de Copérnico, e também durante muitos séculos anteriores a ela (ao menos na tradição europeia ocidental), foi dominante uma visão epistemológica instrumentalista da astronomia. Isto é, a ideia de que uma teoria é apenas um instrumento, uma forma de organizar nossas experiências para com determinado fenômeno e para realizar previsões. Consequentemente, aquilo que é postulado ou de alguma forma obtido em uma teoria não necessariamente precisa ter correspondência explicativa com a realidade (além da capacidade de prever comportamentos futuros e sistematizar comportamentos passados). Portanto, naturalmente, segundo a perspectiva instrumentalista, uma teoria pode ser classificada como adequada ou não (prevê as informações relevantes com a precisão necessária ou não), simples ou complicada, mas não correta ou incorreta (MARTINS, 2003).

Em contraposição a essa postura, temos a visão comumente chamada realista, ou melhor, o espectro de visões, já que muitas nuances são possíveis. Aqui consideraremos simplificadamente a visão realista como aquela que "assume que o mundo é independente de nossas atividades de aquisição de conhecimento e que a ciência é a melhor forma de explorá-lo." (FEYERABEND, 1981, p. 3). Dessa forma, "a ciência não apenas produz previsões, mas também trata da natureza das coisas; é metafísica e teoria de engenharia em uma só." (FEYERABEND, 1981, p. 3). Portanto, por esse ponto de vista, uma teoria pode ser classificada como correta ou incorreta; o que é proposto em uma teoria deve ter correspondência com o real.

Em linhas gerais, tradicionalmente os astrônomos preocupavam-se com o que hoje chamamos de astronomia matemática, em suma, um esforço de conciliação entre artifícios

geométricos e observações. Considerações sobre a natureza da realidade, tendo como pano de fundo o cosmos, não faziam parte do escopo usual dos astrônomos. Tais estudos, que hoje denominaríamos astronomia física, eram empreendidos mormente por filósofos (MARTINS, 2003).

Nicolau Copérnico manteve a postura costumeira de sua época, ocupando-se apenas do ferramental matemático, sem fazer afirmações acerca de sua correspondência ontológica? A opinião majoritária entre os historiadores da ciência contemporâneos é resumida por Roberto Martins:

“Na proposta de Copérnico encontramos pelo menos dois aspectos epistemológicos distintos: um, o de uma tentativa de dar conta das observações (“salvar os fenômenos”); outro, o de tentar descrever a realidade física.” (MARTINS, 2003, p. 79)

Ou seja, a resposta é um "não" bastante claro: Copérnico não se restringiu à visão instrumentalista, objetivando não apenas à construção de um mecanismo astronômico simples (especialmente necessário no contexto das reformas de calendário), mas também de um modelo cosmológico capaz de explicar a realidade como ela é. Enfim, segundo Martins, Copérnico esforçou-se para propor sua teoria como algo verídico, correspondente à realidade, para além de um artifício que teria na utilidade seu único mérito.

Que evidências sustentam essa compreensão a respeito do ponto de vista de Copérnico? Uma delas é a crítica que Copérnico faz, no *De revolutionibus*, ao modelo ptolomaico para a órbita lunar. Este modelo previa muito bem as posições angulares da Lua, mas o sistema de epiciclos fazia com que a distância Terra-Lua variasse de maneira bastante significativa, de até cem por cento. A detecção de tal variação não deveria estar além de nossas capacidades observacionais: o tamanho aparente da Lua certamente também mudaria bastante, caso o modelo ptolomaico correspondesse à realidade. Copérnico então altera o esquema ptolomaico de forma a dar conta dos fenômenos com a precisão aceitável, removendo a grande variação de distância, a qual era interpretada por ele como um problema (MARTINS, 2003).

Trata-se de um aspecto bastante curioso, pois não há diferença essencial entre os modelos de órbita lunar geostáticos e heliostáticos: em ambos os paradigmas, a Lua orbita ao redor da Terra. Em verdade, Copérnico procurou corrigir o modelo lançando mão das mesmas técnicas canônicas: epiciclos, excêntricos, deferentes. Ou seja, tal modificação seria perfeitamente possível ainda dentro do sistema geostático: trata-se de um embate contra o sistema ptolomaico e não contra o geostatismo como um todo. Adicionalmente, é interessante notar que esforços semelhantes (de "correção" do orbe lunar) já haviam sido empreendidos por astrônomos árabes (notadamente Ibn al-Shatir), sobre os quais, acredita-se, não pairava com mesma intensidade a influência epistemológica instrumentalista da Europa Ocidental. Por sinal, esta tem sido a explicação dada pelos historiadores para o fato de que por muitos séculos este tema permaneceu praticamente intocado, ou seja, não

abordado sob a óptica desse tipo de crítica, ainda que se deva notar, como fez Rético na *Narratio Prima*, que o problema também já tinha chamado a atenção de Regiomontanus, e, na Antiguidade, de Timocáris e Menelau (RÉTICO, 1971). De qualquer forma, não é plausível que o próprio Ptolomeu não tenha percebido essa consequência de seu modelo - muito menos plausível é que a permanência de seu esquema durante séculos se deva a uma mera desatenção generalizada. A crítica ao modelo lunar ptolomaico tem por base uma visão epistemológica de cunho realista, minoritária na astronomia durante boa parte da tradição europeia ocidental. Também por esse motivo mesmo os contemporâneos de Copérnico parecem não ter se impressionado muito com o argumento, dada a escassez de reações específicas a ele (MARTINS, 2003).

Existem diversas outras evidências que indicam a postura realista de Copérnico. Apresentar-se-á aqui apenas mais uma, a título de ilustração: trechos do *De revolutionibus* que tornam claro o posicionamento dele frente à própria teoria. Os fragmentos seguintes são apenas amostras, existindo vários outros semelhantes ao longo da obra.

“Vedes assim que por todas estas razões é mais provável que a Terra se mova do que esteja parada. Isto aplica-se especialmente ao movimento da rotação diária que de sobremaneira é próprio da Terra.” (COPÉRNICO, 2014, p. 43)

“Finalmente verificar-se-á que o Sol ocupa o centro do Universo [...] desde que observemos os factos com os olhos bem abertos, como se costuma dizer.” (COPÉRNICO, 2014, p. 46)

O primeiro excerto é a conclusão de uma argumentação em favor da ideia de que a Terra se movimenta. Inicialmente, Copérnico enfatizara que as cinemáticas heliostática e geostática produzem observações celestes equivalentes: tanto os astros podem se mover de leste a oeste como a Terra pode girar de oeste a leste. Depois, buscara convencer o leitor de que uma das opções (o movimento terrestre) é mais plausível, mais verossímil do que a outra - um instrumentalista jamais se delongaria nessas considerações. A conclusão é, então, explícita: é mais provável; o movimento de sobremaneira é próprio da Terra.

O segundo excerto é ainda mais representativo, relacionando diretamente modelo teórico e observação empírica. Para um astrônomo instrumentalista é desnecessário "olhar com olhos bem abertos" para coisas além das tabelas de posições planetárias e estelares!

É essencial entender que não é necessário assumir a postura realista de Copérnico para de alguma forma utilizar as suas ideias. De fato, a reação de muitos astrônomos conceituados da época foi a de adotar o sistema copernicano (ou parte dele) de um ponto de vista instrumentalista (uma vez que efetivamente ele poderia ser vantajoso em termos de utilidade e simplificação de cálculos), mas rechaçando e mesmo criticando veementemente a interpretação realista do heliostatismo. Gemma Frisius, Caspar Peucer, Michael Maestlin, Christophorus Clavius, Giuseppe Magini são apenas alguns dos astrônomos de ponta que de alguma forma utilizaram ou, ao menos, elogiaram o trabalho

matemático de Copérnico, entretanto mantendo uma postura de repúdio à sua correspondência com a realidade (MARTINS, 2003).

Neste contexto, uma certa polêmica não poderia deixar de ser mencionada: a carta ao leitor, de Andreas Osiander, publicada anonimamente no início do *De revolutionibus*. Essa curta introdução instiga fortemente o leitor a adotar uma visão instrumentalista a respeito do conteúdo da obra (apesar de nesta existirem comentários que transparecem uma concepção realista, como os citados anteriormente). Eis um trecho bastante famoso:

“Com efeito, é próprio do astrônomo compor, por meio de uma observação diligente e habilidosa, o registro dos movimentos celestes. E, em seguida, inventar e imaginar as causas dos mesmos, ou melhor, já que não se podem alcançar de modo algum as verdadeiras, quaisquer hipóteses que, uma vez supostas, permitam que esses mesmos movimentos sejam corretamente calculados, tanto no passado como no futuro, de acordo com os princípios da geometria. [...] Com efeito, não é necessário que essas hipóteses sejam verdadeiras e nem mesmo verossímeis, bastando apenas que forneçam cálculos que concordem com as observações [...]” (OSIANDER, 2008, p. 253)

“E que ninguém espere da astronomia algo de certo no que concerne a hipóteses, pois nada disso procura ela nos oferecer; para que, tomando por verdadeiro algo que foi para outro uso imaginado, não venha a sair desse estudo mais estulto do que nele entrou. Salve!” (OSIANDER, 2008, p. 254)

Tradicionalmente, tal episódio é visto como uma espécie de “traição” de Osiander, um texto cunhado contra a postura epistemológica de Copérnico, desmentindo de antemão a visão adotada na obra sem possibilidade de contra-argumentação do autor (afinal ele recebeu os fólhos iniciais do livro logo antes de sua morte). De fato, Tiedemann Giese e Rético, as figuras mais próximas a Copérnico, e também, posteriormente, outros nomes importantes, como Galileo Galilei e Johannes Kepler, condenaram a atitude de Osiander (GINGERICH, 2008). Outro pensador que compartilhou dessa opinião foi Karl Popper, tachando Osiander como um dogmático que via no instrumentalismo "uma maneira de lidar com teorias inconvenientes" (ROSA, 2003).

Entretanto, o "terrorista" epistemológico Paul Feyerabend colocou, por assim dizer, essa interpretação de cabeça para baixo. Inicialmente, critica Popper e outros autores por omitirem um importantíssimo trecho da introdução de Osiander em suas citações. Vejamos, então, como é a continuação do primeiro dos segmentos da introdução que aqui foram reproduzidos anteriormente:

"[...] bastando apenas que forneçam cálculos que concordem com as observações: a não ser que se seja tão ignorante em geometria e em ótica a ponto de tomar por verossímel o epiciclo de Vênus ou de acreditar ser essa a causa pela qual Vênus ora precede o Sol ora a ele sucede por quarenta ou até mais partes [do círculo]. Com efeito, quem não vê que dessa suposição se segue necessariamente que o diâmetro dessa estrela no perigeu deveria aparecer mais de quatro vezes e o próprio corpo mais de dezesseis vezes maior do que no apogeu, contrariamente à experiência de todos os tempos?" (OSIANDER, 2008, pp. 253-254)

Nota-se que se trata de uma crítica de Osiander a Copérnico, relativa ao sistema de Vênus. É uma crítica semelhante à que o próprio Copérnico faz ao sistema lunar de Ptolomeu: o mecanismo, se interpretado de maneira realista, significaria uma variação de distância entre a Terra e Vênus, a



qual acarretaria em uma grande mudança de tamanho aparente que não é corroborada pelas observações. Assim, Osiander forneceu um argumento realista em favor da interpretação instrumentalista do sistema copernicano - o sistema não poderia corresponder à realidade por estar em contraposição a um "fato óbvio", como coloca Feyerabend. Para o epistemólogo, então, Osiander não agiu dogmaticamente: pelo contrário, agiu de uma forma compatível com a própria postura popperiana, abandonando a interpretação realista frente a sua falsificação. Além disso, Feyerabend salienta a grande tradição instrumentalista da astronomia naquele período histórico e também a presença de uma estratégia salutar para evitar represálias, como se nota também, com outro viés, no prefácio escrito pelo próprio Copérnico. Somem-se a isso as diversas objeções de motivação física à teoria copernicana, e perceberemos uma gama de motivos que parece apontar Osiander como um pensador crítico de procedimentos bastante razoáveis, em contraposição a um teimoso que se apega às ideias antigas sem bons motivos. Nesse sentido, Osiander foi por diversas vezes "caluniado", segundo Feyerabend (ROSA, 2003; FEYERABEND, 1977; LAKATOS e FEYERABEND, 1999). Ainda nesse sentido, ressaltando também a importância da introdução de Osiander para a recepção da obra copernicana, Bruce Wrightsman defende que Osiander não teve a intenção de subentender que o autor de sua introdução era Copérnico. Efetivamente, além da já indicada discrepância com relação ao que se segue no livro, nota-se que o prefácio do próprio Copérnico é indicado como "prefácio do autor", enquanto a introdução de Osiander não, e esta última fala a respeito do autor do livro em terceira pessoa (WRIGHTSMAN, 1975). Mesmo assim, parece que muitas pessoas tomaram a introdução como que também escrita por Copérnico. Uma notável exceção é Maestlin, o qual logo opinou que o texto, por causa de "sua pobreza de estilo e sua escolha de palavras", não deveria ser de Copérnico (GINGERICH, 2008).

Enfim, retomando a questão central da relação instrumentalismo-realismo, deve ficar claro que, se há a intenção de divulgar um modelo astronômico como algo correspondente à realidade, como foi a situação de Copérnico, não é suficiente mostrar que o modelo é útil e adequado (o que bastaria dentro de uma visão instrumentalista). É preciso mostrar também que ele não é absurdo do ponto de vista físico, ou melhor ainda, mostrar que, do ponto de vista físico, ele é o único plausível. Mas, como já dito, havia várias objeções de caráter físico a essa interpretação do trabalho copernicano. Elas serão abordadas com um pouco mais de detalhe na seção seguinte.

### **3.3. Objeções Físicas ao Sistema Copernicano**

Ptolomeu, na parte inicial de sua grande obra, o *Almagesto*, já havia enumerado uma série de razões para justificar a ideia de que a Terra não apresenta qualquer tipo de movimento próprio e,

além disso, está no centro do Universo (PTOLOMEU, 1952). Tais argumentos, assim como o próprio sistema ptolomaico, em geral, permaneceram bastante fortes ao longo de vários séculos, continuando presentes na época de Nicolau Copérnico e representando uma parte significativa das objeções físicas contra as ideias heliostáticas.

Os gregos antigos já haviam notado que a esfera das estrelas parece sempre bissectada pelo plano do horizonte: podemos ver, por exemplo, a qualquer momento da noite, em qualquer lugar, metade do zodíaco. Tal constatação nos leva à ideia de que a Terra ocupa o centro do Universo: se lá não estivesse, a presença constante da bissecção da esfera das estrelas não seria possível. Isso significa também que a Terra não pode se mover em relação às estrelas, pois teria de sair do centro para fazê-lo (PTOLOMEU, 1952).

Um outro detalhe importante, ainda acerca desse aspecto, é o de que Ptolomeu admite como hipótese em seu *Almagesto* que a Terra é muito menor do que a esfera das estrelas (o Universo, já que a esfera das estrelas é a mais externa). Também isso é necessário para explicar a referida bissecção e a não-observação de paralaxe estelar geocêntrica.

Um leitor sagaz poderia elaborar daí um artifício capaz de proteger a teoria copernicana de falsificação: basta admitir que a esfera das estrelas é muito maior do que a órbita da Terra. Assim, é possível explicar as observações mesmo que a Terra não esteja no centro do Universo, mesmo que não esteja estacionária. O leitor sagaz estaria correto: de fato, Copérnico segue justamente por esse caminho! Entretanto, surge um problema sério: um incômodo vazio entre o orbe de Saturno e a esfera das estrelas, difícil de justificar metafisicamente, e mesmo fisicamente, afinal à época ainda era popular a ideia aristotélica de que a natureza abomina o vácuo, e certamente não estava claro o que é que poderia haver entre o orbe de Saturno e a esfera das estrelas (MARTINS, 2003).

Outra objeção famosa é a ausência de efeitos centrífugos observáveis, que poderiam ser esperados como consequência do movimento de rotação da Terra. Em vestidos de bailarinas, em massas de pizza girantes jogadas ao ar e em pêndulos cônicos temos exemplos de movimentos circulares nos quais se nota uma tendência do objeto em se afastar do centro, tendência crescente com a velocidade. Por que não somos repelidos da superfície da Terra como gotas de água são repelidas de uma bola molhada que gira no ar? Hoje a explicação reside na comparação numérica entre a força gravitacional e a força centrífuga. Mas esse é um raciocínio dependente de muitos desenvolvimentos posteriores: temos aqui uma objeção fortíssima, à época.

Tem importância crucial também aquele que ficou conhecido como "o argumento da Torre": se a Terra gira, uma bala de canhão solta do topo de uma torre não deveria cair ao pé desta, pois a Terra se deslocaria durante o tempo em que a bala está no ar. Entretanto, não observamos isso experimentalmente, e a bala de canhão cai sempre ao pé da torre.

Evidentemente, essa consideração é diretamente dependente da teoria de queda dos corpos que se utiliza. Na época de Copérnico, ainda eram majoritárias visões de tradição aristotélica. Nessa estrutura teórica, o movimento da bala de canhão é um movimento natural e retilíneo, em direção ao centro da Terra, a qual é tida como imóvel. Se durante a queda da bala a Terra se movesse, o ponto de chegada não poderia coincidir com a base da torre. Em resumo, a queda da bala (nesse sistema teórico!) corrobora a ideia da Terra estacionária, enquanto a situação esperada para o caso de movimento terrestre, uma trajetória oblíqua com relação ao referencial da Terra, não é observada. No paradigma newtoniano a perspectiva se inverte: a queda da bala corrobora a ideia de ausência de movimento relativo entre o topo da torre e a Terra, enquanto a situação esperada para o caso de movimento terrestre é justamente a observada: a bala caindo ao pé da torre (FEYERABEND, 1977). Entretanto, deve ser feita, novamente, a mesma ressalva: a interpretação newtoniana veio muito tempo depois, e para Copérnico a solução da crítica não era nada trivial.

A teoria de queda dos corpos vigente na época estava ligada a uma estrutura teórica bastante mais abrangente, qual seja, a teoria aristotélica de lugares naturais. Nesse paradigma, os graves tendem a cair pois apresentam maior quantidade de terra (um dos quatro elementos), cujo lugar natural é no centro da Terra, coincidente com o centro do Universo. Assim, surge um movimento natural sempre que é possível para o objeto se aproximar mais do centro da Terra. Estando o corpo em seu lugar natural, ou o mais próximo possível dele, e sem uma causa adicional que gere um movimento violento, ele permanece em repouso. Portanto, essa teoria apresenta no mínimo mais dois problemas a Copérnico, além do problema da torre. Não faz sentido que objetos nas condições acima descritas apresentem movimentos circulares em vez do repouso. Além disso, a ideia de lugares naturais explica a esfericidade da Terra: os corpos terrosos mantêm-se ao redor do centro do Universo como uma esfera concisa pois pressionam uns aos outros, por todos os lados, em sua busca pelo centro. Em conclusão: uma teoria heliostática com interpretação realista deveria trazer consigo um novo sistema teórico que pelo menos em boa parte substituísse o aristotélico, apresentando ainda bons motivos para defender a sua aceitação em detrimento das ideias já consolidadas.

Há ainda outros problemas: por que não vemos pássaros e nuvens deslocando-se em grande velocidade, no sentido contrário ao da rotação da Terra? Por que, de forma análoga, a rotação da Terra não acarretaria fortes ventos? Se a Terra rotacionasse, atirar uma flecha para oeste ou para leste não seriam experiências totalmente diferentes? E assim por diante (PTOLOMEU, 1952; MARTINS, 2003). Novamente, nenhuma dessas perguntas era fácil de responder, e uma resposta favorável ao heliostatismo envolvia necessariamente a negação de teorias físicas longevas e corroboradas pela experiência comum.

Não existia nenhum fenômeno terrestre conhecido que só pudesse ser explicado pelo movimento da Terra, e mais: tudo indicava que movimentos terrestres gerariam efeitos estranhos, que não observamos. Por sinal, vale lembrar que um leigo, em geral, não é capaz de enumerar as corroborações empíricas da movimentação da Terra (por exemplo, a aberração da luz e experimentos que se baseiam em forças inerciais, como as piscinas de Shapiro, o pêndulo de Foucault ou o gerador de Compton), as quais não raro só podem ser entendidas após um considerável aprofundamento no sistema teórico físico utilizado.

A velocidade tangencial de um ponto sobre o equador, na superfície da Terra, é de aproximadamente 1700 km/h. Por que não sentimos esse movimento tão rápido? A Terra, antes imóvel e no centro do Universo, no sistema copernicano passa a ter três movimentos diferentes. Para sustentar o heliostatismo (em visão realista), ideia tão diferente das concepções vigentes, faz-se necessário, então, propor uma nova física, que rebata todas as objeções apresentadas!

Como foi a postura de Copérnico quanto a esses sérios problemas? Em uma palavra, insuficiente.

“Copérnico tenta dar alguns passos nessa direção [construção de uma nova física], mas avança muito pouco. Sua contribuição à física (dinâmica, teoria da gravitação) é desprezível, comparada à sua contribuição astronômica.” (MARTINS, 2003, p. 81)

De fato, apenas muito tempo depois as contribuições de físicos como Galileu e Newton puderam afastar as objeções físicas à ideia do heliostatismo. Ironicamente, a Revolução Copernicana começa com a morte de Copérnico - e termina muitas décadas depois. Cabe reforçar, entretanto, que, embora os escritos de Copérnico sobre física sejam de fato parte pequena de sua obra, eles existem, e é a proposta do presente trabalho analisá-los em maior profundidade.

### 3.4. O Contexto da Elaboração

Após a constatação de todas essas objeções físicas ao heliostatismo então existentes, ao leitor certamente se insinua uma pergunta: "por que Copérnico manteve sua posição, dada a enorme gama de bons motivos para rechaçá-la?". Esta é, evidentemente, uma questão para um estudo voltado ao contexto da elaboração, enquanto aqui o foco é o contexto da descoberta. Porém, dada a importância do tema, é mister tecer ao menos alguns comentários a respeito.

A questão se torna ainda mais enigmática se lembrarmos da longa hesitação de Copérnico em publicar o *De revolutionibus*, que, afinal, só foi publicado logo antes de sua morte, décadas após a produção do *Commentariolus*. Como já dito, ao final da *Narratio Prima* Rético enfatiza o papel da persuasão de amigos, e Copérnico faz o mesmo no prefácio ao *De revolutionibus*, citando em especial Tiedemann Giese, que "instava a que deixasse publicar e dar finalmente a lume esta minha

obra que estava escondida, retida em minha casa, não apenas há nove anos, mas há quatro vezes nove." (COPÉRNICO, 2014, p. 6). Copérnico aqui faz referência ao conselho de Horácio em sua *Ars Poetica - nonum prematur in annum*. É claro, também, que *De revolutionibus* não foi concluído e depois "retido" durante décadas, mas produzido e burilado ao longo de todo esse tempo.

Comumente se pensa que essa hesitação se deveu ao receio de represálias por parte da Igreja Católica. De fato este é um ponto relevante, como atestam, por exemplo, o próprio zelo de Copérnico em seu prefácio, dedicado ao Papa Paulo III, e a iniciativa de Rético em escrever a *Epistolae de Terrae Motu*. Entretanto, convém aqui abrir parênteses para fazer algumas ressalvas com relação à reação da Igreja Católica, pois esse tópico frequentemente é mal discutido. Inicialmente convém lembrar que Nicolau de Schönberg, cuja carta de incentivo a Copérnico foi editada no início do *De revolutionibus*, era um arcebispo católico (BASSO, s.d.). O recém-mencionado Tiedemann Giese era um bispo católico, e o próprio Copérnico era um cônego católico, enquanto outros incentivadores também tinham cargos na Igreja Católica (Rético, porém, era luterano, o que provavelmente fez Copérnico não o mencionar em seu prefácio (KOYRÉ, 1973)). Na prática, Copérnico não chegou a ser perseguido, até porque o *Commentariolus* circulou de forma limitada e essencialmente apócrifa, e o *De revolutionibus* foi publicado logo antes de sua morte. A Igreja Católica, inclusive, utilizou o sistema copernicano como base para a sua reforma ao calendário gregoriano em 1582 (adotando, é claro, uma postura instrumentalista) (CROMBIE, 1953; GINGERICH, 2008). Todavia, após alguns anos, especialmente devido ao ativismo de Galileo Galilei, a Igreja Católica, já bastante agitada por conta das movimentações protestantes, enrijeceu a sua postura, e certos copernicanos, como Giordano Bruno e o próprio Galileo, tornaram-se alvos da Inquisição, não por conta de uma utilização qualquer do sistema copernicano, mas por terem utilizado o sistema heliostático como embasamento para filosofias opostas à escolástica (CROMBIE, 1953; GINGERICH, 2008; MARTINS, 2003). Em 1620 o *De revolutionibus* foi incluído no Índice de Livros Proibidos da Igreja Católica, mas, devido a sua utilidade, não totalmente: seria necessário apenas censurar certos trechos específicos da obra, basicamente aqueles em que transparecia a postura realista de Copérnico. Mesmo assim, praticamente apenas na Itália a censura ocorreu em grande escala (GINGERICH, 2008).

Em verdade a hesitação de Copérnico "deve ter se derivado de uma mixórdia complicada de razões e fobias" (GINGERICH, 2008, p. 175). Essas razões e fobias podem ir desde a dificuldade de encontrar um tipógrafo capaz de lidar com uma obra dessa envergadura (GINGERICH, 2008), até talvez um desânimo causado por represálias que recebeu por morar junto com uma mulher, Anna Schillings, com a qual não se sabe com certeza se Copérnico mantinha uma relação amorosa ou de amizade (SWERDLOW e NEUGEBAUER, 1984; MIKULSKI, 2010).

De qualquer forma, os principais motivos da hesitação, da demora, devem ter sido dois. O primeiro foi a dificuldade em concluir o longo e penoso trabalho de refinar matematicamente os parâmetros do modelo, de forma a obter previsões correspondentes aos dados observacionais com uma precisão satisfatória. De fato, no *Commentariolus* Copérnico parecia tencionar calibrar o seu modelo de forma mais simples, com base em algumas tabelas de sua época, em especial as Tabelas Alfonsinas. Entretanto ele logo percebeu que isso não era suficiente para atingir a precisão desejada, e seu trabalho adquiriu proporções muito maiores, comparáveis de fato ao Almagesto, pois foi necessário resgatar uma enorme quantidade de dados, registrados ao longo dos séculos anteriores, aos quais Copérnico também acrescentou algumas observações próprias. Com isso o resultado final, naturalmente, não foi tão simples quanto antecipado no *Commentariolus*, o que pode ter causado alguma frustração (SWERDLOW e NEUGEBAUER, 1984; BASSO, s.d.).

Já o segundo motivo são justamente as objeções físicas que à época se impunham ao heliostatismo (SWERDLOW e NEUGEBAUER, 1984; BASSO, s.d.). Copérnico, é claro, estava bem consciente delas. Contudo, com isso voltamos à pergunta inicial: por que Copérnico não abandonou sua posição frente a essas objeções?

Uma das formas de responder à questão, provavelmente a mais comum, é atribuir a Copérnico algum tipo de misticismo (pitagórico, platônico, hermético), uma postura metafísica segundo a qual o Sol, interpretado como o astro mais importante, deveria ocupar uma posição central (SILVEIRA, 2002). Com efeito, não faltam recursos para mobilizar em prol de uma defesa dessa ideia. Por exemplo, na *Narratio Prima* Rético cita os pitagóricos e até mesmo dedica um parágrafo a observações místicas a respeito do número 6 (a quantidade de orbes planetários no sistema copernicano). Para Rético, "Deus posicionou no centro do palco Seu governador da natureza, rei de todo o Universo, conspícuo por seu divino esplendor, o Sol" (RÉTICO, 1971, p. 143). Já Copérnico, em seu prefácio, cita os pitagóricos Hicetas, Filolau e Ecfanto, bem como Heráclides do Ponto. É marcante, em especial, aquele que talvez seja o trecho mais citado do *De revolutionibus*:

"Ora quem haveria de colocar neste templo, belo entre os mais belos, um tal luzeiro em qualquer outro lugar melhor do que aquele donde ele pode alumiar todas as coisas ao mesmo tempo? Na verdade, não sem razão, foi ele chamado o farol do mundo por uns e por outros a sua mente, chegando alguns a chamar-lhe o seu Governador. [Hermes] Trimegisto apelidou-o de Deus visível e Sófocles em *Electra*, o vigia universal. Realmente o Sol está como que sentado num trono real, governando a sua família de astros, que giram à volta dele." (COPÉRNICO, 2014, pp. 52-53)

Deve-se notar, também, que à época a astrologia era tida como disciplina de grande importância, inclusive com aplicações nos âmbitos jurídico e medicinal. Copérnico, porém, não chega a fazer referência direta à astrologia em suas obras, algo que chama a atenção e fundamenta a

opinião de Edward Rosen, o qual defendia que Copérnico não tinha crenças astrológicas. Todavia Copérnico certamente teve de estudar o assunto, e Rético claramente estava ligado à astrologia, tendo inclusive incluído uma profecia astrológica no *Narratio Prima*, o que não deve ter sido feito sem o assentimento de Copérnico (GINGERICH, 2008; KOYRÉ, 1943).

Entretanto, essa abordagem não é consensual. O mesmo Edward Rosen, por exemplo, afirmou que "as evidências aduzidas para [justificar] tal ligação passariam facilmente através do buraco de uma agulha sem deformá-la perceptivelmente." (ROSEN, 1985). Vejamos o que Swerdlow e Neugebauer dizem a respeito:

"Algumas respostas bastante forçadas têm sido dadas, com muitos acenos imponderados na direção de Neoplatonismo, Hermes Trismegisto, e (na Várnia, sob os olhos de Tio Lucas?) adoração ao Sol. Embora talvez poder-se-ia dizer que, em 1510, qualquer um que fosse capaz de acreditar que a Terra se movia seria capaz de acreditar em qualquer coisa - e não há como dizer em quais coisas estranhas Copérnico poderia ter acreditado - nos parece que não há fundamento para essas alegações. Entre outras razões, elas estão baseadas na crença altamente anacrônica de que a teoria heliocêntrica e o movimento da Terra eram inteiramente óbvios e estavam à disposição contanto que se tivesse a fé metafísica ou mística correta. Mas isso simplesmente não é verdade. Copérnico chegou à teoria heliocêntrica por meio de uma cuidadosa análise de modelos planetários - e até onde se sabe, ele foi a única pessoa de sua época a fazê-lo - e se ele escolheu adotá-la, ele o fez com base em uma análise igualmente cuidadosa." (SWERDLOW e NEUGEBAUER, 1984, p. 59)

Em suma, uma abordagem puramente externalista não pode, neste caso, fornecer uma explicação satisfatória. É mais lúcido se referir mormente à importância que Copérnico atribuía às virtudes de simplicidade e coerência do sistema heliostático, anteriormente abordadas - uma questão interna ao fazer científico. Como será mostrado em breve, esses fatores transparecem na *Narratio Prima* e também no *De revolutionibus*, especialmente no capítulo X do livro I e no prefácio de Copérnico, onde ele traça um breve relato a respeito do desenvolvimento de sua obra, o qual, deve-se entretanto ressaltar, não sabemos se é "retórico, autobiográfico ou um pouco dos dois" (GODDU, 2010, p. 327).

Nesse contexto, é obrigatório dizer que existem semelhanças muito marcantes do trabalho de Copérnico com trabalhos da astronomia árabe, em especial aqueles ligados à escola de Maragha, que teve em Tusi e Ibn al-Shatir alguns de seus muitos expoentes. Vários dispositivos matemáticos (como o dispositivo de Tusi (CARDOSO *et al.*, 2021)) e arranjos planetários têm surpreendentes correspondências com os trabalhos árabes, o que aliás também se nota na atitude com relação à astronomia, afinal, por exemplo, vários astrônomos da escola de Maragha também empreenderam esforços para remover o equante dos arranjos ptolomaicos.

Dadas tamanhas semelhanças, pode-se entender que Copérnico certamente teve algum tipo de acesso à astronomia árabe e foi, de fato, (muito) influenciado por ela (SWERDLOW e NEUGEBAUER, 1984). Por outro lado, não estão consensualmente esclarecidos os meios pelos

quais Copérnico poderia ter se familiarizado com esses conhecimentos. Assim, é possível que ao menos parte do ferramental matemático empregado pelos árabes tenha sido desenvolvida independentemente por Copérnico, o que seria uma ilustração da tese, em sociologia da ciência, da inevitabilidade do surgimento simultâneo, independente e múltiplo de inovações científicas (HUFF, 2003).

De qualquer forma, é necessário pôr fim a esta já longa seção. O leitor interessado poderá se referir, por exemplo, à introdução do livro de Swerdlow e Neugebauer (SWERDLOW e NEUGEBAUER, 1984) e ao livro de André Goddu (GODDU, 2010). Fiquemos, enfim, com dois últimos fragmentos, o primeiro de Galileo Galilei (na voz de Salviati, no seu Diálogo), o segundo de Swerdlow e Neugebauer:

"Não posso encontrar limites para minha admiração quando penso que Aristarco e Copérnico foram capazes de levar a razão a dominar de tal modo a sensibilidade que, em detrimento desta última, a primeira se fez senhora da crença que professavam." (GALILEI apud ROSA, 2003, p. 14, com consulta à fonte de Rosa, qual seja, CROMBIE, 1953, p. 294)

"Ele [Copérnico] estava na situação - não infrequente nas ciências, na academia, no direito - de estar seguro de estar certo, mas carecer de provas conclusivas." (SWERDLOW e NEUGEBAUER, 1984, p. 21)

Em suma, uma bela ilustração do conceito de contra-indução de Feyerabend, isto é, a ideia de que "é possível fazer avançar a ciência, procedendo contra-indutivamente", recorrendo "a hipóteses que contradizem teorias confirmadas e/ou resultados experimentais bem estabelecidos." (FEYERABEND, 1977, p. 37).

#### 4. ANÁLISE DE TRECHOS DAS OBRAS PRIMÁRIAS

Nesta seção serão, enfim, reproduzidos e comentados alguns trechos da *Narratio Prima* de Rético e do *De revolutionibus* de Copérnico. Como já dito na introdução, os comentários físicos de Copérnico encontram-se nas primeiras partes do *De revolutionibus*, mas Rético não chegou a realmente oferecer, na *Narratio Prima*, alternativas às objeções físicas ao heliostatismo. Por outro lado, Rético enfatiza as virtudes estético-matemáticas do heliostatismo até mais do que Copérnico, como bem observou Alexandre Koyré (KOYRÉ, 1973). Assim, optou-se por abordar alguns trechos desta obra também, contextualizando o que foi posto na seção 3.1. do presente trabalho. Note-se que, especialmente no caso da *Narratio Prima*, há uma miríade de trechos que seriam pertinentes à presente discussão, e não se pretende esgotá-los. Por fim, note-se que na primeira parte desta seção foram entrepostos também alguns excertos copernicanos referentes ao assunto.



## 4.1. *Narratio Prima*

"[...] Adicionalmente, as notáveis simetria e interconexão dos movimentos e esferas, como mantido pela admissão das hipóteses anteriores, não são indignas da obra de Deus e não inadequadas a esses corpos divinos. Essas relações, eu devo dizer, podem ser concebidas pela mente (por conta de sua afinidade com os céus) mais rapidamente do que podem ser explicadas por qualquer enunciado humano [...]. Entretanto é possível, em um levantamento geral das hipóteses, ver como as inexprimíveis harmonia e concordância de todas as coisas se manifestam." (RÉTICO, 1971, p. 145)

### 4.1.1. A abolição do equante

"[...] meu professor viu que apenas nessa teoria poder-se-ia fazer os círculos no Universo satisfatoriamente revolver uniforme e regularmente com relação a seus próprios centros, e não com relação a outros centros - uma propriedade essencial do movimento circular." (RÉTICO, 1971, p. 137)

"[os modelos da Antiguidade] concordavam satisfatoriamente com os movimentos e aparências se fosse concedido que os círculos celestiais permitem uma desigualdade com relação a seus centros - uma relação que a natureza abomina [...]" (RÉTICO, 1971, p. 166)

O sistema copernicano claramente se mantém apegado à antiga ideia de explicar os movimentos irregulares dos planetas por meio da combinação de movimentos circulares uniformes, justificada seja por questões metafísicas, seja porque, por maiores que sejam as anomalias, os movimentos sempre são periódicos. Hoje essa antiga e profícua ideia, comumente atribuída a Platão (MARTINS, 2003), encontra apoio na teoria de séries de Fourier.

Todavia, como sabemos, o sistema ptolomaico faz uso abundante do equante, o que significa a existência de movimentos circulares não-uniformes (com relação ao seu centro). Metafisicamente isso pode ser visto como uma mácula na perfeição celestial, algo que, como vimos, poderia ser difícil de aceitar, não só para Copérnico, o qual coloca a questão nos seguintes termos:

"Com efeito, é impossível que por uma só esfera um corpo celeste simples seja movido não uniformemente. Para que tal acontecesse seria preciso que houvesse inconstância na força motriz, de natureza quer externa quer interna, ou disparidade do corpo em movimento. Mas como à inteligência repugnam ambas estas explicações e é inaceitável atribuir tal coisa a corpos que se encontram estabelecidos numa ordem perfeitíssima [...]" (COPÉRNICO, 2014, p. 26)

Por outro lado, hoje percebemos que o equante era, afinal, uma aproximação ao que hoje vemos como o princípio da conservação do momento angular (GINGERICH, 2008). Impondo-se essa limitação, que no entanto foi importante para a recepção da obra na época, Copérnico não conseguiu avançar mais na direção que veio a ser desenvolvida por Kepler. Este último observou que Copérnico ressaltou diversas vezes a importância da relação entre os períodos de translação dos planetas e suas distâncias ao Sol, mas não a levou às suas últimas consequências. Ora, o sistema copernicano não se abstém do uso de excêntricos, o que significa que a distância de cada planeta ao Sol não é constante. Kepler entendia que, sendo o Sol a fonte de uma "potência motriz", os

movimentos translacionais não deveriam ser uniformes, mas ter velocidade crescente com a diminuição da distância ao Sol. Vê-se, assim, que não à toa Kepler por vezes é reconhecido como o primeiro astrofísico (GINGERICH, 2008).

#### 4.1.2. Simplicidade e homogeneidade

"Uma vez que vemos que esse único movimento da Terra satisfaz um número quase infinito de aparências, não deveríamos atribuir a Deus, o criador da natureza, a habilidade que observamos nos comuns fabricantes de relógios? Porquanto eles cuidadosamente evitam inserir no mecanismo qualquer roda supérflua ou cuja função poderia ser melhor desempenhada por outra com uma leve mudança de posição." (RÉTICO, 1971, p. 137-138)  
 "[os modelos da Antiguidade] concordavam satisfatoriamente com os movimentos e aparências se fosse concedido que [...] e se a especialmente notável primeira desigualdade do movimento aparente fosse vista como essencial aos cinco planetas, embora seja claramente acidental." (RÉTICO, 1971, p. 166)

Com efeito, a simplicidade do heliostatismo, pelo menos do ponto de vista conceitual e estético, é marcante em vários sentidos. Não é mais necessário aprioristicamente atribuir um grande epiciclo a cada planeta para explicar os movimentos retrógrados ("primeira desigualdade"), que passam a ter, por assim dizer, uma causa comum na simples translação dos planetas - incluindo a Terra. No heliostatismo, os astros têm seu movimento principal em apenas um sentido, enquanto no geostatismo os movimentos diário e anual têm, além da grande diferença de velocidade, uma diferença de sentido (FINOCCHIARO, 2010). Outro fator, como logo será abordado, é que no sistema heliostático há muito menos partes móveis, já que a rotação da Terra vale pela translação de milhares de estrelas ao redor dela. Chama a atenção o fato de que Rético diretamente aponta a simplicidade como um motivo para a aceitação da teoria, o que remete à Navalha de Occam, ou seja, à ideia de que, entre duas teorias com mesmo poder explicativo, deve-se preferir a mais simples. O mesmo comportamento se nota em Copérnico, segundo o qual "devemos antes compreender a sabedoria da Natureza que, assim como foi particularmente cuidadosa em nada produzir de supérfluo, também, muitas vezes, dotou uma coisa com muitas propriedades." (COPÉRNICO, 2014, p. 51).

Essa simplicidade, essa elegância, está, como não poderia deixar de ser, associada às ideias de harmonia e homogeneidade, que se evidenciam na semelhança entre os modelos de cada planeta, muito maior do que nos sistemas ptolomaicos.

"[...] aconteceu-lhes [aos antigos] como a alguém que fosse buscar a diferentes pessoas mãos, pés, cabeça e outros membros, perfeitamente apresentados sem dúvida mas sem formarem um corpo uno, e sem qualquer espécie de correspondência mútua entre si, de tal maneira que resultaria deles mais um monstro do que um homem." (COPÉRNICO, 2014, p. 8)

### 4.1.3. A ordem dos orbes e sua coerência

"[...] Portanto a admissão do movimento da Terra em um excêntrico fornece uma sólida teoria dos fenômenos celestiais, na qual nenhuma mudança pode ser feita sem ao mesmo tempo reestabelecer o sistema inteiro, como seria de esperar, uma vez estando em uma base mais adequada." (RÉTICO, 1971, p. 140)

"Com a admissão de quaisquer outras hipóteses não se demonstrará os movimentos aparentes dos planetas restantes mais nítida e corretamente. Porquanto todos esses fenômenos parecem estar nobilissimamente ligados, como que por uma corrente dourada; e cada um dos planetas, por sua posição e ordem e cada desigualdade de seu movimento, testemunha que a Terra se move [...]" (RÉTICO, 1971, p. 165)

O sistema copernicano, ao "planetizar" a Terra e "desplanetizar" o Sol (ALBUQUERQUE, 2014, p. XX), inova também ao permitir a comparação dos raios orbitais dos diferentes planetas e por consequência permitir a estimativa das distâncias planetárias, dada a distância Terra-Sol. Isso, como já discutido, não teve um impacto tão grande quanto se poderia inicialmente imaginar, mas naturalmente tem a vantagem de definir de maneira bastante consistente a ordem dos orbes celestes. Não por acaso Copérnico aborda em especial o caso dos planetas internos, Vênus e Mercúrio, que suscitaram divergências entre os antigos, os quais nem sempre concordaram quanto à sua ordem no céu. Esses planetas, por estarem em uma órbita interna à da Terra, do nosso ponto de vista nunca se afastam do Sol para além de um certo limite. Tal fato pode ser descrito pelo modelo geostático por meio da escolha adequada dos parâmetros (fazendo com que o centro do epiciclo do planeta sempre acompanhe o Sol), mas não pode ser explicado. Já no modelo heliostático ele é uma consequência bastante natural, conferindo-lhe uma coerência explicativa. Na verdade, há toda uma série de detalhes deste mesmo tipo - que no geostatismo são descritos de forma *ad hoc*, mas surgem como consequências naturais no heliostatismo. Por exemplo, fica claro por que os planetas mais próximos à Terra têm maior período sinódico, e por que para os planetas superiores, no sistema geostático, a linha que liga o planeta ao centro do epiciclo é sempre paralela à direção Terra-Sol (SWERDLOW E NEUGEBAUER, 1984).

## 4.2. *De revolutionibus*

### 4.2.1. A cinemática é equivalente

"É que, de uma maneira geral, toda a mudança de posição que se vê ou é devida ao movimento da coisa observada, ou do observador, ou então seguramente de um e de outro." (COPÉRNICO, 2014, p. 29)

Como, é claro, não poderia deixar de ser, Copérnico se vale explicitamente da constatação puramente cinemática de que a rotação de oeste para leste da Terra e o movimento dos céus de leste

para oeste produzem explicações equivalentes para o movimento diário dos astros - e afirmação semelhante pode ser feita sobre a translação terrestre. Copérnico, assim, defende que os movimentos são relativos. Ou seja, nem o geostatismo nem o heliostatismo são absurdos automaticamente - eles passam a ser mais ou menos plausíveis, em termos de uma interpretação realista, apenas com a colocação de estruturas teóricas físicas em jogo (no caso de uma interpretação instrumentalista, a competição se daria em termos da praticidade e da acurácia dos modelos associados a cada uma das posições). Uma curiosidade é que tanto Rético como Copérnico, ao evocarem a relatividade dos movimentos, citaram versos da Eneida de Virgílio.

#### 4.2.2. O Universo é esférico

"Compete-nos notar desde o início que o Universo é esférico ou porque seja esta a forma mais perfeita de todas, um todo inteiro sem qualquer junção de partes; ou porque ela própria seja a mais capaz das figuras e maximamente conveniente para encerrar e conservar todas as coisas; ou até porque as partes mais perfeitas do Universo, isto é, o Sol, a Lua e as estrelas, se apresentam com essa forma e porque todo o Universo tende a ser por ela delimitado. E isto mesmo se vê nas gotas de água e nos outros corpos líquidos quando revestem a sua forma natural. Pelo que ninguém deverá hesitar em atribuir tal forma aos corpos celestes." (COPÉRNICO, 2014, p. 17)

O fragmento anterior é o primeiro capítulo de *De revolutionibus*, na íntegra. Como a esta altura já deve estar claro, o pensamento de Copérnico é bastante diferente do posterior mecanicismo matemático, e em geral do pensamento físico moderno. As explicações de Copérnico, sem romper em forma com a tradição da filosofia natural, com frequência têm conceitos de valor e caráter teleológico, como típico de Aristóteles e dos escolásticos, e às vezes até semi-animista (ZILSEL, 1940). Uma explicação teleológica identifica a causa de um fenômeno com sua suposta finalidade. Por sua vez, uma explicação semi-animista tende a atribuir características como "vontade", "tendência" ou "preferência" a objetos inanimados, como se fossem capazes de perceber o mundo ao redor e responder de acordo, para atingir algum objetivo que lhes é intrínseco.

Dessa maneira, quando se diz que o Universo é esférico *porque* essa é a forma mais perfeita de todas, está se fazendo um argumento teleológico. Nota-se também a referência a uma *forma natural* da gota d'água, bem como uma comparação de sistemas bastante diferentes (Sol, Lua, Universo, gotas d'água) baseada em um argumento metafísico de harmonia.

#### 4.2.3. O tamanho do Universo

"[...] Porque se alguém negar que a Terra ocupa o centro ou o meio do Universo e reconhecer, contudo, que a sua distância [a ele] é insignificante em comparação com a esfera das estrelas fixas, mas que é notável e apreciável em comparação com as esferas do

Sol e das outras estrelas, estando convencido de que, por esta razão, o seu movimento parece variável, como se as esferas fossem uniformes em relação a um centro diferente do centro da Terra, poderá talvez apresentar uma explicação não absurda do movimento aparentemente não uniforme." (COPÉRNICO, 2014, p. 30)

"[...] Contudo a linha traçada a partir da superfície da Terra tem de ser diferente da linha traçada a partir do centro, mas devido à sua extensão imensa em relação à Terra, elas são virtualmente paralelas e por causa da sua extensão parecem ser uma única linha, pois o espaço entre elas é pequeníssimo comparado com essa sua extensão, como se mostra em Óptica. Por este argumento certamente se demonstra satisfatoriamente que o Céu é imenso em comparação com a Terra e dá a impressão de um tamanho infinito, enquanto segundo o testemunho dos sentidos, a Terra é em relação ao Céu o que um ponto é em relação ao corpo, e o finito em relação ao infinito." (COPÉRNICO, 2014, p. 34)

"[...] Sem dúvida aquela demonstração nenhuma outra coisa provou a não ser que o Céu é ilimitado em relação à Terra. Mas não é de modo algum claro até onde se estende esta imensidade." (COPÉRNICO, 2014, p. 35)

Como já antecipado, Copérnico se vê obrigado a admitir *ad hoc* que o Universo é muito maior, não só do que o diâmetro da Terra (o que era aceito há muito), mas do que a órbita da Terra, a fim de explicar a biseção da esfera celeste pelo plano do horizonte e a não-observação de paralaxe estelar heliostática (que pôde ser detectada apenas no século XIX). Isto estabelece um desconfortável vazio entre o orbe de Saturno e a esfera das estrelas, criando uma dificuldade metafísica para a teoria.

É patente também a titubeação de Copérnico com relação à dimensão concreta do Universo, afinal lhe resta apenas essa ambiguidade: finito, para que possa ter um centro, mas infinito, para que os fenômenos sejam explicados: "O Universo é sagrado, sem limites, todo em si; com efeito, ele é a totalidade, finito porém similar ao infinito etc." (PLÍNIO apud RÉTICO, 1971, p. 144). Rético também menciona a cintilação das estrelas, em geral não observada para os planetas, mas não se aprofunda muito no tema. Copérnico, por fim, entende que a questão está fora de seu escopo: "Deixemos pois que os físicos disputem sobre se o mundo é finito ou infinito, tendo nós como certo que a Terra é limitada pelos seus pólos e por uma superfície esférica." (COPÉRNICO, 2014, p. 40)

#### 4.2.4. A Terra não está no centro

"Porque o facto de os planetas se verem umas vezes mais próximos, outras vezes mais afastados da Terra prova necessariamente que o centro da Terra não é o centro das suas esferas. Também não está assente se a Terra se desvia em direcção a elas para delas se afastar, [ou] se são elas que se dirigem para a Terra e dela se desviam." (COPÉRNICO, 2014, p. 30)

"Que ela não é efectivamente o centro de todas as revoluções mostram-no o movimento não uniforme e aparente dos planetas e as distâncias variáveis deles à Terra. Estes fenómenos não podem explicar-se com círculos concêntricos com a Terra." (COPÉRNICO, 2014, p. 45)

Esses trechos são bastante curiosos. Afirma-se que, uma vez que as distâncias entre a Terra e cada planeta variam, e que são percebidos movimentos não uniformes da parte destes, certamente a

Terra não pode ser o centro de órbitas planetárias circulares. Excêntricos e epiciclos, porém, fazem com que essas distâncias variem mesmo no sistema ptolomaico, e isso jamais o colocou em dúvida. De fato, a Terra nos sistemas de tradição ptolomaica não é o centro de todos os movimentos do Universo e é justamente por isso que é mais adequado chamá-los de geostáticos em vez de geocêntricos (e, pelo mesmo motivo, falar em sistemas heliostáticos em vez de heliocêntricos). Provavelmente, esse argumento não foi muito convincente aos contemporâneos de Copérnico, que não deveriam sentir mal-estar em admitir esse aspecto em um modelo geostático. Não há dúvida de que Copérnico e Rético foram mais prolíficos em justificar a translação da Terra por meio da coesão do sistema resultante.

#### **4.2.5. Melhor mover a Terra!**

"E como é o Céu que contém todas as coisas e constitui o espaço onde todos os corpos celestes têm o seu lugar, não se vê imediatamente por que é atribuído movimento não ao que está localizado mas àquilo em que está localizado." (COPÉRNICO, 2014, p. 30)

"Segundo o testemunho dos sentidos, a Terra é em relação ao Céu o que um ponto é em relação ao corpo, e o finito em relação ao infinito. [...] E ainda deveríamos ficar mais admirados se o Universo tão vasto fizesse uma rotação em vinte e quatro horas [...]." (COPÉRNICO, 2014, p. 34)

"Porquê, pois, hesitamos ainda em conceder movimento àquilo que tem uma superfície naturalmente própria para ele [esférica], em lugar de acreditar que todo o Universo se move, embora não se conheça se tem fim e nem se possa vir a conhecer?" (COPÉRNICO, 2014, p. 40)

"Um outro ponto é que a imobilidade é considerada uma condição mais nobre e divina do que a mudança, a instabilidade, que são mais próprias da Terra do que do Universo. Acrescento também que seria bastante absurdo atribuir movimento ao que contém e àquele em que algo se localiza e não àquilo que é contido e que se localiza, isto é, a Terra." (COPÉRNICO, 2014, p. 43)

A vastidão do Universo, percebida pela experiência e teoricamente ampliada ainda mais pelo sistema copernicano, é utilizada por Copérnico a seu favor. Em uma interessante e totalmente autoexplicativa consideração metafísica, considera mais simples e elegante o movimento da Terra, menor e por conseguinte mais suave, em comparação com a revolução (rapidíssima, no caso do movimento diário) de todo o Universo em torno de nós. Identificamos aí o grande impacto das ideias de Copérnico na sociedade ocidental: a remoção da Terra e dos seres humanos de uma posição de destaque no centro do Universo.

#### **4.2.6. O movimento circular é o mais perfeito e é natural**

"Com efeito, o movimento apropriado de uma esfera é uma rotação num círculo, reproduzindo a sua forma no próprio acto como corpo extremamente simples em que não se

pode indicar princípio nem fim, nem distinguir-se um do outro, enquanto através dos mesmos se move sobre si mesma." (COPÉRNICO, 2014, p. 25)

"Quando está nesta posição [a posição natural] não pode ter nenhum outro movimento excepto o circular, pois que o corpo simples permanece totalmente em si mesmo como um corpo em repouso." (COPÉRNICO, 2014, p. 42)

Na concepção aristotélica, os movimentos circulares são propriamente naturais dos astros acima da esfera lunar. Não faz sentido que os corpos terrosos revolvam em torno do centro do Universo: estando o mais próximos possíveis do centro, sem possibilidade de deslocamento radial, não há movimento natural. Não existindo causa para um movimento violento adicional, efetivamente não há motivo para pensar que os graves circulem ao redor do centro. Copérnico aborda o problema apresentando, novamente de forma metafísica e teleológica, o movimento circular como mais perfeito, e identificado naturalmente com o formato esférico.

"Mas se alguém for de opinião que a Terra se move, dirá por certo que o movimento é natural e não violento. De facto, as coisas que são segundo a Natureza têm efeitos contrários às que são provocadas pela violência. Com efeito, os objectos a que a força ou o impulso são aplicados têm necessariamente de ser destruídos e não subsistirão durante muito tempo, mas as coisas que são feitas pela Natureza estão no seu estado natural e continuam na sua forma perfeita. É pois em vão que Ptolomeu teme que a Terra venha a dissipar-se, assim como todos os objectos terrestres, devido a uma rotação produzida pela força da Natureza, que é muito diferente do que pode ser realizado pela arte e pelo engenho humanos." (COPÉRNICO, 2014, p. 39)

Neste fragmento vemos ainda mais claramente a argumentação de Copérnico. Referenciando-se aos conceitos aristotélicos, ele os critica aprioristicamente, apenas na extensão mínima necessária para defender o heliostatismo, sem adotar o afastamento que seria de esperar de quem precisa se desvencilhar de todo esse aparato teórico, dotado de notável consistência interna (BASSO, s.d.; ROSEN, 1985; ZILSEL, 1940; ALBUQUERQUE, 2014). Copérnico, imerso na teoria de lugares naturais e na terminologia correspondente, fornece uma discordância razoavelmente direta, enfatizando não os deslocamentos retilíneos em direção aos lugares naturais como movimentos naturais para os corpos terrosos, mas o movimento circular em torno desses lugares. O movimento retilíneo, afinal, "só ocorre nos corpos que não se encontram no seu próprio estado nem em harmonia perfeita com a sua natureza e [que estão] privados da sua unidade." (COPÉRNICO, 2014, p. 42). Além disso, Copérnico postula a inexistência de efeitos centrífugos nos movimentos circulares naturais: há centrifugação apenas em movimentos circulares violentos, "produzidos pela arte e pelo engenho humanos".

Assim, em meio a uma argumentação metafísica, teleológica e mesmo teológica, Copérnico pretende resolver dois problemas com um recurso só: a justificação do movimento circular da Terra e da ausência de efeitos centrífugos por meio da concepção de movimento circular no lugar natural como um movimento natural. Trata-se porém apenas de um esboço, uma oposição sólida exigiria

uma argumentação mais extensa e elaborada. Vale ressaltar que as críticas de Copérnico nesse sentido não fazem alusão a qualquer tipo de *experimentum crucis*, algum fenômeno empírico que favoreceria uma visão em detrimento da outra.

Outro ponto interessante é que, embora Copérnico não ventile a possibilidade de movimento de rotação associado aos outros planetas, deixa-a implícita, ao associar o movimento circular à forma esférica, "superfície naturalmente própria para ele" (ALBUQUERQUE, 2014).

#### 4.2.7. Um belo argumento

"Mas porque não se levanta a mesma questão ainda com mais intensidade acerca do Universo cujo movimento tem de ser tanto mais rápido quanto o Céu é maior do que a Terra? Ou tornou-se o Céu imenso porque foi desviado do centro por um movimento de força indiscriminável e acabará por se precipitar também, se parar? Certamente se este raciocínio fosse razoável também a grandeza do Céu subiria até o infinito. Com efeito, quanto mais alto ele for levado pela força do seu movimento, tanto mais rápido esse movimento será devido ao aumento contínuo da circunferência que ele tem de percorrer no período de 24 horas. Por outro lado, crescendo o movimento cresceria também a imensidade do Céu. Assim a velocidade aumentaria o movimento e o movimento aumentaria a velocidade até o infinito. Mas segundo aquele axioma da Física - o infinito não pode ser percorrido nem movido de forma alguma - o Céu terá necessariamente de permanecer imóvel." (COPÉRNICO, 2014, pp. 39-40)

Copérnico se defende da objeção dos efeitos centrífugos não apenas por meio do que foi tratado na seção anterior. Em uma construção muito interessante, ele questiona: por que a mesma dúvida não comove as pessoas com relação aos astros? Os efeitos centrífugos são proporcionais à velocidade de translação, e considerando a velocidade angular fixa, conhecida da observação, a suposição de movimento dos astros significa velocidades lineares muito maiores do que a suposição de movimento da Terra, dadas as distâncias envolvidas. Por que os astros não são centrifugados? Bem, talvez eles de fato sejam, e isso explique a imensidão do Universo. Mas, se assim fosse, o processo continuaria indefinidamente: uma maior velocidade implicaria em maior afastamento, que implicaria maior velocidade e maior afastamento... mas de alguma forma mantendo sempre a regularidade do movimento diário que observamos. Todavia, esta última opção é um absurdo matemático-metafísico para Copérnico, pois para ele, como vimos, o Universo é similar ao infinito, mas finito.

A contundência dessa justificativa depende, todavia, de uma crítica à separação aristotélica entre mundos sublunar e supralunar (que, apesar de não completa, é grande). Tal crítica não é explicitada por Copérnico, mas parece ser indispensável: se um indivíduo admite que a física do céu é diferente da terrestre pode facilmente se livrar do truque copernicano, assim como Copérnico, como foi visto, procurou livrar-se de críticas diferenciando movimentos circulares naturais e



violentos. De fato a mecânica newtoniana posteriormente derrubou a dicotomia lunar-sublunar, mas o argumento copernicano não deve ter surtido tanto efeito à época de sua publicação.

Apesar de bela e bem estruturada, essa argumentação não leva à ideia atualmente aceita, qual seja, a compensação da força centrífuga pela força da gravidade, que continua atuando mesmo quando os corpos estão em repouso com relação à Terra. As explicações de Galileo evidenciam um avanço em direção a essa ideia, mas também são incipientes (ZILSEL, 1940).

#### 4.2.8. A água e o ar

"Que diremos [...] senão que não é apenas a Terra com a água que a ela está unida que se move, mas também uma pequena parte do ar e tudo o que de algum modo à terra está ligado? E isto passa-se assim, quer porque o ar circundante revista a mesma natureza da Terra, por estar misturado com a matéria terrestre e aquosa, quer porque o movimento do ar é adquirido, pois partilha com a Terra da sua rotação incessante, devido à contiguidade e à ausência de resistência." (COPÉRNICO, 2014 - p. 41)

O que dizer sobre a ausência de ventos causados pela rotação da Terra e sobre o movimento das flechas? Curiosamente Copérnico oferece duas explicações distintas, sem se preocupar em dar preferência a uma delas. A primeira é semi-animista, envolvendo os elementos e suas tendências intrínsecas, e a outra é algo mais próxima do pensamento moderno, evocando uma "vinculação material" do ar com o planeta, uma contiguidade (ZILSEL, 1940).

A preocupação em abordar os elementos separadamente é confirmada em uma passagem posterior, em que Copérnico versa sobre o fogo. Naturalmente isso deve às ideias escolásticas, segundo as quais os corpos terrosos têm movimento natural retilíneo em relação ao centro, mas o fogo e o ar, e mesmo gotas d'água, podem ser influenciados pelo céu e, assim, serem impostos a movimentos circulares "preternaturais" (KNOX, 2005). Quanto ao outro argumento, observa-se que mais uma vez não fica clara uma noção da gravidade como a responsável pela retenção da atmosfera.

É mister salientar que as ideias de Aristóteles não foram adotadas inalterada e acriticamente ao longo dos séculos. Embora sua estrutura básica tenha se mantido firme, houve diversas críticas e adaptações, sejam não-aristotélicas ou mesmo anti-aristotélicas, por parte de diversos estudiosos, alguns dos quais, inclusive, eram apesar disso tidos como aristotélicos (GODDU, 2010). Nesse sentido, Copérnico poderia evocar o trabalho de diversos antecessores, mas o faz muito pouco. Embora haja estudos que especulam as possíveis fontes de Copérnico, este parece de fato não ter se familiarizado diretamente com o trabalho de dois dos mais notáveis críticos ocidentais à mecânica aristotélica, Jean Buridan (defensor da teoria do ímpeto) e Nicole Oresme, cujos escritos lhe seriam de considerável utilidade (BASSO, s.d.; GODDU, 2010; CROMBIE, 1953; KOYRÉ, 1973). Nicole

Oresme, em especial, embora não aceitasse a rotação da Terra, discutiu a sua possibilidade e chegou, assim como Copérnico, a refutar a objeção posta quanto o movimento da água e do ar, afirmando que eles deveriam acompanhar o movimento terrestre (CROMBIE, 1953; KOYRÉ, 1973). Ainda mais interessante é saber que também na tradição árabe circulou a ideia de ímpeto, e que também nela é possível encontrar discussões a respeito da ideia de rotação terrestre (KOYRÉ, 1973; RAGEP, 2001).

Outro tópico relevante é que, na sequência do fragmento aqui exposto, Copérnico defende a imobilidade das camadas mais superiores da atmosfera. Nessas camadas, segundo a compreensão científica da época, formavam-se os cometas (os quais eram entendidos como fenômenos atmosféricos). Portanto, Copérnico discorda de seus contemporâneos quando estes atribuem à região de formação de cometas movimentos análogos aos dos orbes celestes: para ele também o movimento diário aparente dos cometas é causado pelo movimento da Terra.

Talvez chame a atenção de algum leitor a permanência da ideia de cometas como fenômenos atmosféricos ainda na época de Copérnico. Efetivamente, a ideia de perfeição celeste foi muito influente durante séculos de tradição astronômica ocidental, e é um belo exemplo de como o paradigma de pensamento influencia nossas observações: enquanto no ocidente o primeiro registro de supernovas como fenômenos estelares está na obra *De Nova Stella* (1573), de Tycho Brahe, há diversos exemplos de séculos anteriores na tradição chinesa, alheia a essa influência metafísica em particular.

#### 4.2.9. A queda dos corpos

"Impõe-se, assim, dizer que o movimento dos corpos que caem e dos que sobem no Universo é um movimento duplo e em todos os casos rigorosamente composto de movimentos retilíneo e circular. Seguramente, as partes que são arrastadas para baixo pelo seu próprio peso, uma vez que são principalmente terrestres, sem dúvida conservam a mesma natureza do todo." (COPÉRNICO, 2014 - p. 41)

Este trecho chama muito a atenção: trata-se de um esboço claro do princípio de independência e composição de movimentos para o caso da queda oblíqua, ideias cuja primazia geralmente atribuímos a Galileo. Dessa forma, o argumento da torre é inválido, pois na verdade a bala de canhão deve cair ao pé da construção mesmo com um movimento de rotação terrestre: a queda é composta de dois movimentos, e um deles é justamente o acompanhamento do movimento circular natural terrestre.

Estamos acostumados com um modelo matemático que combina um movimento horizontal uniforme a um movimento vertical uniformemente variado para explicar a queda oblíqua.

Copérnico, ainda que reconheça a não-uniformidade do movimento vertical, não entra nesse nível de detalhe matemático, mas suas duas frases são perfeitamente condizentes com esse modelo, caso interpretemos que o movimento natural circular é equivalente ao movimento horizontal uniforme (atribuído a uma velocidade inicial e à lei da inércia, hoje), residindo a diferença apenas na distância que se considera à superfície terrestre. Nos *Principia* Newton esclarecerá a questão muito tempo depois, culminando no célebre desenho da bala de canhão lançada em órbita.

Resta ainda a pergunta: "*Por que os corpos caem?*". Certamente não pode ser por causa de uma tendência a se dirigir ao lugar natural puramente aristotélico, pois o centro do Universo não mais coincide com o centro da Terra. Vejamos a atitude de Copérnico:

"Havendo, pois, vários centros, não será temerário duvidar se o centro do mundo será, de facto, o centro de gravidade terrestre ou qualquer outro [ponto]. Quanto a mim penso que a gravidade outra coisa não é senão um certo desejo natural introduzido nas partes pela divina Providência do autor do Universo para que se encontrem na sua unidade e integridade, reunindo-se em forma de esfera. E é de crer que esta tendência exista também no Sol e na Lua, assim como nos outros planetas, para que por seu efeito eles possam conservar a forma esférica com que se apresentam." (COPÉRNICO, 2014 - p. 45)

Copérnico abandona a ideia de queda dos corpos associada a alguma propriedade específica da Terra, generalizando-a aos outros corpos celestes. Todos eles têm gravidade, e é por isso que são esféricos! Essa ideia é evidentemente correta, do ponto de vista atual, porém Copérnico a justifica teleologicamente e não apresenta explicação para a essência da gravidade além da vontade divina. Se bem que, a bem da verdade, mesmo hoje não é trivial explicar o que *é* a gravidade.

Nota-se também uma tensão entre as descrições dadas por Copérnico ao movimento de queda: os movimentos naturais são os circulares, mas a gravidade, que causa movimentos retilíneos, deve ser natural. Copérnico implicitamente procura contornar o problema usando palavreados cuidadosos, referindo-se, por exemplo, ao "ímpeto do peso" dos corpos (KNOX, 2005). Aqui, novamente, nota-se que Copérnico não foi o primeiro a levantar ideias desse tipo, seja quanto ao lançamento oblíquo, seja quanto à existência de vários centros de gravidade (adotada por Nicole Oresme e Nicolau de Cusa).

A visão de Copérnico, entretanto, não é a de uma gravitação universal: o poder de atração gravitacional estaria ligado aos astros, e não a qualquer corpo. Além disso, embora Rético tenha chegado a dizer que o Sol "pode ser tomado como a fonte do movimento e da luz" (RÉTICO, 1971, p. 146), foi Kepler quem realmente aprofundou essa ideia. De qualquer forma, o conjunto das considerações físicas de Copérnico afasta, e muito, a Terra de uma posição privilegiada no Universo, ideia que ganhará força com o passar das décadas, por exemplo com a descoberta das luas galileanas.

## 5. CONCLUSÃO

O trabalho de Copérnico consiste não só na mera substituição do geostatismo pelo heliostatismo, mas na compilação e análise rigorosa de muitos dados observacionais, o que permite a concordância satisfatória do modelo com os fenômenos. O sistema pode ser aceito de um ponto de vista meramente instrumentalista, como algo útil para realizar previsões mas sem correspondência efetiva com a realidade, ou de um ponto de vista realista, como Copérnico pretendia, segundo o qual o sistema descreve os movimentos celestes como eles de fato são na realidade. Ao contrário do que comumente se veicula, não havia maneira óbvia de estabelecer a superioridade do heliostatismo sobre o geostatismo, especialmente do ponto de vista realista.

Com efeito, existiam fortes objeções físicas à interpretação realista do sistema copernicano, muito além de mero fundamentalismo religioso ou apego irracional a ideias antigas. A posterior aceitação do heliostatismo foi o desfecho de uma longa e legítima controvérsia científica, que envolveu a contribuição de muitas outras pessoas, em especial no que concerne a necessidade de produzir um novo sistema físico que remova as objeções apresentadas pela tradição aristotélica. Adicionalmente, observa-se que mesmo o início dessa ruptura de paradigma é de uma complexidade que não pode ser apreendida adequadamente por meio de visões empiristas ingênuas ou visões puramente externalistas.

Copérnico, guiado pela simplicidade e coerência estético-matemáticas do sistema heliostático, subordinou a filosofia natural à astronomia e à matemática (GODDU, 2010). Entretanto, ao adotar uma postura realista, estava bem consciente da necessidade de contrapor as objeções físicas. Seus argumentos partem da matriz aristotélica da época e, ainda que por vezes busquem algum tipo de base empírica, são ricos em considerações metafísicas e teleológicas, longe do pensamento físico moderno. São, também, bastante concisos, em especial se comparados ao seu trabalho astronômico. Por outro lado há também alguns lampejos bastante interessantes, na medida em que apontam a direção de desenvolvimentos posteriores, em especial a existência de vários centros de gravidade e a ideia de queda oblíqua como composição de dois movimentos.

## 6. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Luís de. Introdução. In: COPÉRNICO, Nicolau. **As Revoluções dos Orbes Celestes (De revolutionibus orbium coelestium)**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2014. p. V-XXIX.

BASSO, Dêlcio. **O mito de Copérnico** [datilografado]. [s.l.] : [s.n.], [19--] 35 p. : il.

CARDOSO, Emanuel; BARCELLOS, Marcília; GUERRA, Andreia. O episódio copernicano revisitado pela via das práticas científicas e a utilização do Dispositivo de Tusi. **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 66-78, jun. 2021.

COPÉRNICO, Nicolau. **As Revoluções dos Orbes Celestes (De revolutionibus orbium coelestium)**. 3. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2014. Tradução de A. Dias Gomes e Gabriel Domingues a partir da edição latina de 1566 (Officina Henricpetrina, Basileia); introdução e notas de Luís de Albuquerque.

COPÉRNICO, Nicolau. **Commentariolus**: pequeno comentário de Nicolau Copérnico sobre suas próprias hipóteses acerca dos movimentos celestes. Apresentação de Luiz Pinguelli Rosa. Tradução, introdução e notas de Roberto de Andrade Martins. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2003.

COPÉRNICO, Nicolau; RÉTICO. **Three Copernican Treatises**. 3. ed. Nova Iorque: Octagon Books, 1971. Tradução e notas de Edward Rosen.

CROMBIE, A. C.. **Augustine to Galileo: The History of Science A.D. 400 - 1650**. Cambridge: Harvard University Press, 1953.

FEYERABEND, Paul. **Contra o Método**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1977. Tradução de Octanny Silveira da Mota e Leonidas Hegenberg.

FEYERABEND, Paul K.. **Realism, Rationalism and Scientific Method: Philosophical Papers - Volume 1**. Cambridge: Cambridge University Press, 1981.

FINOCCHIARO, Maurice A.. **Defending Copernicus and Galileo: critical reasoning in the two affairs**. Las Vegas: Springer, 2010.

GASSENDI, Pierre. **The Life of Copernicus (1473-1543): the man who did not change the world**. Fairfax: Xulon Press, 2002. Com notas de Olivier Thill.

GINGERICH, Owen. **O livro que ninguém leu: em busca das revoluções de Nicolau Copérnico**. Rio de Janeiro: Record, 2008. Tradução de Bruna Harstein.

GODDU, André. **Copernicus and the Aristotelian Tradition: education, reading, and philosophy in Copernicus' path to heliocentrism**. Leiden: Brill, 2010.

HUFF, Toby E.. **The Rise of Early Modern Science: islam, china and the west**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

KNOX, Dilwyn. Copernicus's Doctrine of Gravity and the Natural Circular Motion of the Elements. **Journal of the Warburg and Courtauld Institutes**, Londres, v. 68, p. 157-211, 2005.

KOYRÉ, Alexandre. Nicolas Copernicus. **Bulletin of the Polish Institute of Arts and Sciences in America**, Nova Iorque, v. 1, n. 4, p. 705-730, jul. 1943.

KOYRÉ, Alexandre. **The Astronomical Revolution: Copernicus - Kepler - Borelli**. Paris: Hermann, 1973. Tradução de R. E. W. Maddison.

KUHN, Thomas. **A revolução copernicana**. Rio de Janeiro: Edições 70, 1990. Tradução de Marília Costa Fontes.

LAKATOS, Imre; FEYERABEND, Paul. **For and Against Method: Including Lakatos's Lectures on Scientific Method and the Lakatos-Feyerabend Correspondence**. Chicago: University Of Chicago Press, 1999.

"HISTÓRIA da Física" - Pt. 3/8 (II SAF - UFSC). Realização de Roberto de Andrade Martins. Florianópolis: UFSC, 2012. Son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=EBiqUkiiV8Y>>. Acesso em: 5 novembro 2021.

"HISTÓRIA da Física" - Pt. 4/8 (II SAF - UFSC). Realização de Roberto de Andrade Martins. Florianópolis: UFSC, 2012. Son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=LTRA7LQIUfk>>. Acesso em: 5 novembro 2021.

"HISTÓRIA da Física" - Pt. 5/8 (II SAF - UFSC). Realização de Roberto de Andrade Martins. Florianópolis: UFSC, 2012. Son., color. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=OxMimNpbRww>>. Acesso em: 5 novembro 2021.

MARTINS, Roberto de Andrade. História e história da ciência: encontros e desencontros. Pp. 11-46, in: **Actas do 1º. Congresso Luso-Brasileiro de História da Ciência e da Técnica** (Universidade de Évora e Universidade de Aveiro). Évora: Centro de Estudos de História e Filosofia da Ciência da Universidade de Évora, 2001.

MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução Geral ao *Commentariolus* de Nicolau Copérnico. In: COPÉRNICO, Nicolau. **Commentariolus: pequeno comentário de Nicolau Copérnico sobre suas próprias hipóteses acerca dos movimentos celestes**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2003. p. 23-93.

MEDEIROS, Alexandre; MONTEIRO, Maria Amélia. A invisibilidade dos pressupostos e das limitações da teoria copernicana nos livros didáticos de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 1, p. 28-50, abr. 2002.

MIKULSKI, Krzysztof. **Controversies: private life**. 2010. Disponível em: <<http://copernicus.torun.pl/en/biography/1503-1543/6/>>. Acesso em: 6 nov. 2021.

OSIANDER, Andreas. Ao leitor sobre as hipóteses desta obra. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 253-257, jun. 2008. Tradução e notas de Zeljko Loparic.

PEDUZZI, Luiz O. Q.. Física Aristotélica: por que não considerá-la no ensino da mecânica? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 13, n. 1, p. 48-63, abr. 1996.

PESSOA JR., Osvaldo. A classificação das diferentes posições em Filosofia da Ciência. **Cognitio-Estudos**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 54-60, jun. 2009.

PTOLOMEU, Cláudio. **The Almagest**. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1952. Tradução de Robert Catesby Taliaferro.

RAGEP, F. Jamil. Tūsī and Copernicus: The Earth's Motion in Context. **Science in Context**, Cambridge, v. 14, n. 1, p. 145-163, 2001.

RAIČIK, Anabel Cardoso; PEDUZZI, Luiz O. Q.. Uma discussão acerca dos contextos da descoberta e da justificativa: a dinâmica entre hipótese e experimentação na ciência. **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 132-146, jun. 2015.

ROSA, Luiz Pinguelli. Apresentação: o *Commentariolus* no contexto da obra de Copérnico e a Revolução Copernicana. In: COPÉRNICO, Nicolau. **Commentariolus**: pequeno comentário de Nicolau Copérnico sobre suas próprias hipóteses acerca dos movimentos celestes. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2003. p. 1-19.

ROSEN, Edward. Copernicus on the phases and the light of the planets. **Organon**, Varsóvia, v. 2, p. 61-78, 1965.

ROSEN, Edward. **Introduction to the Letter against Werner**. 1985. Disponível em: <<http://copernicus.torun.pl/en/archives/astronomical/2/>>. Acesso em: 5 novembro 2021.

SILVEIRA, Fernando Lang da. A premissa metafísica da Revolução Copernicana. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 3, p.407-410, dez. 2002.

SWERDLOW, N. M.; NEUGEBAUER, O.. **Mathematical Astronomy in Copernicus's De Revolutionibus**. Nova Iorque: Springer-Verlag, 1984.

VIDEIRA, Antonio Augusto Passos. Historiografia e história da ciência. **Revista da Casa de Rui Barbosa**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 111-158, 2007.

WRIGHTSMAN, Bruce. Andreas Osiander's Contribution to The Copernican Achievement. In: WESTMAN, Robert S. (ed.). **The Copernican Achievement**. Berkeley / Los Angeles / Londres: University Of California Press, 1975. p. 213-243.

ZILSEL, Edgar. Copernicus and mechanics. *Journal of the History of Ideas* **1**: 113-18, 1940.