
ENUNCIÇÃO:

Revista do Programa de Pós-Graduação em Filosofia da UFRRJ

Brahe e Kepler: o desenvolvimento do copernicanismo

Brahe and Kepler: the development of Copernicanism

Claudemir Roque Tossato (Unifesp)

Resumo

Este texto tem como objetivo apresentar dois aspectos do desenvolvimento do copernicanismo. O primeiro é o papel das observações astronômicas obtidas por Tycho Brahe. O segundo é a abordagem matemática proposta por Kepler. Ambos os aspectos não estão presentes na abordagem original de Copérnico.

Palavras-chave: Copernicanismo, Brahe, Kepler, observações astronômicas, matemática.

Abstract

The text aim to present two aspects of development of Copernicanism. The first, is the role of astronomical observations of the Tycho Brahe. The second, is the mathematical approach proposed by Kepler. Its aspects are not presentes in Copernicu's original approach.

Keywords: Copernicanism. Brahe. Kepler. Astronomical observations. Mathematics.

1 Introdução

Em 1543 é publicada a obra *As revoluções dos orbis celestes*, de Nicolau Copérnico. O ponto máximo dessa obra é representado, à primeira vista, pelas três hipóteses de movimentos da Terra em torno do Sol (rotação, translação e precessão dos equinócios). Falamos hipóteses porque, em 1543, só poderiam expressar suposições e, além disso, muito controversas; e foram essas controvérsias que geraram o desenvolvimento das hipóteses originais de Copérnico. Acredito que seja muito perigoso dizer que em 1543 já tínhamos um sistema real do universo; contudo, tínhamos, com grande certeza, propostas muito relevantes e progressivas para as futuras pesquisas.

Para apresentar grosseiramente como o copernicanismo foi uma proposta não aceita imediatamente, mas que conduziu pesquisas relevantes no futuro, vejamos rapidamente sua recepção pelos astrônomos da época de Copérnico. Inicialmente, as hipóteses heliostáticas não representaram muito encanto: à primeira vista, o *De revolutionibus* mostrou-se uma obra tradicional. Analisando a estrutura da obra, vemos que ela contém o livro 1, dito “cosmológico”, e cinco livros que tratam dos astros (Sol, Lua, planetas e estrelas fixas), especificamente sobre os problemas técnicos para determinar os posicionamentos dos astros no céu; na verdade, o *De Revolutionibus* tem uma estrutura muito parecida com a do *Almagestus* de Ptolomeu (que contém um livro cosmológico e doze técnicos matemáticos sobre os posicionamentos dos astros). Além disso, muito foi dito que essa obra era e é extremamente difícil, reservada a sua leitura somente a poucos que compreenderam e compreendem a linguagem matemática, presente muito fortemente nos cinco últimos capítulos da obra. Tanto assim que a obra teve poucos leitores nos primeiros anos após a sua publicação (GINGERICH, 2008). De 1543, publicação da primeira edição do *De revolutionibus*, até Kepler, com a *Astronomia nova*, em 1609, e o *Mensageiro das estrelas*, de Galileu, em 1610, muito tempo se passou até o copernicanismo sofrer um desenvolvimento sensível. Mas esses dois problemas são irrelevantes; o mais importante é que as hipóteses copernicanas não obtiveram um ganho sensível em termos práticos; isto é, não houve um ganho observacional relevante do copernicanismo em relação aos modelos ptolomaicos; ambos tinham quase a mesma margem de erros, em torno de 10' (HANSON, 1985).

Contudo, mesmo não cativando os astrônomos e cosmólogos do final do século XVI, a nova disposição planetária proposta por Copérnico resolvia de uma maneira imediata o problema da retrogradação; aquele movimento estranho que notamos ao observar sistematicamente o céu, no qual os planetas parecem parar e dar voltas ao longo do zodíaco. Como todos nós sabemos hoje em dia, isto é fruto da aparência (fundamentalmente da localização do observador terrestre, que está acompanhando o movimento da Terra) e não da realidade celeste. De fato, a resolução da retrogradação ocorre por consequência da postulação da Terra em movimento; para entendê-la, basta representar graficamente a Terra em movimento, junto com os outros planetas, em torno do Sol. Mas, por outro lado, outro grande problema não foi resolvido: a questão das alterações entre as distâncias planetárias, o chamado movimento não uniforme do planeta ao longo do zodíaco o que levou Copérnico a adotar os mesmos procedimentos metodológicos de toda a tradição astronômica. Apesar de negar o equante ptolomaico, Copérnico utilizou artifícios como o deferente e o epíclo, o que o obrigou a utilizar um grande número de expedientes geométricos para representar os movimentos dos planetas. A não resolução desta dificul-

dade alicerça interpretação de que Copérnico, em alguns aspectos, ainda é um astrônomo antigo.

Assim, pode-se dizer que as propostas iniciais de Copérnico não implicaram ganhos nem observacional (adequação empírica) e nem representou um sistema mais simples; portanto, um sistema controverso que, em seu início, não foi percebida toda a sua proficuidade. Mas o que o copernicanismo permitiu? Uma nova disposição geométrica. É a nova disposição dos planetas que tornou o copernicanismo original promissor; uma nova disposição geométrica no sentido de reorganizar os corpos celestes de maneira a conduzir a novas perspectivas de compreensão do cosmo.

As propostas copernicanas permitem desenvolver os seguintes aspectos:

- 1) por um lado, repensar o cosmo, entendido ainda como restrito ao sistema solar (os planetas, a Lua e as estrelas fixas) de maneira a redistribuir os seus componentes em uma ordem diferente; tal nova ordem é fundamental para a abertura de uma nova leitura matemática;
- 2) por outro lado, possibilita o tratamento dinâmico, com o Sol ao centro.

Pretendo discutir dois pontos neste texto. O primeiro é que o copernicanismo não representou um ganho observacional porque faltavam dados melhores, mais precisos; tal ganho só se dará com melhores técnicas e instrumentos de observação, que independem do geocentrismo ou do heliocentrismo ou de qualquer sistema cosmológico, pelo menos para o momento da astronomia e cosmologia que estamos discutindo. Tal ganho observacional será obtido com Tycho Brahe. Segundo, os dados mais precisos obtidos por Brahe devem ser complementados com um desenvolvimento teórico. Isto é sensível em Kepler.

Tendo isso em vista, o objetivo deste texto é a apresentação de dois pontos centrais para a consolidação da astronomia heliocêntrica no final do século xvi e início do xvii. O primeiro trata da importância que as novas técnicas de observação astronômica, elaboradas e aperfeiçoadas por Brahe e utilizadas em larga escala por Kepler, tiveram para a sustentação da astronomia copernicana como um programa altamente interessante e progressivo; em outras palavras, o desenvolvimento técnico das observações do céu representou um elemento extremamente forte para o desenvolvimento do heliocentrismo. O segundo ponto é o tratamento matemático kepleriano para a astronomia, que tem suas consequências na defesa do copernicanismo. Em linhas gerais, o tratamento matemático de Kepler na *Astronomia nova* não tem um caráter *a priori*, mas centra-se na necessidade de um desenvolvimento matemático voltado para ser a expressão das informações dadas pelos dados observacionais.

2 Brahe

Quando afirmo que o copernicanismo original não representa um ganho observacional, penso que, historicamente, o que se nota são duas etapas para a astronomia do século XVII obter um ganho observacional. A primeira expressa a obtenção de melhores dados, alcançados com o aperfeiçoamento de instrumentos e técnicas de observação para obter as coordenadas dos posicionamentos dos planetas (altura, longitude e latitude) independentes de suposições — ou seja, isto pôde ser feito independentemente de uma teoria de nível mais alto (isto é, teorias metafísicas, tais como o geocentrismo, o heliocentrismo ou o sistema híbrido de Brahe). A segunda etapa compreende a utilização desses dados com a elaboração teórica, em que temos a aceitação ou não de grandes hipóteses cosmológicas. A primeira etapa compete a Brahe e a segunda, a Kepler.

Brahe não foi um copernicano, mas também não foi um ptolomaico. Foi um astrônomo observacional muito competente e um grande construtor e aperfeiçoador de instrumentos de observação. Talvez se possa afirmar que foi um engenheiro e, utilizando-se de um termo anacrônico para o século XVI, até um tecnocrata, pois suas atribuições como administrador da ilha de Hven e, principalmente, na do observatório de Uraniburgo estavam voltadas fundamentalmente para a eficiência, isto é, a obtenção da maior precisão possível dos posicionamentos dos astros ao longo do céu. Pode-se argumentar que Brahe construiu um sistema teórico, o chamado sistema híbrido - no qual a Terra é o centro, a Lua e o Sol giram ao seu redor e, ao redor do Sol, giram os cinco planetas, limitada toda essa estrutura cosmológica pelas estrelas fixas, algo que tem importância histórica incontestável. Mas, mesmo admitindo a construção de seu sistema híbrido, as principais contribuições de Brahe para astronomia, de acordo com a argumentação deste texto, referem-se a uma maior eficiência na obtenção das observações astronômicas. O ponto central brahiano é a melhoria nas observações. No limite, as contribuições de Brahe são de ordem técnicas, não teóricas. Além disso, a proposta de um sistema híbrido por Brahe veio depois de suas pesquisas eminentemente observacionais sobre o cometa de 1577, sistema esse elaborado justamente para dar conta dos resultados obtidos pelas observações sistemáticas do cometa de 1577.

Entendemos “eficiência” como dados astronômicos mais precisos em termos de determinação das coordenadas dos posicionamentos planetários: a localização de um astro celeste em seu curso ao longo do zodíaco e a predição de movimentos futuros desse astro. Uma cinemática.

Neste sentido, o que nos interessa no momento é apresentar de que maneira Brahe tratou a astronomia observacional. Investigar detalhadamente o modo como ele obteve dados mais relevantes para o posicionamento dos planetas é

algo importante, mas muito difícil de ser apresentado no momento, dada toda a complexidade do assunto. Contudo, podemos expor em linhas gerais o procedimento feito por Brahe para a astronomia observacional quando da análise de dois fenômenos astronômicos investigados por Brahe: a nova de 1572 e o cometa de 1577. O que teve Brahe em mão para tratar desses fenômenos? Dados mais precisos. Veremos que não foi necessário um sistema de fundo, ou uma teoria cosmológica do universo, seja geocêntrica, heliocêntrica ou híbrida para a obtenção de dados mais precisos. Vejamos em linhas gerais o que ocorreu, inicialmente, com a nova de 1572.

Brahe, na noite de 10 de novembro de 1572, observou no céu um ponto muito mais brilhante que qualquer estrela vista, inclusive mais brilhante que o planeta Vênus, na constelação de Cassiopéia. Brahe acompanhou o comportamento e o movimento desse ponto luminoso até março de 1573, quando do desaparecimento do ponto. Bem, essa é a situação, um novo fenômeno que se apresenta no céu. Mas como Brahe tratou dessa nova coisa no céu? O que é relevante para esta apresentação é saber qual o raciocínio de Brahe para tratar de algo novo no céu? Digamos que foi um raciocínio técnico; um sistema inferencial técnico, isto é, um raciocínio investigativo: há um problema (um fenômeno nunca visto) e como tratar tal problema? É preciso inicialmente ter informações sobre esse problema, esse novo fenômeno. Continuando a apresentação do procedimento:

Esse novo fenômeno levou Brahe a seguinte interrogação: se fosse uma nova estrela fixa, ela não poderia ter qualquer paralaxe, pois uma estrela fixa (e a concepção de “fixa” é justamente a de não ter movimentos, entendida como “pregada à abobada celeste”) não apresenta tal característica; por outro lado, se fosse um fenômeno atmosférico, como um cometa, teria, dada a explicação aristotélica que entende qualquer alteração observada no céu (cometas, meteoros, meteoritos etc) como fenômenos terrestres, uma paralaxe (ou, de outro modo, ela teria uma alteração de altitude, longitude ou latitude no céu); em outros termos, o fenômeno testaria a teoria aristotélica de mundo supralunar, no qual nenhuma ocorrência, além das já existentes, poderia acontecer, pelo caráter imutável do mundo celeste preconizado por Aristóteles e seus seguidores. Em 1573 Brahe publica o *De nova stella (Sobre a nova estrela)*, e os resultados das suas observações foram categóricos: a nova estrela em Cassiopéia não apresentou nenhuma mudança de posição, nem em altitude, nem em latitude ou longitude, mostrando que ela não teve nenhuma paralaxe observável e que, portanto, ela estava muito além da esfera

da Lua (TOSSATO, 2004, p. 545)¹.

O importante é que Brahe procurou informações sobre as coordenadas do fenômeno: sua altura, latitude, longitude, ou seja, informações obtidas através de instrumentos de observação e raciocínio matemático. Dados e um sistema de inferências. Disto, pode-se passar para uma fase mais aguda, a de investigar suposições teóricas ou metafísicas. Nesta nova fase, Brahe testa a teoria aristotélica de imutabilidade do mundo celeste. Mas, o que quero ressaltar é que o raciocínio (obtenção das coordenadas) não implica, necessariamente, uma teoria de alto nível de fundo. O que está em jogo são dados mais precisos, obtidos através de instrumentos mais confiáveis, e procedimento inferencial; a determinação dos fenômenos não contém nem o heliocentrismo nem o geocentrismo e nem o sistema híbrido.

Outro exemplo é o cometa de 1577, sobre o qual Brahe tinha instrumentos mais precisos construídos ou aperfeiçoados em Uraniburgo. Em 1577, surge um cometa no céu da Europa e Brahe, em vez de ficar com medo do cometa, investigou-o. No *De mundi*, ele escreve:

Seja A a Terra e, em seguida, segundo a disposição precedente das orbes proposta no capítulo precedente, o Sol em C, a estrela Vênus em B, X a cabeça do cometa e K a extremidade da cauda, e que esses três corpos celestes estejam em seus verdadeiros lugares, como eles são percebidos desde a Terra sobre o firmamento, de modo que a longitude do cometa esteja a 7 graus e 0 minutos em Capricórnio com a latitude de 8 graus e 53 minutos Boreal; como estão ligados encontra-se pela hipótese de nosso capítulo precedente; e que XA seja sua distância desde a superfícies da Terra, 210 raios da Terra (...) (BRAHE, 1984, cap. IX).

Na obra *Tratado germânico*, escrita no ano de 1578, Brahe descreve as observações que realizou sobre o cometa de 1577. Novamente, o que temos são análises de dados ou dados e sistema inferencial. Brahe tratou basicamente da obtenção do tamanho do cometa, da distância que ele estava da Terra e de sua altura, raciocinando da mesma maneira que fez para a nova de 1572: para a distância do cometa, Brahe utiliza-se da determinação da paralaxe do cometa, concluindo que o cometa tem uma paralaxe menor que a da Lua e, conseqüentemente, está bem mais além da esfera da Lua, próximo da esfera de Vênus. Assim, escreve ele que:

(...) descobri por cuidadosas observações e demonstrações do presente cometa que ele está localizado e caminha acima da Lua, nos

¹Cf. PANNEKOEK, 1989, p. 208

céus (...). Portanto, a opinião de Aristóteles é inteiramente falsa quando ele assevera que os cometas localizam-se acima da Terra, no ar, e que não podem ser gerados nos céus, pois ele estabeleceu isso sobre a base de seu próprio bom pensamento, e não por qualquer observação ou demonstração matemática (CHRISTIANSON; BRAHE, 1979, p. 133).

Quero ressaltar as palavras na parte final “observação e demonstração matemática”. Como interpreto essas palavras: “dados”, como as posições do cometa no céu para a determinação de suas coordenadas e “demonstração matemática”, como um sistema inferencial.

O ponto fundamental é que a crítica a Aristóteles é alicerçada tendo em vista os resultados das observações, isto é, as coordenadas obtidas. E a pergunta mais importante é: como foram obtidas essas coordenadas? A resposta: as coordenadas foram obtidas através de instrumentos, competência observacional e técnicas matemáticas; contudo, não se tem necessidade de teorias cosmológicas para a obtenção dessas coordenadas.

E é justamente quando Brahe tem em mãos esses resultados observacionais que ele passa à crítica tanto da cosmologia de Ptolomeu quanto a de Copérnico. Daí a necessidade de seu modelo híbrido. Como ele escreve:

Como eu tinha observado que aquela velha distribuição dos orbes celestes de Ptolomeu não está ajustada e é superabundante de epiciclos, com a qual são justificados, com uma certa parte de desigualdades aparentes, os modos de ser dos planetas quanto ao Sol e as suas retrogradações; ainda mais que essas hipóteses pecam contra os primeiros princípios mesmos da arte, tanto que elas admitem a uniformidade do movimento circular não vista do próprio centro [...] mas de um estranho, a saber, do centro de um outro excêntrico (que chamam comumente de *equante*) [...] e porque considero ao mesmo tempo a inovação desse grande Copérnico, que pretende reinstalar o pensamento de Aristarcos de Samos [...] porque ele procurou resolver sabiamente todas as disposições inúteis e indiferentes que se encontram em Ptolomeu, não pecando em nada contra os princípios da matemática, mas que, entretanto, ele resolveu agitar os corpos grandes, pesados e difíceis de mover da Terra [...] por movimentos triplos² igual aos astros luminosos etéreos, que se opõem não apenas aos princípios físicos mas ainda aos autores de textos Sacros que confirmam a fixidez da Terra [...] porque observei no interior dessas duas hipóteses admitidas grandes absurdidades,

²Movimentos triplos, isto é, o de rotação, o de translação e o de precessão dos equinócios.

procurei refletir de outra maneira, pois, se alguma razão para as hipóteses pudesse ser encontrada, de uma parte matematicamente, de outra parte fisicamente, todos os lados seriam estabelecidos corretamente, de tal forma que elas não estariam mais sujeitas às censuras teológicas e satisfariam totalmente as (coisas) celestes. Finalmente, a ordem das revoluções celestes vem a ser dispostas muito comodamente por uma certa conformação, fechando todas as inconveniências, por aquilo que eu comuniquei brevemente para aqueles que cultivam a filosofia celeste” (BRAHE, 1984, p. 174).

Ptolomeu agride a matemática, mas, como teoria de fundo há Aristóteles, ou melhor, a física terrestre aristotélica, que é admitida por Brahe. Copérnico não peca contra a matemática, mas cria absurdos físicos terrestres. Daí, o sistema híbrido tem significado, pois não vai contra as observações e é relevante matematicamente. Aliado a isto, é possível observar que Brahe procede *a posteriori*; são as informações observacionais que conduzem a elaboração teórica e não o contrário. Um ponto importante a ser salientado é que Brahe apresenta, pela passagem acima e pelos seus procedimentos, seus princípios metodológicos, que influenciarão fortemente Kepler. É uma astronomia *a posteriori*, na qual são os dados que condicionam a teoria.

3 Kepler

Normalmente, considera-se Kepler um copernicano. De fato, junto com Galileu, Kepler foi um dos primeiros a defender clara e publicamente o copernicanismo. Já em sua primeira obra astronômica, o *Mysterium cosmographicum*, publicada em 1596, ele não tem ressalvas para afirmar que as propostas de mobilidade da Terra e centralidade do Sol não são apenas melhores que as propostas geocêntricas no que concerne à determinação dos posicionamentos dos corpos celestes, mas que, principalmente, as propostas copernicanas representam a realidade do mundo celeste (KEPLER, 1938, p. 14-5). Além dessa ousadia metafísica, Kepler também foi corajoso institucionalmente, pois afirmou sem escrúpulos que não iria se intimidar por qualquer censura religiosa pela sua defesa do copernicanismo (KEPLER, 1938, p. 14). Claro que Kepler foi apressado com estas afirmações, pois foi necessário todo o seu trabalho posterior (principalmente com as suas três leis dos movimentos planetários) para elaborar argumentos e provas mais relevantes do que as dadas em 1596. Neste ano, Kepler fez uma defesa metafísica, mas não científica; ele não tinha ainda obtido nada de relevante no campo científico para afirmar tais coisas. Mas, de qualquer modo, a admiração por Copérnico é muito evidente em Kepler. Tendo

isto em vista, pode-se dizer que Kepler foi um copernicano. Sem considerar a questão metafísica fundamental da astronomia kepleriana – a quebra com a circularidade e a uniformidade – e sem tratar das renovações metodológicas introduzidas por Kepler na astronomia – principalmente o estatuto das hipóteses astronômicas –, pode-se dizer que Kepler “viu” muito mais que Copérnico. Contudo, o que pretendo discutir brevemente aqui é o desenvolvimento matemático que Kepler operou em astronomia, que estava, podemos dizer de maneira descompromissada filosoficamente, em potência nas propostas originais de Copérnico.

Basicamente, os processos de matematização do mundo celeste entre os dois astrônomos são distintos. Talvez Copérnico não tenha percebido toda a potencialidade de suas propostas. O nosso esquema de apresentação é o seguinte: as hipóteses heliostáticas de Copérnico geram uma nova geometria celeste não percebida por Copérnico. Essa nova disposição dos corpos celestes foi mais do que a crença inicial kepleriana, exposta na obra de 1596, de que o universo é heliostático, mas possibilita encontrar as relações matematizáveis entre os corpos celestes.

Acredito que a principal razão para Copérnico não perceber a potencialidade de suas propostas deve-se a sua crença metafísica no círculo e no uniforme (que, lembremos, não é algo depreciativo para Copérnico, nem Galileu, nem Brahe e nem Descartes abandonaram essa crença). Copérnico era um adepto da circularidade e uniformidade; ele diz que “o movimento dos corpos celestes é uniforme, perpétuo e circular ou composto de movimentos circulares” (COPÉRNICO, 1984, p. 25). Isto está de acordo com a tradição desde Platão e Aristóteles. E continua:

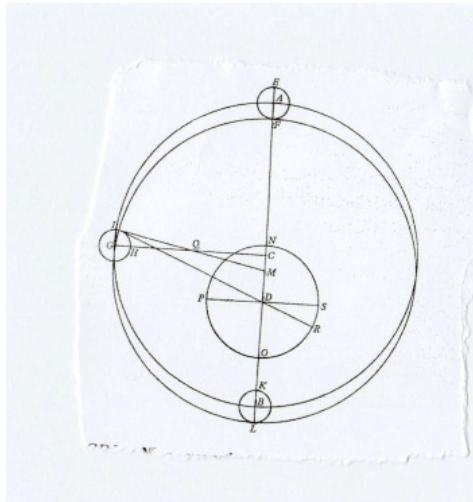
Depois do que foi anteriormente dito, referiremos que o movimento dos corpos celestes é circular. Com efeito, o movimento apropriado de uma esfera é uma rotação num círculo, reproduzindo a sua própria forma no próprio ato como corpo extremamente simples em que não se pode indicar princípio nem fim, nem distinguir-se um do outro, enquanto através dos mesmos move-se sobre si mesma (COPÉRNICO, 1984, p. 25).

Isto é posto para recusar o *equante* ptolomaico. Ao negar o *equante* ptolomaico, Copérnico viu-se na situação de, para manter o estipulado pelo axioma platônico, não admitir que o centro de movimentos estivesse localizado no próprio corpo do Sol, mas nas imediações desse, que ele chamou de centro da órbita terrestre, dando à Terra, de uma certa forma, uma primazia na computação dos movimentos planetários. Com isso, a astronomia copernicana, apesar de objetivar um tratamento não meramente cinemático para os movimentos planetários,

realizou mais uma astronomia matemática do que física. Toda a construção para a adequação das observações aos princípios de uniformidade e circularidade deu-se mediante a utilização dos artifícios da astronomia cinemática, utilizando os critérios metodológicos de simplicidade e de menor número possível de artifícios.

Pegemos um exemplo para ilustrar. No livro V do *De revolutionibus*, Copérnico trata dos movimentos dos cinco planetas, fora a Terra. No capítulo 4 desse livro, Copérnico trata dos movimentos próprios dos planetas, a maneira que eles se apresentam como não uniformes. Apesar da citação abaixo ser longa, ela é interessante por mostrar a maneira que Copérnico trata a determinação dos movimentos dos planetas. É construído o seguinte:

Assim, seja AB um círculo excêntrico, com o centro em C. Seja o diâmetro ACB traçado pelas apsides superior e inferior do planeta, a linha de posição média do Sol. Em ACB, seja D o centro do círculo da Terra. Tomando a apside superior, A, como centro, e um raio igual a 1/3 da distância CD, descrevamos o epiciclo EF e cujo perigeu, F, se coloca o planeta. Agora, considere-se o movimento do epiciclo, no círculo excêntrico, AB, na direção Este do planeta na apside superior da circunferência do epiciclo, igualmente para Este, e no resto da circunferência para Oeste, isto é, com as revoluções do epiciclo e do planeta iguais. Daí resulta que, quando o epiciclo está na apside superior do círculo excêntrico e o planeta, pelo contrário, no perigeu do epiciclo, mudarão de direção, em sentidos opostos, quando cada um tiver completado o seu semicírculo. Mas, nas duas quadraturas, a meio caminho entre a apside superior e inferior, cada um estará na sua apside média. Só nos dois primeiros casos [apsides superior e inferior], o diâmetro do epiciclo fica na linha AB. Além disso, a meio caminho entre as apsides superior e inferior, o diâmetro do epiciclo será perpendicular a AB. Em qualquer outra parte, oscila sempre para AB. Todos estes fenômenos se compreendem facilmente pela sequência dos movimentos. *Assim também ficará demonstrado que o planeta com esse movimento composto não descreve um círculo perfeito, segundo a opinião dos antigos astrônomos, embora a diferença não seja perceptível.* (COPÉRNICO, 1984, p. 451-2, grifos meus).



Sem entrar na discussão dos detalhes sobre a construção acima, o que é importante destacar é o seguinte: o movimento é computado mediante o uso de um epiciclo, e que, fundamentalmente, ocorre um movimento de oscilação durante a trajetória. O epiciclo EF oscila em seu trajeto, fugindo, desta maneira, do círculo perfeito. Notem que Copérnico escreve, na parte grifada, que o movimento composto (entre o planeta – expresso pelo deferente - e o epiciclo), impede a obtenção do movimento circular do planeta. Ele continua:

Com efeito, reproduzamos o mesmo epiciclo KL, com o centro em B. Tomando AG como um quadrante do círculo excêntrico, seja HI o epiciclo cujo centro é G. Dividindo CD em três [partes iguais], seja CM o seu terço e igual a GI. Juntemos GC e IM, de modo que se intersectem em Q. Ora, desde que o arco AG é semelhante, por construção, ao arco HI, o ângulo ACG é um ângulo reto assim como HGI. Além disso, os ângulos verticais em Q são do mesmo modo iguais. Portanto, os triângulos GIQ e QCM são equiângulos. Mas os seus lados correspondentes também são iguais. Com efeito, a base GI é considerada igual à base CM. O lado QI é maior do que GQ, precisamente como QM também é maior do que QC. Assim, todo IQM é maior do que todo o GQC (COPÉRNICO, 1984, p. 452).

É importante notar que o círculo não é perfeito, porque há uma espécie de “fuga” da circularidade para uma outra curva não circular. Subseqüentemente, Kepler mostrará que essa fuga leva à consideração de que o movimento, na verdade, é elíptico. Continuando:

Mas FM é igual a ML, a AC e a GC. Deste modo, o círculo descrito à

volta do centro M, pelos pontos F e L, é igual ao círculo AB e intersectará a linha IM. A demonstração continuará do mesmo modo no outro quadrante oposto AG. *Portanto, os movimentos uniformes no epiciclo no círculo excêntrico e do planeta no epiciclo fazem com que o planeta descreva não um círculo perfeito mas quase QED* (COPÉRNICO, 1984, p. 452, grifos meus).

O resultado chega a uma aproximação: se os movimentos são uniformes no epiciclo, o planeta não descreve um círculo perfeito, mas quase perfeito. Ora, isto não é devido a Copérnico não ter engenho para resolver a tarefa. Mas é devido à crença na circularidade e uniformidade. A crença guiou o trabalho. E Copérnico notou o problema da fuga do planeta do círculo, mas mantém sua crença e tenta justificá-la com as observações, pois escreve “Daqui resulta que estes devem ter alguma irregularidade que, embora ligeira, é contudo perceptível em Marte e Vênus [como veremos oportunamente; V, 16 e 22]. Ora, como estas hipóteses bastam para os fenômenos, vamos demonstrá-las com as observações” (COPÉRNICO, 1984, p. 454).

Pode-se resumir isto dizendo que a pequena irregularidade notada nos movimentos dos planetas é a excentricidade da elipse; o ponto é que Kepler poderá abandonar os epiciclos considerando que a irregularidade não está no cálculo pelo ajuste do deferente e epiciclo, mas que a órbita não é circular e uniforme. Isto permite elaborar relações entre tempos e áreas em função das alterações nas distâncias.

Quanto a Kepler, existem dois elementos que devem ser considerados que não se encontram em Copérnico. O primeiro é empírico e, o outro, uma nova abordagem matemática. Empiricamente, Kepler tem uma grande vantagem em relação a Copérnico, pois Kepler teve em mãos os dados mais precisos de Brahe (fora uma nova concepção de método astronômico que não será possível tratarmos no momento); matematicamente, Kepler fez uma abordagem distinta da copernicana.

Em relação ao aspecto relativo aos dados observacionais, vimos que Brahe elaborou novas medições cinemáticas, as mais precisas no início do século XVII. Kepler utilizou esses ganhos, tanto assim que temos a célebre passagem contida no capítulo XIX da *Astronomia nova*, quando da utilização da hipótese viária (sem considerar o Sol físico, mas mediano) que chega a um ganho de 8' de arco, superior a margem de 10' afirma que seu trabalho está incompleto:

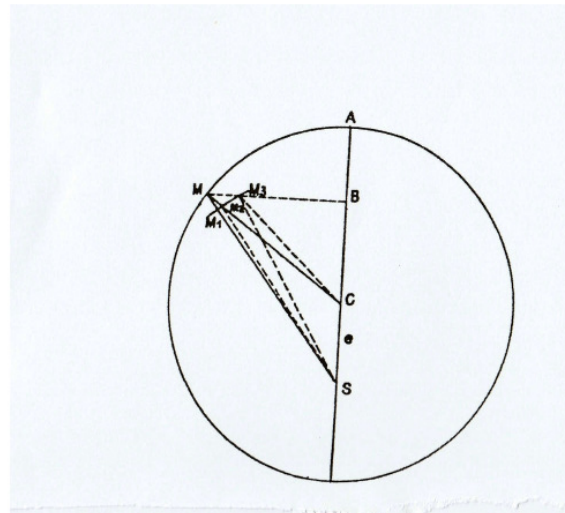
Mas quanto a nós, que pela bondade divina, pudemos dispor de um observador tão exato como Tycho Brahe, convém que reconheçamos essa dádiva divina e a usemos (...). Logo, irei para o alvo segundo as minhas próprias ideias, porque se tivesse acreditado po-

dermos ignorar os oito minutos, teria aceitado, de acordo, a minha hipótese. Visto, porém, não ser possível ignorá-los, esses oito minutos apontam o caminho para uma completa reforma da astronomia; tornaram-se o material de construção de grande parte desta obra (KEPLER, 1937, p. 178).

Não há condições de desenvolver o processo de elaboração das leis de Kepler contido na *Astronomia nova*, tarefa por demais exaustiva. Contudo, Koyré apresenta o raciocínio geométrico de Kepler que é aplicado na *Astronomia Nova*, concernente à utilização da curva elíptica, retirando o uso do artifício do epiciclo, segundo o autor, conforme a figura 2, abaixo, Kepler retirou o seguinte:

Para determinar a posição de Marte em relação ao Sol, Kepler começa traçando a linha das apsides e o círculo excêntrico que Marte teria percorrido se sua órbita fosse circular (mas que de fato ele não percorre); nesse caso, Marte, encontrando-se num momento dado no ponto M, estaria à distancia MS do Sol. Ora, nós sabemos que isso não é o caso, e que essas distâncias devem ser encurtadas e diminuídas pelo valor da oscilação efetuada pelo planeta sobre o diâmetro de seu epiciclo (fictício), no qual o raio é igual (à excentricidade) (...). Ele estará, portanto, na distância SM1 (e não na distância SM), do Sol. Ora, entretanto, onde se encontra Marte? Kepler estima que ele deve estar sobre o raio do círculo excêntrico (CM), portanto, no ponto M2, de modo que $SM1 = SM2$.

As observações não confirmaram seu raciocínio, Marte se encontraria no ponto M3, à direita da posição calculada (...), não se tem nenhuma razão para afirmar que o planeta se encontraria sobre o raio (fictício) do círculo excêntrico que ele não percorre. (KOYRÉ, 1961, p. 262-3)



Não é possível o planeta percorrer um trajeto tendo C como centro, pela razão da impossibilidade de realizar movimentos em um epiciclo fictício. Deve fazer em relação a um centro físico, que é o centro S, o Sol do sistema de movimentos. As oscilações só podem ser geradas pela ação do Sol, de maneira a corresponder às observações representadas pelo ponto M3 e não, M2.

Deve-se destacar que, para Copérnico, o epiciclo é fictício, assim como é inicialmente para Kepler. Contudo, Copérnico não o abandona e Kepler, assim o faz quando é preciso, porque os dados de Brahe e a admissão incontestada de que o centro é o Sol assim o exigem. Com Kepler o epiciclo deixa de ser necessário.

O que se pode dizer sobre esses dois procedimentos matemáticos, o de Copérnico e o de Kepler? São muito próximos; quase o mesmo, mas com algumas diferenças que permitiram uma modificação sensível na proposta original de Copérnico. A diferença está na consideração do corpo físico de movimentos, no caso, para os dois, o Sol, sem a utilização de artifícios, isto é, sem o axioma da circularidade e uniformidade. Para Copérnico, o centro de movimentos não é exatamente o corpo físico do Sol, mas está em suas proximidades, pois “Todos os orbes giram em torno do Sol, como se ele estivesse no meio de todos; portanto, o centro do mundo está perto do Sol” (*Commentariolus*, terceira exigência), para Kepler, é o corpo físico do Sol. Para Copérnico, existe uma esfera que contém o universo, de maneira que sua astronomia deve respeitar a esfera e “Com efeito, o movimento apropriado de uma esfera é uma rotação num círculo” (COPÉRNICO, 1984, p. 25). Para Kepler, após a *Astronomia nova* – e as descobertas de Galileu – é difícil falar em esfera. Deste modo, há dois compromissos de Copérnico, o compromisso com a esfera e com o axioma da circularidade e uniformidade. Em Kepler esses compromissos não são tão fortes, tanto

assim que ele os abandona. Em suma, a diferença que abre espaço para a elipse é considerar o centro de movimentos no corpo físico do Sol e abandonar a circularidade e uniformidade. Matematicamente, o que temos em Kepler, que não está em Copérnico, é tratar proporcionalmente as relações entre os elementos do sistema solar: se não há compromisso com a circularidade, pode-se determinar alterações entre tempos e áreas em função das distâncias, de maneira que um planeta terá uma velocidade maior quando estiver mais próximo do Sol e menor, quando longe; e vice-versa.

Finalizando, este trabalho apenas quer mostrar que o desenvolvimento do copernicanismo passou por dois processos básicos: primeiro, um desenvolvimento técnico, que não implicou as propostas copernicanas, mas que procura somente um critério de eficiência fundamental para o desenvolvimento teórico; segundo, a abordagem matemática kepleriana que não estava presente nos trabalhos originais de Copérnico.

Referências

- BRAHE, T. *Sur des phénomènes plus recentes du monde éthéré. Livre second*. Paris: Blanchard, 1984. 100, 102
- CHRISTIANSON, J. R.; BRAHE, T. Tycho Brahe's german treatise of the comet of 1577: a study in science and politics. *Isis*, v. 70, n. 1, p. 110–40, 1979. 101
- COPÉRNICO, N. *As revoluções dos orbes celestes*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984. 103, 104, 105, 106, 108
- GINGERICH, O. *O livro que ninguém leu*. Rio de Janeiro: Editora Record, 2008. 96
- HANSON, N. R. *Constelaciones y conjeturas*. Madrid: Alianza Universidad, 1985. 96
- KEPLER, J. *Astronomia nova*. Gesammelte Werke, III. Munich. C. H.: Beck'sche Verlagsbuchhandlung, 1937. 107
- KEPLER, J. *Mysterium cosmographicum*. Gesammelte Werke I. Munich: C. H.: Beck'sche Verlagsbuchhandlung, 1938. 102
- KOYRÉ, A. *La révolution astronomique*. Paris: Hermann, 1961. 107
- PANNEKOEK, A. *A history of astronomy*. New York: Dover Publications, 1989. 100
- TOSSATO, C. R. Discussão cosmológica e renovação metodológica na carta de 9 de dezembro de 1599 de Brahe a Kepler. *Scientiae Studia*, v. 2, n. 4, p. 537–65, 2004. 100