

AS CAUSAS PROPORCIONAIS DOS MOVIMENTOS

Pedro Henrique Ciucci da Silva
PUC-SP
pedrociucci@yahoo.com.br

Resumo

O presente trabalho trata de como Kepler utiliza-se da Revolução Copernicana para mostrar a sua legitimidade à frente da teoria geocêntrica. O Resumo (Epítome) da Astronomia Copernicana é uma das mais maduras obras de Kepler, traz uma investigação completa não só da defesa do copernicanismo, mas da negação que Kepler faz do infinito. Kepler foi quem trouxe de forma genuína a Revolução Copernicana para a discussão da assim chamada “Revolução Científica”. Até então, a obra de Copérnico, Revolução das Orbes Celestes, não teve uma dinâmica esperada, aliás foi deixada de lado por alguns anos, somente com Kepler tal obra começou a ter uma investigação esperada. O astrônomo olha tal Revolução e avança na investigação sobre o heliocentrismo.

Palavras-chave: Revolução Copernicana. Heliocentrismo. Assimilação. Geometria. Astronomia.

Abstract

This work aiming for deeper investigation into the vision of the Kepler Copernican Revolution, introducing the acceptance of Copernican Revolution, and finally translate the first time the Epitome for Portuguese and show how Kepler looks such a revolution and advances in research on heliocentrismo. The Copernican Revolution was not accepted at the beginning of its publication, there have been several attempts to erase it, but it was with great effort that such a course proposal gained perspective. Kepler in his book Epitome shows his acceptance of the Revolution Copernican in the book IV shows how geometric models have as their development heliocentric calculations, or more complex model starting from the dodecahedron the simplest model for the circle, but leaves no theology to explain how the astronomical composition.

Keywords: Copernican Revolution. Heliocentrism. Assimilation. Geometry. Astronomy.

Após a publicação e assimilação do *De Revolutionibus* de Nicolau Copérnico a astronomia tornou-se uma arma poderosa contra a proposta geocêntrica, ou seja, a quebra deste paradigma era inevitável. À primeira vista os estudos das teorias copernicanas não foram aceitas, pois eram absurdamente complexas, porém, algumas décadas posteriores, o grande teórico e matemático Thomas Digges começou a disseminar tais teorias, as quais atingiram apenas pequenos grupos de estudiosos, entre eles estava o jovem astrônomo alemão Johannes Kepler, que começou a estudá-las profundamente.

Muitos astrônomos não tinham a certeza desta nova matemática, com isto, vários astrônomos não a utilizavam para centralizar tanto a órbita da Terra quanto os cálculos de suas tabelas. Mas a sua vitória foi tranquila e gradual, à medida que o discurso fora ganhando terreno tornou-se tumultuoso, pois já não estava mais no espaço astronômico, mas teológico.

Para a maioria daqueles que não estavam preocupados com o estudo pormenorizado dos movimentos celestes, a grande inovação de Copérnico parecia absurda e ímpia. Mesmo quando compreendidas, as vangloriadas harmonias não pareciam evidentes. A sua compreensão começou de forma lenta, mas poucos aqueles que não eram astrônomos não reconheciam a inovação copernicana, ou até mesmo a colocavam com mais uma obra de aberração astronômica.

A grande aceitação da obra de Copérnico foi sendo aceita através de alguns poemas (vide p. 205 e 206, da obra de T. Kuhn - *A revolução copernicana*), era a partir dos poetas e divulgadores, mais do que dos astrônomos, que a maioria das pessoas dos séculos XVI e XVII, tal como hoje, aprendiam sobre o universo.

A crítica em cima do copernicanismo não ficou somente com os católicos, mas com os protestantes, entre eles Malanchthon, o qual colocou em seus textos algumas passagens bíblicas (Eclesiastes 1:4-5), onde mostra que a Terra tem a sua permanência é que o Sol nasce e se opõe. Finalmente sugere que se apliquem medidas severas para impedir a impiedade dos copernicanos. Estas foram algumas armas contra a tese copernicana, em 1616 o *De Revolutionibus* foi colocado no índice (lista de livros proibidos pela Igreja), através disso os católicos foram proibidos de ensinar ou até mesmo de ler doutrinas copernicanas, exceto as versões emendadas em que se omitiam todas as referências a Terra móvel e ao Sol central.

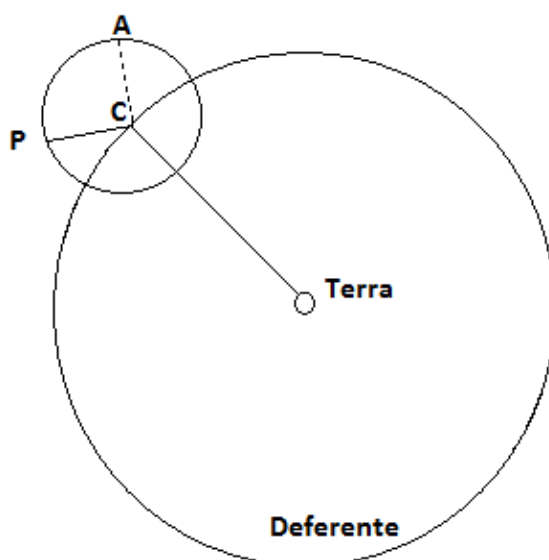
Uma pergunta surge quando entramos na interpretação de Kepler na revolução copernicana, o que exatamente atraiu Kepler com tamanha força ao universo

copernicano? O que exatamente Kepler utiliza da teoria copernicana, já que o sistema copernicano não era um sistema verdadeiramente heliocêntrico, e sim um sistema, por assim dizer, vacuocêntrico.

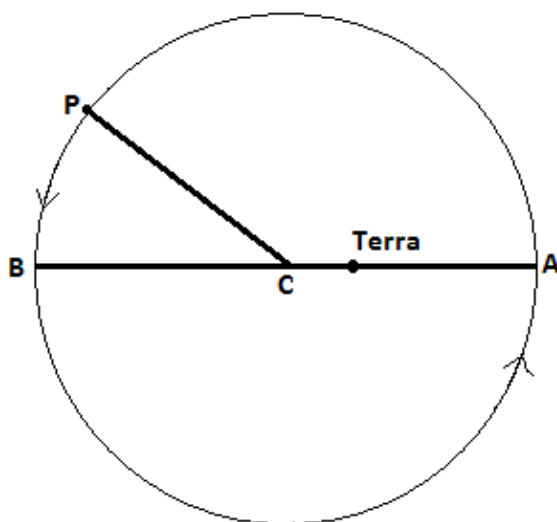
Kepler explica de forma bastante diversa em vários trechos essas razões físicas ou metafísicas, mas a essência delas é que o sol deve estar no centro do mundo, por ser símbolo de Deus Pai, fonte de luz e calor, gerador da força que move os planetas nas órbitas, e por ser o universo heliocêntrico geometricamente mais simples e satisfatório. Parecem quatro razões diferentes, mas forma um conjunto único, indivisível no espírito de Kepler, uma nova síntese pitagórica de misticismo e ciência.

O sistema copernicano de universo tinha certas vantagens sobre ao sistema ptolomaico, ou seja, existiam três pontos de circuitos. Epiciclo: a trajetória de um planeta era imaginada em uma composição de movimentos: o do planeta ao redor do centro de um primeiro círculo menor: o epiciclo, que por sua vez realizavam movimento ao redor de um círculo maior: o deferente em cuja aborda se deslocava o centro do epiciclo. Na astronomia ptolomaica, o deferente tinha como centro a Terra, na astronomia copernicana o centro do deferente passou a ser ocupado pelo Sol. Estes dois movimentos circulares uniformes davam origem a uma curva particular: a epicloide. Nessa curva descrita pelo planeta, as partes mais afastadas do centro do deferente eram, aparentemente, percorridas no sentido inverso ao movimento de revolução descrito pelo centro do epiciclo sobre a borda do deferente. Assim explicava-se a retrogradação aparente do movimento planetário e porque, nessas regiões mais afastadas da epicloide, o planeta tornava-se menos luminoso.

O segundo circuito chama-se Excêntrico. O planeta percorreria um circuito cujo centro geométrico não mais se encontrava na terra. A distância entre esse centro



geométrico e o centro da Terra definiu o chamado valor da excentricidade. Com sentidos e velocidades bem determinados, a composição dos movimentos do epiciclo e do deferente pode ser resumida em um círculo: o excêntrico, cujo centro foi simplesmente deslocado. O excêntrico foi o modelo geométrico preferido por Copérnico.



O terceiro circuito era chamado de ponto Equante. Era assim chamado a partir do qual os antigos astrônomos imaginavam que o movimento de um planeta permaneceria uniforme. De fato, embora em parte de suas órbitas os planetas parecessem deslocar-se mais rapidamente e em outras mais lentamente, os astrônomos acreditavam que seu movimento seria uniforme se visto desde o Equante. Para Ptolomeu a distância do Equante (E) ao centro geométrico do círculo C (o deferente) equivalia à distância deste centro da Terra (T). Ou seja, a distância EC era igual à distância CT.

Segundo Copérnico, a Terra possuía três movimentos circulares: uma rotação ao redor do seu eixo¹, um movimento orbital anual ao redor do Sol² e um movimento cônico anual descrito por seu eixo à medida que a Terra gira ao redor do Sol e sobre si

¹ Rotação.

² Translação.

mesma, devido ao fato que esse eixo não é perpendicular a elíptica³, mas em inclinado em cerca de 23º graus.

A rotação do oeste para o leste, completada diariamente em 23 horas e 56 minutos, explicaria os círculos diurnos aparentes traçados pelo Sol, pela Lua e pelos planetas. Já as aparentes mudanças de posição das estrelas ao longo do ano, que pela hipótese de Ptolomeu resultavam de movimentos da esfera em relação à Terra fixa, seriam explicadas pela translação da Terra sob a esfera das estrelas fixas.

Esse é o segundo movimento, a translação orbital anual da Terra, pelo qual nosso planeta gira ao redor do Sol, descolando-se de oeste para o leste e completando uma volta em um ano. O terceiro movimento da Terra o cônico refere-se ao desenho traçado pelo eixo inclinado da Terra que, alternadamente aproxima e afastam os dois hemisférios do Sol, provocando assim as estações do ano.

A grande inovação de Copérnico refere-se à solução do problema do movimento aparente dos planetas. No sistema ptolomaico, a ilusão da retrogradação planetária é explicada com a hipótese de que o planeta se deslocaria em epiciclo ao longo de seu deferente ao redor da Terra, hipoteticamente fixado no centro do Universo. Os movimentos aparentes descritos pelos planetas resultariam da composição entre esses dois deslocamentos circulares (um epiciclo num deferente). No sistema de Copérnico o movimento retrogrado, assim como o movimento aparente do Sol ao redor da Terra.

Copérnico entendeu que Ptolomeu tivera de lançar mão de recursos dos epiciclos excêntricos e equantes por desconhecer ou não aceitar que as aparentes irregularidades das movimentações planetárias eram causadas pelo movimento da Terra.

De fato, se um observador terrestre se imagina imóvel, é obrigado a atribuir aos planetas toda a responsabilidade pela estranha dança que observa nos céus.

Pela tese copernicana, os planetas observados da Terra se apresentam quase sempre em progressão (movimento para frente), e só retrocedem aparentemente quando a Terra, em seu movimento orbital anual, mais rápido, os ultrapassa, caso dos planetas exteriores (Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Netuno e Plutão), ou quando é ultrapassado pelos que orbitam mais velozmente, caso dos planetas interiores (Mercúrio e Vênus).

³ Trajetória da Terra.

Assim, o sistema de Copérnico mostrou-se notavelmente mais simples. Para explicar as retrogradações e as variações de tempo necessário para completar uma volta nas eclípticas planetárias, os astrônomos antigos tiveram de usar epiciclos e deferentes em grande número. O sistema ptolomaico precisava de pelo menos doze círculos um para o Sol, outro para a Lua e dois para cada um dos cinco planetas, para uma descrição minimamente plausível do que ocorria no céu.

Copérnico descrevia os mesmos fenômenos com apenas sete círculos: seis deles centrados no Sol, um para cada planeta: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno, e um sétimo centrado na Terra, para a Lua.

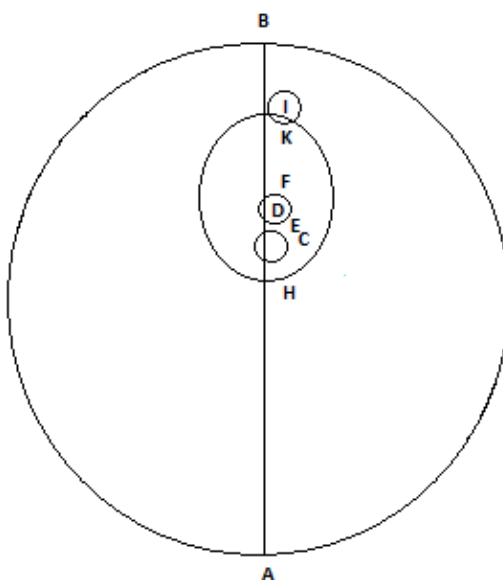
Para explicar as variações da velocidade com a qual o Sol se desloca através da faixa zodiacal, durante o inverno, Copérnico imaginou uma órbita excêntrica para a Terra, ou seja, fez a Terra descrever um círculo ao redor de um ponto hipotético que, por sua vez, revolucionava lentamente ao redor do Sol. Em outras palavras, o sistema de Copérnico não é um sistema heliocêntrico puro, pois os planetas não giram exatamente ao redor do Sol, mas ao redor de um ponto heliocêntrico.

É nessa época que surge o movimento filosófico e crítico conhecido como Escolástica, que adapta a reencontrada investigação aristotélica da natureza às crenças religiosas medievais. Uma das ciências redescobertas é a antiga astronomia. Com efeito, no século XI, em Toledo na Espanha Islâmica, são traduzidas do árabe para o latim, as primeiras tabelas astronômicas. No século XII é a vez do curriculum das universidades. São os mesmos textos estudados, no final do século XV, por Copérnico.

Através desse diálogo, Kepler toma como ponto fundamental os cálculos copernicanos. Estes cálculos eram de extrema importância para o seu modelo, ou seja, Kepler utiliza dos epiciclos proposto por Copérnico, pois a sua observação feita sobre Marte foi fundamental.

Para termos uma melhor compreensão sobre o modelo copernicano, temos que recorrer ao seu livro *De Revolutionibus*. Copérnico mostra em toda a sua obra novos modelos de observações, antes as revoluções propostas, por Ptolomeu, davam-se através da suposta movimentação do Sol, com Copérnico, as revoluções dos planetas são feitas através da Terra.

Tomemos como exemplo o planeta Mercúrio⁴. De fato que Copérnico faz com todos os planetas, tais demonstrações, pois fica claro que a demonstração a seguir esta para todos os planetas.



Existem nesta demonstração dois pontos; o primeiro trata-se da investigação de Ptolomeu; a segunda a de Copérnico, mais completa e com esta observação que Kepler toma como base na sua estrutura astronômica.

Primeira demonstração; A e B é a órbita da Terra, C é o centro, tendo como seu diâmetro ABC. Tendo em ABC, o ponto D, entre os pontos B e C, como centro, e tendo um terço de CD por raio, com isto, descrevemos um pequeno círculo, CF, de modo que a maior distância do centro C seja F, e em E a mínima. Com o centro em F, descreva-se HI como excêntrico exterior de Mercúrio, e seja ela HI. Tomando assim I, a ápside superior, como centro, juntemos-lhe outro epiciclo, atravessando pelo planeta HI, um círculo excêntrico em um outro círculo excêntrico, funciona como um epiciclo num círculo excêntrico. Tal demonstração fora aceita até Copérnico, mas encontrava-se em um ponto que a sua revolução não tinha o efeito heliocêntrico, ou seja, a sua movimentação dava-se fora do ponto C.

⁴ Cap. XXV, pg. 535.

Colocaremos Mercúrio no ponto K, com isto, a distância do ponto KF de F torna-se mínima, o centro do círculo que move o epiciclo. Seja este K o início das revoluções de Mercúrio. Imaginemos que o centro F execute duas revoluções, enquanto a Terra execute uma, e na mesma direção, isto é, para oeste. A mesma velocidade aplica-se também ao planeta em KI, mas para cima e para baixo, sobre o diâmetro e em relação ao centro do círculo HI. Com isto, resulta que quando a Terra está em A ou B, o centro do excêntrico exterior de Mercúrio está em F que é a sua distância máxima ao ponto C. Mas quando a Terra está a caminho, entre A e B, a distância de um quadrante deles, o centro do círculo excêntrico de Mercúrio está em E, a posição mais próxima de C. De acordo com estes fatos, o esquema é oposto ao de Venus.

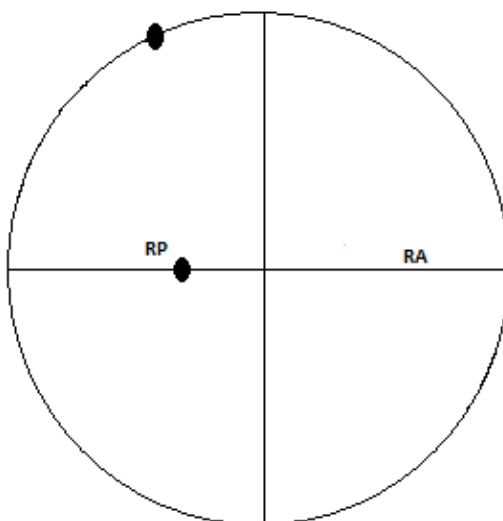
Além disso, como resultado desta regra, enquanto Mercúrio atravessa o diâmetro do epiciclo KL, ocupa a posição mais próxima do centro do círculo que move o epiciclo, isto é, está em K, quando a Terra atravessa o diâmetro AB. Quando a Terra, nos dois lados, encontra-se em posições a meio caminho, entre A e B o planeta chega a L, sua distância máxima, ao centro do círculo que move o epiciclo. Deste modo, ocorrem duas revoluções duplas proporcionais ao período anual da Terra, iguais entre si, a do centro do círculo excêntrico na circunferência do círculo pequeno, EF, e a do planeta no diâmetro, LK. O epiciclo ou linha, FI, move-se de forma uniforme, com o seu próprio movimento, à volta do círculo HI e do seu centro, em cerca de 88 dias, completando uma revolução independente da esfera das estrelas fixas.

Esta demonstração acima foi feita por Copérnico observando Mercúrio, mas é um modelo válido para todo sistema astronômico, mas foi o planeta Marte que Kepler, teve como base para suas leis.

Quando Kepler começou trabalhar com Tycho, teve oportunidade de estudar a órbita de Marte. De fato que, Kepler tendo uma influência da revolução copernicana, utilizou os cálculos em mãos e os cálculos de Copérnico. Os cálculos de Copérnico não eram perfeitos, mas eram melhores do que os antigos.

Os cálculos copernicanos estavam fundamentados em pontos em que as revoluções particulares dos planetas davam-se através do novo modelo proposto do heliocentrismo. A revolução de Mercúrio demonstrada acima fica claro a proposta, mas existe uma dúvida, como dava-se o movimento da Terra, ou seja, mesmo Copérnico ter proposto as revoluções dos planetas, não conseguiu provar de forma precisa o movimento terrestre.

Kepler deu uma nova vida a teoria copernicana, mesmo com alguns problemas de cálculos, era uma teoria interessante e revolucionária. Tomemos como exemplo revolução de Mercúrio, como vimos Mercúrio faz a sua revolução em um novo ponto do qual tem como foco o Sol, pois Mercúrio esta mais perto do foco, com isto, a sua revolução é de certa forma mais rápida do que a da Terra. Isto levou Kepler a mostrar que os planetas mais pertos do Sol. Imaginamos que um dos focos da órbita do planeta é ocupado pelo Sol, o ponto da órbita mais próximo do Sol é chamado periélio, e o ponto mais distante é chamado afélio. A distância do periélio ao foco (R p) é: $R_p = a - c = a - a.E = a(1 - E)$ e a distância do afélio ao foco (Ra) é: $R_a = a + c = a + a.E = a(1 + E)$



Cabe aqui mostrar as leis de Kepler e seus efeitos. A primeira lei é sobre as órbitas elípticas (astronomia nova, 1609). A órbita de cada planeta é uma elipse, com o Sol em um dos focos. Como consequência da órbita ser elíptica, a distância do Sol ao planeta varia ao longo de sua órbita.

A segunda lei é sobre as áreas (1609): a reta unindo o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais. O significado físico desta lei é que a velocidade orbital não é uniforme, mas varia de forma regular: quando mais distante o planeta está do Sol, mais devagar ele se move. Dizendo de outra maneira, esta lei estabelece que a velocidade areal é constante.

A terceira lei é sobre a harmonia, chama-se lei harmônica (harmoniles mundi, 1618): o quadrado do período orbital dos planetas é diretamente proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol. Esta lei estabelece que planetas com órbitas maiores se movem mais lentamente em torno do Sol, e, portanto, isso implica que a força entre o Sol e o planeta decresce com a distância ao Sol.

Sendo P o período sideral do planeta, a o semieixo maior da órbita, que é igual à distância média do planeta ao Sol, e K uma constante, podemos expressar a 3ª lei como:

$$P^2 = K a^3$$

Se medimos P em anos (o período sideral da Terra), e a em unidades astronômicas (a distância média da Terra ao Sol), então $K=1$ e podemos escrever assim a 3ª lei:

$$P^2 = a^3$$

A tabela abaixo mostra como fica a 3ª lei de Kepler para os planetas visíveis a olho nu.

Planeta	Semieixo maior	Período anos	A^3	P^2
Mercúrio	0,387	0,241	0,058	0,058
Vênus	0,723	0,615	0,378	0,378
Terra	1,000	1,000	1,000	1,000
Marte	1,524	1,881	3,537	3,537
Júpiter	5,203	11,862	140,8	140,7
Saturno	9,534	29,456	867,9	867,7

Kepler obteve não somente para o planeta Marte, como é colocado em alguns manuais de Física, mas para todo o sistema solar, um modelo adequado que revelou que todos os planetas descrevem órbitas não circulares, mas elípticas.

Kepler descobriu outras características do movimento planetário ausentes no sistema astronômico copernicano místico inspirado pelas ideias pitagóricas, ele acreditava que uma harmonia matemática unia todas as partes do universo e procurou

entre os raios das diversas órbitas planetárias, uma relação matemática que espremesse essa harmonia universal.

Sua primeira ideia foi construir um modelo no qual esses raios seriam deduzidos de uma estrutura que implicaria uma nas outras as cinco figuras geométricas “perfeitas”, já reconhecidas pelos antigos gregos e batizados “sólidos platônicos.” Estas figuras geométricas podem ser observadas no livro *Timeu*. Platão mostra com fundamentos e cálculos perfeitos. Para Platão estas figuras eram fundamentais para a construção do universo, ou seja, Platão propõe que o Demiurgo organiza o mundo através do caos, organiza com as figuras geométricas.

Essas figuras hoje denominadas “poliedros regulares,” são o tetraedro (4 faces), o cubo (6 faces), o octaedro (8 faces), o dodecaedro (12 faces) e o icosaedro (20 faces); cada uma delas tem todas as suas faces esse modelo concordar com as observações. Examinando então outras relações matemáticas, descobriu uma relação entre o semieixo maior da órbita elíptica de um planeta, que mede aproximadamente sua distância ao Sol e seu período de revolução em torno do Sol: o quadrado do período é proporcional ao cubo do semieixo maior, o constante de proporcionalidade sendo idêntico para todos os planetas.

Referências Bibliográficas:

ARISTOTLE. **Physics**: translated by W. Ross. London: Great Books, 1960.

_____. **Metaphysics**: translated by W. Ross. London : Great Books, 1960.

_____. **De Caelo**: translated by W. Ross. London: Great Books, 1960.

BUCCIANTINI, M. **Galileo e Kepler**: Filosofia, Cosmologia e Teologia nell'ETA della controriforma. Torino. Ed. Giulio Einaudi, 2007.

BURTT, E.A. **As Bases Metafísicas da Ciência Moderna**. Trad. José Viegas Filho e Orlando Araújo Enríques. Brasília, Ed. Universidade de Brasília, 1961.

CASSIRER, E. **El Problema Del Conocimiento**. Trad. N. Roces. Ed. Fondo de Cultura Económica, Ciudad Del Mexico, 1953.

CONNOR, J. A. **A Bruxa de Kepler : A descoberta da ordem cósmica por um astrônomo em meio a guerras religiosas, intrigas políticas e julgamento por heresia de sua mãe**; trad. Talita M. Rodrigues. Rio de Janeiro: Rocco, 2005.

COHEN, I.B. **O nascimento de uma nova física**. São Paulo, Edart, 1976.

COPERNICO, N. **As Revoluções das Orbes Celestes**. Trad. A. Dias Gomes e Gabriel Domingues. Ed. Caluste Guberkian, Lisboa, 1984 .

GALILEI, G. **Dialogo dei Massimi Sistemi**. Ed. Oscar Grandi, Firenze, 2010.

GALILEI, G. **Diálogo Sobre os Dois Máximos Sistemas do Mundo Ptolomaico e Copernicano**. Tradução, introdução e notas de Pablo Rubén Mariconda. 2ª Ed. São Paulo: Discurso Editorial. Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2004.

GLEISER, M. **A dança do universo: dos mitos de criação ao Big-Bang**. São Paulo: Companhia das Letras, 2006.

_____. **A harmonia do mundo: aventuras e desventuras de Johannes Kepler, sua astronomia mística e a solução do mistério cósmico, conforme reminiscência de seu mestre Michael Maestlin**. São Paulo: Companhia das Letras, 2006.

HANSON, N. R. **Constelacione y conjeturas**. Madrid, Alianza Universidad, 1985.

KEPLER, J. **Astronomi Opera Omnia**. Ed. Ch. Frisch, Frankfurt e Erlagem, 1858.

_____. **Abrégé D' Astronomie Copernicienne**. Traduit pour La première fois du latin en François, avec un avertissement et des, par Jean Peyroux, Ingénieur des Arts ET Métiers, Paris, 1988.

_____. **Mysterium cosmographicum**. In: CASPAR, M. e VON DYCK, W. (eds.). *Gesammelte Werke*. Munich: C. H. Bech'sche Verlagsbuchhandlung, 1937. V. 1.

_____. **Astronomia Nova**. In: CASPAR, M. e VON DYCK, W (eds.). *Gesammelte Werke*. Munich: C.H. Bech'sche Verlagsbuchhandlung, 1937. V.3.

_____. **New Astronomy**. Trad. Por W. H. Donnhue. Cambridge; Cambridge University Press, 1992.

_____. “ **Cartas a Mastlin de 14 de dezembro de 1604**”. Intr. E trad. por Claudemir Roque Tossato. *Scientiae Studia*, v. 1 n. 2, p. 207-215, 2003.

KOYRÉ, A. **Do Mundo fechado ao Universo Infinito**. Trad. Donaldson M. Garschagem. Rio de Janeiro. Forense – Universitário; sp Ed.USP, SP 1979.

KUHN, T. **A revolução Copernicana**. Trad. Marília Costa Fontes. Ed. 70, Lisboa, 2002.

ITOKAZU, A. G. **A Força que Move os Planetas: Da Noção de Species Immateriata na Astronomia de Johannes Kepler**. Campinas. *Cad. Hist. Fil. Ci.*, Campinas, Série 3, v.16, n. 2, p.211-213, jul.-dez.2006.

_____. **Da Potência Motriz Solar Kepleriana como Emissão**. Campinas, *Cad. Hist.Fil.Ci.Campinas*, Série 3, v 17, n. 2,p. 303-324, jul.-dez.2007.

LINDBERG, D. “ **The genesis of Kepler’s theory of light: light metaphysics from Plotinus to Kepler**”. *Osiris*, 2 series, ii, p. 5-42, 1986.

PTOLOMEU, C. **Almagest**. Trad. de R. C. Taliaferro. Col. “ Great Books of the Western World”. Vol. XVI. Chicago, Brithanica Great Books, 1952.

RABIN, S. J. “ **Was Kepler ‘s species immateriata substantial?**”. *Journal for the History of Astronomy*, 36,p. 49-56, 2005.

RUSSEL, J. L. “ **Kepler’ s Laws of planetary motion: 1609-1666**”. *The British Journal of the History of Science*, 2-3, p.1-24, 1964.

STEPHENSON, B. **Kepler’s Physical Astronomy**. New York: Springer-Verlang, 1987.

TOSSATO, C. R. **Mysterium Cosmographicum: Os Antecedentes das duas Primeiras Leis Keplerianas dos Movimentos Planetários**. São Paulo: FFLCH\ USP, 1999. (tese de Mestrado).

_____. **Força e Harmonia na Astronomia Física de Johannes Kepler**. São Paulo: FFLCH\ USP, 2003 .(Tese de Doutorado).

VOELKEL, J. R. **Johannes Kepler and the New Astronomy**. Oxford: Oxford University Press, 1999.

_____. **The Composition of Kepler's Astronomia Nova**. Princeton: Princeton University Press, 2001.

WESTMAN, R.S. " **Kepler's theory of hypothesis**". In: **BEER A., BEER P.**(eds.) **Kepler Four Hundred Years: conference held in honour of Johannes Kepler**, Philadelphia, 1971. Oxford: Pergamon, p. 713-724, 1975.