

# A visão de Kepler na revolução copernicana

Pedro Henrique Ciucci da Silva

## Assimilação da astronomia copernicana

Copérnico morreu em 1543, o ano em que o *De Revolutionibus* foi publicado, o *De Revolutionibus* teve que vencer várias batalhas, sem ajuda de seu autor, mas, Copérnico criou quase ideias para estas batalhas. Tornou o *De Revolutionibus* ilegível para os leigos exceto para os astrônomos eruditos da sua época.

No mundo fora dos estudos astronômicos o *De Revolutionibus* não teve uma grande agitação. Através do tempo e com o desenvolvimento da oposição, tanto de clérigos e leigos, a maioria dos melhores astrônomos europeus, a quem o livro era dirigido, consideravam indispensáveis uma ou outra técnica matemática de Copérnico.

O sucesso do *De Revolutionibus* não implica o sucesso da sua tese principal, A fé da maioria dos astrônomos na imobilidade da terra era, em princípio, inabalável. Autores que aplaudiram a erudição de Copérnico, serviram-se dos seus diagramas, ou citaram a sua determinação da distância da terra à lua, e normalmente ou ignoravam o movimento da terra ou classificavam-no de absurdo.

Com algumas poucas exceções, as primeiras reações mais favoráveis à grande inovação de Copérnico são colocadas pela afirmação do astrônomo inglês Thomas Blundeville. Para Blundeville, Copérnico afirma que a terra gira e que o sol está parado no meio do céu, e apoiado em tais falsas suposições, tornou mais verdadeiras as demonstrações dos movimentos e revoluções das esferas, como antes nunca fora feita.

A afirmação de Blundeville foi em 1594, em um livro de introdução à astronomia que dava como garantida a imobilidade da terra. O teor da rejeição de Blundeville deve ter levado os seus leitores mais atentos e competentes diretamente para o *De Revolutionibus*. O *De Revolutionibus* foi um livro que, astrônomos competentes não podiam ignorar. Desde o princípio que o *De Revolutionibus* era longamente lido, mas apesar de uma estranha hipótese cosmológica era um livro com grande teor matemático e importante para o novo mundo astronômico.

O grande público do livro assegurou-lhe um pequeno, mas progressivo número de leitores com capacidades para descobrirem as harmonias de Copérnico e que desejavam admiti-las como evidências. A *Narratio Prima* do primeiro discípulo de Copérnico, George Joachim Rheticus (1514-1576) permaneceu a melhor descrição técnica resumida dos novos métodos astronômicos durante vários anos, depois da primeira publicação em 1540.

A popular defesa elementar do copernicanismo publicada em 1576 pelo astrônomo inglês Thomas Digges (1546-1595) fez o possível por espalhar o conceito do movimento da terra para além dos estreitos círculos dos astrônomos. O ensino e a investigação de Michael Maestlin (1550-1631), professor de astronomia da universidade de Tubinga, conseguiu colocar conceitos que, a astronomia copernicana ganhasse um espaço de grande valor neste novo modelo astronômico, logo após disto tivemos, entre eles Kepler, construindo assim uma nova astronomia.

Através do ensino, dos textos e de investigações de homens como estes, o copernicanismo ganhou um enorme terreno, mesmo que os astrônomos que admitem a sua adesão à concepção de uma terra móvel fossem minoria.

A quantidade de copernicanos confessos não é um índice adequado do sucesso da inovação do sistema copernicano. Muitos astrônomos acharam possível explorar o sistema matemático de Copérnico e contribuir para o sucesso da nova astronomia, ao mesmo tempo que negaram ficaram em silêncio, ou seja, não construíram um modelo ou até mesmo não criticaram os modelos propostos por Copérnico.

A astronomia helenística fornecera os precedentes. O próprio Ptolomeu nunca fingiu que todos os círculos usados no *Almagesto* para calcular a posição planetária fossem fisicamente reais; eram esquemas matemáticos úteis e não tinham de ser mais do que isso.

Os astrônomos renascentistas tinham liberdade de tratar o círculo que representava a órbita da terra como uma ficção matemática, útil apenas para os cálculos, podiam, e ocasionalmente calculavam a posição planetária com a realidade física desse movimento.

Andreas Osiander observou o manuscrito de Copérnico quando estava a ser impresso, insinuou esta alternativa aos leitores em um prefácio anônimo posto no *De Revolutionibus* sem a permissão de Copérnico.

O prefácio ilegítimo provavelmente não enganou muitos astrônomos mas, apesar disso, alguns deles tiraram partido da alternativa que Osiander

sugeriu. Usar o sistema matemático de Copérnico sem advogar o movimento físico da terra forneceu a evasiva convenientes para o dilema colocado pelas constantes harmonias celestes e também a discórdia terrestre do *De Revolutionibus*.

**Erasmus Reinhold** (1511-1553) foi o primeiro astrônomo a prestar um serviço importante aos copernicanos, sem se declarar ele próprio a favor do movimento da terra. Em 1551, oito anos após a publicação do *De Revolutionibus*, ele emitiu um conjunto completamente novo de tabelas astronômicas, calculadas pelos métodos matemáticos desenvolvidos por Copérnico, e estas depressa se tornaram indispensáveis para os astrônomos e astrólogos, quais quer que fosse a crença quanto a posição e ao movimento da terra.

**As tabelas Pruténicas de Reinhold**, assim chamadas devidas ao seu patrono, o duque da Prússia, foram as primeiras tabelas completas preparadas na Europa nos últimos três séculos, e as velhas tabelas, que tinham alguns erros desde o início, estavam agora fora de moda, pois tinham passado vários anos.

O trabalho extremamente cuidadoso de Reinhold, baseados em melhores dados do que se encontravam ao dispor dos homens que calculavam as tabelas do século XIII, produziu um conjunto de tabelas que, para muitas aplicações, eram de certo modo superiores às antigas.

As aplicações do novo sistema astronômico do século XVI, de fato, tornaram superiores as antigas pelo simples ponto de que as observações eram feitas e que com isto davam-se possibilidades de calcular e de mostrar todo o movimento planetário que, Copérnico propôs. Mesmo que Copérnico tenha errado em alguns cálculos era superior as tabelas do século XIII.

O sistema matemático copernicano não era mais exato que o sistema ptolomaico, eram comuns erros de um dia na predição de eclipses lunares, e a duração do ano determinada pelas **tabelas pruténicas** era, na realidade ligeiramente menos exata do que a determinada pelas velhas tabelas.

A segunda metade do século XVI os astrônomos não podiam dispensar o *De Revolutionibus* nem mesmo as tabelas baseadas nele. A proposta de Copérnico ganhou terreno lentamente, mas segundo parece de modo inexorável.

Sucessivas gerações de astrônomos, cada vez menos predispostos pela experiência e pelo ensino, formaram como garantia a imobilidade da Terra, e descobriram novas provas sobre os movimentos planetários. A decisão entre o universo tradicional e o universo copernicano era apenas colocado para os

astrônomos, com isto, a proposta de Copérnico atingia então uma vitória tranquila e gradual.

Mas a decisão não era exclusivamente, ou mesmo primariamente, uma questão para astrônomos, e a medida que o debate se espalhou para o exterior do círculo astronômico acaba por se tornar tumultuoso.

Para a maioria daqueles que não estavam preocupados com o estudo pormenorizado dos movimentos celestes, a inovação de Copérnico parecia absurda e ímpia. Mesmo quando compreendidas, as vangloriadas harmonias não pareciam ter.

O clamor começou de forma lenta no início, poucos astrônomos conheciam a inovação de Copérnico ou até mesmo não a reconheciam como mais do que uma aberração individual passageira, como muitos que tinham aparecido e desaparecido antes.

Muitos dos textos elementares astronômicos e manuais usados na segunda metade do século XIII como, por exemplo, o texto de **Johanes de Sacrobosco**, em seu livro **Tratado da esfera** era ainda a principal formação elementar dos estudos astronômicos. Os novos manuais preparados depois da publicação do *De Revolutionibus* normalmente não mencionavam Copérnico ou resumiam a sua inovação em uma ou duas frases.

Os livros populares cosmológicos que descreviam o universo aos leigos ficaram ainda mais exclusivamente aristotélicos no tamanho e na substância; Copérnico ou era desconhecido para os seus autores ou se conhecido era normalmente ignorado.

Exceto, talvez, em alguns centros de aprendizagem protestante o copernicanismo não parece ter sido uma questão cosmológica durante as primeiras décadas após a morte de Copérnico. Fora do círculo dos astrônomos raramente tornou-se uma questão importante, até ao começo do século XVII.

Houve algumas reações no século XVI, por parte de não astrônomos que forneceram uma antevisão do imenso debate que se seguiu, pois eram, em geral, inequivocamente negativas. Copérnico e os seus poucos seguidores eram ridicularizados pelo absurdo do seu conceito de uma terra móvel, embora sem a amarga ou as elaboradas discussões que se desenvolveram quando se tornou evidente que o copernicanismo viria a ser um oponente obstinado e perigoso.

O movimento da Terra no primeiro momento entra em contradição com o ensinamento medieval do qual era proposto a imobilidade da terra e entrava em contradição também com os astrônomos que tinham proposto a imobilidade terrestre que são eles, Aristóteles, Ptolomeu e Sacrobosco. Com isto, entrava em conflito com a astronomia existente.

Estes são argumentos de força, bastante suficientes para convencer a maioria das pessoas, mas não são armas mais poderosas da bateria anticopernicana, e não são os que geram mais ardor. Essas armas eram religiosas e, sobretudo, retiradas da Sagrada Escritura.

Uma das ações contra Copérnico começou antes da publicação do *De Revolutionibus*. Martinho Lutero é que colocou uma insatisfação contra a revolução copernicana, segundo o teólogo, Copérnico era um louco, pois desejava subverter toda a ciência da astronomia, mas a Sagrada Escritura diz [Josué, 10:13] que Josué mandou o Sol estar parado, e não a Terra. Isto mostra que os protestantes tinham uma opinião contra a revolução copernicana.

Um dos principais adjuntos de Lutero, foi Melanchthon, seis anos após a morte de Copérnico, Thomas Kuhn cita em seu livro, *A revolução copernicana*, Melanchthon, a seguinte citação: “Os olhos são testemunhas de que o céu gira no espaço de vinte e quatro horas. Mas certos homens, ou pelo amor a novidade, ou para fazerem uma demonstração de gênio, concluíram que a Terra se movia, e sustentam que nem as oito esferas nem o Sol se movem. Ora, é uma falta de honestidade e decência afirmar tais noções publicamente e o exemplo é pernicioso. É a obrigação de um bom espírito aceitar a verdade revelada por Deus e concordar com ela”.

Melanchthon continuou a reunir um número de passagens bíblicas anti copernicanas, fazendo sobressair os famosos versos, do Eclesiastes 114-5, que afirmam, a Terra permanece para sempre, e que o Sol também nasce, e se põe, e precipita-se para o lugar onde nasceu. Finalmente, sugere que se aplique medidas severas para impedir a revolução dos copernicanos.

Thomas Kuhn, ao citar Melanchthon coloca que o autor era acima de tudo um anti copernicano e não aceitaria a revolução proposta por Copérnico. A revolução copernicana não era uma revolução contra a igreja, mas sim colocava-se contra a astronomia antiga, mas teólogos entre eles Melanchthon lutou contra a nova astronomia não aceitando a nova investigação do modelo astronômico.

Calvino, em seu comentário ao Gênesis citou o verso inicial do salmo 93, também foi estabelecido que a Terra não se pode mover, perguntava, quem se aventurará a colocar autoridade de Copérnico acima da do Espírito Santo? Cada vez, os protestantes, usavam a bíblia como fonte de argumentos anti copernicanos.

Nas primeiras décadas do século XVII, clérigos de todas as tendências procuravam na bíblia frase por frase, passagens que mostravam argumentos contra o movimento da Terra. Os copernicanos aos poucos eram rotulados de

hereges e ateus, em 1610, a igreja católica juntou-se de forma oficial na batalha contra o copernicanismo, a acusação passou a ser de heresia formal.

Em 1620 a teoria copernicana e todos os outros que afirmassem o movimento da Terra foram postos no Index. Os católicos foram proibidos de ensinar ou mesmo de ler doutrinas copernicanas, exceto as versões emendadas em que se omitiam todas as referências a Terra móvel e ao Sol central.

Quando foi tomada a sério, a proposta de Copérnico levantou muitos problemas gigantescos para a crença cristã. Se, por exemplo a Terra fosse simplesmente um dos seis planetas, como seriam preservadas as histórias da queda e da salvação com a sua enorme importância para a vida cristã? Se houvesse outros corpos essencialmente como a Terra a bondade de Deus requeria certamente que eles também fossem habitados.

Caso existissem homens em outros planetas, como poderiam eles ser descendentes de Adão e Eva, e como poderiam ter herdado o pecado original, única explicação para a labuta do homem em uma terra feita para ele por uma divindade boa e onipotente? E ainda como poderiam os homens de outros planetas saber da existência do salvador que lhes abriria a possibilidade de uma vida eterna? Caso a Terra fosse um planeta, e um corpo celeste localizado longe do centro do Universo, o que seria da posição do homem, intermédia, mas central, entre os demônios e os anjos? Se a Terra como planeta participa da natureza dos corpos celestes, não pode ser um poço de inequidade do qual o homem desejaria escapar para atingir a pureza divina dos céus.

Nem os céus podem ser a morada adequada para Deus se participam no mal e nas imperfeições tão claramente visíveis em uma terra planetária. Pior que tudo, se o Universo é infinito, como muitos dos copernicanos posteriores pensavam, onde pode estar localizado o trono de Deus? Num universo infinito, como pode o homem encontrar Deus ou Deus encontrar o homem?

As respostas de tais perguntas não foram obtidas com grande facilidade, e conseqüentemente alternam a experiência religiosa do homem comum. A revolução copernicana exigiu uma grande transformação na análise do homem da sua relação com Deus e das bases da moral. Uma tal transformação não podia ser conseguida do dia para a noite, e ainda mal começara enquanto as provas do copernicanismo fossem tão inclusivas como no De Revolutionibus.

Vários observadores sensíveis podiam muito bem achar que os valores tradicionais eram incompatíveis com a nova cosmologia, e a frequência com que a acusação de teoria ateia era lançada contra os copernicanos é a prova da ameaça a ordem estabelecida, feita a muitos observadores pelo conceito de uma terra planetária.



Existiram vários autores que se colocaram contra o modelo astronômico existente, entre eles podemos citar, Giordano Bruno. Ele se colocou contra o modelo astronômico aristotélico-ptolomaico, em seu livro sobre o infinito, afirma que a terra esta em pleno movimento e que é impossível afirmar um único e simples universo como era, proposto pela astronomia antiga, mas infelizmente foi condenado e morto pela inquisição. Talvez o erro de Bruno foi não mostrar de forma concreta os seus argumentos contra a astronomia existente.

Mesmo G. Bruno não tivesse conhecido Copérnico, foi um símbolo de extrema importância para colocar a astronomia antiga contra a parede. Copérnico pode bem ter aparecido como símbolo de todas as reinterpretações tortuosas que, durante o fim da idade média haviam separado os cristãos da base da sua crença. Portanto a violência do ataque que o protestantismo oficial dirigiu contra Copérnico parece quase natural.

Tolerar o copernicanismo teria sido tolerar a própria atitude para com a Sagrada Escritura e para com o conhecimento em geral que, de acordo com os protestantes, levava o cristianismo a extraviar-se.

O copernicanismo estava, assim, indiretamente envolvido na grande batalha religiosa entre as igrejas protestantes e católica, e esse desenvolvimento deve explicar parte da excessiva aspereza que a controvérsia de Copérnico provocou.

Os líderes protestantes como Lutero, Calvino e Melanchthon foram os que mais citaram a escritura contra Copérnico e exigiram a repressão contra os copernicanos. Como os protestantes nunca tiveram o aparelho de que dispunha a igreja católica, as suas medidas repressivas raramente eram tão eficazes como as tomadas mais tarde pelos católicos e foram mais prontamente abandonadas quando a evidência do copernicanismo se tornou vencedora.

Os protestantes forneceram a primeira oposição institucionalizada eficaz. O silêncio de Reinhold sobre a validade física do sistema matemático que utilizara para calcular as Tabelas Pruténicas é normalmente interpretada como índice da oposição oficial ao copernicanismo na universidade protestante de Vitemberga.

Osiander, que acrescentou uma apologia falsa ao início do *De Revolutionibus*, era também protestante. Rheticus, o primeiro defensor confesso da astronomia de Copérnico, também era protestante, mas a sua **Narratio Prima** fora escrita enquanto estava fora de Vitemberga e antes de o *De Revolutionibus* ter aparecido, depois do seu regresso a Vitemberga não publicou mais opúsculos copernicanos.

Em 1616 a igreja proibiu que se ensinasse ou se acreditasse que o Sol estava no centro do Universo e que a Terra girava em torno dele, estava a inverter uma posição que estivera implícita na prática católica durante séculos.

A inversão chocou um grande número de devotos católicos, porque obrigava a igreja a opor-se a uma doutrina física, para a qual novas provas estavam a ser descobertas quase diariamente e porque houvera claramente uma atitude alternativa aberta a igreja.

Não tem como pensar na revolução copernicana, sem pensar em Kepler. A assimilação da astronomia copernicana se deve inteiramente a Kepler, e as compreensões dos cálculos obscuros no *De Revolutionibus*. Kepler acima de tudo era um neoplatônico, ou seja, ele estava disposto a resgatar a discussão dos triângulos propostos por Platão no *Timeu*.

Este neoplatonismo que foi adotado no fim da idade média era o resgate das discussões que Platão propôs em seu livro não tão discutido, *Timeu*. Platão trás uma proposta sobre a organização do mundo através do caos, que o Demiurgo organiza e monta o universo através de uma linguagem matemática. O Demiurgo organiza o mundo através de conceitos geométricos, ou seja, quando o Demiurgo encontra-se com o caos organiza através de triângulos equiláteros. Platão mostra que estes triângulos irão formar as composições dos quatro elementos. Antes de o Demiurgo organizar o universo o mesmo está em um caos, e através deste caótico universo a composição geométrica começa a ser montada.

Os neoplatônicos modernos entre eles Kepler irão resgatar de uma certa forma esta proposta de geometria. Kepler em particular aceita o modelo pitagórico, pois era o modelo já utilizado pelo próprio Platão, com isto, aceitar os modelos geométricos neoplatônicos era aceitar o modelo pitagórico.

*De Revolutionibus* é um ajuste a astronomia já existente, mas com grande diferença na sua estrutura argumentativa, ou seja, mostra cálculos que coloca toda astronomia existente em dúvida. Copérnico resgatou a astronomia grega, e colocou o Sol no centro do universo tirando assim a Terra do centro.

Nos primeiros capítulos no *De Revolutionibus*, as argumentações são precisas, a Terra é esférica e gira em torno do Sol. Estas demonstrações é sem dúvida um abalo para os astrônomos do século XVII, a base astronômica deste período era um tratado do astrônomo chamado John Holywood (*Sacrobosco*), era um livro que organizou os cálculos de Ptolomeu.

Mas todos estes argumentos não foram o suficiente, para Nicolau de Cusa. Nicolau de Cusa resgatou os modelos astronômicos de Platão, ou seja, o modelo proposto por Platão estava mais próximo, com os modelos que os astrônomos estavam procurando.



Nicolau de Cusa foi um dos primeiros filósofos a resgatar os cálculos platônicos e mostrou que as demonstrações até então existentes sobre a posição do Sol e da Terra não eram verdadeiras, mas Nicolau não foi tão eficaz em contrapor às teorias existentes.

Nicolau de Cusa foi um místico, ficou longe de resolver os problemas dos cálculos astronômicos de sua época, mas foi quem iniciou toda uma discussão até a grande revolução do paradigma do geocentrismo.

O paradigma do geocentrismo foi a teoria que mais prevaleceu na história, foi sem dúvida a teoria mais dogmática da história do pensamento humano. Copérnico deixou o *De Revolutionibus*, como uma herança maldita para os astrônomos, não podendo se desvendar, pois morreu no dia da publicação, o *De Revolutionibus* tornou-se um livro obscuro.

Talvez sem Kepler a teoria copernicana, demoraria muito mais tempo para a aceitação. Kepler utilizou os cálculos copernicanos para demonstrar as suas leis do universo. Estas leis foram fundamentais para corrigir tanto o modelo copernicano, pois encontrava-se com alguns cálculos ainda errados, tanto para Newton fundamentar seus princípios matemáticos.

Para Kepler, a geometria ocupa o primeiro lugar na metodologia das ciências matemáticas. A geometria era a única maneira de explicar os movimentos dos planetas, não existia outra maneira, com isto, a aproximação com os cálculos copernicanos. Kepler estava disposto a mostrar como Copérnico não está errado, e colocaria novas argumentações.

No *Almagesto*, obra fundamental da astronomia antiga, havia dito Ptolomeu que não podemos buscar os fenômenos da terra na decisão a cerca do que o céu deva considerar como o simples e o natural, já que não pode aplicar uma e mesma medida de juízo os objetos e substância diametralmente opostos. Rompendo totalmente com este ponto de vista tradicional, Kepler insiste em que os “exemplos” dos princípios dos movimentos celestes estão diretamente ante nossos olhos em qualquer parte, os fenômenos usuais e conhecidos da vida diária.

Kepler desenvolveu seus trabalhos em período muito complicado, antes de afirmar compromisso com os cálculos copernicanos, teve que passar por várias provações. No livro *A Bruxa de Kepler*, Connor, mostra a vida dura que Kepler passou, não somente na vida pessoal, mas como virou astrônomo assistente de Tycho Brahe. Tycho Brahe era um dos maiores astrônomos da época, trabalhava como astrônomo da coroa dinamarquesa. Kepler era um bom astrônomo, com alguns contatos e alguns amigos, Kepler consegue chegar até Tycho. A Europa estava sendo marcada por guerra de egos, por um lado os católicos e de outro os protestantes. Kepler morava dos lados dos protestantes, mas tinha um grande contato com os católicos, um dos motivos

de Kepler ter saído de sua cidade pacata Graz, e partido para trabalhar com Tycho em Praga, foi também por motivos de segurança.

Esta guerra de egos citada acima foi marcada pelos católicos e pelos protestantes. De um lado os católicos estavam marcados pelas mortes e condenações de seus próprios cônegos, e também a separação de uma corrente chamada protestantismo. Esta corrente protestante era contra não só os dogmas da igreja católica como também as políticas econômicas propostas pelos mesmos, nascendo assim a guerra dos trinta anos.

Neste grande conflito esta o nosso astrônomo, Kepler. Sua cidade Graz, estava sendo ameaçada pela guerra, com isto, a sua saída foi inevitável, a sua vantagem em referente a esta guerra de egos era que ele estava nos dois lados.

O desenvolvimento de seu trabalho para mostrar a importância da Revolução copernicana, está marcado em um grande livro, *Epitome Astronomiae copernicanae*. Tal trabalho é a grande demonstração da astronomia copernicana, é o golpe final da batalha que Kepler lutou para colocar em cena.

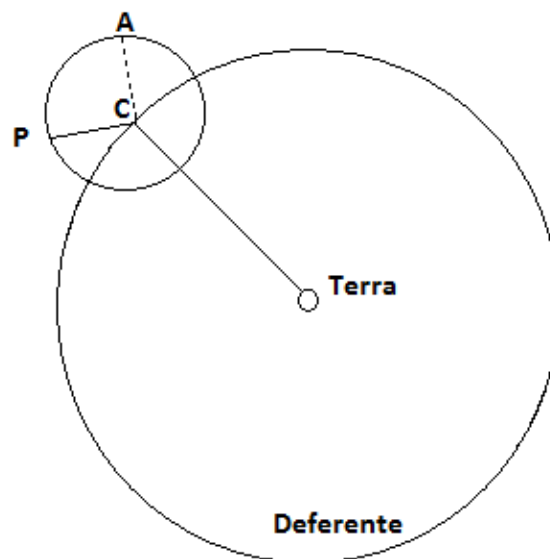
A quebra de paradigma da astronomia geocêntrica para a astronomia heliocêntrica foi travada de forma árdua. Kepler era um leitor atento dos gregos, em particular de Platão.

### **Visão de Kepler na Revolução copernicana**

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.

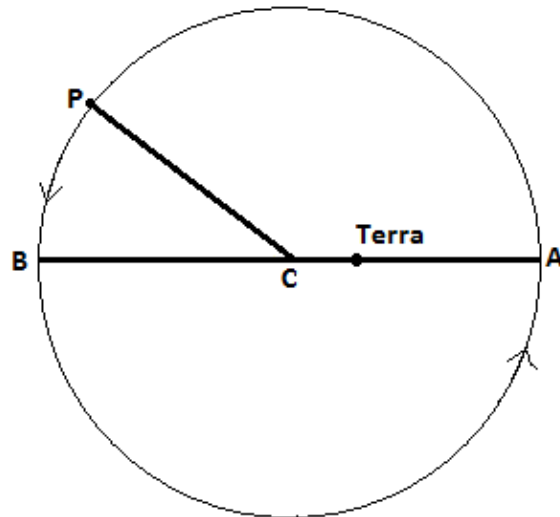
Kepler explica de força bastante diversa em vários trechos essas razões físicas ou metafísicas, mas a essência delas é que o sol deve estar no centro do mundo, por ser símbolo de Deus Pai, fonte de luz e calor, gerador da força que move os planetas nas órbitas, e por ser o universo heliocêntrico geometricamente mais simples e satisfatório. Parecem quatro razões diferentes, mas formam 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 epicicloide. 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 epicicloide, o planeta tornava-se menos luminoso.

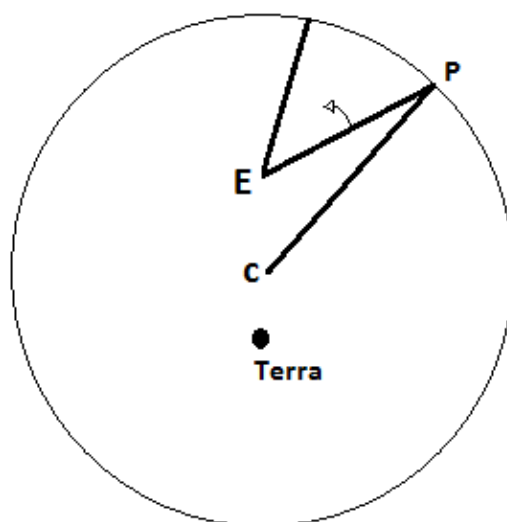


O segundo circuito chama-se Excêntrico. O planeta percorreria um circuito cujo centro geométrico não mais se encontrava na terra. A distância entre esse centro geométrico e o centro da Terra definiu o chamado valor da excentricidade. Com sentidos e velocidades bem determinados, a composição dos movimentos 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 eixo<sup>1</sup>, um movimento orbital anual ao redor do Sol<sup>2</sup> e um movimento cônico anual descrito por seu eixo à medida que a Terra gira ao redor do Sol e sobre si mesma, devido ao fato que esse eixo não é perpendicular a eliptical<sup>3</sup>, 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 afasta os dois hemisférios do Sol, provocando assim as estações do ano.

---

<sup>1</sup> Rotação.

<sup>2</sup> Translação.

<sup>3</sup> Trajetória da Terra.

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).

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.

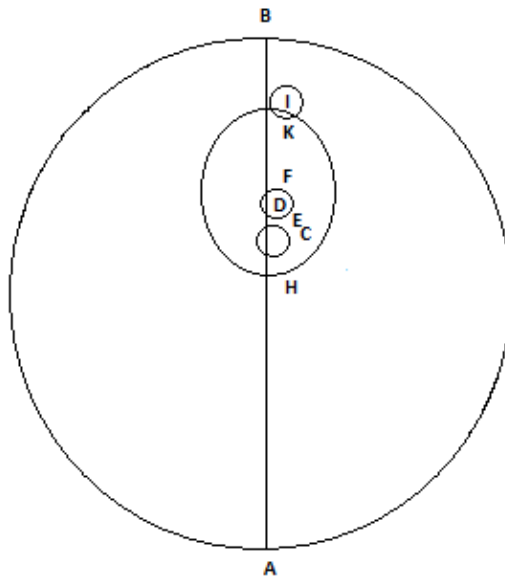
Através desse diálogo, Kepler toma como ponto fundamental os cálculos copernicanos. Estes cálculos eram de extrema importância para o seu modelo, ou seja, Kepler utiliza dos epiciclos proposto por Copérnico, pois a sua observação feita sobre Marte foi fundamental.

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 Mercúrio<sup>4</sup>. De fato que Copérnico faz com todos os planetas, tais demonstrações pois fica claro que a demonstração a seguir esta para todos os planetas.

---

<sup>4</sup> Cap. XXV, pg. 535.



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.

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 executa duas revoluções, enquanto a Terra executa 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 Vênus.

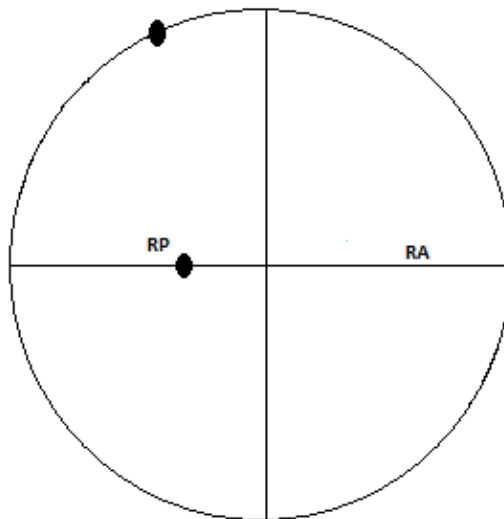
Além disso, como resultado desta regra, enquanto Mercúrio atravessa o diâmetro do epiciclo KL, ocupa a posição mais próxima do centro do círculo que move o epiciclo, isto é, está em K, quando a Terra atravessa o diâmetro AB. Quando a Terra, nos dois lados, encontra-se em posições a meio caminho, entre 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 :  $R_p = a - c = a - a \cdot E = a ( 1 - E )$  e a distância do afélio ao foco (Ra) é:  $R_a = a + c = a + a \cdot E = a (1 + E)$



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 á 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.

<b>Planeta</b>	<b>Semieixo maior</b>	<b>Período anos</b>	<b>A<sup>3</sup></b>	<b>P<sup>2</sup></b>
<b>Mercúrio</b>	0,387	0,241	0,058	0,058
<b>Vênus</b>	0,723	0,615	0,378	0,378
<b>Terra</b>	1,000	1,000	1,000	1,000
<b>Marte</b>	1,524	1,881	3,537	3,537
<b>Júpiter</b>	5,203	11,862	140,8	140,7

<b>Saturno</b>	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 casaedro (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.



## Bibliografia

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

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

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

Bucciantini, Massimo. Galileo e Keplero: Filosofia, Cosmologia e Teologia nell' ETA della controriforma. Torino. Ed. Giulio Einaudi, 2007.

Burt, Edwin Arthur. As Bases Metafísicas da Ciência Moderna. Trad. José Viegas Filho e Orlando Araújo Enriques. Brasília, Ed. Universidade de Brasília, 1961.

Cassirer, Ernst. El Problema Del Conocimiento. Trad. N. Roces. Ed. Fondo de Cultura Económica, ciudad Del Mexico, 1953.

Connor, James 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.

Copernico, Nicolau. As Revoluções das Orbes Celestes. Trad. A. Dias Gomes e Gabriel Domingues. Ed. Caluste Gubernian, Lisboa, 1984 .

Galilei, Galileo. Dialogo dei Massimi Sistemi. Ed. Oscar Grandi, Firenze, 2010.

Galilei, Galileu. 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.

Kepleri, Joannis. Astronomi Opera Omnia. Ed. Ch. Frisch, Frankfurt e Erlagem, 1858.

Kepler, Jean. *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.

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

Kuhn, Thomas. *A revolução Copernicana*. Trad. Marília Costa Fontes. Ed. 70, Lisboa, 2002.

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