



A astronomia e a cosmologia de J. Kepler

Claudemir Roque Tossato

UNIFESP - Brasil
toclare@uol.com.br

Resumo: No início do século dezessete, a astronomia e a cosmologia eram ciências que tinham métodos distintos; à primeira cabia obter principalmente bons posicionamentos planetários e à segunda, modelos explicativos. Isto ocorreu pela admissão incontestável do axioma platônico de movimentos circulares e uniformes. O objetivo deste texto é apresentar os pontos principais envolvidos no processo de reunião, operado por Kepler, entre astronomia e cosmologia, destacando a importância que a ruptura com o axioma platônico representou para essas ciências.

Palavras-chave: Kepler; Cosmologia; Astronomia.

Abstract: In the beginning of seventeenth century, the astronomy and the cosmology were sciences with distinct methods; becoming the first to obtain goods planetary placements, and becoming the second explanation models. This occurred by incontestable admission of platonic axiom of circular and uniform motions. The objective this article is to present of principal points involving in the process of meeting, operated for Kepler, between astronomy and cosmology, detaching the importance that rupture with platonic axiom represented for that sciences.

Keywords: Kepler; Cosmology; Astronomy.

1

1. INTRODUÇÃO

Uma das principais contribuições de Kepler para a história da astronomia bem como para as constituições epistemológicas e metodológicas modernas dessa ciência está na reunião entre a astronomia de predição e a cosmologia explicativa. Desde Platão até a época de Kepler, a astronomia e a cosmologia tratavam dos mesmos objetos (por exemplo, os movimentos planetários), mas sob contextos distintos.

A astronomia procurava os melhores posicionamentos planetários, isto é procurava obter boas predições, mas com pouco conteúdo explicativo, pois pouco ou nenhum

tratamento físico eram considerados. A cosmologia, ao contrário, determinava boas explicações físicas, mas com baixo conteúdo preditivo. A origem desta distinção é o reflexo de problemas nas bases epistemológicas e metodológicas para o tratamento dos movimentos planetários.

Por um lado, tínhamos a cosmologia aristotélica, uma elegante explicação do cosmo sob o ponto de vista físico e mecânico, mas que não obtinha bons resultados práticos, isto é, não determinava bons posicionamentos planetários; por outro lado, tínhamos a astronomia cinemática, cujo maior expoente foi Ptolomeu, que solucionava a falta de bons resultados práticos, contudo pouco considerava as explicações físicas e mecânicas. Essa situação perdurou por muito tempo; tempo suficiente para se considerar que, apesar da distinção apresentada, a sua solução era extremamente complexa, pois, de certa forma, podia-se “costurar” os problemas práticos que surgiam através de modificações principalmente na parte cinemática, na parte referente à astronomia computacional. Em outros termos, a distinção entre predição e explicação assentou-se em bases sólidas que, por muito tempo, conduziram a interpretação de que é correto tratamentos distintos para a astronomia e para a cosmologia.

Em linhas gerais, essa distinção deu-se fundamentalmente pela estipulação do axioma platônico. Fazia parte da mentalidade grega e medieval de que os movimentos dos corpos celestes são perfeitos e, por serem perfeitos, devem ser circulares e uniformes; essa crença alicerçou-se tão firmemente na mentalidade antiga-medieval que ela era considerada como intocável. Apenas com Kepler tivemos a possibilidade de, com a ruptura com o axioma platônico, obter uma astronomia que trata tanto da parte prática (de predição) quanto dos aspectos cosmológicos (de explicação).

2

2. A DISTINÇÃO ENTRE A ASTRONOMIA PTOLOMAICA E A COSMOLOGIA ARISTOTÉLICA

Como foi apontado acima, um dos principais problemas da astronomia grega e medieval, até chegarmos a Kepler, foi posto pela admissão do axioma platônico. Platão lançou aos astrônomos de sua época o desafio de obter a melhor descrição possível para os movimentos dos planetas, mas com a condição de que as órbitas planetárias sejam descritas como circulares e uniformes ou como compostas de circularidade e uniformidade. Isto porque as observações mostram que os planetas apresentam irregularidades que não correspondem a uma órbita circular com movimentos uniformes; isto é, os movimentos planetários não se apresentam, através das observações, nem como circulares, pois notam-se desvios, principalmente pelo movimento de retrogradação (chamada pelos gregos de segunda irregularidade), nem como uniformes, dada pelas variações de brilho dos planetas (chamada de primeira irregularidade). Ao longo da história da astronomia após Platão até Kepler, desenvolveram-se duas tradições para satisfazer as exigências do axioma platônico: uma astronômica, outra cosmológica.

A astronomia matemática de Eudoxo e o desenvolvimento físico dessa, feito por Aristóteles, constituem aquilo que podemos chamar de primeira tentativa de adequar os dados observacionais astronômicos – isto é, a parte prática da astronomia – com as necessidades de explicação física dos céus. Eudoxo desenvolveu a parte matemática dessa maquinaria, encaixando os planetas em esferas concêntricas, enquanto que Aristóteles, descontente com o tratamento eminentemente matemático de Eudoxo, tratou essas esferas sob o contexto físico e real.

Seguindo as exigências de compor os movimentos dos corpos celestes, em especial os movimentos anômalos dos planetas, mediante o círculo e o movimento uniforme, Eudoxo elaborou modelos para cada planeta isoladamente; esses modelos tinham como fundamento esferas concêntricas que, mediante os encaixes de uma a quatro esferas para cada astro ou planeta, procuravam descrever os movimentos e resolver as irregularidades nos movimentos de cada um desses planetas.

Como consequências epistemológicas dessas esferas encaixadas, temos, principalmente, que cada modelo servia para um planeta específico, não se podendo tratar de todos sistematicamente, isto é, os modelos eram funcionais apenas enquanto representação dos movimentos de um planeta isolado. Neste sentido, isso não era nem uma cosmologia e nem uma astronomia, mas um produto imaginário voltado apenas para os objetivos de representar os movimentos dos astros celestes racionalmente, sem se preocupar se as esferas eram reais ou não, como por exemplo, investigar de que matéria elas eram feitas. Para Eudoxo, não havia sentido preocupar-se com o estatuto ontológico das esferas; elas não tinham função cosmológica; sua função era apenas determinar, em meio ao caos visto através das observações dos astros e dos planetas, modelos de inteligibilidade para ordenar o cosmo.

Sendo Eudoxo um matemático, ele viu o cosmo como, podemos dizer, um problema geométrico, no qual teria que resolver, admitindo-se certos princípios, as irregularidades segundo um padrão racional pré-estabelecido. Assim, os movimentos retrógrados e não uniformes dos planetas foram resolvidos por modelos matemáticos, com nenhuma relação com os aspectos físicos dos planetas.

Aristóteles, por outro lado, via o universo de uma forma distinta da de Eudoxo. Se o segundo não considerou a realidade das esferas concêntricas, o primeiro teve a preocupação de dotar essas de realidade. Aristóteles não era um matemático, e pensou o mundo celeste pela sua realidade física. Não haveria sentido algum em compor movimentos mediante centros ou esferas imaginárias, sem respaldo físico. Visto que sua preocupação não era apenas representar satisfatoriamente as anomalias, mas determinar explicações sobre os movimentos celestes, Aristóteles foi obrigado a aumentar o número das esferas de Eudoxo. Enquanto que para Eudoxo vinte e sete esferas eram suficientes para descrever os movimentos do universo, Aristóteles, para poder falar fisicamente dos céus, aumenta esse número para cinquenta e cinco. O aumento no número de esferas foi uma consequência da entrada das discussões físicas nos modelos de esferas e, também, da tentativa de integração dos movimentos em um sistema.

De fato, Aristóteles trata os céus sob o ponto de vista mecânico, entendendo as esferas como materiais, de maneira a termos um sistema em que os movimentos celestes, e em especial o dos planetas, são os resultados da transmissão de contatos de uma esfera à outra. Para fazer tal máquina celeste, Aristóteles desenvolveu a sua cosmologia, mediante princípios físicos que determinaram a estrutura celeste como distinta da terrestre, e isso basicamente por serem os corpos terrestres de natureza distinta dos corpos celestes.

O mundo celeste aristotélico é distinto do mundo terrestre, mas vistos um e outro em conjunto, temos uma estrutura hierarquizada. O principal elemento para a distinção entre esses dois mundos é dado pelo estatuto dos movimentos: no mundo terrestre, o movimento que prevalece é o retilíneo enquanto que no celeste, é o circular. Aristóteles considera que esses movimentos (retilíneos ou circulares) prevalecem de acordo com a noção de “lugares”. Assim, no reino terrestre, temos a ação dos

elementos terra, água, fogo e ar, e os seus compostos, de acordo com as camadas que eles se encontram.

Os quatro elementos funcionam no mundo terrestre e são “guiados” pelo movimento retilíneo; em contrapartida, no mundo celeste – não sujeito às mudanças do mundo terrestre - temos o movimento circular como o movimento anterior, completo e mais perfeito. Assim, o movimento circular é o movimento adequado aos corpos celestes – vistos como corpos divinos. Dessa maneira, Aristóteles, aceitando que o movimento circular e uniforme pertence ao céu, procurou explicar os mecanismos dos movimentos planetários através de esferas concêntricas. Essas esferas tinham como objetivos “salvar as aparências”, no mesmo sentido de Eudoxo, mas, agora, elas têm uma espécie de realidade física, que retira o caráter imaginário das de Eudoxo. Aristóteles fala do céu, suas esferas não são abstrações feitas pelos matemáticos para dar conta de problemas de posicionamentos planetários, mas procuram explicar a problemática desses movimentos.

Aristóteles mudou o enfoque epistemológico que tinham as esferas matemáticas de Eudoxo, e, conseqüentemente, influenciou na metodologia instrumentalista que foi adotada subsequentemente aos trabalhos de Ptolomeu. Aristóteles distinguiu os corpos pelas suas naturezas – os da Terra, por estarem sujeitos à geração e à corrupção, e os celestes, por serem corpos eternos, perfeitos e imutáveis -, o que leva a adotar métodos distintos para cada mundo: para os fenômenos terrestres, é ao físico que devemos nos remeter, pois esse considera os corpos como físicos, procurando entender e explicar como ocorrem as mudanças; por outro lado, os astrônomos devem admitir os princípios físicos dos corpos celestes e restringirem-se a mostrar a melhor ordenação do cosmo, as distâncias entre eles, a previsão de eclipses, conjunções, oposições etc., mas sem discutir acerca da sua constituição física. Sendo assim, a astronomia deve ser uma ciência híbrida: por um lado, aceita os princípios físicos necessários para o estudo dos céus, mas sem investigar, ela mesma, esses princípios (tais como causa, força motriz etc); por outro lado, utiliza-se das matemáticas, particularmente a aritmética e a geometria, para obter as melhores computações possíveis. A visão aristotélica entre mundos distintos determinou uma distinção entre hipóteses matemáticas, utilizadas pelos astrônomos, e explicações físicas (acerca da obtenção das causas), tratadas pelos físicos.

Se a cosmologia aristotélica forneceu uma explicação cosmológica racional, ela se viu, por outro lado, com muitas dificuldades para dar conta de problemas genuinamente astronômicos. Os modelos eudoxianos de esferas encaixadas mostraram-se inadequado para representar as órbitas irregulares dos planetas (principalmente para os seus movimentos retrógrados e as variações nos brilhos dos mesmos, em especial Vênus). As conseqüências eram sentidas principalmente nas necessidades práticas daqueles que se utilizavam dos conhecimentos astronômicos dessa época.

Se os cosmólogos não dão respostas satisfatórias para as necessidades dos homens comuns, então são os matemáticos, pouco interessados nas explicações físicas do universo celeste, que devem entrar novamente em cena. Toda uma tradição, desenvolvida fundamentalmente por Apolônio, Hiparco e Arquimedes, e sintetizada por Ptolomeu, forneceu um arsenal matemático voltado para representar satisfatoriamente os movimentos planetários e determinar, com o menor grau possível de erro, os posicionamentos dos planetas. O resultado dessa atitude foi que os fenômenos celestes, para serem salvos, devem ser vistos não mais sob o prisma de esferas encaixadas, mas como esferas que conduzem os artifícios matemáticos do epiciclo, do deferente do equante etc., que, mediante os seus empregos, forneceram dados astronômicos mais seguros.

Os resultados do uso desses artifícios foram fundamentais para a melhora na astronomia de predição. Obtendo melhores observações, a astronomia pôde diminuir a falta de resultados práticos que a cosmologia e astronomia aristotélica-eudoxiana vinha avolumando.

A prática astronômica foi se desenvolvendo à medida que os artifícios geométricos foram também se desenvolvendo e, cada vez mais, as questões cosmológicas (explicações) foram colocadas em segundo plano. As técnicas do epiciclo com deferente, originariamente criadas por Apolônio, auxiliaram na determinação dos posicionamentos planetários. Essas técnicas aceitaram o axioma platônico – todos os movimentos são circulares e uniformes ou compostos por esses -, e procuraram compor os movimentos mediante a “correção” das desigualdades; assim, esses artifícios visavam corrigir os movimentos anômalos mediante o manuseio dos próprios artifícios. De fato, com o epiciclo e deferente podia-se representar qualquer tipo de órbita, graças à combinação desses com as longitudes, ou em relação à eclíptica etc.; podia-se aumentar ou diminuir o número de epiciclos utilizados para compor a órbita de um determinado planeta, descrevendo os movimentos retrógrados e não uniformes. Visto que os epiciclos podiam mover-se a vontade pelo deferente (bastando para tanto apenas variar as velocidades e distâncias dos planetas no epiciclo em relação ao deferente), qualquer tipo de órbita, com qualquer forma, podia ser representada: podia-se representar uma órbita circular (que era o principal objetivo dos astrônomos), ovalada, triangular, elíptica e até mesmo quadrada. Qualquer princípio que fosse admitido – por exemplo, se o axioma platônico determinasse que as órbitas são quadradas com movimentos uniformes -, seria representado pelas técnicas do epiciclo com deferente.

Paulatinamente, o interesse por explicações foi diminuindo, mas não abandonado de todo, o que implicou em dois programas paralelos de pesquisa: um voltado para a predição, utilizando-se dos princípios físicos necessários do outro, mas sem discutí-los. De fato, Aristóteles já tinha apresentado que o trabalho do astrônomo difere do trabalho do físico; e essa distinção foi se consolidando, entrando nas mentes dos astrônomos como algo “natural” a ser seguido. A astronomia de predição era voltada para a prática – e, assim, pouco interesse cosmológico e explicativo ela tinha; enquanto que os cosmólogos satisfaziam as necessidades intelectuais e culturais para a compreensão do mundo, mas sem se preocuparem com o rigor e a certeza nas predições. Nesse contexto aparece Cláudio Ptolomeu, o melhor e mais importante astrônomo do mundo grego e medieval. Ptolomeu é um exemplo claro do astrônomo voltado para a predição e, ao mesmo tempo, aceita princípios do filósofo natural para a base da sua astronomia eminentemente cinemática. A própria estrutura do *Almagesto*, sua principal obra em astronomia e a que serviu de base para os astrônomos até os trabalhos de Copérnico, é montada para apresentar os princípios físicos (cosmológicos) necessários (como no livro I, e também na sua obra *Hipóteses astronômicas*) para a derivação da sua parte de predição e, depois, no restante de toda a obra (nos outros 12 livros), não entram mais em discussão.

Ptolomeu separou mais ainda a astronomia da cosmologia ao postular o equante. Esse artifício geométrico tinha como principal função determinar ângulos iguais em tempos iguais, isto é, dar conta da primeira desigualdade (a não observação de movimentos uniformes entre arcos de circunferências e seus tempos a serem empregados). O problema maior foi que o equante não fazia mais movimento pelo centro do deferente, mas sobre um centro fictício, isto é, geométrico. Com isso, a astronomia deu mais um passo para a separação com os aspectos explicativos e físicos. Em síntese, a situação gerada pelas necessidades práticas de dotar a astronomia de condições para descrever competentemente os céus foi a de termos

dois tipos de astronomia: uma preditiva, que determinava formalmente os posicionamentos, mas incapaz de erigir qualquer tipo de explicação e, por outro lado, uma astronomia explicativa, uma cosmologia, que procurava explicar o que ocorre nos céus, mas sem condições de prever e descrever adequadamente os movimentos planetários. Tal como escreve Averroes:

É, portanto, necessário que o astrônomo construa um sistema astronômico tal que os movimentos celestes dele resultem e que não implique nenhuma impossibilidade do ponto de vista da física (...) Ptolomeu não conseguiu sustentar a astronomia sobre seus verdadeiros fundamentos (...) o epiciclo e o excêntrico são impossíveis. É, portanto, necessário desenvolver novas pesquisas sobre essa verdadeira astronomia, cujos fundamentos são princípios da física (...) na realidade, a astronomia hoje não existe; ela convém ao cálculo, mas não concorda com aquilo que é. (AVERROES *apud* DUHEM, 1984, p. 27-8).

Tendo isto em vista, podemos entender a importância de Kepler para a reunião entre astronomia e cosmologia, algo que faremos a seguir.

3. KEPLER E A NOVA PROPOSTA COSMOLÓGICA

6

A forma ímpar pela qual Kepler construiu a sua astronomia, seja sob o ponto de vista de seus fundamentos empíricos, epistemológicos e metodológicos, seja pelo forte caráter metafísico presente na mesma, reflete os seus objetivos básicos: o de fornecer à astronomia condições teóricas suficientes para decidir acerca de qual sistema de mundo em disputa na sua época (o ptolomaico, o copernicano ou o brahiano) corresponde de fato à realidade do mundo celeste e, ao mesmo tempo, fornecer amplas condições para, através dessa tomada de decisão sobre qual é o verdadeiro sistema de mundo, melhorar a parte prática da astronomia, elaborando tabelas de posicionamentos planetários com graus de precisão mais acentuados. Na verdade, esses objetivos procuraram dar conta da distinção entre a astronomia preditiva de Ptolomeu com a cosmologia explicativa de Aristóteles.

Historicamente, podemos dizer que Kepler foi o primeiro astrônomo a fornecer um modelo astronômico que eliminou a controvérsia entre ptolomaicos e aristotélicos, propondo novos caminhos para a astronomia de sua época. E isso não por assumir uma posição em detrimento de outra, mas por modificar radicalmente tanto a cosmologia e a astronomia, implicando num abandono, senão completo pelo menos considerável, tanto da cosmologia aristotélica como da astronomia ptolomaica. Kepler instaurou uma cosmologia que permite, por um lado, ser explicativa, ao trazer para discussão questões fundamentalmente físicas e dinâmicas e, por outro lado, ela é também a base para a elaboração de previsões mais satisfatórias que as obtidas pela tradição.

O peso histórico de Kepler para a astronomia encontra-se, com toda certeza, na quebra com o axioma platônico.¹ A ruptura com esse padrão regulador das hipóteses

¹ Não trataremos do processo de elaboração das leis de Kepler e a

relativas aos movimentos planetários foi algo que podemos considerar como tanto necessário para a fundamentação da astronomia moderna, quanto o foram as hipóteses heliocêntricas para essa mesma fundamentação. Neste sentido, podemos entender as contribuições keplerianas para a história da astronomia não apenas no que concerne às suas leis dos movimentos planetários; mais do que isso, a sua importância alicerça-se na ruptura com o axioma platônico e, como fruto dessa quebra, no abandono de uma série de questões que eram próprias da antiga constituição da imagem do mundo celeste – representadas principalmente pela controvérsia entre a astronomia ptolomaica e a cosmologia aristotélica – e para a consideração de novos problemas e questões. Após Kepler, podemos dizer que a astronomia abandonou a procura de resolução de vários problemas, bem como deixou de ser-lhe útil muitos métodos de trabalho, pois já não tinha mais sentido procurar epiciclos, movimentos a partir do equante etc., quanto se tem em mãos uma teoria dos movimentos planetários, representada pelas três leis de Kepler, que fornece posicionamentos mais precisos e determina, ao mesmo tempo, um modelo explicativo, mesmo que errôneo, sobre as causas físicas desses movimentos. Por outro lado, com Kepler a astronomia pôde tratar de questões que antes não tinham sentido ou não eram relevantes.

Kepler sempre foi consciente de que a astronomia tinha que modificar radicalmente a sua forma de obter conhecimentos. Para esse astrônomo, as idéias ou as noções que eram utilizadas para expressar a astronomia eram deficientes, pois a representavam como um ser animado, um organismo divino, de maneira que seria até um sacrilégio querer erigir discursos sobre o universo celeste, um mundo considerado tão perfeito; para Kepler essa idéia sobre a astronomia era-lhe negativa, pois impedia uma representação mais condizente com a procura das causas e das suas possíveis leis. Em 10 de fevereiro de 1605, antes de publicar a *Astronomia nova*, em 1609, que o transformaram num dos fundadores da astronomia moderna, Kepler escreve a Hohenburg, relatando alguns dos progressos que teve em relação aos seus estudos sobre o planeta Marte; mas o que é mais notório nessa carta é a imagem que Kepler faz da astronomia, algo não muito convencional nesse período. Segundo ele:

Estou escrevendo os meus comentários sobre os movimentos do planeta Marte (...) Explico todos os meus esforços, para que melhor se conste de como cheguei primeiramente a esses caminhos. Indago muito sobre as causas físicas. A minha impressão é de que a máquina celeste [*caelestem machinam*] não é como um animal divino [*divini animalis*], mas como um relógio [*sed instar horologii*], no qual todas as variedades de movimentos se explicam por uma simplíssima força magnética corporal. Igual a um relógio em que todos os movimentos se formam via um peso simplíssimo. E ensino que a razão pode ser chamada de física por números e geometria. (...) Tycho negou os orbes: e agora ensino como é o novo modo de se entender os movimentos dos planetas sem orbes, e como se chegar às excentricidades. (KEPLER, 1951 [1604-1607], p. 146)

A citação é muito reveladora. O universo é visto como uma “máquina celeste”, que pode ser vista em analogia com o funcionamento de um relógio, de forma a representar os movimentos via a ação de uma força corporal e, além, disso, expressar os movimentos mediante os números e relações da geometria. Por trás dessa visão

quebra com o axioma platônico, algo que extrapolaria os nossos propósitos neste texto. Para maiores informações, conferir Koyré, 1961, Dreyer, 1953 e Tossato, 1997.

do universo como uma máquina, esconde-se o projeto que pôde trazer para a astronomia as condições para ser tanto uma ciência preditiva quanto uma ciência que procura obter explicações físicas sobre os movimentos planetários.

O universo celeste entendido analogamente ao funcionamento de um artefato como um relógio, é considerar duas coisas: a) as suas partes podem ser decompostas de modo a sabermos como elas funcionam isoladamente e, também, em relação à máquina toda; num relógio nós temos peças, engrenagens que mantêm um funcionamento para que a peça toda, o próprio relógio, marque as horas; por outro lado, os planetas e o Sol podem ser vistos como “peças” em que, de acordo com o funcionamento de cada uma em relação às outras (um planeta qualquer em relação aos outros planetas), temos o funcionamento do todo, isto é, do universo kepleriano; b) sendo o universo uma máquina idêntica ao relógio, nos podemos conhecer e descrever as suas partes em relação ao todo; em outros termos, o universo celeste pode ser conhecido pelo agente cognoscente. Longe de ser apenas um objeto de contemplação, o intelecto humano pode analisar e compreender o seu funcionamento. Apesar de Kepler abandonar a analogia com o relógio mecânico por forças centrais, o espírito da analogia se manteve.

Mas o que interessa neste texto é que Kepler une astronomia e cosmologia, ou predição e explicação, num único corpo teórico com as suas três leis dos movimentos planetários. As leis keplerianas têm como principais constituintes os conceitos de força e harmonia, que, em conjunto, permitem entender o modelo mecânico de Kepler.

O conceito de harmonia garante à astronomia, segundo Kepler, condições necessárias para podermos matematizar a parte física do mundo celeste. Utilizando-se do espaço sugerido pelas hipóteses copernicanas, isto é a organização cósmica na qual a Terra movimentava-se, tal como fazem os outros planetas, em torno do Sol, temos a idéia de unidade e sistematicidade, isto é, temos os meios para podermos representar matematicamente as relações reais que ocorrem entre os planetas entre si e com o Sol, pois, como o copernicanismo expressa os movimentos em conjunto – e daí a utilização do termo “sistema”, distinto dos modelos próprios para cada planeta em Ptolomeu - podemos integrar numa unidade todo o sistema. A partir disso, a astronomia pode expressar as relações que ocorrem entre os planetas entre si e o Sol (velocidade, distâncias, tempos de percurso) de uma forma harmônica, isto é, pode expressar leis sobre essas relações.

O conceito de força, por seu turno, garante que os movimentos são guiado por causas físicas e dinâmicas, isto é, forças representam a substituição de esferas sólidas encaixadas, de fluídos, de epiciclos e deferentes etc.; as forças centrais propostas por Kepler limpam o terreno, podemos dizer; não são as postulações aristotélicas fundamentadas em lugares naturais, em predominância do círculo, que entram em consideração na astronomia e cosmologia, mas a ação motriz do Sol nos planetas, que os leva a perfazerem as relações (velocidades, distâncias e tempos) entre os planetas.

Kepler, distintamente dos astrônomos e cosmólogos que o antecederam, desvinculou-se, ao longo das suas investigações, do axioma platônico. Não o vendo mais como um axioma, mas como uma hipótese, pôde determinar novas condições para a astronomia: essa pode falar do mundo físico (pois é a investigação que irá determinar a forma da órbita e as suas relações), e, ao mesmo tempo, determinar, através dessas investigações físicas, meios para se obter melhores posicionamentos planetários.

Assim, temos um universo em que tanto a astronomia na sua parte descritiva (de predição), quanto na sua parte física (cosmologia) podem ser integradas mediante harmonia e forças corporais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DREYER, John Louis Emil. *A history of astronomy from Thales to Kepler*. New York: Dover Publications, 1953.

DUHEM, Pierre. *Salvar os fenômenos, ensaios sobre a noção de teoria física de Platão a Galileu*, Cadernos de História e Filosofia da Ciência. Campinas: CLE/Unicamp, 1984.

KEPLER, Johannes. Correspondência, 1604 – 1607. In: CASPAR, Max. et al. (Ed.). *Johannes Kepler Gesammelte Werke*, Munich: C. H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, 1951, XV. P. 5-568.

KOYRÉ, Alexandre. *La révolution astronomique*. Paris: Hermann, 1961.

TOSSATO, Claudemir Roque. *O processo de elaboração das duas primeiras leis keplerianas dos movimentos planetários*. Dissertação (Mestrado em Filosofia) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.

