



Discussão cosmológica e renovação metodológica na carta de 9 de dezembro de 1599 de Brahe a Kepler

Claudemir ROQUE TOSSATO

INTRODUÇÃO

A carta cuja tradução é apresentada a seguir foi escrita por Tycho Brahe (1546-1601) a Johannes Kepler (1571-1630) em 9 de dezembro de 1599 na cidade de Praga, quando Brahe ocupava o cargo de matemático imperial na corte do imperador Rudolfo II (1552-1612). Essa carta tem um duplo significado. Em sua primeira parte (parágrafos 1 a 6), Brahe tece, principalmente, uma série de comentários contra o astrônomo Ursus (?-1600), comentários esses que o leitor poderá observar como carregados de raiva, sentimento de ingratidão e intransigência. Isso é devido a uma contenda entre Brahe e Ursus acerca de quem foi o autor do modelo alternativo ao modelo ptolomaico e ao sistema copernicano. Além desse conflito, esses primeiros seis parágrafos também apontam para algo mais importante do que isso; ilustram o período de discussão do copernicanismo original, no qual, antes dos trabalhos de Galileu e Kepler, as hipóteses de centralidade do Sol e de movimento da Terra foram apresentadas e criticadas, surgindo problemas que o programa copernicano teve que resolver; o que levou ao seu desenvolvimento interno.

Nos parágrafos restantes da carta (7 a 9), temos algo que se mostrou fundamental para a transição da primeira obra astronômica de Kepler (o *Mysterium cosmographicum*, de 1596, onde impera uma postura cosmológica feita *a priori*), para a segunda obra (a *Astronomia nova*, de 1609, na qual temos as duas primeiras leis de Kepler, a lei da forma elíptica e a lei das áreas, em que os aspectos empíricos¹ se mostram como

¹ Brahe e Kepler não usam o termo “empírico” em suas cartas. O que Brahe ressalta é a importância das observações celestes como primordiais para a obtenção dos conhecimentos astronômicos. Usa-se o termo “empirismo” neste texto para expressar a concepção metodológica de Brahe: a de que as informações observacionais são critérios para a derivação da teoria planetária.

primordiais para a obtenção dessas leis). Tal ponto importante se apresenta na crítica que Brahe faz ao método apriorístico kepleriano na obra de 1596, insuficiente e inadequado, segundo Brahe, para expressar os fenômenos celestes. Brahe não apenas forneceu dados mais seguros e confiáveis a Kepler, mas também “ensinou-lhe” como tratar as questões referentes à astronomia e à cosmologia sob a perspectiva empírica, donde o conhecimento dessas ciências ser fruto das informações provenientes das observações celestes. Aliada a essa postura metodológica brahiana, Kepler, juntamente com a sua crença num universo estruturado harmonicamente e na possibilidade de tratar o mundo celeste por meio de causas físicas, inaugurará uma nova postura para a astronomia.

1. A CONTENDA ENTRE BRAHE E URSUS

O conflito entre Brahe² e o astrônomo alemão Nicoli Reymers Baer, conhecido pela forma latinizada Ursus Dithmarsus (fazendo referência ao sobrenome Baer que, em alemão, significa “urso” e a sua cidade natal, Ditmar), originou-se da disputa de quem

² Tycho Brahe foi o melhor astrônomo observacional antes do surgimento do telescópio. Filho de famílias nobres, Brahe nasceu em Knutstorp, atualmente região da Suécia; aos dezesseis anos de idade o seu interesse pelos estudos astronômicos é despertado pela observação de um eclipse total do Sol, dedicando-se, a partir de então, contra a vontade da família, que não via a astronomia como uma profissão digna de um nobre, inteiramente ao estudo do mundo celeste. Decepcionado com a imprecisão dos dados astronômicos da época, que chegavam a erros grotescos, Brahe dedicou-se plenamente à melhoria das observações astronômicas. Após a observação e estudos da nova de 1572, que o fez duvidar do mundo heterogêneo aristotélico, torna-se um astrônomo famoso, sendo-lhe angariado em 1576 pelo rei Frederico II da Dinamarca, a pedido do Landgrave Guilherme IV de Cassel, a ilha de Hven, ao norte de Copenhague, para a construção de um observatório. Nasce, assim, Uraniburgo, o mais importante observatório astronômico a olho nu. Em Hven, Brahe faz inúmeras observações e constrói instrumentos de observação que o levaram a uma precisão da ordem de 1,5' de arco, a melhor até então. Déspota, Brahe trata os camponeses de Hven como um verdadeiro tirano e, também, negligencia a realização das funções que Frederico II lhe incumbiu, entre as quais a manutenção do farol em Hven, que Brahe freqüentemente descuidava. Após a morte de Frederico II, em 1588, Cristiano IV torna-se rei da Dinamarca, e a situação de Brahe começa a mudar para pior; em 1597, Brahe deixa Hven, levando todos os seus instrumentos, os seus dados de observação e a sua tipografia (levando, também, sua mulher, treze filhos, vários assistentes e muitos funcionários). Em 1599, o Imperador Rudolfo II convida Brahe para ocupar o cargo de matemático imperial em Praga, função essa que Brahe ocupará até o final de sua vida, fornecendo-lhe o castelo de Benatek, muito inferior às acomodações e estrutura para observações de Uraniburgo. Brahe era um homem irascível, bebedor e glutton, gostando muito de arrumar polêmicas. O leitor que venha a querer mais dados sobre a vida e o trabalho de Brahe poderá consultar, entre outros, Dreyer (1963), Donahue, (1975), Thoren (1979), North (2001, p. 229-43) e Ferguson (2002). Em língua portuguesa, tem-se Koestler (1959, p. 194-205), Mourão (1995, p. 855-7; 2003, p. 72-103) e Chatel (1990). Este último é uma espécie de “romance”, que pouco se atém aos aspectos da obra astronômica brahiana mas, em compensação, descreve algumas das principais etapas da vida de Brahe.

foi o autor das hipóteses centrais do modelo híbrido de universo, alternativo aos modelos ptolomaicos geocêntricos e ao sistema³ copernicano heliocêntrico. Esse modelo híbrido é porque a Terra está no centro, girando a Lua e o Sol ao seu redor, e os planetas restantes, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno giram em torno deste último. A contenda iniciou-se em 1588, quando Ursus publicou um livro em Estrasburgo, com o título *Fundamentum astronomicum* (*Fundamentos da astronomia*), contendo o seu modelo híbrido que diferia do de Brahe apenas por Ursus fazer a Terra girar sobre o seu próprio eixo, explicando o fenômeno do dia e da noite,⁴ enquanto Brahe, seguindo Aristóteles, fixava a Terra em repouso no centro.

Ursus era de uma família humilde. Trabalhou muito tempo como guardador de porcos, subindo gradualmente na vida; na sua juventude, escreveu uma gramática latina; dedicou-se por algum tempo à agrimensura, escrevendo um tratado sobre topografia, até tornar-se astrônomo chegando em sua carreira ao título de matemático imperial da corte de Rudolfo II, em Praga, cargo esse ocupado subsequente por Brahe e, depois da sua morte em 1601, por Kepler. Ursus utilizava bem o sentido do seu nome, sendo uma pessoa agressiva que não fugia de qualquer disputa; quando se deparou com Brahe, que também gostava muito de polemizar, encontrou um adversário à altura, ocasionando um conflito com agressões, xingamentos e despeitos de ambas as partes.

Brahe reclamou, após a publicação do livro de Ursus, que este lhe havia roubado os dados e os esquemas de um livro que ele, Brahe, vinha preparando sobre o cometa de 1577 e no qual seria apresentado o seu modelo híbrido de universo. Brahe publicou às pressas o seu tratado, em 1588 – pouco após a publicação do livro de Ursus –, dando-lhe o nome de *De mundi aetheri recentioribus phaenomenis liber secundus* (*Segundo livro acerca dos recentes fenômenos do mundo etéreo*). Tal roubo ter-se-ia dado, segundo Tycho, em 1584, quando um amigo pessoal seu, Erik Lange, visitou-o em Uraniburgo, trazendo Ursus em sua companhia. Ursus ficou alguns dias na casa de Brahe, e teria roubado os dados e os esquemas quando, por uma falha dos assistentes de Brahe, entrou sem autorização nos arquivos do observatório, folheou os papéis pessoais de Brahe, absorvendo, assim, o conteúdo da idéia central, as hipóteses que Brahe entendia serem originais e de sua autoria.

3 Diferencio “modelos ptolomaicos” de “sistema copernicano”, pelo fato dos primeiros serem descrições dos movimentos de cada planeta sem relação com o todo; assim, Ptolomeu construiu um modelo para os movimentos de Mercúrio, outro para Vênus, outro para o Sol etc., sem relação um com o outro. Em contrapartida, as hipóteses de movimento da Terra e centralidade do Sol permitem a conjugação dos movimentos de todos os planetas num sistema integrado. Também denominarei as hipóteses híbridas de “modelo híbrido” por não permitirem a sistematização que o heliocentrismo suscitou.

4 O modelo de Ursus é chamado de “sistema semi-tychonico”, aludindo ao fato da Terra ter movimento de rotação.

A contenda entre os dois durou por muitos anos, e a comunidade científica da época ficou dividida quanto a quem de fato tinha razão. Brahe insistentemente reclamava a autoria das hipóteses e Ursus não ficava atrás, tanto que, em 1597, publicou um livro, *De astronomicis hypothesibus* (*Acerca das hipóteses astronômicas*), no qual não só se defende enquanto autor das hipóteses como também refere-se a Brahe e aos seus seguidores com adjetivos ofensivos, chegando até mesmo a citar frases bíblicas em sua defesa, como “Enfrentá-lo-ei como urso privado de filhotes” (Oséias, 13, 8). Brahe, por seu turno, chamava Ursus de “fétido”, “imbecil”, “néscio”, “proveitador” etc.; comentava com todos que Ursus comeu e bebeu gratuitamente em sua casa, e ele, Brahe, chegou até a emprestar dinheiro para o pobre coitado, sendo recompensado por Ursus com o roubo da sua idéia. A disputa chegou a um nível extremamente feroz, não havendo qualquer tipo de possibilidade de conciliação. Quando a disputa estava no auge, Kepler, ingenuamente, entra nela.

O caso se deu após a publicação do *Mysterium cosmographicum*, em 1596, sua primeira obra astronômica, na qual Kepler apresenta ao público a sua hipótese dos sólidos perfeitos encaixados nas órbitas dos planetas; hipótese que pretendia, segundo o autor, responder os problemas astronômicos e elucidar a estrutura do universo. Kepler enviou exemplares da obra para os astrônomos mais destacados da época, entre os quais estavam Brahe e Ursus; Kepler também mandou um exemplar para o jovem Galileu, que ainda não era um astrônomo conhecido nessa época. Com o intuito de angariar amizades, Kepler adulou a todos, chamando-os freqüentemente de “príncipe dos matemáticos”, “fênix dos astrônomos” e daí por diante. Kepler mandou para Ursus, então matemático de Rudolfo II, uma carta, antes de mandar o exemplar do *Mysterium cosmographicum*, em novembro de 1595, com os seguintes dizeres: “a brilhante glória de vossa fama que vos faz o primeiro dos matemáticos da nossa época, como o Sol entre astros menores” (Kepler, 1951, p. 48; cf. Koestler, 1959, p. 204). Mandou também para Brahe uma carta, em 13 de dezembro de 1597, na qual escreve “vós sois o príncipe dos matemáticos não somente de nossa época, mas de todas as épocas” (Kepler, 1951, p. 154; cf. Koestler, 1959, p. 204). Kepler, não sabendo da disputa entre



Figura 1. Retrato do imperador Rudolfo II. Excêntrico, foi patrono das artes e das ciências. Ursus, Brahe e Kepler foram seus matemáticos imperiais.

Brahe e Ursus, chegou a pedir para Brahe a gentileza de mandar um exemplar do *Mysterium* para Ursus. A intenção de Kepler com todos esses elogios era bem clara, a de promover o seu livro e a sua idéia revolucionária dos sólidos perfeitos encaixados nas esferas dos planetas.

Ursus pouco ligou para a carta do jovem Kepler, e provavelmente nunca leu o *Mysterium*. Porém, quando da publicação do seu livro contra Brahe, Kepler já era um astrônomo relativamente famoso, e Ursus resolveu, sem a autorização de Kepler, inserir no livro a carta de 1595, na qual é considerado o maior dos matemáticos. Obviamente, Brahe não gostou de ver uma carta de Kepler elogiando Ursus e passou a reclamar insistentemente com Michael Mästlin (1550-1631), mestre e grande amigo de Kepler, contra essa atitude incoerente do seu jovem pupilo.⁵

Kepler, muito vexado pelo ocorrido, desculpou-se com Brahe, justificando que o envio de uma carta elogiosa para Ursus reflete apenas o seu ímpeto juvenil e pouco reflexivo naquele momento e não o verdadeiro respeito que ele, Kepler, tem para com Brahe, tanto que escreveu em 19 de fevereiro de 1599 para Brahe, desculpando-se nos seguintes termos:

Por que dá [Ursus] tamanho valor aos meus elogios? [...] Se fosse homem desprezável, se fosse sábio não os exibiria em público. A nulidade que eu era naquele tempo procurava um varão famoso que elogiasse o minha nova descoberta. Pedi-lhe uma dádiva e foi ele que extorquiu do pedinte uma dádiva... O meu espírito pairava no ar e desfazia-se de júbilo pela descoberta. Se, no desejo egoísta de lisonjeá-lo, derramei palavras que superam a minha opinião a respeito dele, a explicação está na impulsividade da juventude (Kepler, 1951, p. 286).⁶

⁵ O leitor pode achar, como o autor deste texto também acha, que é estranho Kepler nada saber sobre a contenda entre Brahe e Ursus. Em primeiro lugar, tal disputa foi discutida pela comunidade científica e Kepler, em 1596, mesmo sendo um astrônomo menor, poderia ter conhecimento dela; em segundo lugar, Mästlin, professor e amigo de Kepler, sabia da disputa que vinha desde 1588, e ele e Kepler mantiveram contato pessoal na Universidade de Tübingen de 1589 a 1594, sendo difícil acreditar que tal assunto nunca fosse mencionado. Penso que Kepler agiu como alguém que, com a intenção de ser reconhecido pela comunidade astronômica, atira para todos os lados procurando obter alguma vantagem, isto é, encontrar um astrônomo de renome na época que fosse solidário e admirador das suas novas propostas em astronomia, do que se pode inferir que Kepler mandou as cartas para Brahe e Ursus sem se posicionar a favor ou contra um ou outro. Na verdade, Kepler foi ingênuo, pois a promoção do seu trabalho por esse expediente poderia tê-lo impedido de se relacionar mais amiúde com Brahe e, nesse caso, estaria privado dos dados observacionais brahianos.

⁶ Nesta passagem, servi-me da tradução feita por Koestler (1959, p. 205).

O que ocorreu daí por diante foi muito importante para a astronomia. Brahe poderia ter definitivamente rompido com Kepler; com isso, talvez, este último não chegasse às leis dos movimentos planetários, pois não teria em mãos os dados observacionais de Brahe. Porém, Brahe necessitava do auxílio matemático de Kepler, justamente para ordenar os dados que vinham sendo coletados por muitos anos num sistema teórico que justificasse o uso do modelo híbrido de universo, algo que Brahe não conseguiu e nem tinha condições de fazer. A carta de 9 de dezembro de 1599 tem um caráter “político”, pois Brahe procura com esta trazer Kepler para perto de si. Assim, mesmo que contra a sua vontade (pois no seu íntimo, acredito, Brahe provavelmente nunca perdoou realmente Kepler, dada a sua personalidade de nobre intransigente),⁷ Brahe manteve correspondência tanto com Mästlin quanto com o próprio Kepler, procurando trazer para Praga o jovem astrônomo promissor para trabalhar como seu assistente. Brahe conseguiu parte do seu objetivo; Kepler foi para Praga trabalhar como seu assistente, utilizou os seus dados, organizando-os num sistema, mas tal sistema foi o copernicano e não, como queria Brahe, o seu modelo híbrido.

Neste sentido, a carta que é traduzida insere-se neste contexto: Brahe reclama contra Ursus e os seguidores dele, mas perdoa Kepler por ingenuamente elogiado Ursus num momento de impulso.

2. AS DISCUSSÕES ASTRONÔMICAS E COSMOLÓGICAS SUSCITADAS PELO COMETA DE 1577

Por detrás desse episódio, que chega a ser até, num certo sentido, anedótico, está algo muito importante para a história da astronomia e da ciência de uma forma geral: o aparecimento do cometa de 1577 e da nova de 1572,⁸ e os desdobramentos que tais fatos tiveram na comunidade astronômica em geral e na cosmologia de Brahe em especial, visto que a contenda entre Brahe e Ursus acerca da primazia das hipóteses do modelo híbrido de universo teve como origem o surgimento do cometa de 1577.

O aparecimento da nova e do cometa no céu da Europa foram acontecimentos importantes para o debate entre os defensores dos modelos ptolomaicos e da cosmologia

⁷ Tanto isso é verdade que Brahe exigiu de Kepler, quando este foi seu assistente, que escrevesse uma obra contra Ursus e a seu favor. Kepler fez isso contra sua vontade, intitulado a obra de *Apologia Tychonis contra R. Ursuum* (*Apologia de Tycho contra Ursus*). Tal obra, apesar de panfletária, é importante pela análise da noção de “hipótese astronômica” que Kepler desenvolve.

⁸ Apesar de Brahe nada escrever na carta a Kepler de 9 de dezembro de 1599 sobre a nova de 1572, esse fenômeno é tão importante para o debate geocentrismo-heliocentrismo quanto o cometa de 1577, pois foram os dois grandes acontecimentos que ocorreram no céu europeu na segunda metade do século XVI.

aristotélica, por um lado, e os adeptos do copernicanismo nascente, por outro. A nova de 1572 e o cometa de 1577 permitiram uma espécie de teste para as concepções astronômicas e cosmológicas conflitantes. Além desse teste pela observação, os dois fenômenos foram o foco para a discussão do conteúdo conceitual dessas propostas, o que acarretou o desenvolvimento interno do copernicanismo.

A história do desenvolvimento do copernicanismo contém dois grandes momentos iniciais: um com o próprio Copérnico, com a publicação das *Revoluções dos orbes celestes*, em 1543, que estipula as teses centrais de movimento da Terra e de centralidade do Sol; no segundo momento, tem-se Kepler, numa direção teórica, com as suas leis dos movimentos planetários, expostas principalmente na *Astronomia nova* de 1609 e na *Harmonia do mundo* de 1618 (as quais mostram a possibilidade do programa copernicano elaborar conhecimentos que tratam o mundo celeste sem distinção com o mundo terrestre), e Galileu, numa direção observacional, com as suas descobertas feitas com o auxílio do telescópio (o terreno irregular da Lua, as fases de Vênus, os satélites de Júpiter, as manchas solares etc.), fornecendo evidências observacionais que aumentaram a possibilidade do copernicanismo (publicadas no *Mensageiro das estrelas* de 1610 e posteriormente nos *Diálogos acerca dos dois máximos sistemas de mundo, o ptolemaico e o copernicano*, de 1632, no qual argumenta em favor da plausibilidade dos movimentos terrestres, respondendo, principalmente, às objeções físicas contra tais movimentos). Nesses quase 70 anos entre o anúncio de Copérnico e os desenvolvimentos de Kepler e Galileu, o copernicanismo original sofreu um processo de “amadurecimento”, no qual os seus problemas mais agudos (como a necessidade de uma nova compreensão do movimento que superasse a física aristotélica) apresentaram-se de um modo insistente. Os surgimentos da nova de 1572 e do cometa de 1577 e os debates sobre elas, se não mostram nenhum avanço no próprio copernicanismo, iniciaram uma fase de comparação entre os principais modelos astronômicos; fase geradora de estratégias distintas para tentar resolver os problemas desses modelos. Em outras palavras, as discussões elaboradas acerca desses dois fenômenos celestes ilustram um período de desenvolvimento do heliocentrismo.

O copernicanismo, após Copérnico, não teve muitos seguidores. De um modo geral, logo após a publicação do *De revolutionibus*, a aceitação das novas propostas copernicanas restringia-se à elaboração de tabelas astronômicas, destacando-se a figura de Erasmus Reinhold (1511-1553) que, por considerar obsoletas as tabelas alfonsinas de 1252 (confeccionadas a partir do *Almagesto* de Ptolomeu e recebendo esse nome em homenagem ao rei Alfonso x), elaborou em 1551 as tabelas prutênicas (denominadas assim em homenagem ao patrono de Reinhold, o duque Alberto da Prússia), baseando-se na obra de Copérnico; porém, no limite, essas tabelas pouco progresso tiveram em relação às anteriores (cf. Dreyer, 1953, p. 345-6; Verdet, 1989), pois os dados utilizados

eram os mesmos que Copérnico utilizou, isto é, com erros que chegavam à casa dos 10'.⁹ O trabalho de Reinhold refletiu aquilo que Robert Westman (1975) chama de “a interpretação Wittenberg” sobre o copernicanismo original, que via no heliocentrismo apenas um substituto matemático para resolver problemas computacionais que se tinham avolumado ao longo do tempo com a aplicação dos modelos ptolomaicos. Essa escola, que além do próprio Reinhold contava com Caspar Peucer (1525-1604) e Philip Melancthon (1497-1560), apesar de não aderir ao aspecto forte do copernicanismo, a saber, “um sistema de movimentos planetários no qual os períodos dos planetas aumentam proporcionalmente com a magnitude dos seus raios computados a partir do Sol e que nenhuma distância poderia ser alterada sem afetar todas as outras” (Westman, 1975, p. 287), permitiu a difusão do sistema. A Universidade de Wittenberg, a mais importante das universidades protestantes desse período, divulgava as hipóteses de Copérnico aos seus estudantes, embora as admitisse segundo a maneira tradicional, apenas como um recurso matemático para computar os desvios observados nos movimentos dos planetas.

Mas se os aspectos eminentemente técnicos deram alguma vida ao copernicanismo, em termos teóricos, ou melhor, cosmológicos, a sua aceitação estava mais comprometida. Poucos personagens importantes da época viram o copernicanismo com bons olhos. Na Inglaterra, destacam-se Thomas Digges (1546-1595) e William Gilbert (1540-1603), autor do influente *De magnete* (1600), que aceitou apenas o movimento de rotação da Terra, pois concebia o nosso planeta como um enorme magneto. Na Alemanha, Christopher Rothmann (1550-1597) manteve uma importante correspondência com Tycho Brahe, argumentando sempre em favor do heliocentrismo; Michael Mästlin, além de introduzir Kepler à astronomia copernicana, defendeu, ainda que nem sempre abertamente, as propostas de Copérnico. Na Itália, Giordano Bruno (1548-1600) defendeu o copernicanismo numa direção metafísica, pagando com a própria vida por tal ousadia.

Tycho Brahe nunca foi copernicano, mas auxiliou indiretamente no debate sobre a possibilidade do copernicanismo, ao elaborar o seu modelo híbrido. Brahe teve a sorte de presenciar os dois fenômenos celestes, a nova de 1572 e o cometa de 1577, que forneceram fortes argumentos contra o mundo heterogêneo de Aristóteles.

Ao ir para casa na noite de 10 de novembro de 1572, Brahe viu no céu uma estrela mais brilhante do que Vênus num lugar onde nunca antes houvera uma estrela. Situa-se na constelação de Cassiopéia. Brahe ficou maravilhado e o seu espírito de astrô-

⁹ Esse aspecto é básico, pois ressalta a importância, como será apresentado mais à frente, de ter à disposição dados observacionais mais seguros. Copérnico utilizou os dados de sua época (ele mesmo poucas observações fez, apenas 27), e, portanto, empregou as tabelas alfonsinas.

nomo observador o levou a acompanhar o comportamento desse novo habitante celeste. Brahe acompanhou a nova estrela até março de 1573, quando ela desapareceu do céu para nunca mais ser vista. Esse novo fenômeno¹⁰ levou Brahe à 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, estar como “pregada à abobada celeste”) não apresenta tal característica; por outro lado, se fosse um fenômeno atmosférico, como, por exemplo, um cometa, teria uma paralaxe, em virtude da explicação aristotélica que entende qualquer alteração observada no céu (cometas, meteoros, meteoritos etc.) como fenômenos terrestres ou, dito de outro modo, ela teria uma alteração de altitude, longitude ou latitude no céu. Em outros termos, o fenômeno testaria a teoria aristotélica do mundo supralunar, no qual nenhuma nova ocorrência, além das já existentes, poderia acontecer, dado o 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, estava muito além da esfera da Lua (cf. Pannekoek, 1989, p. 208).

Esse fenômeno por si só já seria uma prova contra a teoria aristotélica da imutabilidade do mundo celeste. Mas se o surgimento da nova de 1572¹¹ levou os astrônomos a levantarem críticas à concepção aristotélica do mundo celeste, nada apresentava contra a existência no céu de esferas sólidas de cristal. O aparecimento do cometa de 1577 pôde à prova essa suposição. O interessante é que os cometas, assim como as novas e supernovas, sempre existiram. Há muitos

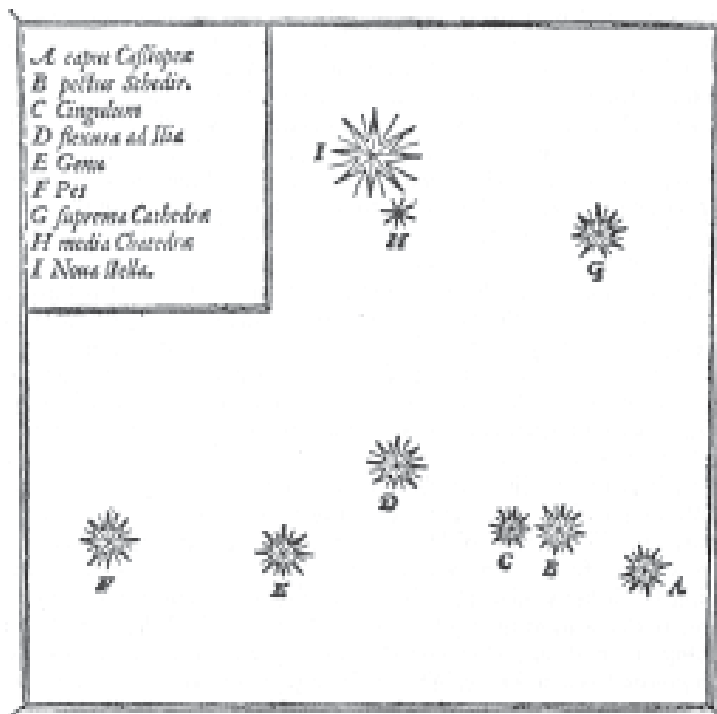


Figura 2. Do livro de Tycho Brahe *De nova stella*. Mostra a localização, na constelação de Cassiopéia, da nova de 1572.

¹⁰ A última ocorrência registrada de uma nova antes das observações de Brahe é a de 125 a.C., que se encontra na *História natural*, de Plínio.

¹¹ Na verdade, não era uma nova, mas uma supernova.

relatos sobre o aparecimento de cometas, mas eles se ligam invariavelmente à superstição e aos maus presságios (cf. Hellman, 1971). Aristóteles entendeu os cometas como fenômenos atmosféricos e os explicava dizendo que da Terra, quando aquecida pelo Sol, surgem dois tipos de conseqüências: ou fumaças secas ou nuvens úmidas. As fumaças procuram o seu lugar natural e sobem acima das nuvens; as nuvens, por sua vez, condensam-se e caem, obrigando as fumaças que estão subindo a irem para baixo; quando isso acontece, elas se inflamam e originam fenômenos, tais como estrelas cadentes ou meteoros. Quando as fumaças sobem muito alto, quase até o limite da camada celeste, inflamam-se muito mais e, desse modo, surgem os cometas (cf. Aristóteles, *Meteo*, I, 7, 344a5-344b17; Matsuura, 1985, p. 51).

Como quase tudo referente à ciência do século XVI, essa concepção aristotélica imperava entre os cientistas, sendo os cometas vistos não como fenômenos celestes, mas terrestres. Brahe rompe com essa interpretação.¹²

Brahe escreveu, logo após o desaparecimento do cometa, em 1578, um pequeno texto conhecido como *Tratado germânico*, relatando as observações sobre o cometa de 1577 e a sua interpretação do fenômeno. Esse tratado é a base do livro de 1588, excetuando-se as demonstrações matemáticas e o seu modelo híbrido de universo. Após cuidadosas observações do tamanho do cometa, da distância, da posição, da altura etc., Brahe apresenta os resultados. O mais importante é o da distância do cometa. Brahe raciocinou que o único modo de determinar essa distância seria pela paralaxe. Na quinta seção do tratado, Brahe conclui que o cometa tem uma paralaxe menor do que a da Lua e, conseqüentemente, está mais além da esfera da Lua, perto da esfera de Vênus. A partir disso, Brahe escreve:

[...] descobri por cuidadosas observações e demonstrações do presente cometa que ele está localizado e caminha acima da Lua, nos 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 (Cristianson & Brahe, 1979, p. 133).

A crítica de Brahe a Aristóteles é contundente. O Filósofo não fez cuidadosas observações e demonstrações sobre o cometa, inferindo a sua localização na região terrestre de um modo não condizente com os critérios que Brahe defende para o estudo desse fenômeno; para Brahe, Aristóteles utilizou-se da sua concepção heterogênea de mundo, que o divide em celeste inalterável e terrestre alterável, como base para inferir

¹² Brahe não foi o único astrônomo a romper com as esferas de cristais, Mästlin e Corneilius Gemma (1535-1579) também colocaram em dúvida essa explicação de cunho aristotélico.



Figura 3. Cartaz mostrando o cometa de 1577 e a apreensão das pessoas com o seu aparecimento.

a natureza e localização dos cometas; o caminho certo deve ser o inverso, isto é, a partir de observações meticulosas e de estudos cuidadosos, argumentar mediante demonstrações matemáticas. Mas a principal consequência disso foi o rompimento, num segundo estágio, com o mundo incorruptível do céu. Se a nova de 1572, como vimos, mostrou o surgimento de um corpo na região das fixas, ferindo o princípio aristotélico de que nada novo poderia surgir nessa região, o cometa de 1577¹³ mostra que um corpo

¹³ Brahe observou mais seis cometas após o de 1577, comprovando a tese de que eles são fenômenos celestes e não atmosféricos. Os cometas estudados por Brahe, após o de 1577, foram dos anos de 1580, 1582, 1585, 1590 (para o estudo deste cometa, Brahe usa todas as suas técnicas de medição com o uso de diversos instrumentos, obtendo a declinação do cometa com o uso da armila equinocial, a altitude e o azimute com o quadrante e a distância com o sextante), 1593 (esse não foi observado diretamente por Brahe, mas pelo seu assistente Cristian Hansen, em Hven) e 1596 (cf. Dreyer, 1963, p. 160-3).

localizado além da esfera da Lua pode caminhar e, portanto, percorrer o céu. Desse modo, surge de imediato o seguinte problema: como um corpo sólido transpassará as esferas sólidas de cristal? Não transpassará, pois, para Brahe, a presença do cometa é prova suficiente de que não existem esferas de cristais. Nesse sentido, ele não procurou salvar a teoria, mas a rejeitou em favor das evidências empíricas.

O livro de 1588, o *De mundi*, desenvolve o conteúdo básico do *Tratado germânico* e nele Brahe elabora o seu modelo híbrido de universo, detendo-se em pormenores com os quais em 1578 ele não se preocupara. Brahe¹⁴ escreve o seguinte sobre os modelos ptolomaicos e o sistema copernicano, após ter descrito e dado demonstrações matemáticas para as características básicas do cometa de 1577:

Como eu tinha observado que aquela velha distribuição dos orbes celestes de Ptolomeu não está ajustada e é superabundante de epiciclos, distribuição 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 próprios primeiros princípios 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 Aristarco 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 triplos¹⁵ 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, 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.

¹⁴ O teste da teoria aristotélica sobre a natureza atmosférica dos cometas se dá no capítulo 6 do *De mundi*. Nesse capítulo, Brahe analisa detidamente as diversas distâncias em que está o cometa ao longo de seu trajeto no céu, do seu surgimento até seu desaparecimento. Os resultados obtidos por Brahe levaram-no a concluir que o cometa, por ter uma paralaxe menor que a da Lua, está na camada supralunar, refutando, assim, a teoria aristotélica.

¹⁵ Movimentos triplos, isto é, o de rotação, o de translação e o de precessão dos equinócios.

Finalmente, a ordem das revoluções celestes vem a ser disposta 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).

O que Brahe comunicou é o seu modelo híbrido de mundo, que pode ser apreciado na figura abaixo, que vai acompanhada de sua legenda original:

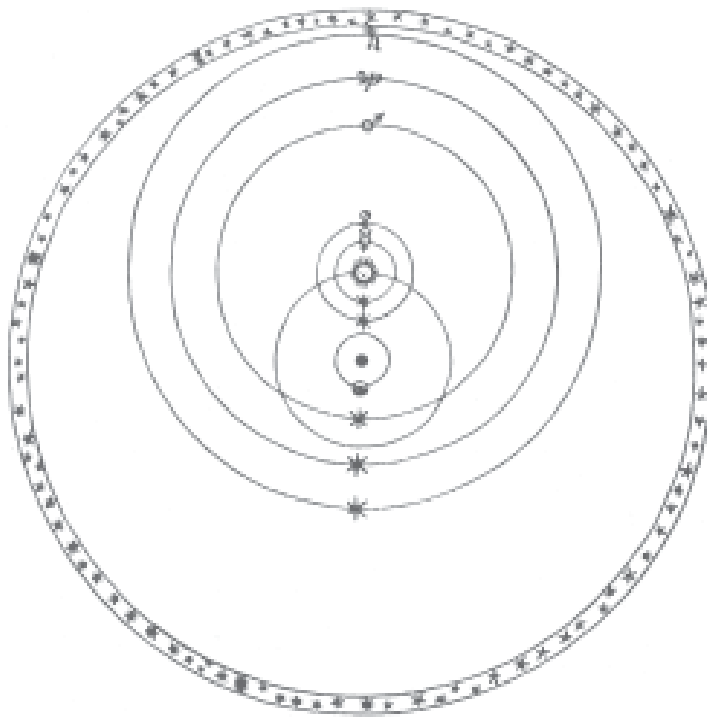


Figura 4. O modelo híbrido de Brahe.

Nova hipótese do sistema do mundo, descoberta recentemente pelo autor [Brahe], que exclui, de uma parte, as antigas redundâncias e inconveniências de Ptolomeu e, de outra parte, ainda, as recentes absurdidades copernicanas sobre o movimento da Terra, onde tudo corresponde perfeitamente às aparências celestes.

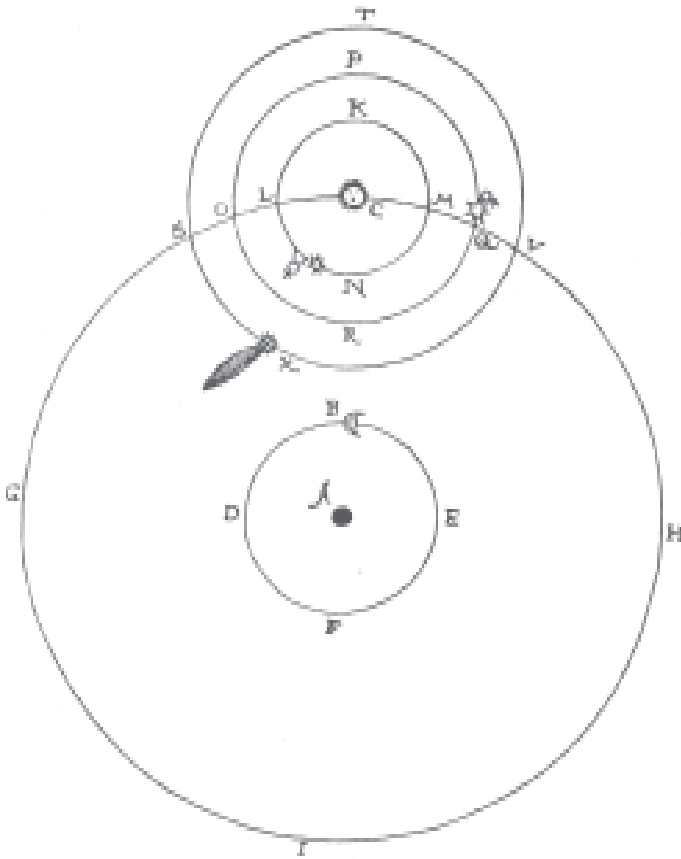


Figura 5. Diagrama mostrando a posição do cometa de 1577 numa camada acima da Lua.

Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Saturno, Júpiter e estrelas fixas – não é a correta; (2) usarem um grande número de epiciclos; (3) usarem o equante, um ponto fictício que não corresponde a alguma coisa física. Por outro lado, Brahe manterá as teses cosmológicas centrais, provindas principalmente de Aristóteles, de que a Terra é o centro de movimentos e que o Sol gira ao seu redor.

Acerca de Copérnico, Brahe é mais radical. Se o copernicanismo explica os movimentos de retrogradação, ao colocar a Terra em movimento, cria, por outro lado, inconvenientes físicos, isto é, os tradicionais argumentos físicos contra os movimentos da Terra – tal como o argumento da torre, no qual, se admitirmos o movimento de rotação da Terra, então, um corpo que se deixa cair de uma torre não chegaria ao pé da mesma, pois, em virtude do movimento da Terra, tal corpo deveria cair a uma distância considerável da torre. Assim, mesmo elogiando a destreza de Copérnico, quando este resolve geometricamente o movimento de retrogradação, Brahe o critica por criar, a seu ver, algo pior, os problemas físicos e, além disso, os problemas teológicos,¹⁶ pois

Cabe ressaltar que, “onde tudo corresponde perfeitamente às aparências celestes” é um grande exagero de Tycho, pois o seu modelo, ao aceitar a exigência tradicional das órbitas serem circulares e uniformes, teve que lançar mão dos inconvenientes artificiosos de Ptolomeu para resolver o problema da primeira desigualdade (a inconstância das distâncias planetárias); apenas o movimento retrógrado aparente dos planetas foi explicado. Mas, deixando isso para outra ocasião, o que importa agora é extrair o que Brahe utilizou e rejeitou do copernicanismo, fazendo o mesmo com os modelos de Ptolomeu.

Brahe critica os modelos ptolomeicos por (1) não corresponderem à disposição dos corpos celestes, pois tal disposição – Terra ao centro, seguida da

¹⁶ Os argumentos teológicos contra o movimento da Terra podem ter influenciado a recusa por parte de Brahe das hipóteses copernicanas. Mas são os argumentos físicos que, em virtude de seu empirismo radical, levaram Brahe a recusar o movimento da Terra.

as *Sagradas escrituras* são mais condizentes com uma Terra estática do que com uma Terra em movimento de rotação e de translação.¹⁷

Nesse sentido, por que o modelo brahiano é híbrido? Porque (1) ele elimina as dificuldades físicas colocando a Terra no centro, sendo que a Lua e o Sol giram ao seu redor; (2) retira um grande número de epiciclos e deferentes e elimina mesmo o equante ao fazer os planetas girarem em torno do Sol. O inconveniente desse modelo, para Brahe, seria que a órbita de Marte intersectaria a órbita do Sol; mas isso pouco importa, pois, como não há esferas sólidas de cristal, não há problema nessa intersecção. Mas, se os problemas relativos às esferas cristalinas foram abandonados pela perspectiva de Brahe, outros surgiram. A questão agora passa a ser: como não existem esferas sólidas de cristal, que eram as responsáveis pela condução (movimento) dos planetas no céu, o que faz os planetas se moverem? Ou seja, no universo antes do aparecimento do cometa de 1577 e do trabalho de Brahe sobre ele, a explicação alicerçada em esferas sólidas de cristal era necessária e apresentava-se como condizente. Rompida essa possibilidade, fez-se necessária outra explicação mais apurada,¹⁸ pois tal ruptura suscitou as seguintes questões: como os planetas se movem num espaço que não comporta um mecanismo sólido? Como os planetas se movem num espaço supostamente vazio? A explicação dada pela suposição de esferas sólidas oferecia, mesmo que de forma rudimentar, meios para justificar os movimentos dos planetas e servia, no âmbito da cosmologia, como uma espécie de explicação física. O cosmólogo, sem essa explicação, viu-se privado de um suporte teórico para dar conta dos movimentos planetários. O problema mais agudo expressou-se na seguinte interrogação: que tipo de explicação pode ser construído para um espaço que se apresenta vazio e no qual as órbitas dos planetas se intersectam? A resposta a essa questão conduziu a uma idéia importante no século xvii: a suposição de uma espécie de ação à distância, primeiro com Kepler e depois com Newton.¹⁹

¹⁷ Afora esses problemas físicos e teológicos, Brahe tinha uma razão astronômica muito forte para não aceitar o copernicanismo, a falta de observação de qualquer paralaxe estelar. Se se aceita as hipóteses de centralidade do Sol e movimento de translação terrestre, então, acreditavam os astrônomos antigos, medievais e renascentistas, deveria ser possível detectar paralaxes nas estrelas fixas; como isso nunca foi detectado, teríamos, pelo menos, duas possibilidades: ou a Terra está no centro, ou as estrelas fixas estão localizadas a uma distância extremamente grande; a maioria dos astrônomos, incluindo Brahe, ficou com a primeira possibilidade. De fato, nem Kepler e Galileu, ou mesmo Newton, conseguiram resolver as objeção; a primeira paralaxe medida foi feita apenas no século xviii, por Bessel.

¹⁸ Essa questão sobre o que move os planetas sem o uso de esferas sólidas é muito interessante. Antes de Kepler e até depois dele, várias propostas, tal como a suposição da existência de fluídos etéreos foram levantadas. Conferir, para maiores informações sobre essa polêmica, Donahue (1975) e Lerner (1989).

¹⁹ O recurso à ação à distância não foi o único tipo de explicação surgido no século xvii para dar conta dos movimentos planetários num espaço sem esferas de cristal. Descartes, contrário à existência do vazio, formulou a teoria dos vórtices, pela qual se explicam os movimentos dos planetas por contatos entre os turbilhões de matéria que formam cada sistema planetário. Tal teoria prevaleceu entre os mecanicistas que viam no uso da ação à distância um retorno

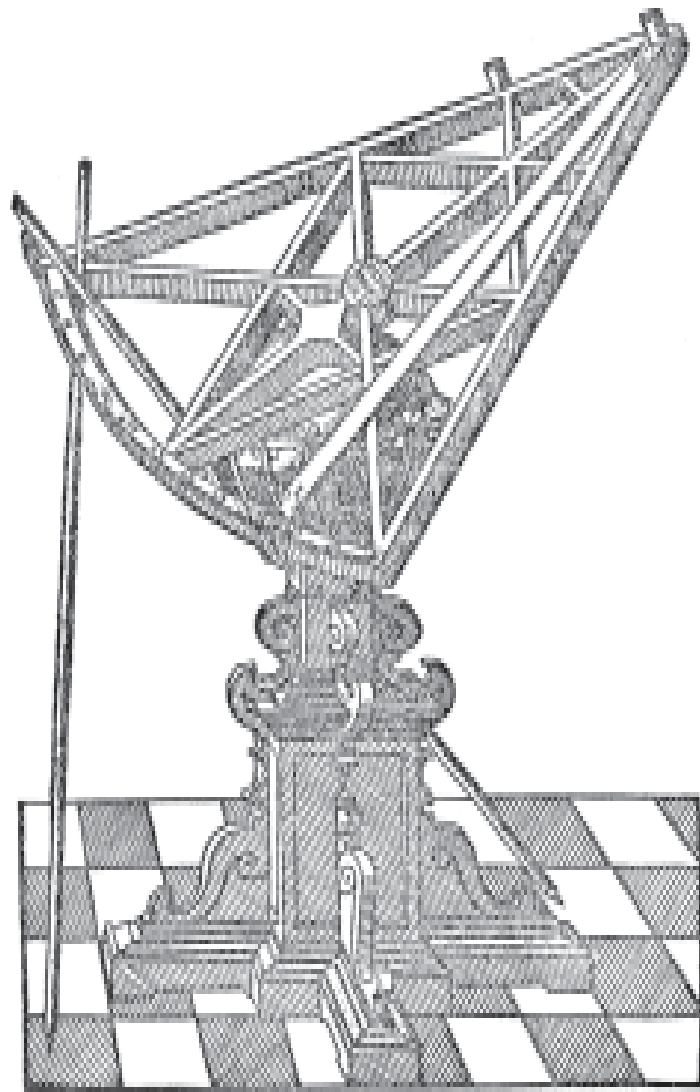


Figura 6. O sextante construído por Brahe. Esse instrumento era destinado a obter os posicionamentos dos astros, principalmente as distâncias planetárias.

1610 tinha-se um terreno fecundo, tanto para testar as antigas e as novas hipóteses (como, por exemplo, os fenômenos da nova de 1572 e do cometa de 1577), quanto para mudar, criar e extrair novas possibilidades de tais propostas. O modelo híbrido de Brahe ilustra esse período, e através dele pode-se fazer a seguinte interrogação: ele foi um copernicano ou um ptolomaico?²⁰ Ou nenhum dos dois, elaborando um sistema total-

É justamente no surgimento de novas questões para a cosmologia do século XVI que se tem um maior aprofundamento do copernicanismo e uma crítica mais mordaz aos modelos de Ptolomeu e à cosmologia de Aristóteles.

A elaboração de modelos alternativos, no período que vai da publicação do *De revolutionibus* em 1543 até Kepler e Galileu em 1609 e 1610, aponta para uma caracterização desse período como sendo “de crise dos modelos ptolomaicos”; essa crise vinha, pelo menos, desde Copérnico, quando este elaborou hipóteses cosmológicas centrais distintas das hipóteses centrais geocêntricas com o intuito de resolver problemas, tais como a obtenção de tabelas mais precisas para os movimentos planetários, uma disposição mais sistematizada do mundo celeste e a resolução do problema da precessão dos equinócios. A proposta copernicana original não resolveu todos esses problemas e, na verdade, criou outros. Mas o *De revolutionibus* trouxe novos horizontes, se assim podemos dizer, para os astrônomos e cosmólogos. Entre 1543 e 1609-

às filosofias herméticas ou animistas. A teoria kepleriana dos movimentos planetários, que tem como base o conceito de força magnética exercida pelo Sol nos planetas num espaço vazio, foi rechaçada pelos mecanicistas cartesianos por fazer uso de concepções animistas da “matéria viva” e não inanimada. O recrudescimento da noção de ação à distância só aparece, depois disso, com os trabalhos newtonianos.

²⁰ Dreyer (1953) e Westman (1975), por exemplo, vêem o modelo de Brahe como um corolário do copernicanismo.

mente distinto? Como foi dito acima, no modelo híbrido de Brahe existem teses tanto geocêntricas de Ptolomeu e Aristóteles, quanto heliocêntricas de Copérnico. Agora, a pergunta que se pode fazer é: o que levou Brahe a adotar esse sistema híbrido? Como é bem sabido, Brahe foi o melhor observador astronômico antes do invento do telescópio. A preocupação com a obtenção de dados precisos o levou a criar métodos de observação e instrumentos, tal como o sextante, que nunca antes haviam sido vistos na história da astronomia. Os resultados finais das suas observações chegavam à casa de 2' ou até 1,5' de aproximação, algo que, em relação às observações anteriores, representava um progresso significativo (antes de Brahe, como foi dito acima, aceitava-se até 10'). Brahe, já na sua juventude, notou numa noite que Saturno e Júpiter quase não se distinguiram devido à sua aproximação recíproca; examinando as tabelas planetárias, descobriu que as alfonsinas tinham um erro de quase trinta dias para a ocorrência dessa aproximação, enquanto as prutênicas erravam em vários dias (cf. Koestler, 1959, p. 196). Seu trabalho foi fundamentalmente destinado à obtenção de dados observacionais mais precisos.²¹ Se Brahe teve em mãos dados tão importantes e seguros, isso pode apontar para o alto valor que as informações empíricas têm na sua concepção de ciência.²² O empirismo é muito forte em Brahe, tanto assim que ele aderiu a uma concepção de Terra estática, porque não podia recusar o que as informações sensoriais determinam. Aliado a isso está o fato de que “Tycho Brahe evidentemente não estava contente com meras representações geométricas para o sistema planetário, mas procurou conhecer como o universo estava realmente construído” (Dreyer, 1963, p. 176).

21 O papel de Brahe para a astronomia observacional é tão forte que não se deve achar que ele é uma figura menor no processo de instauração da ciência moderna. A ele se deve a idéia de “correções instrumentais”, que mudaria o enfoque da astronomia de posição. Tais correções surgiram com o uso de instrumentos, como ele mesmo registra: “Observava as estrelas – com o auxílio de uma arbaleta – [...] e anotava os meus resultados numa pequena caderneta que ainda possuo. Percebi logo que as distâncias angulares determinadas com o auxílio do raio e reduzidas a valores numéricos não concordavam bem entre si. Logo que descobri a causa, elaborei uma tabela, com a ajuda da qual podia corrigir os erros do instrumento” (Brahe, *apud* Mourão, 1990, p. 9). Observações mais precisas necessitam de instrumentos mais precisos, que sempre apresentam margens de erro, necessitando, assim, de correções. Brahe, de certa forma, é o iniciador dessa mentalidade para a astronomia.

22 Existem alguns fatores que podem ser denominados de “externalistas”, que por ora não estão sendo considerados e que têm implicações na formulação de teorias científicas. No caso em questão, exigia-se, no século XVI, melhorias nos dados empíricos, isto é, nas observações astronômicas, para satisfazer as necessidades de uma sociedade que mudava os seus focos de produção e comércio; isso pode ser visto no caso da navegação, em que melhores observações celestes foram necessárias para a obtenção de rotas mais seguras e confiáveis para alcançar as novas terras recém descobertas, a América, e o trajeto até as regiões mais ao Oriente. Em linhas gerais, a sociedade necessitava de dados mais precisos para poder resolver seus problemas práticos e isso influenciou o desenvolvimento das técnicas de observação (cf. Crosby, 1997). Brahe se alinha, a meu ver, ao espírito de sua época; a sua preocupação voltada para uma “reforma na astronomia” pode ser entendida, em seus aspectos técnicos, como uma exigência social e econômica dos séculos XVI e XVII.

É justamente, portanto, no caráter empírico que reside a importância brahiana na discussão do copernicanismo original. Brahe apontou problemas que foram tratados subsequentemente por aqueles que aderiram ao novo programa proposto por Copérnico. Os problemas relativos aos movimentos terrestres e à dissolução das esferas de cristal, entre outros, formaram uma agenda de pesquisa que foi desenvolvida pelos astrônomos do século XVII.

Retornando à disputa entre Brahe e Ursus, saber quem foi o autor das hipóteses do modelo híbrido é uma pergunta sem sentido, pois não foi nenhum deles. Se existiu alguém responsável pela originalidade das hipóteses esse foi Heráclides de Ponto (390-333 a.C.). O sistema de Heráclides, visto na figura abaixo, colocava a Terra girando sobre o seu eixo no centro, a Lua e o Sol ao seu redor, Mercúrio e Vênus em volta do Sol, e a seguir Marte, Júpiter e Saturno em torno da Terra; esse sistema foi denominado de *sistema egípcio* (cf. Dreyer, 1953, p. 129). Quando muito, Brahe e Ursus poderiam alegar que o modelo híbrido de um e de outro são versões do sistema de Heráclides (que, distintamente de Brahe e semelhantemente a Ursus, dota a Terra de movimento de rotação), mas não um modelo original.

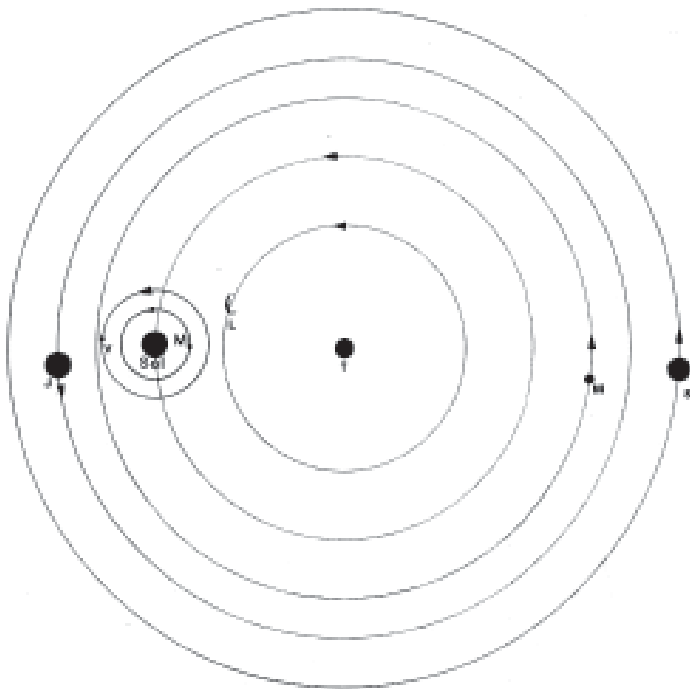


Figura 7. Modelo híbrido de Heráclides de Ponto, chamado de “sistema egípcio”.

Na verdade, o sistema egípcio fez parte dos vários sistemas ou modelos de movimentos que estão entre as propostas mais radicais, geocêntricas e heliocêntricas. Na figura 8, pode-se visualizar pelo menos seis sistemas ou modelos de universo que eram admitidos na época de Brahe.

Além do mais, foi descoberta na biblioteca pessoal de Brahe referência ao diagrama de Martinus Capella (século V), que provavelmente utilizou para elaborar o seu modelo alternativo aos de Copérnico e Ptolomeu (cf. Westamn, 1975 p. 321-7). O diagrama segue basicamente o sistema de Heráclides de Ponto, como mostra a figura 9.

Obviamente, Brahe sabia que já existiam alternativas às propostas geocêntricas e heliocêntricas, e muitos astrônomos, incluindo o próprio Capella, Ursus, Roeslin, Jacó Curtz e Maggini, –

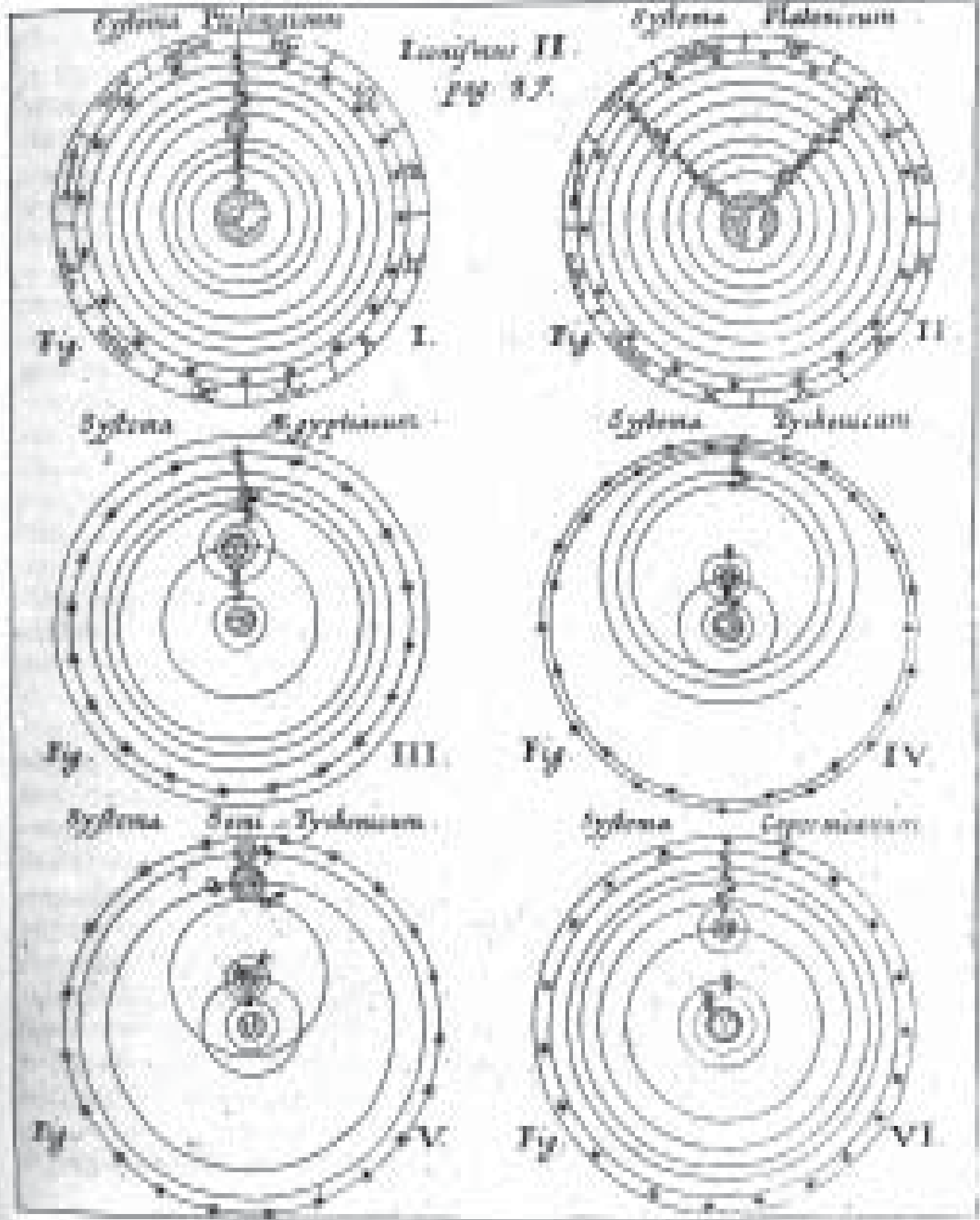


Figura 8. Esquemas geométricos mostrando alguns dos diversos modelos possíveis entre o geocentrismo e o heliocentrismo.

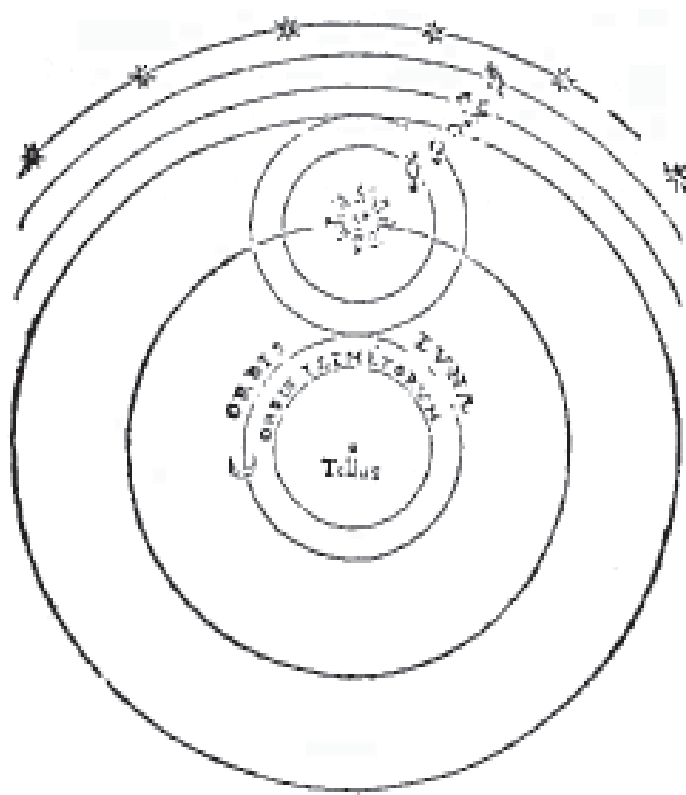


Figura 9. Diagrama de Capella encontrado nas anotações de Tycho sobre o copernicanismo.

rou um modelo de universo que, mesmo partindo de suposições que não foram aceitas por Kepler e Galileu, mostrou os problemas que ambos tiveram que tratar nas primeiras décadas do século XVII.

3. A METODOLOGIA DE KEPLER INFLUENCIADA POR BRAHE

Do sétimo parágrafo da carta em diante, Brahe comenta o *Mysterium cosmographicum* de Kepler. Esse comentário é importante não apenas por seu conteúdo histórico, se se quer contemplar o período de recepção, discussão e crítica ao copernicanismo original, mas também pelo modo como essa carta ilustra a influência de Brahe na metodologia empregada por Kepler em suas obras posteriores, principalmente na *Astronomia nova*. Mas antes de apresentar essa influência, convém apontar alguns aspectos, ligados à carta traduzida, contidos na correspondência entre Brahe, Kepler e Mästlin, que ajudam a elucidar a insistência de Brahe para que Kepler viesse trabalhar como seu assistente em Praga, como já foi apontado.

Brahe e Kepler trocaram algumas cartas antes daquela de 9 de dezembro. Brahe manteve correspondência tanto com Kepler quanto com Mästlin, comentando com os dois o *Mysterium cosmographicum*. Na verdade, ocorreu um certo descompasso entre as cartas endereçadas a Kepler em relação às enviadas a Mästlin. Para Kepler, Brahe escreve

estes três últimos citados por Brahe na carta como plagiadores de seu modelo – estavam trabalhando com uma idéia de uso comum, para a qual não podiam reivindicar autoria. Mas o que é mais importante, penso, não é quem foi o autor das hipóteses reclamadas por Brahe como suas, mas o tratamento dado por ele à questão. Ele elaborou uma alternativa ao geocentrismo e ao heliocentrismo, apontando os problemas que ambos apresentavam, suscitando, com isso, discussões importantes para o desenvolvimento do copernicanismo original e para a recusa dos modelos ptolomaicos. Brahe, apesar de não ser o dono das hipóteses reclamadas por ele na carta a Kepler de 9 de dezembro de 1599, elaborou

de um modo mais cordial, exagerando muitas vezes no elogio, afirmando frequentemente que a hipótese dos sólidos perfeitos é uma proposta engenhosa, perspicaz, original etc., não tecendo qualquer crítica mais contundente aos métodos keplerianos ou à defesa de Kepler do copernicanismo. Para Mästlin, por outro lado, Brahe reserva as críticas, duras e pesadas, à hipótese dos sólidos perfeitos. É interessante contemplar algumas passagens. Em primeiro lugar, em uma carta endereçada a Kepler, em 11 de abril de 1598, Brahe escreve muito cordial e atenciosamente:

Teu livro [...] já vi e o percorri tanto quanto os meus outros trabalhos permitem. Ele me parece realmente ter uma medida pouco comum. Tua fina inteligência e teu alto espírito brilham claramente. É uma idéia engenhosa e original a de colocar em relação as distâncias e os tempos de revolução dos planetas, tal como tu fazes, com as propriedades simétricas dos corpos regulares. Muitas coisas semelhantes se acordam muito bem, e os pequenos afastamentos em relação às proporções copernicanas não têm grande importância. Pois elas mesmas se afastam muito fortemente dos fenômenos. Assim, exprimo-te minha aprovação pelo ardor que tu tens mostrado na execução desses estudos. Mas gostaria de dizer que não te posso dar razão em tudo. Se utilizasses os verdadeiros valores das excentricidades dos planetas, como estou procurando há muitos anos, poderás proceder a uma verificação mais precisa. Mas como estou muito ocupado com a elaboração e a edição dos meus trabalhos astronômicos, não posso sair da Dinamarca, não tendo, no momento, o tempo para proceder a uma tal comparação. Pode ser que isso seja possível numa ocasião.

[...] Pois, não há dúvida alguma de que, no Universo, tudo foi posto em relação e ordenado por Deus segundo uma harmonia e uma proporção determinadas; de tal modo que ele pode ser representado tanto por números quanto por figuras, assim como o foi anteriormente, até uma certa medida, previsto pelos pitagóricos e platônicos. Aplica, portanto, a isso as forças de teu espírito, e se encontrares nisso uma perfeita concordância que não se apagará em nenhuma parte e que não deixa nada a desejar, serás para mim um grande Apolônio (Brahe, *apud* Koyré, 1961, p. 160).

A carta é muito cordial, e nela Brahe não faz nenhuma objeção forte à hipótese dos sólidos perfeitos de Kepler. Pela carta, a hipótese dos sólidos perfeitos pode ser a chave para a descrição real do universo; se ela fosse a estrutura verdadeira, ter-se-ia apenas que fazer pequenos reparos, como obter melhores dados observacionais sobre as excentricidades dos planetas. Mas como será visto mais abaixo, a opinião de Brahe estava longe de concordar com tal coisa. Essa carta endereçada a Kepler tinha uma

função não ligada especificamente à astronomia e à cosmologia. Para Brahe, talvez essa carta tivesse uma intenção pessoal, a de atrair o jovem Kepler para trabalhar como seu assistente. Brahe viu, e com toda razão, uma grande potencialidade em Kepler como astrônomo teórico; se o dinamarquês foi um grande observador, o mesmo peso não se pode dar a ele enquanto astrônomo teórico, ou sistematizador quando comparado a Kepler. O seu modelo híbrido não correspondia perfeitamente aos seus dados extremamente precisos, devendo existir alguém que pudesse, pensava Brahe, utilizá-los para obter uma teoria planetária que os satisfizesse. Tal homem seria Kepler. Daí a razão da adulação brahiana.

Para Mästlin, em contrapartida, Brahe escreve aquilo que parece ser a sua verdadeira compreensão da hipótese dos sólidos perfeitos. Em maio de 1598, apenas um mês depois de ter escrito a carta adulatora a Kepler, Brahe comenta com o mestre deste:

Recebi há pouco tempo uma obra interessante do excelente matemático J. Kepler, da Estíria, na qual ele faz de maneira engenhosa uma tentativa para colocar as órbitas dos planetas numa relação harmônica, arranjadas ao modo copernicano, com os cinco corpos regulares. Procurarei escrever logo a esse senhor e, tanto quanto o meu trabalho permita, comunicar-lhe-ei o que penso dessas especulações.

Se a melhora da astronomia deve ser feita muito mais *a priori*, por meio desses corpos regulares, do que *a posteriori*, tendo como base o conhecimento dos fatos obtidos pelas observações, tal como tu sugeres, teremos que esperar seguramente um longo tempo, se não eternamente, e em vão, até que alguém o faça. Sendo dado que a utilização das medidas dos corpos regulares deve apoiar-se em observações prévias e ser confirmada por elas, segue-se que, fora das relações gerais, sejam tais ou tais, não se pode deduzir os particulares com a precisão requerida; e disso, sem dúvida, não se pode escapar (Brahe, *apud* Koyré, 1961, p. 161).

Brahe é enfático: a astronomia feita *a priori* traz o problema de saber qual é a estrutura real do cosmo, qual é a causa dos movimentos planetários; mas para se conhecer isso, ter-se-ia que testar todas as hipóteses possíveis, o que é humanamente impossível; nunca chegar-se-ia a saber, por esse caminho, qual é tal estrutura ou qual é a causa. A crítica é dura porque elimina a possibilidade de admissão da estrutura celeste pelas causas. O trabalho, se é que existe de fato uma estrutura harmônica no céu, deve ser conduzido a partir dos efeitos, isto é, a partir dos dados observacionais. São os posicionamentos planetários, as observações dos fenômenos celestes, tais como o cometa de 1577, os eclipses, as conjunções, as oposições etc. que determinam a estrutura que se construirá para descrever as harmonias celestes.

Entretanto, em 9 de dezembro, quando Kepler já estava a caminho de Praga,²³ Brahe assume um meio termo: elogia Kepler mas aponta, não de modo tão incisivo como para Mästlin, as dificuldades de construir *a priori* o conhecimento astronômico, tendo como base uma metafísica.

Pode-se perceber a influência de Brahe na metodologia kepleriana após o *Mysterium cosmographicum*, do sétimo parágrafo da carta em diante, quando o matemático imperial de Rudolfo II expõe claramente a sua opinião sobre a hipótese dos sólidos perfeitos sugerida por Kepler para descrever a estrutura regular do céu. A opinião de Brahe é simples e clara, não deixando margem para dúvida: aprecia o engenhoso mecanismo dos sólidos perfeitos proposto por Kepler para descrever a estrutura cósmica e louva a procura da verdade em assuntos tão pouco acessíveis à compreensão humana, isto é, nas pesquisas astronômicas. Contudo, não aprova os procedimentos metodológicos de Kepler para conduzir tal empreitada, ou seja, que da hipótese *a priori* dos sólidos perfeitos se deduza a realidade do mundo celeste. Segundo essa hipótese, a estrutura do universo é construída pela inscrição e circunscrição dos cinco sólidos perfeitos – cubo, pirâmide, dodecaedro, icosaedro e octaedro – nas esferas orbitais dos seis planetas – Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno –, admitindo-se, segundo Copérnico, o Sol como centro. Evidentemente, essa hipótese é *a priori*, e Brahe reclama que ela é apenas uma suposição metafísica, não sendo obtida *a posteriori*, isto é, a partir dos fenômenos celestes observados, mais especificamente, dos movimentos planetários. Kepler vai da causa ao efeito, enquanto que Brahe estipula o caminho inverso, dos efeitos para a causa:

[...] No entanto, o mais importante é que eu não aprovo aquilo que no teu engenhoso escrito se mostra, entre outras coisas, como um erro comum, o de atribuir realidade às órbitas celestes. Por esta via, ordenas prontamente as imaginações copernicanas e, desse modo, não negarei que subscreves facilmente os movimentos celestes obterem uma certa simetria, à qual subjazem razões para os planetas moverem-se ao redor de um centro com distância diferente do Sol ou da Terra; mas as proporções das disposições e a harmonia são dadas *a posteriori* pelos movimentos quando as suas ocorrências se apresentam e, ao contrário, não se pode pretender que são dadas *a priori*, tal como tu e Mästlin querem, e elas são difíceis de encontrar.

²³ Quando a carta de Brahe chegou a Graz, Kepler já estava a caminho de Praga para o primeiro encontro com Brahe. Kepler saiu da Estíria por razões políticas, o príncipe Fernando II promoveu nesse período uma perseguição aos protestantes e Kepler, como luterano, teve que abandonar o seu cargo de professor nessa cidade. Kepler leu a carta de Brahe quando voltou a Graz alguns meses depois.

A crítica de Brahe é clara. Os movimentos celestes não são descobertos pela admissão prévia de uma estrutura como, por exemplo, nos sólidos perfeitos de Kepler, mas são os próprios movimentos observados que determinam, verdadeiramente, quais são os elementos que a estrutura deve conter.

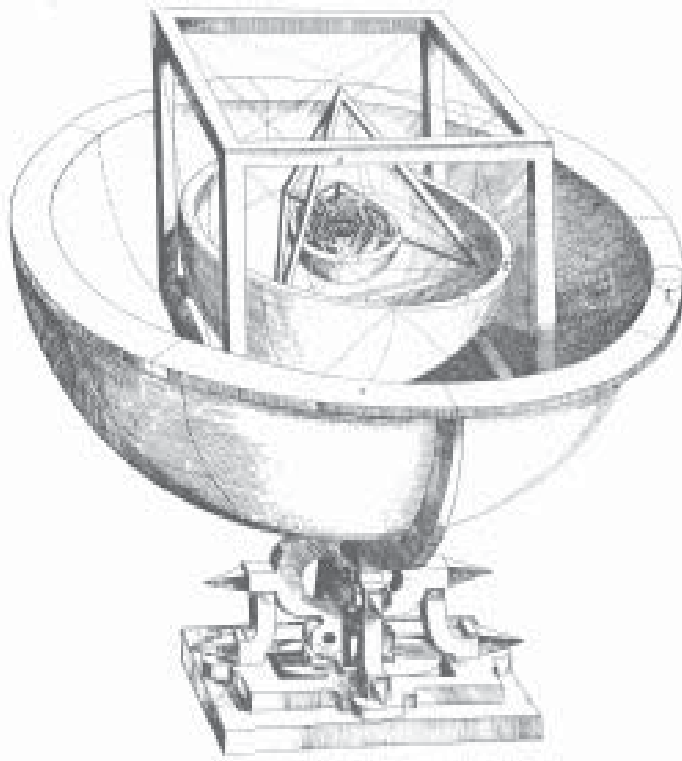


Figura 10. O modelo dos sólidos perfeitos de Kepler. As órbitas planetárias, representadas por esferas, estão inscritas e circunscritas nos cinco sólidos perfeitos.

Brahe, de certa maneira, tem razão quanto ao caráter eminentemente metafísico do *Mysterium* de 1596. Com efeito, Kepler acredita que a estrutura desenhada pela hipótese dos sólidos perfeitos é, de uma certa forma, expressão do seu conceito de harmonia celeste, segundo o qual o universo foi criado respeitando proporcionalidades e simetrias entre os seus componentes, de modo que é possível ao intelecto humano, correlacionado a essa estrutura harmônica, entender e expressar esses componentes. Em termos mais claros, há no universo uma estrutura que leva necessariamente os seus componentes, que no caso do mundo celeste são os planetas e o Sol, a manterem relações entre si e essas relações são regularidades; o papel do intelecto humano é detectar

essas regularidades e expressá-las em linguagem objetiva. A hipótese dos sólidos perfeitos expressaria, pensava Kepler em 1596, a harmonia celeste, a estrutura objetiva que possibilita ao intelecto humano tanto explicar porque existem seis planetas e porque eles se mantêm a certas distâncias do centro de movimento, o Sol, quanto porque, para qualquer movimento de translação, os movimentos mostram-se constantes (cf. Kepler, 1938, p. 9-14).

Essa estrutura poderia ser obtida *a priori*, como Kepler escreve no prefácio ao *Mysterium cosmographicum*:

Naquele tempo, em Tübingen, há seis anos, trabalhava com o esclarecido mestre Mästlin; estava incomodado pelas várias opiniões usuais sobre o mundo, quando fui seduzido por Copérnico, do qual Mästlin fazia muitas menções em suas preleções, e não só repetidas vezes defendi as idéias de Copérnico nas disputas em física, mas também escrevi uma acurada disputa sobre o primeiro movimento,²⁴ que acontece na revolução da Terra. E já estava convencido disso que atribui à própria Terra o movimento do Sol; mas, enquanto Copérnico fez com as matemáticas, eu fiz por razões físicas, ou melhor, metafísicas (Kepler, 1938, p. 9).

O que “Copérnico fez com as matemáticas”, isto é, mediante o uso tradicional do método de “salvar as aparências”, encaixando e reencaixando círculos em círculo, “eu fiz por razões físicas, ou melhor, metafísicas”; em outras palavras, a crença kepleriana de que a estrutura do universo é dada pela hipótese dos sólidos perfeitos, a qual expressaria a realidade dos movimentos planetários, é por ele mesmo considerada como metafísica.

No capítulo 1 do *Mysterium*, Kepler, comentando as vantagens que as hipóteses de Copérnico têm sobre as de Ptolomeu, afirma categoricamente a possibilidade de descrever *a priori* a astronomia:

E não duvido que tudo que Copérnico coligiu *a posteriori* e demonstrou pelos sentidos [...] pode ser demonstrado *a priori* e sem nenhuma ambigüidade (Kepler, 1938, p. 16).

O problema com essa concepção *apriorística* do método da astronomia é, segundo Brahe, a dificuldade que ela apresenta para expressar corretamente os movimentos planetários. Na crítica apontada acima, tanto na carta a Mästlin quanto nas críticas

²⁴ “Primeiro movimento” é o movimento que a Terra faz sobre o seu próprio eixo num período de 24 horas, que explica o fenômeno do dia e da noite.

expressas na carta de 9 de dezembro de 1599, vê-se que partir da estipulação das causas sem um exame prévio dos efeitos torna a empreitada sem suporte, sem uma base sólida e sujeita apenas ao título de “opinião”, mas não de conhecimento seguro para a astronomia.

Mas se Kepler em 1596 adere a uma perspectiva apriorista, na qual a hipótese dos sólidos perfeitos era um modo de expressar a causa a fim de derivar os fenômenos celestes, o seu enfoque, após a carta e, mais importante, o seu contacto pessoal com Brahe, que durou cerca de dezoito meses, produziram uma guinada sensível no procedimento metodológico. É principalmente na *Astronomia nova* publicada em 1609, que se pode apreciar a influência metodológica de Brahe para a elaboração das leis dos movimentos planetários.

Na *Astronomia nova*,²⁵ a exposição dos objetivos e procedimentos é clara:

Meu objetivo no presente trabalho é o de reformular a teoria astronômica (especialmente para o movimento de Marte) em todas as suas três formas de hipóteses [ptolomaica, copernicana e brahiana], de modo que se possa construir tabelas que correspondam aos fenômenos celestes [...] Inquiri sobre as causas físicas e naturais dos movimentos (dos planetas). O resultado eventual dessas considerações é a formulação de argumentos claros que mostram que a opinião de Copérnico sobre o mundo (sofrendo pequenas alterações) é a verdadeira e que as outras duas são falsas (Kepler, 1937, p. 20).

Dados o objetivo (reformulação da teoria astronômica) e os métodos (análise das três principais hipóteses em jogo pela admissão de causas físicas), tem-se a via mestra para a elaboração do trabalho feito na obra de 1609, na qual não se tem, como tinha em 1596, um modelo prévio, *a priori*, conduzindo a análise dos resultados. Assim, acredito que a *Astronomia nova* deve ser compreendida como uma obra que expressa uma mudança de direção metodológica devida à influência de Brahe.

²⁵ Um pequeno comentário deve ser feito. É muito comum associar Kepler à religião, à astrologia, ao misticismo etc. Que ele foi um pensador que se preocupou com essas áreas do saber é notório, basta ver um dos pilares da sua concepção cosmológica, que está sendo discutida neste texto, a de que há uma estrutura harmônica subjacente aos fenômenos celestes. Que ele sofreu influências de pensadores como Scalinger ou Pico della Mirandola também é sabido. Isso expressa o conjunto de crenças que podem ter influenciado a sua visão de mundo, como a existência de um mundo harmônico. Mas penso que a *Astronomia nova* não necessita ser lida como sofrendo a influência direta desses aspectos místicos e religiosos. A obra de 1609 pode ser entendida principalmente (porque esses critérios se mostram como necessários e suficientes) sob a perspectiva *a posteriori* de Brahe e do critério físico de que os movimentos celestes devem ser computados a partir do centro físico de movimento.

Para entender isso, deve-se considerar os aspectos pelos quais Brahe influenciou Kepler. Normalmente, considera-se que são os dados observacionais de Brahe a contribuição mais relevante para a derivação das leis dos movimentos planetários, o que não deixa de ser correto. Mas a influência de Brahe não se esgota apenas nisso. É no método²⁶ que se encontra a mudança de perspectiva entre 1596 e 1609 e que, sem essa mudança, a utilização dos dados brahianos, talvez, não tivesse tido a importância que teve.

Quando se lê a *Astronomia nova*,²⁷ nota-se a mudança de perspectiva exigida por Brahe a Kepler. Enquanto no *Mysterium cosmographicum* Kepler procede *a priori*, tratando a hipótese dos sólidos perfeitos como a premissa cosmológica necessária para a derivação e explicação dos fenômenos celestes, na *Astronomia nova* ocorre um processo inverso de investigação. A obra de 1609 não parte de nenhum modelo prévio de Universo, pois em nenhum momento dessa obra há qualquer referência à hipótese dos sólidos perfeitos ou de qualquer outro modelo. Além disso, testa os modelos ptolomaicos, o sistema copernicano e o modelo híbrido de Brahe, sem assumir a verdade de nenhum deles antes da investigação. A obra de 1609 lembra, em muitos momentos, relatórios de pesquisa, com tabelas, análise das observações astronômicas etc. Quando Kepler procura responder às questões mais importantes, tais como, qual a forma da órbita dos planetas, como eles se movem, quais as relações entre os seus componentes (relações entre tempos, distâncias e velocidades) etc., ele investiga as várias possibilidades, formula hipóteses, testa-as e admite apenas as que concordam com os dados observacionais e com o critério de que os movimentos devem ser computados a partir de centros físicos e não de pontos matemáticos. Nesse sentido, é na exposição que Kepler faz das duas primeiras leis dos movimentos planetários que se pode visualizar não apenas a importância dos dados observacionais herdados de Brahe mas, também, de sua orientação metodológica *a posteriori*.

Para finalizar, deve-se ressaltar que a postura metodológica de Kepler na *Astronomia nova*, influenciada pelo empirismo de Brahe, levanta um ponto importante: o empirismo brahiano coloca um limite para a metafísica kepleriana. Entre 1596 e 1609

²⁶ Kepler foi, semelhantemente a Galileu, um cientista. Não há em todos os seus trabalhos nenhuma obra dedicada exclusivamente às questões metodológicas e epistemológicas, como há em Descartes ou em Bacon. O que se encontra em Kepler são pequenas passagens acerca disso, soltas em suas obras científicas. Assim, para saber o que Kepler entendia por método científico, por exemplo, faz-se necessário, principalmente, analisar o próprio procedimento interno que empregou para a obtenção das suas leis.

²⁷ Saliento aqui apenas o procedimento básico metodológico, alicerçado na elaboração e teste de hipóteses. Para maiores informações quanto às obras de 1596 e 1609 e os procedimentos internos de ambas, consultar Wilson (1958), Koyré (1961), Aiton (1969), Simon (1979), Stephenson (1994), Tossato (1997) e Marten (2000).

ocorre, na concepção de ciência kepleriana, um arrefecimento da possibilidade de fazer astronomia supondo apenas a estrutura matemática subjacente aos fenômenos celestes. Kepler não foi plenamente um pitagórico nem um platônico convicto. Sem abandonar a crença num mundo harmônico, Kepler absorve a concepção de Brahe de que o conhecimento deve ser elaborado a partir das informações factuais, observacionais. A influência de Brahe deixa Kepler a meio caminho entre a metafísica e o empirismo radical. ☉

Claudemir ROQUE TOSSATO

Pesquisador do Projeto Temático

“Estudos de filosofia e história da ciência” da FAPESP,

pós-doutorando do Departamento de Filosofia

da Universidade de São Paulo.

toclare@uol.com.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITON, E. J. Kepler's second law of planetary motion. *Isis*, 205, p. 75-90, 1969.
- ARISTÓTELES. Meteorology. In: HUTCHINS, R. M. (Ed.). *Great books of western world: Aristotle*. Chicago, Encyclopaedia Britannica, 1952. v. 1, p. 443-94. (Meteo).
- BRAHE, T. *Sur des phénomènes plus récents du monde éthéré. Livre second [des progymnasmata]*. Paris, A. Blanchard, 1984.
- CASPAR, M. & VON DYCK, W. (Ed.). *Gesammelte Werke*. Munique, C. H. Bech'sche Verlagsbuchhandlung, 1937-1959. 17 v.
- CHATEL, P. *O castelo das estrelas*. São Paulo, Edusp, 1990.
- CHRISTIANSON, J. R. & BRAHE, T. Tycho Brahe's German treatise of the comet of 1577: a study in science and politics. *Isis*, 70, 1, p. 110-40, 1979.
- COPÉRNICO, N. *As revoluções dos orbes celestes*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1984.
- CROSBY, A. W. *A mensuração da realidade, a quantificação e a sociedade ocidental, 1250-1600*. São Paulo, Unesp, 1997.
- DONAHUE, W. H. The solid planetary spheres in post-copernican natural philosophy. In: WESTMAN, R. S. (Ed.). *The copernican achievement*. Los Angeles, University of California, 1975. p. 244-75.
- DREYER, J. L. E. *A history of astronomy from Thales to Kepler*. Nova Iorque, Dover, 1953.
- _____. *Tycho Brahe – a picture of scientific life and work in the sixteenth century*. Nova Iorque, Dover, 1963.
- FERGUSON, K. *Tycho & Kepler – the unlikely partnership that forever changed our understanding of the heavens*. Nova Iorque, Walker & Company, 2002.
- HELLMAN, C. D. *The comet of 1577: its place in the history of astronomy*. Nova Iorque, Columbia University Press, 1971.
- HUTCHINS, R. M. (Ed.). *Great books of western world: Aristotle*. Chicago, Encyclopaedia Britannica, 1952. 2 v.
- KEPLER, J. *Astronomia nova*. In: CASPAR, M. & VON DYCK, W. (Ed.). *Gesammelte Werke*. Munique, C. H. Bech'sche Verlagsbuchhandlung, 1937. v. 3, p. 5-424.

- KEPLER, J. *Mysterium cosmographicum*. In: CASPAR, M. & von DYCK, W. (Ed.). *Gesammelte Werke*. Munique, C. H. Bech'sche Verlagsbuchhandlung, 1938. v. 1, p. 1-80.
- _____. *Harmonice mundi*. In: CASPAR, M. & von DYCK, W. (Ed.). *Gesammelte Werke*. Munique, C. H. Bech'sche Verlagsbuchhandlung, 1940. v. 6, p. 1-377.
- _____. Correspondência, 1590-1599. In: CASPAR, M. & von DYCK, W. (Ed.). *Gesammelte Werke*. Munique, C. H. Bech'sche Verlagsbuchhandlung, 1951. v. 13.
- _____. Correspondência, 1599-1603. In: CASPAR, M. & von DYCK, W. (Ed.). *Gesammelte Werke*. Munique, C. H. Bech'sche Verlagsbuchhandlung, 1949. v. 14.
- KOESTLER, A. *Os sonâmbulos*. São Paulo, Ibrasa, 1959.
- KOYRÉ, A. *La révolution astronomique*. Paris, Hermann, 1961.
- LERNER, M. P. Le problème de la matière celeste après 1550: aspects de la bataille des cieux fluides. *Revue d'Histoire des Sciences*. 42, 3, p. 255-80, 1989.
- MARTEN, R. *Kepler's philosophy and the new astronomy*. Princeton, Princeton University Press, 2000.
- MATSUURA, O. *Cometas: do mito à ciência*. São Paulo, Icone, 1985.
- MOURÃO, R. R. F. Tycho Brahe e o apoio oficial dos governos à ciência. In: CHATEL, P. *O castelo das estrelas*. São Paulo, Edusp, 1990. p. 7-18. Trabalho introdutório à obra.
- _____. *Dicionário enciclopédico de astronomia e astronáutica*, Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1995.
- _____. *Kepler – a descoberta das leis do movimento planetário*. São Paulo, Odysseus, 2003.
- NORTH, J. D. *Historia Fontana de la astronomía y la cosmología*. México, Fondo de Cultura Económica, 2001.
- PANNEKOEK, A. *A history of astronomy*. Nova Iorque, Dover, 1989.
- SIMON, G. *Kepler, astronome astrologue*. Paris, Gallimard, 1979.
- STEPHENSON, B. *Kepler's physical astronomy*. Princeton, Princeton University Press, 1994.
- THOREN, V. E. The comet of 1577 and Tycho Brahe's system of the world. *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 29, p. 53-67, 1979.
- TOSSATO, C. R. *O processo de elaboração das duas primeiras leis keplerianas dos movimentos planetários*. São Paulo, 1997. Dissertação (Mestrado em Filosofia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- VERDET, J. P. La diffusion de l'héliocentrisme. *Revue d'Histoire des Sciences*. 42, 3, p. 241-53, 1989.
- WESTMAN, R. S. Three responses to the copernican theory: Johannes Praetorius, Tycho Brahe, and Michael Maestlin. In: WESTMAN, R. S. (Ed.). *The copernican achievement*. Los Angeles, University of California, 1975. p. 285-345.
- _____. (Ed.). *The copernican achievement*. Los Angeles, University of California, 1975.
- WILSON, C. Kepler's derivation of elliptical path. *Isis*, 59, p. 5-25, 1958.