

Hipóteses na teoria solar de Ptolomeu

Resumo

Uma importante questão na história da astronomia é aquela que indaga sobre a relação entre as hipóteses ptolomaicas, modelos geométricos através dos quais era possível prever os movimentos dos astros errantes, a Lua, o Sol e os planetas, e as teses cosmológicas sustentadas por Ptolomeu, essencialmente aristotélicas e constituídas em termos de esferas cristalinas, brevemente expostas no primeiro livro do *Almagesto*. No presente artigo, investigamos em que medida pode-se de fato estabelecer tal relação em se tratando da teoria ptolomaica do Sol, tema do terceiro livro do *Almagesto*. Procuramos mostrar que Ptolomeu não deve ser anacronicamente qualificado como instrumentalista, mas que, ao contrário, considerações relativas à natureza dos céus são relevantes na determinação da hipótese selecionada para descrever o movimento anual do Sol.

Palavras-chave: Ptolomeu, hipótese, astronomia, *Almagesto*, teorema de Apolônio.

Abstract

A central question in the history of astronomy is the possibility of establishing a relationship between Ptolemaic hypotheses, the geometrical models that enabled the prediction of the positions of the Sun, the Moon, and the five planets, and the cosmological theses held by Ptolemy, essentially Aristotelian and briefly presented in the First Book of the *Almagest*. This article investigates to what extent such relation can be made as regards the theory of the Sun, theme of the Third Book of the *Almagest*. It is shown that Ptolemy should not be anachronistically understood as an instrumentalist, and that considerations relative to the nature of the heavens are relevant for the selection of the hypothesis representing the Sun's annual motion.

Keywords: Ptolemy, hypothesis, astronomy, *Almagest*, Apollonius' theorem.

¹ Bolsista FAPESP de pós-doutorado na Universidade Estadual de Campinas.

As hipóteses da astronomia de Ptolomeu são modelos matemáticos que permitem a construção de tabelas capazes de fornecer, com razoável precisão,² as posições dos astros na esfera celeste em qualquer tempo, passado ou futuro. Esses modelos são constituídos de círculos ou combinações de círculos, cujos parâmetros são extraídos das observações. Devido às complexidades observadas nos movimentos aparentes dos astros, os modelos que reproduzem esses movimentos, se interpretados como expressando o arranjo real das esferas da cosmologia aristotélica, entram em conflito com algumas teses centrais sustentadas por Aristóteles no *De Caelo*.³ Em primeiro lugar, os movimentos dos astros não podem ser acuradamente reproduzidos utilizando-se somente círculos concêntricos com a Terra. A duração desigual das estações do ano, por exemplo, exige que o movimento do Sol seja reproduzido por uma hipótese que expresse a variação aparente de velocidade do astro em seu percurso anual, e uma tal hipótese, como veremos a seguir, exige a introdução de um centro distinto do centro da Terra. No caso dos movimentos da Lua e dos planetas o problema se agrava, pois esses corpos exibem outras variações em seus movimentos aparentes, as quais exigem a introdução de novos círculos ou novas hipóteses como o equante, que entra em conflito com a tese da cosmologia aristotélica segundo a qual os movimentos na região celeste são uniformes.

O problema do conflito entre as hipóteses da astronomia ptolomaica e as teses cosmológicas aristotélicas que o próprio Ptolomeu defende no primeiro livro do *Almagesto* e nas *Hipóteses dos planetas* já chamou a atenção de astrônomos árabes nos séculos IX e X,⁴ e durante o Renascimento foi mobilizado tanto por defensores do copernicanismo, como Kepler, que desejava apontar as dificuldades inerentes à cosmologia geocêntrica tradicional, quanto por intérpretes como Andreas Osiander, que defendiam que os modelos planetários no interior do sistema de Copérnico fossem tomados como instrumentos de cálculo que, embora convenientes, estariam desprovidos de qualquer pretensão de expressar o arranjo real dos astros no céu.

No presente artigo procuraremos verificar, no terceiro livro do *Almagesto*, em que medida considerações de ordem física ou cosmológica orientam Ptolomeu

2 A precisão das hipóteses ptolomaicas, da ordem de 10' de arco ou 1/3 do diâmetro da Lua, era compatível com a precisão das observações disponíveis à época. Somente com a criação de novos aparelhos por Tycho Brahe (1546-1601) fez-se necessária a concepção de uma astronomia de posição mais precisa, tarefa que coube a Kepler (1571 -1630) executar.

3 Em particular, na física de Aristóteles o movimento circular uniforme em torno da Terra é o movimento natural dos corpos celestes, e seria difícil explicar os movimentos excêntricos e epíclicos, bem como as variações de velocidade expressas pelo equante. Cf. Aristóteles, *De caelo*, 268b27-269b17.

4 Cf. Hoskin 1999: 59-62.

na seleção da hipótese que deverá representar o movimento do Sol. Esse esforço justifica-se porque se faz necessário superar a leitura que qualifica Ptolomeu como um astrônomo instrumentalista, e interpreta as hipóteses do *Almagesto* como algoritmos inteiramente dissociados da realidade física dos céus. Defendemos que, ao menos no caso da teoria do Sol, o texto ptolomaico revela um interessante contato entre hipóteses geométricas e o movimento real do astro no céu.

Tomadas em conjunto, as passagens que analisamos tratam da relação entre as aparências, os modelos matemáticos que as descrevem e a estrutura real do céu. A ciência grega ocupa-se, em grande medida, de encontrar os princípios duradouros que existem sob as aparências cambiantes.⁵ Esses princípios, no caso dos movimentos dos corpos celestes, dividem-se em dois grandes grupos, dependendo de como o problema é abordado. De um ponto de vista cosmológico ou físico, busca-se pelas *causas* desses movimentos, explicados por Aristóteles através do sistema de esferas cristalinas dispostas ao redor da Terra. As esferas aristotélicas no entanto não provêm um método para a determinação das posições precisas dos astros. Os círculos de Ptolomeu constituem excelentes modelos computacionais, mas entram em conflito com algumas premissas centrais para a explicação aristotélica dos movimentos, que de resto são defendidas, em linhas gerais, no próprio *Almagesto*, Livro I. Trata-se, então, de investigar, no texto ptolomaico, em que medida o projeto de reproduzir os movimentos aparentemente complexos dos astros a partir de combinações de círculos não estaria associado a uma tentativa de se representar geometricamente os mecanismos reais responsáveis por esses movimentos.

Círculos e esferas

É comum lermos, em textos gerais de história da ciência, que a astronomia anterior a Kepler seria uma disciplina puramente matemática, destinada a “salvar as aparências” para empregar a expressão de Pierre Duhem, e em larga medida independente das explicações causais para os fenômenos celestes em termos das esferas cristalinas da cosmologia aristotélica. De acordo com essa visão, os círculos da astronomia ptolomaica seriam dispositivos de cálculo e não teriam nenhuma pretensão de corresponder, em qualquer nível, à realidade física dos céus. Arthur Koestler, por exemplo, escreve em *Os sonâmbulos* (*The sleepwalkers*, traduzido para o português como *O homem e o universo*):

5 Cf.. Crombie 1994: 277.

Há algo de profundamente desagradável no Universo de Ptolomeu. Trata-se do trabalho de um pedante com muita paciência e pouquíssima originalidade, de um minucioso amontoado de modelos. [...] O astrônomo “salvava” os fenômenos quando conseguia imaginar uma hipótese que resolvesse os movimentos irregulares dos planetas ao longo de órbitas irregularmente formadas em movimentos regulares ao longo de órbitas circulares, pouco importando que a hipótese fosse verdadeira ou não, isto é, que fosse fisicamente possível ou não.⁶

Essa passagem, ainda que revele uma visão ingênua da história da astronomia, logra sugerir uma questão interessante: se esses movimentos regulares, a partir dos quais são reproduzidos na astronomia ptolomaica os movimentos aparentes dos planetas, não passam de entidades puramente abstratas, de onde surge a exigência de simplicidade, expressa pelo axioma segundo o qual os movimentos celestes devem ser “reproduzidos por movimentos circulares uniformes”?⁷ Da possibilidade de se submeter a um tratamento matemático os movimentos assim especificados? Da tradição? Ou também, ao menos em alguma medida, de considerações sobre a natureza dos céus?

Há autores que consideram os círculos da astronomia ptolomaica como expedientes de cálculo, que não mantêm senão uma tênue relação com as esferas cristalinas da cosmologia. Dreyer (1852-1926), editor das obras completas de Tycho Brahe, afirma, em sua clássica história da astronomia, originalmente publicada em 1906:

A partir de várias afirmações, não apenas do próprio Ptolomeu, mas também de seus comentadores, fica claro que os numerosos círculos eram por eles considerados meramente como um meio conveniente de se calcular as posições dos planetas, e, na realidade, o sistema é bastante análogo ao desenvolvimento em uma série de senos ou co-senos de múltiplos da anomalia média.⁸

De acordo com essa visão, os círculos das hipóteses ptolomaicas seriam semelhantes aos termos de uma série de Fourier,⁹ constituindo um método de

6 Koestler 1989: 39-43.

7 Ptolomeu, *Almagest*, 140. Utilizamos a tradução para o inglês de G. J. Toomer indicada na bibliografia, cotejando com o texto grego da edição de Heiberg.

8 Dreyer 1953: 201.

9 O matemático francês Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) desenvolveu um método para lidar com funções periódicas complexas, decompondo-as em uma somatória de funções oscilatórias simples, como senos e co-senos.

cálculo inteiramente dissociado da real disposição dos astros. Segundo esses dois intérpretes, ao definir o trabalho do astrônomo como o ato de “mostrar que todos os movimentos celestes são obtidos através de movimentos circulares e uniformes”,¹⁰ Ptolomeu estaria unicamente preocupado com a construção de modelos geométricos que permitissem a determinação de posições planetárias, e não haveria aqui qualquer conexão com a tese ontológica segundo a qual “o céu é esférico e move-se esfericamente”.¹¹

Estudos mais recentes evitam filiar-se a esse tipo de interpretação. Michael Hoskin escreve sobre o equante:

Sem dúvida, Ptolomeu estava preparado para empregar um mecanismo que violava um princípio vigente há séculos, segundo o qual os movimentos celestes são uniformes, porque ele estava *mais preocupado* com precisão e conveniência matemática do que com questões de verdade. Ainda assim, o tempo haveria de mostrar que Ptolomeu criou um sério ponto de tensão filosófica, que perturbou muitos astrônomos islâmicos e se tornou tema recorrente de debate nas universidades medievais do Ocidente.¹²

Hoskin abre espaço para algum contato entre cosmologia e astronomia de posição, e admite que exista aí um interessante problema filosófico. James Evans é mais enfático:

A evidência histórica a favor da visão instrumentalista provém em parte do antigo debate sobre excêntricos e epiciclos, e em parte de uma má leitura de filósofos e astrônomos gregos, como Geminus, que discutiu a relação entre astronomia e pensamento físico. [...] A visão instrumentalista simplesmente não se sustenta diante da evidência.¹³

Veremos na seção seguinte que, segundo Evans, a exigência de simplicidade que deve ser satisfeita pelas hipóteses ptolomaicas sustenta-se em teses relativas à natureza dos céus. A visão instrumentalista é por ele rejeitada como um equívoco. Essa mudança de perspectiva, aqui traçada muito brevemente, reflete a tendência crescente de se interpretarem os círculos da astronomia de posição ptolomaica como expressão dos movimentos reais das esferas, ainda que estes movimentos não estejam rigorosamente de acordo com a cosmologia de Aristóteles. Não é possível inferir que não existe nenhum contato entre os dois níveis teóricos simplesmente a

10 Ptolomeu, *op. cit.*, 140.

11 Ptolomeu, *op. cit.*, 8.

12 Hoskin 1999: 42-43. Grifo meu.

13 Evans 1998: 217-18.

partir da dificuldade de adaptação das hipóteses ptolomaicas às explicações causais da cosmologia, e faz-se necessário examinar o que o próprio Ptolomeu tem a dizer.

Procuraremos a seguir mostrar que, ao menos no terceiro livro do *Almagesto*, onde se afigura o problema clássico da equivalência entre as hipóteses do círculo excêntrico e do concêntrico associado a um epiciclo, a determinação da hipótese a ser utilizada depende também de considerações físicas, relativas à estrutura real dos céus e aos movimentos reais dos corpos celestes.

O caminho do Sol

Na astronomia de posição ptolomaica, movimentos circulares são combinados de maneira a reproduzir os movimentos aparentes do Sol, da Lua e dos planetas. Considerando as hipóteses em detalhe, pode-se notar que esses movimentos não são concêntricos com a Terra, como prevê a cosmologia aristotélica das esferas homocêntricas, nem são todos uniformes, mas exibem complexidades que levantam dúvidas quanto à sua compatibilidade com as teses cosmológicas sustentadas por Ptolomeu.

No caso da teoria ptolomaica do Sol, atribuída a Hiparco,¹⁴ é preciso levar em conta alguns fatos observados: em primeiro lugar, o Sol descreve, assim como as estrelas fixas, a Lua e os cinco planetas, aquele que na Antiguidade convencionou-se chamar de *primeiro movimento*, a rotação dos céus completada a cada período de vinte e quatro horas no sentido Leste-Oeste. Além disso, observa-se que, em seu curso anual, o Sol sucessivamente afasta-se e aproxima-se do equador celeste,¹⁵ de modo que seu percurso¹⁶ é um círculo inclinado com relação a ele. Até aqui, ainda é possível representar o movimento aparente do Sol como um movimento circular e uniforme. Contudo, se o círculo anualmente descrito pelo Sol for dividido em quatro partes iguais, observar-se-á que o astro permanece em cada quarto por um intervalo de tempo diferente, fenômeno conhecido como a duração desigual das estações do ano. Caso o Sol simplesmente percorresse, com velocidade constante, um círculo cujo centro coincidissem com o centro da Terra, as durações das estações do ano seriam rigorosamente iguais, ou seja, o tempo gasto pelo Sol para percorrer cada arco de 90° da esfera celeste seria o mesmo.

14 Cf. Ptolomeu, *op. cit.*, 153.

15 O equador celeste é a projeção do equador terrestre na esfera celeste.

16 O círculo anualmente descrito pelo Sol é denominado eclíptica.

Assim, há na teoria do Sol uma complicação adicional, imposta pela observação de que as quatro estações do ano não duram um mesmo número de dias, e que exige que o seu modelo ou hipótese afaste-se da concepção estrita de um círculo concêntrico com a Terra. Ptolomeu aponta para duas possibilidades para se reproduzir este fenômeno: o círculo excêntrico $\gamma\zeta\theta\delta$ é disposto em torno de um centro β ligeiramente afastado da Terra em α , sendo que a distância $\alpha\beta$ é denominada excentricidade. No modelo equivalente do concêntrico associado a um epiciclo, há um movimento no círculo menor em torno do centro vazio B, que por sua vez move-se no círculo concêntrico BBBB ao redor da Terra. Combinados, esses dois movimentos produzem um percurso CFHD idêntico ao excêntrico ao seu lado.

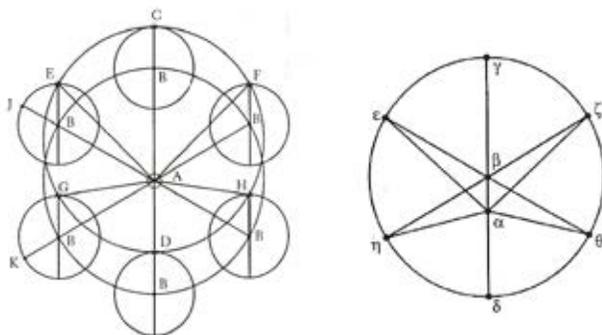


Figura 1. Teorema de Apolônio: os dois modelos são equivalentes desde que sejam satisfeitas as seguintes condições geométricas: o raio do excêntrico $\gamma\beta$ deve ser igual ao raio do deferente AB, o raio do epiciclo BC deve ser igual à excentricidade do excêntrico $\beta\alpha$ e a linha das apsides do excêntrico $\gamma\delta$ deve sempre permanecer paralela à linha que liga o planeta ao centro do epiciclo (CB, FB, etc.). Figura extraída de Kepler, *New astronomy*, 123.

Se o nosso objetivo é encontrar o caminho que leva das duas proposições contidas na afirmação “o céu é esférico e move-se esfericamente”¹⁷ ao preceito metodológico que atribui ao astrônomo a tarefa de “mostrar que todos os movimentos celestes são obtidos através de movimentos circulares e uniformes”,¹⁸ então interessa compreender o que exatamente Ptolomeu entende por *simples* ($\alpha\pi\lambda\omicron\upsilon\sigma\tau\acute{\epsilon}\rho\alpha$) quando, no *Almagesto*, escolhe o excêntrico em detrimento do epiciclo para representar o movimento do Sol:

17 Ptolomeu, *op. cit.*: 38.

18 Ptolomeu, *op. cit.*: 140.

E, certamente, [a anomalia do Sol] poderia ser produzida (αποτελειοθαι) por cada uma (εχατέρας) das hipóteses descritas acima [...]. No entanto, pareceria mais razoável (ευλογώτερον) associá-la à hipótese do excêntrico do que ao epí ciclo, já que ele é mais simples (απλουστέρα) e é completado (συντελουμένη) por um só movimento (κινήσεων) e não dois.¹⁹

Essa passagem é aduzida por Evans como indicação de que Ptolomeu, mesmo ao formular seus modelos computacionais, tinha em mente a física celeste aristotélica das esferas cristalinas. Evans argumenta que a simplicidade a que Ptolomeu refere-se aqui não pode ser matemática, pois deste ponto de vista os dois modelos são, de acordo com o teorema de Apolônio, equivalentes, isto é, produzem as mesmas posições aparentes do Sol. Seria possível, no entanto, objetar que, embora os dois modelos produzam o mesmo movimento aparente, a hipótese epicíclica é geometricamente mais complexa porque envolve dois círculos ao invés de um.

Podemos responder a essa objeção notando que, se a hipótese epicíclica é constituída por dois círculos, dois centros, dois movimentos circulares, a hipótese excêntrica também é construída em torno de dois centros, a Terra, em α , de onde são feitas as observações, e o centro β do círculo sobre o qual o Sol move-se com velocidade uniforme. Geometricamente, o excêntrico não é muito mais simples do que o epí ciclo porque, nos dois modelos, a simetria do movimento circular é rompida com a introdução da linha das apsides (CD no primeiro modelo e $\gamma\delta$ no segundo), necessária em virtude do fato empírico de que o Sol percorre os quatro quadrantes do céu em tempos ligeiramente diferentes. Interpretado fisicamente, porém, o modelo do excêntrico é de fato mais simples, porque nele é percorrido um e apenas um movimento circular, enquanto no modelo epicíclico há dois movimentos circulares combinados.

O critério de simplicidade que deve ser satisfeito pelas hipóteses da astronomia é limitado apenas pelas observações. Para uma dada variação de velocidade aparente, compete ao astrônomo encontrar a descrição mais simples possível:

E em geral (όλως), consideramos um bom princípio demonstrar/produzir (αποδειχύνειν) os fenômenos segundo (προσέχειν) as hipóteses mais simples (απλουστέρων), desde que nada haja nas observações que proporcione uma forte objeção (αντιπίπτειν) a tal procedimento.²⁰

19 Ptolomeu, *op. cit.*: 153.

20 Ptolomeu, *op. cit.*: 136.

Aqui novamente deparamo-nos com o mesmo problema. Seria essa exigência de simplicidade a que se refere Ptolomeu motivada pela tese ontológica de que os movimentos naturais dos astros são simples, ou apenas pela necessidade prática de se elaborar modelos suficientemente simples para fins de cálculo? A favor da tese de que considerações ontológicas orientam a escolha de modelos matemáticos no *Almagesto*, podemos mobilizar uma outra passagem deste terceiro livro, onde, no contexto da determinação precisa do comprimento do ano, Ptolomeu esclarece que devem ser empregadas como referência não as estrelas fixas, mas a distância ao equador celeste, círculo definido pelo primeiro movimento, a revolução diária comum a todos os astros que hoje atribuímos ao movimento de rotação da Terra:

Os únicos pontos que podemos considerar como pontos de partida adequados para a revolução do Sol são aqueles definidos pelos equinócios e solstícios naquele círculo. Pois, se considerarmos (επιβαλλωμεν) o assunto matematicamente (μαθηματικως), não encontraremos outra maneira apropriada para definir uma revolução senão aquilo que traz de volta o Sol a uma mesma posição relativa, tanto no espaço quanto no tempo, seja ele relacionado ao horizonte [local], ao meridiano, ou ao comprimento do dia e da noite; e os únicos pontos de partida na eclíptica que podemos encontrar são justamente aqueles definidos como solstícios e equinócios. Mas se, em vez disso, considerarmos apropriado aquilo que é mais natural (φυσιχώτερόν), nada encontraremos que possa ser mais razoavelmente considerado uma revolução do que aquilo que retorna o Sol a uma condição atmosférica similar e à mesma estação [do ano]; e os únicos pontos de partida que se poderia encontrar [para essa revolução] são aqueles que se constituem nos principais meios de distinguir as estações umas das outras [i.e., os pontos solsticiais e equinociais]²¹

Notemos que φυσιχώτερόν, nesta passagem, não significa “esferas cristalinas”, mas refere-se aos efeitos na Terra da passagem do Sol, em especial a sucessão das estações do ano. Assim, de um lado, o ano é o período de revolução que entra como parâmetro em um modelo geométrico, mas, de outro, é um ciclo onde se completa não apenas a passagem do Sol pela eclíptica, seu caminho no céu, mas a passagem das estações e dos ciclos da agricultura. Algo concreto, portanto, que os modelos devem refletir. Aqui, em particular, constatamos que a determinação de parâmetros geométricos de uma hipótese pode ser diretamente influenciada por considerações relativas aos movimentos reais dos astros e, no caso do Sol, às consequências desses movimentos reais sobre a atmosfera da Terra.

21 Ptolomeu, *op. cit.*: 132.

Podemos ir mais além, investigando o que Ptolomeu tem a dizer, ainda neste capítulo dedicado ao movimento do Sol, sobre a tarefa do [astrônomo] matemático:

Agora, com respeito à determinação das posições do Sol e dos outros [corpos celestes] para qualquer tempo dado, para a conveniente disposição da qual, e como que seguindo um padrão, a construção de tabelas individuais é projetada (εχαστα): nós pensamos que o objetivo do matemático deve ser mostrar que todos os movimentos celestes são completados (αποτελούμενα) por meio de movimentos circulares e uniformes (ομαλων), e que a forma de tabela mais apropriada e adequada a essa tarefa é aquela que separa (χωρίζουσαν) os movimentos individuais uniformes do movimento não-uniforme [anomalístico] que [apenas] parece (δοχούσης) ter lugar, e é devido a modelos circulares; os lugares aparentes dos corpos são então mostrados pela combinação desses dois movimentos em um.²²

O extrato acima ilumina a relação entre aparência, hipóteses matemáticas e realidade física na astronomia de Ptolomeu. As tabelas devem possibilitar a determinação das posições aparentes dos astros, e ao astrônomo cabe mostrar que “os movimentos celestes são completados (αποτελούμενα) por meio de movimentos circulares e uniformes”. Ptolomeu descreve aqui o funcionamento básico de suas hipóteses astronômicas na descrição de fenômenos: trata-se, em um primeiro momento, de representar o movimento de um dado astro como um movimento circular simples e uniforme, seu movimento médio. Em seguida, determina-se experimentalmente a diferença entre este movimento médio e o deslocamento observado, diferença que é tradicionalmente denominada anomalia. As anomalias são pequenos ângulos que devem ser somados ou subtraídos às posições calculadas segundo a primeira aproximação e são, por sua vez, representadas por círculos ou por alterações nos modelos circulares precedentes. O que está em questão aqui é a possibilidade de se associar um conteúdo ontológico a esses diversos círculos que representam os movimentos médios e as anomalias. A afirmação que diz serem as irregularidades ou anomalias apenas aparentes, resultantes da combinação de movimentos circulares, parece-nos de fato indicar que Ptolomeu associa algum conteúdo ontológico aos círculos de sua astronomia. Em vista dessa passagem, não nos parece possível ler a exigência de simplicidade que apontamos senão como a expressão, nos modelos matemáticos, da realidade física que eles representam.

22 Ptolomeu, *op. cit.*: 140.

Conclusão

O *Almagesto* reinou incontestemente por mil e quinhentos anos como tratado avançado de astronomia. É certo que a teoria planetária de Ptolomeu envolve complexidades, exigidas pelas observações, que tornam difícil a sua assimilação à física celeste de Aristóteles, mas essas dificuldades não provam por si mesmas que os modelos ou hipóteses do *Almagesto* seriam apenas instrumentos de cálculo. Loparic criticou a aplicação da dicotomia instrumentalismo/realismo aos autores da Revolução Científica.²³ Sustentamos aqui que ela certamente não se aplica ao projeto de Ptolomeu. Herdeiro de Aristóteles, Ptolomeu construiu suas hipóteses tendo em mente um céu estruturado em esferas cristalinas, e se, de um lado, é impossível estabelecer uma simetria perfeita entre essa física e as hipóteses ptolomaicas, também não é verdade que estas últimas tenham sido concebidas à margem de toda e qualquer especulação física.

Referências bibliográficas

- Aristóteles. *De caelo*. Ross, W.D. (trad.). Oxford: Clarendon Press, 1966.
- Crombie, A. C. *Styles of scientific thinking in the European tradition*, vol. 1. Londres: Duckworth, 1994.
- Dreyer, J. L. E. *A history of astronomy from Thales to Kepler*. Nova Iorque: Dover, 1953.
- Evans, J. *The history and practice of ancient astronomy*. Oxford: University Press, 1998.
- Hoskin, M. *The Cambridge concise history of astronomy*. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- Kepler, J. *New astronomy*. W.H. Donahue (trad.). Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- Koestler, A. *O homem e o universo*. São Paulo: IBRASA, 1989.

²³ Loparic, 1980: 53.

Loparic, Z. “Andreas Osiander: Prefácio ao ‘De revolutionibus orbiumm coelestium de Copérnico’”. In: *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, 1: 44-61, 1980.

Ptolomeu. *Almagest*. G.J. Toomer (trad.). Princeton: Princeton University Press, 1998.