



ARTIGOS - ARTICLES

Tycho Brahe e a precisão das observações astronômicas

Claudemir Roque Tossato¹
Professor no Departamento de Filosofia
Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP
toclare@uol.com.br

Como citar este artigo: TOSSATO, Claudemir Roque. “Tycho Brahe e a precisão das observações astronômicas”, *Intelligere, Revista de História Intelectual*, n°13, pp. 92-112. 2022. Disponível em <<http://revistas.usp.br/revistaintelligere>>. Acesso em dd/mm/aaaa-

Resumo: Neste texto apresento os instrumentos de observação astronômica, criados ou aprimorados por Tycho Brahe, e como eles contribuíram para o processo de constituição do copernicanismo. Para tanto, discuto a importância que as observações mais precisas obtidas por Brahe, com o uso de seus instrumentos, teve para Kepler elaborar as suas duas primeiras leis dos movimentos dos planetas. Discuto, também, alguns aspectos sobre a distinção entre conhecimento científico e tecnológico.

Palavras-chave: Brahe. Observações astronômicas. Instrumentos. Kepler.

Tycho Brahe and the precision of astronomical observations

Abstract: In this text I present the astronomical observation instruments, created or perfected by Tycho Brahe, and how they contributed to the process of constitution of Copernicanism. Therefore, I discuss the importance that the more accurate observations obtained by Brahe, with the use of your instruments, had for Kepler to elaborate your first two laws of planetary motions. I discuss, too, some aspects about the distinction between scientific and technological knowledge.

Keywords: Brahe. Astronomical observations. Instruments. Kepler.

¹ Possui graduação, mestrado e doutorado em Filosofia pela Universidade de São Paulo. Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal de São Paulo - campus Guarulhos. Tem experiência na área de Filosofia, com ênfase em Epistemologia, atuando principalmente nos seguintes temas: Kepler, astronomia, anatomia, realismo e hipótese. Link para Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8975233146980191>

Introdução

É muito comum encontrarmos interpretações filosóficas e históricas sobre a revolução astronômica e cosmológica ocorrida nos séculos XVI e XVII privilegiarem substancialmente o caráter do método e as mudanças epistemológicas que essa revolução suscitou². Para essas interpretações, nomes como Copérnico, Kepler, Bacon, Descartes e Newton, para listar os mais importantes, trouxeram elementos que romperam drasticamente com o padrão de entendimento da astronomia e da cosmologia antiga-medieval; romperam tanto com a visão de mundo solidificada em uma metafísica geocêntrica como com a dificuldade de unificação do mundo terrestre com o celeste, expressando essa unidade através da linguagem matematizada. Quanto ao método, é inegável a força na crença de que o sujeito bem aparelhado com regras que conduzam o seu entendimento poderá conhecer ou aproximar-se do conhecimento do objeto, partindo, para tanto, ou de idéias inatas que nada se misturam com o sensível, como defendem os cartesianos, ou será uma tradução próxima da do mundo sensível, catalogando os dados sobre o mundo empírico, como apregoam os baconianos. Em relação à epistemologia, foi sensível a reformulação do papel da experiência bruta, pois, como é o caso de Galileu, as experiências devem ser aprimoradas ou refinadas pela razão: não poderemos compreender uma Terra, nosso centro de observações, em movimento se não “traduzirmos” as nossas experiências, no caso, nossas observações dadas pelos sentidos para o âmbito do conceito. A metodologia e a epistemologia são os pilares do desenvolvimento teórico.

Porém, o que fica em segundo plano para uma grande parte dos comentadores da revolução científica é o papel da técnica, especificamente, no que será discutido neste texto, os dados obtidos através das observações dos corpos celestes e a possibilidade de mapeamento do céu. Não que as observações astronômicas não sejam importantes, todos eles destacam que ela é, mas que perde o brilho, ou fica ofuscada, quando comparada à elaboração teórica. De uma maneira corriqueira, entendida pela maioria das pessoas, é que o conhecimento técnico é subsumido ao conhecimento teórico, ou, de que a técnica é uma parte da ciência, de maneira que o papel da técnica é a de ser ciência aplicada.

² A lista de comentadores que tratam da astronomia e da cosmologia dos séculos XVI a XVIII e que privilegiam as mudanças metodológicas epistemológicas ocorridas é enorme. Apenas para citar alguns dos mais importantes e, também, clássicos, temos Koyré (1974); Westfall (1977); Cohen (1988); Butterfield (1949) e Hall (1954). Uma literatura mais recente e importante é Gaukroger (2006).

A supremacia da teoria, ou seja, da *epistémé* sobre a *techné*, encanta os filósofos, porque, penso, representa o papel do intelecto que constrói teorias, representações abstratas sobre o mundo, como superior ao conhecimento técnico que tem como tarefa elaborar catálogos de dados, informações, muitas vezes um trabalho caótico e mecanizado; o fazer, na grande maioria das vezes, é visto como subalterno ao pensar. Existe sempre a hipótese de que, como somos os “donos do mundo,” devemos ter uma marca que nos distancie dos outros seres habitantes da nossa casa, de maneira que nós, seres dotados de razão, conseguimos pensar e elaborar leis que expressem as regularidades que observamos no mundo e, além deste digno e magnânimo feito, acreditamos que podemos fazer teorias que representem a verdade sobre algo; mas temos um adendo a tal pretensão: a de que não sabemos se o que conhecemos é de fato um conhecimento divino ou pelo menos, verdadeiro. Mas de qualquer maneira, o fato de pensarmos as coisas, persuade-nos de que o fazer as coisas é menos digno do que o pensar as coisas.

Contudo, acredito que as mudanças ocorridas no âmbito da astronomia e da cosmologia nos séculos XVI e XVII são muito dependentes da técnica, de maneira que argumento neste texto que a técnica, no caso, o modo como são obtidas as observações astronômicas, é uma condição necessária para a elaboração teórica, apesar de não ser uma condição suficiente. Defendo que sem o desenvolvimento das técnicas de observação astronômica obtidas por Tycho Brahe, dificilmente teríamos aquilo que foi uma das conquistas mais importante do processo de consolidação da ciência moderna antes da teoria da gravitação newtoniana: as leis de Kepler. Argumento, também, que o trabalho teórico de Kepler foi principalmente o de organização dos dados observacionais de Tycho Brahe em uma teoria dos movimentos planetários, isto é, Kepler foi um astrônomo teórico e não, observacional, e a obtenção dos dados utilizados foi dada pela melhoria dos instrumentos de observação astronômica, algo feito pelo próprio Brahe.

Tendo isto em vista, o objetivo deste texto é a apresentação da relevância que os instrumentos de observação astronômica, tanto os criados como os utilizados e aprimorados por Brahe, teve no processo de constituição do copernicanismo, especificamente com a utilização dos dados de Brahe para a elaboração das leis dos movimentos planetários realizada por Kepler. Para tanto, argumento também que o conhecimento técnico envolvido nos dados observacionais de Brahe tem distinções em relação ao conhecimento de cunho teórico. Assim, na primeira parte deste texto faço uma apresentação não exaustiva, mas apenas suficiente, acerca dos aspectos técnicos envolvidos nas observações astronômicas de Brahe; em seguida, num

segundo momento, discuto que os dados de Brahe foram condições necessárias para Kepler elaborar as suas leis dos movimentos planetários (em especial as duas primeiras) e, finalmente, discuto algumas distinções entre o conhecimento técnico e teórico que podem ser levantadas com as apresentações feitas na primeira e segunda partes deste texto.

O caráter da precisão das observações astronômicas de Brahe

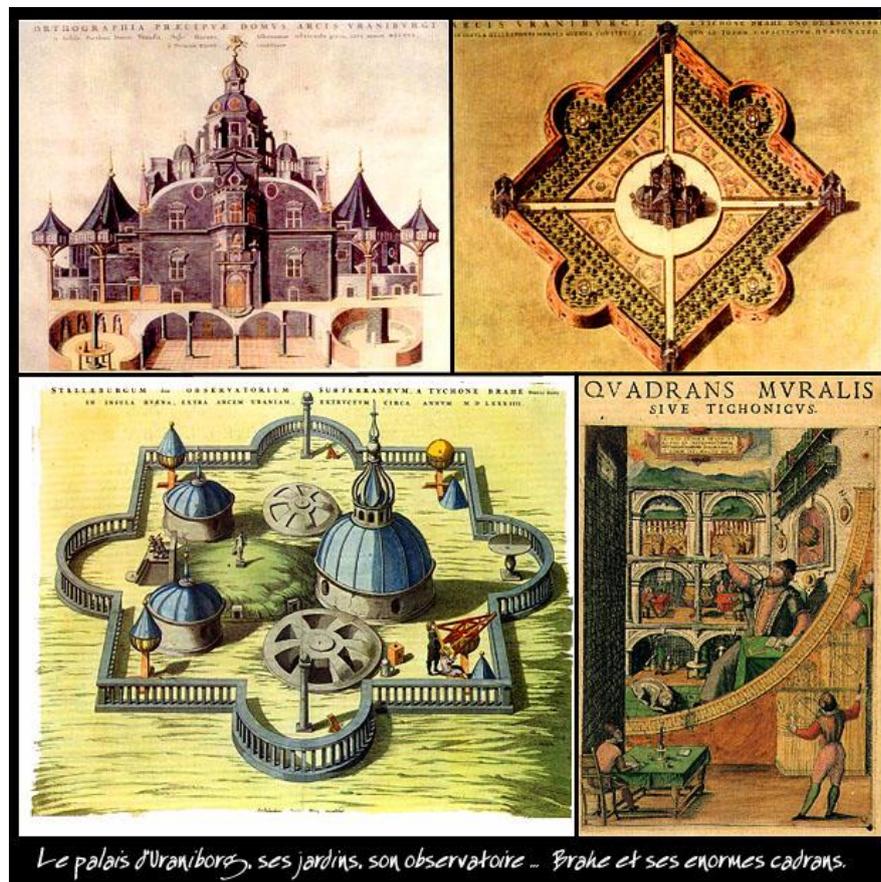
É inegável a importância de Tycho Brahe para a astronomia observacional do final do século XVI e início do XVII. Brahe foi, sem dúvida, o astrônomo que obteve os melhores dados observacionais antes da invenção do telescópio³. Os instrumentos que ele utilizou voltavam-se, basicamente, para detectar as coordenadas dos posicionamentos dos astros: sua altitude, latitude, longitude etc., isto é, tinham como função obter a posição de um determinado astro ao longo de seus movimentos através do Zodíaco. Para obter essas coordenadas com mais precisão, Brahe aliou duas coisas; a primeira, é de cunho “pessoal”, isto é, Brahe foi um grande observador, digamos, um astrônomo observacional extremamente competente; a segunda, que, penso, é a mais importante e da qual falarei um pouco mais, diz respeito aos próprios instrumentos, isto é, Brahe utilizou instrumentos melhores e que, conseqüentemente, produziram medições e coordenadas mais precisas em relação às disponíveis nessa época. Antes de Brahe, obtinha-se uma margem de erro em torno de 10' de grau, após as suas observações, chega-se a 1,5' ou 2' de grau. A astronomia de observação era “rudimentar”, pois tanto a fabricação como a utilização restringiam-se, quando comparadas às inovações de Tycho Brahe, a determinar dados com uma margem grosseira de erros. Os instrumentos de Brahe representam uma parte importante da história da astronomia dos séculos XVI e XVII, pelo ótimo grau de acuracidade que eles produziram. Assim, esse grau de precisão que suas observações astronômicas chegaram foi devido não só pela maestria de Brahe como observador, mas, principalmente aos seus instrumentos de observação astronômica.

Acredito, portanto, que considerar os aspectos técnicos dos instrumentos de Brahe, sejam os relativos às construções, sejam às utilizações, torna-se um ponto fundamental para a compreensão do processo de conhecimento da astronomia e da cosmologia do início do século XVII. Para tanto, é preciso se remeter a Uraniburgo, o famoso observatório de Brahe. Esse observatório representou um dos grandes empreendimentos para a obtenção dos dados astronômicos de Brahe. Uraniburgo não

³ Existem várias obras que tratam da contribuição de Brahe para a astronomia; entre elas, destacamos Chatel (1990); Mourão (1990, 1997) e Thoren (1979, 2007).

foi simplesmente um local para fazer observações celestes, mas um ambiente organizado para obter melhores dados, um observatório planejado tendo em vista a eficiência observacional. Sua origem vem do ano de 1576, quando o rei Frederico II da Dinamarca cede a Brahe a ilha de Hven, atualmente pertencente à Suécia, para Brahe construir o seu observatório. Digno de nota, é o fato de Brahe ter tido amplas condições, sejam administrativas e financeiras, para construir Uraniburgo tal como ele queria. Assim, o observatório foi dotado não só dos instrumentos necessários para observações mais precisas, mas de todo o suporte exigido: ele continha carpintarias, uma pequena metalúrgica, oficinas para reparos, tipografias etc., isto é, uma estrutura voltada não apenas para fazer as observações, mas para reparar e aperfeiçoar os instrumentos utilizados; também Brahe contou com vários assistentes que conduziam as observações, dividindo o trabalho de maneira sistemática (cada assistente ficaria responsável pelas observações e catalogações de um astro), de modo que o trabalho de observação foi organizado, semelhante a uma linha de produção. Em suma, Uraniburgo lembra observatórios e laboratórios de nossa época, com um sistema de administração e de organização próximo ao de empresas modernas.

Figura 1. Uraniburgo



Em Uraniburgo, Brahe construiu os instrumentos da maneira como ele os projetou e como fosse possível tecnicamente em sua época. Isso lhe permitiu aperfeiçoar os instrumentos, principalmente, como foi dito, em relação ao seu tamanho e à sua fixação. A importância disto é que, com tais procedimentos, pode-se intervir de maneira positiva na obtenção de uma maior precisão dos dados observacionais. Por exemplo, Tycho construiu os seus instrumentos com um tamanho maior que o habitual e, também, preocupou-se em fixar os seus instrumentos para diminuir interferências nas informações obtidas, tais como os desvios nos dados que uma mão segurando um instrumento pode ocasionar, ou seja, diminuir os possíveis tremores da mão do observador na hora da realização da sua observação, ou diminuir fatores naturais, como a ação de ventos etc.

Infelizmente, os instrumentos construídos ou aperfeiçoados por Brahe não existem mais. Eles tornaram-se ferro-velho após serem vendidos, pelo genro de Brahe após a morte deste, ao Imperador Rudolfo II de Praga; sem saber o que fazer com eles, o Imperador deixou-os em um galpão aos cuidados do tempo. Tal fato ocorreu porque Brahe, após abandonar Uraniburgo, dirigiu-se para a corte de Rodolfo II, imperador do Sacro Império Romano Germânico, levando consigo tudo que pode, inclusive seus instrumentos. Após a morte de Brahe, em 1601, seu genro, Tengnagel, ficou com os instrumentos como herança, vendendo-os a Rodolfo II.

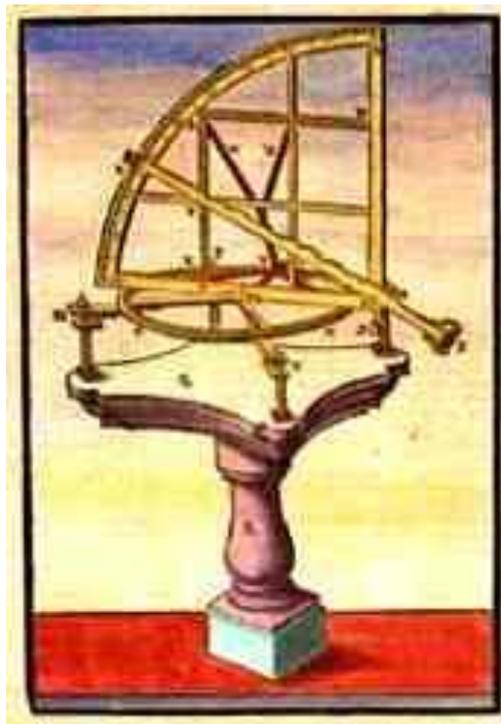
Mas, para nossa sorte, temos um documento que mostra desenhos dos instrumentos e detalhamentos tanto das suas construções como das suas utilizações. Em 1598, Brahe publica a obra *Astronomiae instaurate mechanica (Renovação da astronomia mecânica)*. Nesse trabalho⁴, Brahe apresenta com detalhes os seus instrumentos de observação e como ele os construiu. São vários os instrumentos. Os mais importantes são o quadrante e o sextante, dos quais falarei um pouco mais abaixo. Os instrumentos são: vários tipos de quadrantes e sextantes; grande semicírculo azimutal; instrumentos de paralaxe; esfera armilar, zodiacal e equatorial; arco de duas partes e o grande globo. Tycho fornece ao leitor da obra informações sobre a construção, o material utilizado, e a função de cada instrumento. No final da obra, como apêndice, é apresentada a construção e as funções do observatório, isto é, de Uraniburgo, bem como as considerações topográficas, isto é, a análise geográfica do local que está situado Uraniburgo, a ilha de Hven.

⁴ Não é objetivo deste texto apresentar com detalhes os instrumentos de Brahe, algo que necessitaria de um trabalho mais longo e mais detido. O objetivo é, somente, fazer uma rápida apresentação da importância que os instrumentos de Brahe têm em relação à constituição do conhecimento astronômico no início do século XVII, principalmente para Kepler.

Na *Astronomiae*, Brahe é enfático sobre a necessidade de a astronomia obter melhores posicionamentos dos astros celestes. No prefácio à obra, dedicado ao Imperador Rodolfo II, Brahe comenta os erros grosseiros que a astronomia de posição tinha em sua época e que isto é devido fundamentalmente a erros técnicos provindos das imprecisões dos instrumentos utilizados (BRAHE, 1978, p. 8). Para tanto, Brahe procurou determinar tanto instrumentos mais precisos como criar as condições materiais e de organização para a produção de instrumentos mais eficientes.

Um dos instrumentos mais importantes apresentados por Brahe é o quadrante. Ele é um instrumento de visada conhecido desde a antiguidade; o que Brahe faz é aperfeiçoá-lo. Seu objetivo é determinar a altura de um astro celeste. Constitui-se de um quarto de círculo, dividido em graus. Colocando uma das bordas do quadrante na linha do horizonte, obtém-se o grau de altura do astro. Um fio de prumo indica o ângulo igual à altura do astro sobre o horizonte.

Figura 2 - Quadrante de mural



Como foi dito, os instrumentos de Brahe são conseqüências da estrutura física e organizacional de Uraniburgo, de modo que todo o empreendimento foi planejado com o fim de obter a maior eficiência (precisão) possível. Assim, a própria confecção do instrumento entra em consideração (e, lembremos, Brahe tinha uma pequena metalúrgica a seu dispor), e, especificamente o material a ser utilizado. Diz Brahe o seguinte sobre um dos quadrantes, o pequeno quadrante de bronze dourado:

O quadrante (...) foi construído por nós e ele tem muitos anos; ele não é muito grande e é composto de uma lâmina sólida de bronze de pequena espessura tendo um cotovelo no centro (...). Ele foi amarelado em toda parte por mercúrio artificial e pela ação do ferro, para que ele permaneça mais tempo belo e ornamentado, não sofrendo a ação da sujeira que o bronze traz com a passagem do tempo (BRAHE, 1978, p. 15).

Ou seja, temos tanto uma preocupação estética, mas, também, uma de preservação do instrumento. Brahe também relata a preocupação em construir os instrumentos de maneira a permitir o seu uso da maneira mais fácil e, conseqüentemente, mais eficiente, como ele diz: “Uma tabela foi gravada e ajustada na outra superfície do quadrante para fornecer claramente as divisões e torna mais facilmente apto o seu uso, sem fazer outros cálculos” (BRAHE, 1978, p. 19).

Brahe aperfeiçoa o quadrante colocando uma tabela de graus para facilitar (evitar de fazer cálculos) quando das observações.

Existem vários tipos de quadrantes, descritos por Brahe na *Astronomiae*. Entre eles, o pequeno quadrante, mediano. Cada um tem uma função específica. Por exemplo, quanto ao pequeno quadrante diz Brahe: “A utilização desse quadrante é para avaliar a altura das estrelas e dos astros, quando não se procura uma grande precisão, de maneira que é suficiente conhecer os intervalos entre dois e três minutos” (BRAHE, 1978, p. 17). O pequeno quadrante é um instrumento que tem uma função específica: utilizado para obter as alturas de astros quando não se exige precisão da ordem de segundos, mas de minutos.

Mas o grande feito técnico de Brahe foi o grande quadrante, ou “quadrante de mural”, também denominado de “quadrante de Tycho”. Como escreve Brahe “O emprego desse grande quadrante é para as grandes elevações dos astros pesquisados, quando se tem que ter grande atenção no interior da sexta parte de um minuto” (BRAHE, 1978, p. 33). É um quadrante fixo, que permite melhorar a qualidade (precisão) das observações, pois ao fixar o instrumento, diminuía-se certas interferências que ocorrem quando do uso do instrumento pelas mãos, tais como o próprio movimento que o observador faz inconscientemente ou a ação do vento etc.

A utilização de cada quadrante corresponde, assim, às exigências de precisão. Para obter as corretas alturas dos astros, ou as mais precisas possíveis, emprega-se um determinado tipo de quadrante, de instrumento. Nota-se, portanto, a preocupação de Brahe com a noção de eficiência nas observações.

Outro instrumento é o sextante – instrumento criado pelo próprio Tycho Brahe, que determina as posições dos astros no céu. Contém um arco de 60° com uma alidade (dispositivo mecânico para obter ângulos – afastamentos angulares – através de alinhamentos ópticos), com duas pínulas que apontam o astro, montado sobre uma coluna. Foi utilizado por Brahe principalmente para obter as distâncias dos astros. É interessante o que diz Brahe sobre o sextante:

Darei agora a explicação do sextante astronômico, na medida onde ele é próprio para explorar as distâncias dos astros no céu. Com efeito, porque eu já tinha conhecimento por longa experiência de diversos anos que o Baggete astronômico não é de modo algum suficiente para o ofício de obter a precisão e a certeza, que é o que se procura aqui, inventei, por uma necessidade urgente, certos sextantes de formas variadas que garantiriam exatamente isso (BRAHE, 1978, p. 75).

Quando se exige uma maior precisão, na ordem da casa dos segundos, utiliza-se o sextante:

O seu emprego é feito quando se examina sobretudo as alturas, tanto dos astros quando das estrelas errantes e fixas para medir exatamente entre a terceira e a quarta parte de minuto, desde que eles não excedam a sexta parte do céu (BRAHE, 1978, p. 29).

Entre a terceira e quarta parte do minuto, o grau de precisão torna-se maior, necessitando, assim, um instrumento mais sensível.

Da mesma forma que o quadrante foi aperfeiçoado para obter mais precisão, o sextante foi criado para substituir um instrumento que não determinava graus suficientes de precisão para as observações.

Também é relevante a utilização da esfera armilar. Tal instrumento já era bem conhecido. Ele é uma esfera do mundo, contendo a projeção do equador terrestre (lembrando que na época de Brahe o que prevalecia era a concepção de Terra fixa no centro) e dos planetas e a esfera fixa, de maneira a representar as coordenadas de um determinado astro. Mas Brahe inovou, e construiu a esfera equatorial, de maneira a visualizar com mais precisão os aspectos da projeção do equador da Terra.

Existem outros instrumentos. Mas esses já mostram algo importante para a compreensão da importância dos instrumentos de observação de Tycho.

Os dados de Brahe e a possibilidade de defesa do copernicanismo: os dados de Brahe como fundamento para a elaboração das leis keplerianas

O papel de Tycho Brahe para a astronomia dos séculos XVI e XVII é comumente visto como o do astrônomo que forneceu dados mais precisos para que Johannes Kepler, subsequentemente, elaborasse as leis dos movimentos dos planetas.⁵ Como foi dito, as observações astronômicas feitas por Brahe e a elaboração de Tabelas baseadas nestes dados obtiveram uma melhoria significativa em relação às Tabelas astronômicas anteriores: estas obtinham uma margem de erros em torno de 10' de grau, tanto as elaboradas pelos modelos de Ptolomeu como as baseadas nas hipóteses de Copérnico; com, Brahe, porém, a margem diminuiu para 1,5' de grau e isto, lembrando, realizado antes da invenção do telescópio. Como vimos também, a obtenção desses dados mais precisos foi fruto de um aperfeiçoamento substancial dos instrumentos de observação astronômica utilizados e ou criados por Brahe, tanto no que se refere à construção como à aplicação desses instrumentos. O uso de quadrantes, sextantes, esfera armilar etc. após os aperfeiçoamentos de Brahe foi significativamente promissor na melhoria das informações sobre o mundo supralunar.

Contudo, quando se consideram as três leis de Kepler (lei da órbita elíptica; lei das áreas e lei harmônica), destacam-se fundamentalmente aspectos ligados, por um lado, ao seu pitagorismo, misticismo e religião ou, por outro, à sua dinâmica que abriu espaço para a teoria gravitacional newtoniana. Em linhas gerais, os dados de Brahe apenas complementam os comentários sobre Kepler. Vejamos duas citações sobre Kepler:

Kepler considerou que a natureza elíptica das órbitas planetárias, a qual consideramos como sendo a sua grande descoberta, foi uma consequência necessária da harmonia musical do sistema planetário.

(...) Não deve ser surpresa que Kepler penetrou em regiões fora do campo de pesquisa das ciências naturais. Como já enfatizamos, Kepler não foi um cientista natural típico. A diferença entre seu método harmônico e o método das ciências naturais alicerça-se no fato de Kepler pensar teleologicamente, em vez de pensar as causalidades. Em outras palavras, Kepler não considerou os resultados de uma *causa efficiens*, uma causa ativa, mas tinha em

⁵ Na verdade, a importância de Brahe para Kepler extrapola o fato de Brahe ter-lhe fornecido melhores dados astronômicos; isto foi fundamental, mas algo tão importante, e muitas vezes deixado em segundo lugar, foi a consciência metodológica que Brahe forneceu a Kepler. Não teremos condições de tratar desta questão neste texto, para maiores informações, cf. TOSSATO, 2004. Podemos apenas apontar, agora, que Kepler no *Mysterium cosmographicum* via a astronomia com os olhos de um racionalista, sem se preocupar com a impossibilidade de determinar os efeitos pelas causas; foi a consciência empirista de Brahe que levou Kepler a construir as órbitas elípticas a partir do que as observações astronômicas nos fornecem.

mente uma *causa finalis* dirigida para alguma meta (HAASE, 1975, p. 528).

Kepler não é um “cientista natural típico”, pois ele pensa em termos de finalidades e não, por causalidade. Uma outra citação:

A visão que Kepler nos oferece do mundo é: matemática, pelas suas leis fundamentais sobre a cinemática dos movimentos planetários; escolástica, pela dinâmica que às leis está associada; animista e magnética no sentido de Gilbert, no domínio da explicação física. Ela é alicerçada sobre as harmonias pitagóricas, sobre as paixões e afecções mútuas dos corpos celestes, de acordo com as necessidades da astrologia (DUGAS, 1954, p. 45).

A tônica concentra-se em categorias que nossa mentalidade científica contemporânea – formada inicialmente nos séculos de Kepler – não vê com bons olhos: animismo, harmonias, astrologia etc.

De uma certa maneira, existem muitos aspectos a serem considerados para uma análise, digamos, “justa” para a caracterização do pensamento de um autor, no caso em questão, Kepler. Quando digo “uma análise justa” penso no conjunto de elementos que fazem parte dos meios pelos quais Kepler tratou a astronomia e, talvez, análises centralizadas em noções muito gerais não compreendem todo o seu papel. Também devemos ser justos com as mudanças que os autores passam ao longo do desenvolvimento de seus trabalhos, o que é latente quando analisamos duas obras específicas de Kepler: o *Mysterium cosmographicum*, de 1596 e a *Astronomia nova*, de 1609. A primeira contém esboços da estrutura harmônica do mundo, uma obra de cunho apriorista, isto é, eminentemente metafísica, na qual Kepler adota a famosa estrutura cosmológica, de cunho copernicana) de que as orbitas dos planetas conhecidos (Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno) estão inscritos e circunscritos nos cinco sólidos perfeitos platônicos (octaedro, icosaedro, dodecaedro, tetraedro e cubo), onde Kepler mostra-se um cientista não comum para a nossa época.

Contudo, a situação é diversa na *Astronomia nova*, obra que contém as duas primeiras leis dos movimentos planetários e, talvez tão importante quanto essas leis, nessa obra rompe-se com o axioma platônico de movimentos circulares e uniformes, que gerou uma tradição de expedientes geométricos (excêntricos, deferentes com epiciclos, equantes etc.) para compor as irregularidades constatadas pelas observações astronômicas ao padrão prévio de circularidade e uniformidade. Ora, o que se pretende defender neste texto é que se Brahe não fornecesse a Kepler informações acerca do mundo celeste com mais precisão do que era dado até então, a elaboração das leis dos movimentos planetários e a quebra com o axioma platônico, acredito,

difícilmente poderiam ser obtidas, pois Kepler nunca sairia do apriorismo do *Mysterium cosmographicum* e do seu pitagorismo e platonismo. Isto é significativo, pois normalmente acredita-se que Kepler obteve as suas leis em função da sua crença em aspectos ligados a uma estrutura matemática subjacente ao mundo dos fenômenos, uma expressão do platonismo, fora as interpretações que o vê como um representante da filosofia ocultista, como são apontados nas citações acima. Não se nega que Kepler foi um platônico num certo sentido, mas um platônico mitigado. Um exame detido da sua principal obra, *A astronomia nova*, mostra-nos toda a importância dos dados astronômicos para a elaboração das duas primeiras leis de Kepler; nesta obra, a admissão de uma estrutura matemática subjacente aos fenômenos astronômicos existe, mas tem uma função heurística. De um modo mais direto, com a *Astronomia nova* a metafísica por si só é insuficiente para obter conhecimento sobre o mundo físico, no caso, o mundo celeste; e esta tese encontra-se naquilo que Kepler entende por conhecimento astronômico e do seu tratamento dado às hipóteses em astronomia. Muito da confusão sobre Kepler provém da leitura apenas do *Mysterium cosmographicum*, relegando a leitura da *Astronomia nova* a um segundo plano. Acredito que isto é fruto da “facilidade” e do “encanto” da leitura da primeira em relação à segunda; na primeira, Kepler expõe o que ele procura: encontrar as razões do mundo celeste ser de tal e tal maneira e porque Deus fez o mundo desta maneira; na segunda, é um trabalho de um físico, no qual temos cálculos, tabelas em meio às hipóteses para a descrição do mundo do céu etc. Mas isto não é o assunto deste texto.

O que é importante é que a astronomia kepleriana, quando entendida pela relevância que tem Brahe na formulação da mesma através de dados e métodos mais confiáveis, mostra que o conhecimento humano, pelo menos o conhecimento, digamos, que constrói tabelas astronômicas mais confiáveis, não pode ser obtido partindo somente de especulações metafísicas.

Uma das grandes contribuições da astronomia e cosmologia do período moderno foi no âmbito metodológico. Foi muito sensível a mudança de enfoque dada, principalmente por Kepler e Galileu, para a representação dos movimentos celestes como reais, isto é, não mais como simples representações matemáticas para “salvar as aparências”, ou seja, uma metodologia instrumentalista, mas a representação da realidade dos movimentos, uma metodologia realista. No plano meta-metodológico, o papel fundamental com as leis de Kepler para argumentar a favor da realidade do copernicanismo foi: sem informações mais seguras, não seria possível sair da esfera instrumental e defender o realismo para as teorias cosmológicas e astronômicas. Uma olhadela no plano metodológico da astronomia antes de Kepler

mostra-nos principalmente que o copernicanismo original nada acrescentava à prática, como, por exemplo, para a navegação; a simplicidade que as hipóteses de centralidade do Sol e movimentos da Terra apresentava era geométrica e não, observacional. Contudo, o engenho de Kepler necessitava do copernicanismo, mas sem dados confiáveis, ele não poderia desenvolvê-lo. E por que o copernicanismo tal como foi apresentado pelo cômico não era suficiente para uma defesa realista do mundo celeste?

A esta questão responde-se que a astronomia após o surgimento do copernicanismo original, isto é, após Copérnico apresentar as suas hipóteses distintas do geocentrismo, não tinha condições de fazer qualquer defesa sob o ponto de vista de qual postura era melhor ou pior: tanto o copernicanismo de Copérnico como os modelos de Ptolomeu eram equivalentes observacionalmente, a adequação empírica não entrava na história e isto, penso, foi devido à falta de desenvolvimento das técnicas de observação. A defesa kepleriana do copernicanismo dá-se, inicialmente, no plano cosmológico, tal como é defendido no *Mysterium*. Contudo, tal defesa não seria relevante se ele não descrevesse o que ocorre lá em cima de um modo mais preciso do que feito até então. São as observações astronômicas de Brahe, assim, que conduzem toda a empreitada para a descrição dos movimentos planetários na *Astronomia nova*. Sem problematizar a questão se Kepler tinha ou não boas razões para defender o copernicanismo sob a postura realista, o que ele trouxe permitiu, pelo menos no plano filosófico, a seguinte indagação: as observações de Brahe são condizentes não quando se admite movimentos circulares e uniformes, mas quando se considera que os movimentos produzem órbitas elípticas.

Assim, pode-se afirmar que o processo de constituição de uma nova cosmologia e de uma nova astronomia nos séculos XVI e XVII, inseridas naquilo que é comum denominar de “Revolução científica”, fundamenta-se não apenas no aspecto teórico, como muitas vezes passa-se essa impressão, mas também no desenvolvimento e aperfeiçoamento de novas técnicas e de instrumentos de medição e controle dos objetos de pesquisa; no caso da astronomia, especificamente, instrumentos que determinem as coordenadas dos astros, como a sua posição longitudinal, latitudinal, distâncias entre os astros etc. Desta maneira, as pesquisas no âmbito da técnica tornam-se necessária para uma compreensão do processo de constituição da ciência moderna.

Em outros termos, por detrás dos dados mais precisos utilizados por Kepler para a elaboração da sua teoria acerca dos movimentos planetários, que acarretou nas suas três leis, encontra-se uma grande discussão, e os seus aperfeiçoamento, sobre os modos técnicos para determinar dados ou informações mais precisos, como descrevemos na primeira parte deste texto. De maneira que, sem informações mais precisas, o trabalho teórico feito por Kepler poderia comprometer-se ou nem ser realizado.

A importância da precisão das observações de Brahe pode ser notada na célebre passagem de Kepler escrita na *Astronomia nova*, onde lemos acerca da recusa da sua hipótese vicária – que assume o ponto *equante* ptolomaico e, a partir deste ponto, Kepler procurou conjugar as irregularidades das velocidades dos planetas ao axioma de movimentos circulares e uniformes com o intuito de obter uma representação da forma da órbita de Marte. A utilização dessa hipótese foi a de entender o fato de Marte, realizar movimentos em torno do corpo físico do Sol, variando a sua velocidade em função do aumento ou da diminuição de suas distâncias em relação a esse Sol. O resultado a que Kepler chegou com tal hipótese foi a de que quando Marte estava nos 45° ou 135° de sua trajetória ao redor do Sol, chegava-se à margem de erro de 8' de arco, levando Kepler a abandonar a hipótese para, subsequentemente, chegar à sua segunda lei dos movimentos dos planetas, a lei das áreas. Escreve Kepler sobre a margem de erro obtido pela hipótese vicária:

Mas quanto a nós que pela bondade divina podemos dispor de um observador tão exato como Brahe, convém que reconheçamos essa dádiva divina e a usemos (...) Logo irei para o alvo segundo as minhas próprias ideias, pois se tivesse acreditado podermos 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; torna-se o material de construção de grande parte desta obra (KEPLER, 1937, p. 178).⁶

Oito minutos não era algo indigesto para a astronomia antes de Brahe, era até muito bom, sabendo-se que os erros chegavam à margem de 10 minutos. Contudo, as observações de Brahe alcançavam a casa dos 2 minutos. Ora, se Kepler fosse apenas um platônico ou um adepto da construção das regularidades dos movimentos dos planetas independentemente das informações observacionais, ele se contentaria com a aproximação e mandaria o problema para a frente, lembrando que para um platônico linha dura tanto faz qual a margem de erros, pois os sentidos enganam de qualquer maneira. Mas não me parece que Kepler seja um platônico convicto.

⁶ A reforma da astronomia foi a elaboração das leis dos movimentos planetários.

Apenas para ilustrar a mudança de perspectiva entre o *Mysterium* e a *Astronomia nova*, leiamos o que escreve Kepler em 1596:

E nem duvido afirmar que tudo que Copérnico coligiu *a posteriori* e demonstrou por visão mediante os axiomas da Geometria, para tudo isso, sendo testemunha o próprio Aristóteles, se ainda vivesse (o qual frequentemente afirmava Rético), pode ser demonstrado *a priori* e sem nenhuma ambiguidade (KEPLER, 1938, p. 16).

Sem dúvida, quando comparamos a passagem de 1609 com a de cima, notamos que a importância de Brahe faz-se sentir. A reforma da astronomia deve ser feita, fundamentalmente, pelos dados das observações do mundo celeste.

A importância de dados observacionais mais precisos obrigou Kepler a mudar o seu enfoque teórico. O abandono da hipótese vicária, justamente porque ela não determinou resultados satisfatórios, foi obtido através da pressão posta pelos dados observacionais mais precisos de Brahe. Com isto, tem-se que Kepler não teve um compromisso com elementos não observacionais, como o axioma platônico e sua hipótese vicária, quando os dados de observação de Brahe mostraram que os elementos inobserváveis deveriam ser substituídos por outros. E isto acarretou a elaboração das duas primeiras leis dos movimentos dos planetas na *Astronomia nova*.

Conhecimento técnico e conhecimento teórico

O que está em jogo com os instrumentos e as técnicas de Brahe para melhorar a acuracidade das observações astronômicas de sua época e, subsequentemente, Kepler elaborar as suas duas primeiras leis, é a importância que dados mais precisos de Brahe tiveram para o desenvolvimento da astronomia do período. Uma pergunta que pode ser feita acerca disto é: a obtenção desses dados foi fruto de qual trabalho: técnico ou teórico? A resposta parece-me que tende ao técnico. E esta resposta simples aponta para uma pergunta mais complexa: sendo um trabalho basicamente técnico, como dizer que a obtenção de observações mais precisas expressa uma maneira subsidiária da técnica em relação à teoria? Esse desenvolvimento técnico aponta contra a tese de que a técnica e tecnologia são aplicações da ciência. Há um caráter que distingue o conhecimento epistemológico do tecnológico, apesar de ambos poderem contribuir um com o outro. Para entendermos o papel que as técnicas de observação astronômicas de Brahe teve para o desenvolvimento teórico, faz-se necessário discutir o caráter epistemológico entre o conhecimento científico e o conhecimento técnico, em suma, estamos no âmbito da epistemologia, de modo que a técnica tem um certo estatuto de conhecimento que,

retirando pretensões hierárquicas, apresentam o conhecimento técnico tão relevante como o teórico.

Estudos recentes sobre filosofia da tecnologia apresentam distinções significativas entre o conhecimento de cunho científico e o de cunho tecnológico. Meijers e De Vries (2009), listam 4 distinções epistemológicas entre o conhecimento tecnológico e científico, contrariando a tese de que a tecnologia será apenas ciência aplicada. São elas Coletividade, dependência do contexto, normatividade e conhecimento não proposicional. As duas primeiras nos interessam:

- a) Coletividade; na qual a justificação é dada exclusivamente pela eficiência do artefato: um artefato é aceito pela comunidade tecnológica se ele for eficiente, variando o grau de eficiência conforme o artefato se desenvolve. Conforme escrevem os autores: “Contrastando com o conhecimento natural, os critérios de justificação são puramente sociais, por causa de que no último caso ela está inteiramente no grupo de membros que decidem sobre a verdade (ou eficiência) das crenças; em princípio, não é necessário checar com o mundo externo (natural). Pode mesmo ser o caso que certos membros do grupo estão autorizados a tomar decisões sobre quais crenças devem ser aceitas” (MEIJERS & DE VRIES, 2009, p. 72). Isto é de suma importância, pois altera o aspecto de “crença” próprio das teorias científicas em relação às crenças tecnológicas. No conhecimento científico, as crenças são mais rígidas, isto é, o caráter proposicional, dado pelos valores de verdade, está presente de maneira significativa, seja em abordagens correspondenciais, coerências, pragmáticas etc., enquanto no conhecimento tecnológico a crença na aceitabilidade de um artefato se volta para fatores ligados à sociedade que os utilizará; no limite, não se testa a verdade ou a falsidade de um artefato, mas o quanto ele é eficiente ou não;
- b) Dependência do contexto: existe a crença muito difundida de que o conhecimento científico é descontextualizado (nota), de maneira a servir a qualquer contexto específico; na tecnologia, o artefato depende do contexto de sua aplicação, que variará de acordo com as condições de factibilidade para a sua implementação;

Talvez esses dois pontos auxiliem na compreensão do caráter do conhecimento técnico tratado por Brahe com os seus procedimentos para a obtenção das observações do céu. Obviamente, a época de Brahe não é a nossa e essa abordagem de Meijer e deVries talvez não seja a mais adequada. Contudo, alguns pontos podem esclarecer o caráter técnico das observações de Brahe: primeiro, ter melhores dados observacionais não é necessariamente fruto de uma teoria⁷, mas de aperfeiçoamento dos instrumentos e procedimentos de observação; de maneira que não está em jogo noções como verdade ou falsidade, mas eficiência ou não eficiência; o item (a), acima, *coletividade*, expressa um aspecto importante: os instrumentos de Brahe eram os melhores em sua época, determinando que a comunidade de astrônomos, entre eles Kepler, considerassem as observações de Brahe como as mais corretas e, conseqüentemente, os instrumentos utilizados como os mais eficientes; o item (b), *dependência do contexto*, liga-se ao item (a) como consequência, os instrumentos são contextualizados, isto é, dependentes do grau de conhecimento e de técnicas para a sua elaboração. Sem os recursos que Brahe tinha, não seria possível melhorar a acuracidade das observações.

Os aspectos distintivos apresentados entre o conhecimento científico e tecnológico⁸ parecem-me que apresentam razões para o questionamento da tese de que tecnologia é ciência aplicada. Mas uma outra razão que me será útil neste trabalho é a posta por Kroes, segunda a qual existe uma brecha significativa entre o conhecimento científico e o tecnológico, dada, fundamentalmente, pelas “idealizações” envolvidas no primeiro. Diz Kroes:

Em primeiro lugar, existe em muitos casos um grande espaço entre os resultados da “pura” (ou “fundamental” ou

⁷ Uma objeção possível seria: mas Brahe teve um modelo cosmológico, como Copérnico e Ptolomeu também tiveram e, assim, as questões teóricas, no caso cosmológicas, também aparecem em seus trabalhos. De fato, Brahe elaborou o seu “sistema híbrido”, isto é, um sistema geocêntrico e heliocêntrico ao mesmo tempo. Um modelo com dois centros, sendo um principal e outro dependente deste. O centro do universo é a Terra e, ao seu redor, giram a Lua, o Sol e a esfera das fixas, este é o centro principal; ao redor do sol, giram os planetas conhecidos: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Assim Brahe não é nem ptolomaico e nem copernicano. Mas as suas observações não necessitam deste modelo híbrido. Na verdade, tal modelo foi desenvolvido justamente pelas observações da Nova de 1572 e do cometa de 1577, que colocaram em dúvida o mundo hierarquizado aristotélico, ferindo o geocentrismo e, aliada a falta de crédito de Brahe ao copernicanismo, dada principalmente às objeções físicas contra o movimento da Terra, Brahe elabora o seu modelo alternativo (Cf. BRAHE, 1984; TOSSATO, 2004).

⁸ Um ótimo texto para a discussão sobre o conhecimento científico e o tecnológico é Cupani (2006).

“acadêmica” pesquisa e o tipo de conhecimento necessário para os propósitos tecnológicos (...). A principal razão para a existência dessa brecha entre a natureza abrangente (*wide-ranging-nature*) das teorias científicas (quanto mais uma teoria científica explica, melhor ela é), e o uso difundido de idealizações na ciência (Kroes, 1989, p. 376-7).

Por exemplo, procura-se na ciência, entre várias coisas, o conhecimento universal, tal como a noção de lei científica (mesmo que uma lei sempre tenha motivos para ser refutada, no sentido popperiano, sempre haverá a procura por encontrar leis cada vez mais próximas da universalidade). Por outro lado, o conhecimento tecnológico é mais restrito, isto é, suas ambições não são tão nobres, pois ele está “limitado” para executar uma determinada tarefa, sendo substituído ou abandonado quando sua função se exaurir – acredito que isto é fácil de entender, basta pegar como exemplo as antigas máquinas de escrever; hoje em dia, excetuando alguns românticos e excêntricos que ainda a utilizam, o computador com seus diversos programas de edição de texto relegou a antiga máquina de escrever para os museus; diversos outros artefatos e técnicas também entram como exemplo; quantas profissões, como a de alfaiate, não mais existem ou estão à beira da extinção. Em termos da relação entre conhecimento científico e tecnológico, podemos colocar como exemplo a teoria da gravitação de Newton. Muitas controvérsias filosóficas são frequentemente levantadas: o debate metafísico entre o realismo/antirrealismo; questões de método, como a defesa de Newton de que seu sistema é indutivo e de que ele não faz hipóteses etc.; e, concordo, todas essas discussões são relevantes no discurso filosófico da ciência. Contudo, sabemos que um artefato foi construído na segunda metade do século passado e que conseguiu levar pela primeira vez na história seres humanos à Lua. Acredito que a teoria de Newton foi utilizada para, entre outras coisas, calcular a ação gravitacional da Terra sobre o foguete para que este pudesse vencer essa força e continuar a sua viagem até a Lua. O que esta história, e muitas outras parecidas, podem ensinar? A história mostrou que o foguete funcionou, isto é, enquanto um artefato ele cumpriu sua função; e subjacente a isto estava a teoria de Newton que foi importante para a execução de sua funcionalidade; independentemente de Newton estar certo ou não (que representam os debates filosóficos, e acredito que importantes e necessários, sobre a sua verdade ou realidade), o foguete chegou à Lua, e voltou.

No caso dos instrumentos de Brahe, eles são artefatos, propícios para o trabalho técnico, isto é, suas funções são determinadas para a obtenção do maior grau de eficiência para a época.

Finalizando este texto, é importante destacar que os dados astronômicos mais precisos de Brahe inserem-se numa exigência também de ordem prática e, não apenas, de melhoria das teorias explicativas do universo. Como é destacado por Crosby (1997) a reforma da astronomia é marcada pelas novas necessidades da mentalidade social e econômica dos séculos XVI e XVII, relativas tanto à produção como ao comércio, de modo que se fez necessário um melhor conhecimento dos movimentos dos corpos celestes e do mapeamento do céu voltado para as navegações oceânicas, para determinar rotas seguras e confiáveis. Brahe fez parte dessas exigências de sua época, assim como Ptolomeu, com o *Almagestos*, onde, como escreve Hanson:

Ensaio infrutífero haviam multiplicado as intenções de explicar a maquinaria celeste em grande escala, enquanto os problemas diários dos navegantes, agricultores e sacerdotes ficavam sem resolver. A grande cosmologia aristotélica poderia ter feito os homens se sentirem bem, acalentando as dúvidas sobre os mecanismos dos céus, mas não podia satisfazer o náufrago, encalhado por falta de um mapa celeste. Não podia satisfazer o agricultor, que enfrentava a perda da colheita por ter sido plantada demasiado tarde. Também os cobradores de impostos necessitavam de um calendário para planejar o uso das rendas. Além disso, os sacerdotes não permitiam erros na determinação das épocas de suas festas e cerimônias religiosas: as celebrações do dia da Páscoa deviam cair no dia da Páscoa. Em todas essas questões práticas, os cosmólogos filosóficos, os explicadores, eram de pouca serventia (HANSON, 1985, p. 113).

Ou seja, a cosmologia aristotélica não era adequada para as questões práticas, e a tentativa de Ptolomeu foi a de obter dados mais seguros. O mesmo pode ser aplicado à época de Brahe e de Kepler, com a diferença de que Brahe teve condições de melhorar observacionalmente a astronomia muito mais que Ptolomeu.

Referências

BRAHE, T. **Mécanique de L'astronomie rénovée**. Tradução: Jean Peyroux. Paris: A. Blanchard, 1978

BRAHE, T. **Sur des phénomènes plus récents du monde éthéré. Livre second [des progymnasmata]**. Tradução: Jean Peiroux. Paris, A. Blanchard, 1984.

BUTTERFIELD, H. **The origins of modern science 1300-1800**. London: G. Bell and Sons, 1949.

CHATEL, P. **O castelo das estrelas**. Tradução: José Valter Arcanjo da Ponte. São Paulo: Edusp, 1990.

COHEN, I. B. **O Nascimento de uma nova física**. Tradução: Maria Alice Gomes da Costa. Lisboa: Gradiva, 1988.

CROSBY, A. **A mensuração da realidade, a quantificação e a sociedade ocidental, 1250-1600.** Tradução: Vera Ribeiro. São Paulo: Unesp, 1997.

CUPANI, A. **La peculiaridad del conocimiento tecnológico.** In: *Scientiae Studia*, v. 4, n. 3, 2006, p. 353-71.

DUGAS, R. **La mécanique au XVIIe siècle,** Paris: Éditions du Griffon, 1954.

GAUKROGER, S. **The emergence of a scientific culture.** *Science and the shaping of modernity 1210-1685.* Oxford: Oxford Clarendon Press, 2006.

HAASE, R. “Kepler’s harmonies, between pansophia and mathesis universalis”. In: **Vistas in astronomy**, v. 18, 1975, p. 519-34.

HALL, A. R. **Revolution in Science – 1500-1750.** London: Longman Group Limited, 1954.

HANSON, N. **Constelaciones y conjeturas.** Madrid: Alianza Universidad, 1985.

KEPLER, J. “Astronomia nova”. In: CASPAR, Max; VON DYCK, Walther (Eds.). **Gesammelte Werke.** Munich: C. H. Beck’sche Verlagsbuchhandlung. v. 3, 1937, p. 5-424.

KEPLER, J. “Mysterium cosmographicum”. In: CASPAR, Max; VON DYCK, Walther (Eds.) **Gesammelte Werke.** Munich: C. H. Beck’sche Verlagsbuchhandlung. v. 1, 1938, p. 1-80.

KOYRÉ, A. *La révolution astronomique: Copernic, Kepler, Borelli.* Paris: Hermann, 1974.

KROES, P. “Philosophy of science and technological dimension of science”. In: GAVROGLU, K. *et al.* **Imre Lakatos and theories of scientific change.** Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1989, p. 375-82.

MEIJERS, A.; DE VRIES, M. “Technological Knowledge”. In: OLSEN, J. K. B. *et al.* (Ed.). **Blackwell Companion to philosophy of technology.** Massachusetts: Blackwell Publishers, 2009. p. 70-4.

MOURÃO, R. R. F. “Tycho Brahe e o apoio oficial dos governos à ciência”. In: CHATEL, P. **O castelo das estrelas.** Tradução: José Valter Arcanjo da Ponte. São Paulo, Edusp, 1990, p. 7-18.

MOURÃO, R. R., F. **Dicionário enciclopédico de astronomia e astronáutica.** Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

THOREN, V. “The comet of 1577 and Tycho Brahe’s system of the world”. In: **Archives Internationales d’Histoire des Sciences.** v. 29, 1979, p. 53-67.

THOREN, V. **The lord of Uraniborg. A biography of Tycho Brahe.** Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

TOSSATO, C. R. “Discussão cosmológica e renovação metodológica na carta de 9 de dezembro de 1599 de Brahe a Kepler”. In: **Scientiae Studia.** v. 2, n. 4, 2004, p. 537-65.

WESTFALL, R. **The construction of modern Science, mechanisms and mechanics.** Cambridge: Cambridge University Press, 1977.