

# A Terra e sua Posição no Universo: Formas, Dimensões e Modelos Orbitais

The earth and its position in the universe: forms, dimensions and orbital models

Marcos Cesar Danhoni Neves

*Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá,  
Av. Colombo, 5790, Maringá-PR, 87020-900, e-mail: macedane@fisica.dfi.uem.br*

Recebido em 10 de Dezembro, 1999. Aceito em 06 de Julho, 2000.

O presente artigo pretende mostrar a longa história da Astronomia na busca de modelos e de construções geométricas para determinar as formas e as dimensões da Terra e de sua posição no universo, enfocando a dificuldade deste “desafio” do conhecimento e discutindo a importância do tema para o ensino de ciências. Será ressaltado, principalmente, o período que vai da Antiguidade à Revolução Copernicana.

The present article intends to show the long history of Astronomy in the search of models and geometric constructions to determine forms and dimensions of the Earth and its position in the universe, focusing on the difficulty of this “challenge” of the knowledge, and discussing the importance of the theme for the science teaching. We will discuss, mainly, the period from Ancient Times to Copernican Revolution.

## I Introdução

A revolução copernicana, impondo uma nova visão de mundo e do papel do homem em seu habitat natural, a Terra, na imensa vastidão cósmica, foi um duro golpe na filosofia aristotélica que vigorava há cerca de 1.800 anos, e na Astronomia “técnica” desenvolvida por Ptolomeu, baseada numa Terra estática, centro de todos os movimentos dos astros celestes e situada numa posição próxima ao centro do Universo.

No entanto, toda mudança de paradigmas tende a recontar a história de uma maneira deturpada, “esquecendo fatos”, a partir do referencial dos “vencedores”, ou seja, dos formuladores das novas teorias que embasam os paradigmas vigentes. A escola, meio natural para a propagação dos paradigmas, e terreno estéril, infelizmente, para a correta interpretação histórica dos fatos da Ciência, tende, também, a deturpar e simplificar os vários modelos que embasaram diferentes etapas do desenvolvimento do conhecimento científico.

Assim, na História da Astronomia, é muito comum encontrarmos autores que afirmam que o sistema copernicano era mais simples que o ptolomaico (devido a uma suposta simplificação do número de círculos que definiam os movimentos planetários) e que oferecia melhores argumentos físicos que aqueles que embasavam a Física sublunar de Aristóteles e subjacente à representação geométrica de mundo de Ptolomeu. Nada mais errado que isto! O desenvolvimento da noção de

Terra como corpo cósmico, suas dimensões e sua exata posição no universo, foi uma tarefa árdua, construída por pacientes e quase anônimos observadores dos céus ao longo dos séculos, que encontraram em alguns poucos nomes os idealizadores de modelos geométricos, astronômicos e físicos, necessários para descrever os intrincados movimentos dos corpos celestes: estrelas, Sol, Lua, cometas e planetas.

Esse artigo traça uma pequena história da Astronomia, baseada no tripé: *forma, dimensão e posição*, no intuito de mostrar o quão árduo foi esta aventura do conhecimento humano, e quão presente ela deveria estar para aqueles que trabalham com Ensino e, principalmente, para aqueles que trabalham com pesquisa em ensino de ciências. De nada adianta criticar a falta de uma “revolução copernicana” em nossos alunos, se não compreendermos como, ao longo da história das ciências, variáveis observáveis e não observáveis (no sentido do relato passado) contribuíram para, em diferentes etapas da construção do conhecimento científico, estabelecer diferentes paradigmas e, no caso presente, privilegiar distintos referenciais físicos.

## II Formas e dimensões da Terra

Começaremos nossa exposição sobre este tema pelos gregos. Inúmeras outras civilizações, como os babilônios, os caldeus, os assírios, os chineses, os india-

nos, etc. tinham suas respectivas (e distintas) representações da forma e da natureza terrestre. No entanto, nos ocuparemos, inicialmente, apenas da civilização grega, que, todavia, foi influenciada por diversas outras civilizações do Médio Oriente.

Os poemas homéricos (cerca de 900 a.C.) apresentam a Terra como um disco chato circundado por um enorme rio, chamado *Oceano*. O céu recobre a Terra como um manto.

Tales (640-562 a.C.) pensava a Terra como um cilindro achatado e à deriva sobre o oceano. Anaximandro (611-545 a.C.) acreditava que a Terra estivesse em equilíbrio no centro do mundo e que fosse chata, assemelhando-se a uma coluna, onde a altura possuía um terço da largura.

Anaxímenes de Mileto acreditava também numa Terra chata, mas suspensa no ar. Para ele, Sol, Lua e estrelas eram também corpos chatos.

Xenófane de Cólofon (570 a.C.), apesar de acreditar numa Terra chata, pensava que ela se aprofundasse até o infinito (“não tem limites”), e que o ar acima da Terra também era ilimitado.

Parmênides de Eléia foi o primeiro a dizer que a Terra era esférica, e foi um dos primeiros a registrar o porquê desta concepção. Para ele, a forma esférica da Terra podia ser deduzida através da narrativa dos viajantes, já que quando estes viajavam em direção às regiões setentrionais do Ponto Eusino [1:19] constatavam que a estrela Canopus era visível muito próxima ao horizonte de Rodas, mas invisível na Grécia, ou seja, ele inferiu a esfericidade de nosso planeta pela variação das constelações circumpolares, devido à mudança de latitude. Esta é uma observação importante porque ela será usada, em sua essência, por exemplo, por Ptolomeo [2], Sacrobosco [3] e Copérnico [3, 4], para citar só alguns dos nomes mais conhecidos.

No entanto, até a época de Parmênides, a idéia de uma Terra esférica parecia ser a pregação no deserto. Heráclito de Éfeso (500 a.C.) acreditava numa Terra chata. Para ele, a Lua era um recipiente cheio de fogo.

Para Leucipo, a Terra assemelhava-se a um tímpano, ou seja, chata em sua superfície mas um pouco realçada lateralmente.

Demócrito de Abdera, atomista como Leucipo, acreditava, por sua vez, numa Terra também chata, mas mais alta na circunferência e mais baixa no centro. Apesar disso, acreditava que o Sol e a Lua fossem grandes massas sólidas, porém, menores que a Terra. Anaxágoras de Clazômena, apesar de considerar a Terra como de forma achatada, acreditava que o Sol fosse uma grande massa de ferro incandescente maior que o Peloponeso. Chegou a essa conclusão ao observar a queda de meteoritos que julgava ser pedaços de matéria desprendidas do sol em queda sobre a Terra.

Diógenes de Apolônia possuía uma visão singular. Para ele, a Terra era um disco chato colocado no enorme centro de um vórtice produzido pelo calor gerado do próprio ar.

Pitágoras de Samos (580-500 a.C.), que fundou uma

escola baseada na primazia do número, acreditava que a Terra e o Universo fossem esféricos. No que concerne à Terra, parece que as evidências que embasavam suas afirmações eram sólidas observações dos fenômenos celestes: um eclipse lunar (a forma arredondada da sombra terrestre sobre o disco lunar) e o desaparecimento de um navio sobre o extenso e distante horizonte marítimo: a última coisa a desaparecer do navio era a ponta de seu mastro, e isto de uma forma lenta e progressiva, o que evidenciava a esfericidade das águas.

Neste ponto de nossa história, surge uma divergência. Favorino defende que o primeiro a sustentar a esfericidade da Terra tenha sido Pitágoras. Já Teofrasto assegura que foi Parmênide, e Zenon afirma que foi Hesíodo [1:34-35].

Hiceta de Siracusa, Heráclides do Ponto e Ecfanto, o Pitagórico, afirmavam a esfericidade da Terra, uma vez que concebiam que esta se movesse como uma roda montada sobre um eixo, girando de oeste a leste ao redor de seu próprio centro.

Platão, que acreditava na *idéia* como única forma de conhecimento, supunha, por motivos geométricos, de simetria e de harmonia, que a Terra só poderia ser esférica, já que essa era a forma geométrica mais perfeita.

Aristóteles, de Estagira (384-322 a.C.), acreditava que a Terra era esférica invocando argumentos físicos, pois as partículas de graves cairiam em direção a um centro, formando uma superfície equidistante deste centro. Inferia ainda a esfericidade, invocando dados observacionais: eclipse lunar e o relato de viajantes acerca de constelações não vistas na Grécia.

Aristarco de Samos acreditava também na esfericidade da Terra, atribuindo a ela um movimento diurno (ao redor do próprio eixo) e um movimento anual ao redor do Sol.

Posidônio demonstra a falibilidade dos argumentos sobre a forma da Terra, que não aquela da esfericidade, recordando a “progressiva variação do céu estrelado visível sobre o horizonte à medida que se viaja em direção a norte ou sul”, [1:156]. Relata ainda que os persas vêem o Sol surgir quatro horas antes dos ibéricos. Utiliza também o mesmo argumento aristotélico, dizendo que a superfície do Oceano deve ser equidistante do centro da Terra.

Aristóteles no *De Caelo* estimou o valor da circunferência terrestre como sendo de 400.000 estádios, o que dá cerca de duas vezes o valor atual (que é de 24.902 milhas inglesas, [5:62], cerca de 40.000 km).

Arquimedes, talvez seguindo os ensinamentos de Dicaarco de Messina (ap. 285 a.C.) estimou a circunferência da Terra em 300.000 estádios. Essa estimativa vem da observação de que a cabeça da constelação do Dragão [1:157] passa sobre o zênite de Lismachia na Trácia, enquanto em Siena (atual Assuan), no Alto Egito, passa pelo zênite a constelação de Câncer. A declinação entre as duas estrelas é de 24° e a distância entre os dois lugares de 20.000 estádios, o que dá para o diâmetro terrestre 100.000 estádios, enquanto para a

circunferência seriam 300.000 estádios.

Eratóstenes de Alexandria (276-194 a.C.) estimou o comprimento da circunferência terrestre baseado no fato de que, no dia do solstício de verão, ao meio-dia local, não havia sombra na região de Siena, Egito, enquanto em Alexandria, as sombras eram relativamente pronunciadas (fato que, em si, já comprovava a esfericidade do planeta). Com um método simples, mas engenhoso, mediu o comprimento da sombra no dia de solstício, em Alexandria, e verificou que o ângulo entre Siena e Alexandria, passando dois segmentos de reta pelas cidades e que se encontrassem no centro da Terra, formavam entre si um ângulo de cerca de  $7^\circ$ , o que corresponde a aproximadamente  $1/50$  ( $\cong 7^\circ$  divididos pelos  $360^\circ$ ) de um círculo da circunferência terrestre. Como ele conhecia a distância entre as duas cidades ( $\cong 5.000$  estádios) estimou a circunferência da Terra como tendo 250.000 estádios, o que dava para cada grau um comprimento de 700 estádios. Adotando um estádio como 157,5 metros, vemos que o valor obtido por Eratóstenes está muito próximo do valor atualmente aceito.

Posidônio (135 a.C.), chegou a uma estimativa da circunferência da Terra bastante próxima àquela de Eratóstenes, mas utilizando um outro método: ele observou que a estrela Canopus culminava exatamente sobre o horizonte de Rodas, enquanto em Alexandria, a altura meridiana era o equivalente a  $7,5^\circ$  (distância entre os meridianos centrais dos dois locais considerados). Como ele conhecia a distância entre Rodas e Alexandria (= 5.000 estádios), obteve o valor de 240.000 estádios para o comprimento da circunferência terrestre.

Johann de Sacrobosco, o Holywood, e Pierre D'Ailly estimaram a circunferência terrestre em 31.500 milhas [6:62-63]. O método empregado por ambos não era o de Eratóstenes e baseava-se, provavelmente, no método descrito por Posidônio. Segundo Pierre D'Ailly, o valor determinado por Alfraganus e outros árabes para a circunferência da Terra era de 20.400 milhas, ou seja, um terço do valor atualmente aceito.

Segundo Ibn Yunus [1:228], o comprimento de um grau foi medido, por ordem do califa al-Mamun na planície de Palmira, por dois observatórios entre Wamia e Tadmor e de outras duas localidades, das quais não há registro histórico. Uma das medidas forneceu o valor médio de 56,66 milhas para cada grau, resultando numa circunferência terrestre de 20.400 milhas. Uma segunda medida deu como resultado 56,25 milhas para cada grau, perfazendo 20.250 milhas para a circunferência terrestre. A milha árabe tinha 2100 metros, o que dá para a medida, o valor de 42.840 km para a circunferência da Terra.

É interessante citar aqui uma passagem de Copérnico, em sua obra máxima, *De Revolutionibus*, onde fica flagrante como ele estava seguindo profundamente a tradição de seus antepassados. Diz ele [4; 7]:

*“A Terra também é esférica porque se apoia em todas as direções no seu próprio centro, embora a totalidade não se veja*

*toda do mesmo lado, pela considerável altura dos montes e concavidades dos vales que não fazem, contudo, variar absolutamente nada da sua total esfericidade. E isto é fato manifesto porque a quem se dirige de qualquer parte que seja para o Norte levanta-se-lhe, a pouco e pouco, aquele polo de rotação diária, enquanto do lado oposto o outro desce na mesma medida, e se vê que muitas estrelas à volta do Pólo Norte não tem ocaso e que, no Pólo Sul, algumas nascem. Assim a Canopo não é visível na Itália, sendo visível no Egito. Mas a Itália vê a mais afastada estrela do Rio, a qual a nossa região, numa zona mais frígida, ignora. Pelo contrário, para aqueles que viajam para o Sul, estes dois astros são visíveis enquanto que são invisíveis os que nós vemos.*

*“Entretanto, também as próprias inclinações dos pólos tem em toda parte a mesma razão aos espaços da Terra percorridos, e isso não acontece em nenhuma outra figura como na esfera. Donde se conclui que também a Terra termina em pólos e por isso é esférica. Acresce ainda que os eclipses vespertinos do Sol e da Lua não são visíveis para os habitantes do Oriente nem os matutinos para os habitantes do Ocidente, mas os que estão na zona média vêem-nos, aqueles mais tarde e estes mais cedo. Que também as águas repousam na mesma forma é o que os navegadores depreendem, porquanto a Terra que não se avista do navio é geralmente avistada do topo do mastro.*

*“Por outro lado, se fixarmos uma luz no topo do mastro, os que estão na praia vêem descer lentamente, enquanto o navio se afasta da Terra, até que finalmente se oculta como se tivesse o seu ocaso no horizonte. Diz-se até que as águas, fluidas por natureza, buscam sempre as mesmas partes mais baixas do que a Terra e não sobem da praia até mais além do que a própria convexidade permite. Por isso é que a Terra deve ser mais elevada onde quer que ela surja do Oceano.”*

Copérnico, usou também argumentos físicos e filosóficos sobre a forma do universo, antes de concluir que a Terra era esférica. Diz ele [8:8-9]:

*“Inicialmente, asseveramos que o Universo é esférico; porque sua forma, sendo um todo completo e não necessitando de juntas, é a mais perfeita de todas; porque ele constitui a forma mais espaçosa, que é a mais apropriada para conter e reter todas as coisas e também porque todas as partes*

*discretas do mundo, como o Sol, a Lua e os planetas aparecem como esferas; e porque todas as coisas tendem a assumir a forma esférica, um fato aparente em uma gota de água e em outros corpos fluidos, quando sob sua própria influência eles se limitam. Portanto ninguém duvidará que essa forma é natural para os corpos celestes.” E continua: “Que a Terra também é esférica está acima de dúvida, pois ela pressiona de todos os lados para seu centro.”*

### III Geocentrismo e geostatismo: modelos planetários de Anaximandro a Ptolomeu

Anaximandro acreditava que a Terra estivesse em equilíbrio no centro do mundo e que fosse circundada por um céu esférico. Imóvel, a Terra seria o centro dos movimentos dos astros, nascendo a leste e se pondo a oeste. Estabeleceu a data dos dois solstícios e dos dois equinócios.

Anaxágoras de Clazômena foi o primeiro a pensar na sucessão das distâncias dos astros celestes. Para ele, a ordem seria: a Lua, o Sol e os demais cinco planetas conhecidos na época (Mercúrio, Venus, Marte, Júpiter e Saturno). Acreditava que a última esfera, a das estrelas fixas, fosse constituída por partículas destacadas da Terra, em rápida revolução pelo éter ígneo. Neste aspecto, Anaxágoras “andou para trás”, se examinarmos a opinião de seu antecessor, Demócrito de Abdera. Para este, a faixa esbranquiçada da Via Láctea nada mais era, acertadamente, do que a “cansada” luz de uma multidão de estrelas de brilho muito débil.

Pitágoras de Samos e seus discípulos conceberam um universo baseado no geocentrismo. Teon de Smirna afirma que ele próprio foi o primeiro a observar que os planetas se movem em órbitas distintas, inclinadas com respeito ao equador celeste. Aézio [1:34-35], apesar de Enópide reivindicar essa descoberta, diz que Pitágoras foi o primeiro a dar-se conta da inclinação do círculo zodiacal com respeito ao equador (inclinação da eclíptica). No entanto, registros históricos dão conta de que a eclíptica e sua inclinação já eram conhecidas pelos chineses desde 1.100 a.C.

Filolao de Cróton, um pitagórico, ao final do século V a.C., concebia um universo particular. Diógenes Laércio chegou a dizer que Filolao foi o primeiro a afirmar que a Terra se movia num círculo (apesar de desconsiderar o movimento de rotação ao redor do próprio eixo). Seu sistema consistia no seguinte modelo: por ser da escola pitagórica, considerava 10 o número perfeito. Assim, ele acreditava que o Universo era constituído por nove corpos: a Terra, a Lua, o Sol, os cinco planetas e a esfera das estrelas fixas. Para completar o décimo corpo, Filolao criou um outro (e invisível) planeta: a

Antiterra (Antichton). Este último era invisível porque se encontrava entre nós e um misterioso fogo central (a Torre de Observação de Zeus - em torno da qual todos os outros corpos se moviam em órbitas circulares). Movia-se num período de revolução de 24 horas e sob o plano do equador.

Não poderíamos considerar o sistema de Filolao como um sistema heliocêntrico, pois mesmo o Sol mover-se-ia ao redor do fogo central. O modelo filolaico é antes de tudo um modelo *ad hoc*, cunhado para se moldar à exigência da perfeição (no caso, o número 10) pitagórica, do que propriamente um modelo baseado na observação sistemática do Céu.

Hiceta de Siracusa possuía, segundo Teofrasto [1:45], uma interessante visão de referencial. Para ele, céu, Sol, Lua e estrelas e todas as outras coisas estavam imóveis, com a Terra movendo-se a uma velocidade extrema, fazendo com que se parecesse que o inverso ocorria, ou seja, que a Terra estivesse imóvel e que tudo rodasse ao seu redor.

Aézio escreveu que Heráclides do Ponto e Ecfanto, o Pitagórico, faziam mover a Terra de oeste para leste ao redor de seu próprio centro.

No entanto, Platão retornou à idéia geocêntrica, acreditando que a esfera celeste gira ao redor da Terra em 24 horas. Para ele, este sistema era melhor porque necessitava de um só movimento para explicar o movimento diurno. Platão, certamente não fazia trabalhos observacionais, pois não se dava conta do movimento de oeste para leste do sol (cerca de 1° /dia), da Lua (cerca de 12° /dia) e das retrogradações planetárias.

Eudoxo de Cnido (408-355 a.C.), propôs um intrincado modelo de esferas homocêntricas (concêntricas) que explicava todo o movimento planetário, do Sol, da Lua e das esferas das estrelas fixas utilizando ao todo 27 esferas.

Aristóteles (384-322 a.C.) aperfeiçoou o modelo de Eudoxo, explicando irregularidades que aquele não previra. Ao final, Aristóteles concebeu os movimentos dos céus utilizando 55 esferas, [1:102-103; 5:71]!

Para Aristóteles, a Terra estava no centro do universo. Esta concepção baseava-se na física do mundo sublunar (em contraposição ao mundo supralunar). Os corpos sempre caem na vertical em ângulos iguais (perpendiculares à linha do horizonte) em direção ao centro da Terra, e os corpos leves e o fogo sempre se afastam para os limites do mundo sublunar. Esta explicação baseava-se na distinção que Aristóteles fazia entre céu (mundo supralunar - acima da esfera da lua) e Terra (mundo sublunar - abaixo da esfera da lua). Estes dois mundos eram divididos pela perfeição (supralunar) e pela imperfeição (sublunar). No mundo sublunar, composto pelos elementos terra, água, ar e fogo, reinavam a alteração e a corrupção (movimentos naturais e violentos - os corpos vão para baixo (água e terra) ou para cima (ar e fogo) porque eles possuem uma tendência natural a ocupar seus lugares próprios; qualquer alteração desta tendência é entendida como violência e corrupção da natureza). No mundo supralunar, preenchido pela

quintessência, o éter, reinavam a perfeição e a incorruptibilidade dos céus. Aí, só era possível os movimentos naturalmente circulares. Não havia corrupção do movimento, pois um círculo não tem o seu inverso, como é o caso do movimento retilíneo (ou para cima ou para baixo). Para Aristóteles, o centro geométrico do universo (que coincidia com o centro da Terra) era, pois, o lugar natural de todos os corpos pesados, [6:37-38]. Sobre a presença de cometas nos céus de sua época (que poderiam indicar uma corruptibilidade no reino da perfeição, Aristóteles aludiu estes fenômenos a ocorrências atmosféricas. Esta idéia prevaleceu até o século XVI. Mesmo Galileu, um anti-aristotélico convicto, defendeu em uma de suas obras, *Il Saggiatore*, a opinião de que os cometas eram fenômenos de nossa atmosfera e não fenômenos de origem astronômica.

Devemos abrir aqui um espaço a Heráclides do Ponto, que supunha salvar melhor os fenômenos (contemplar dados da observação com aqueles fornecidos pelo modelo geométrico), dizendo que a Terra se movia ao redor de seu próprio eixo, enquanto os céus permaneciam em repouso. O sistema planetário de Heráclides foi reconstruído por três enciclopedistas latinos, [6:10], Calcídio, Capella e Macrobius. No entanto, os movimentos dos planetas Mercúrio e Vênus apresentavam problemas de ordenamento com respeito à esfera das estrelas fixas. Estes dois planetas são sempre vistos como estrelas da manhã e do entardecer, não se afastando do Sol, respectivamente, mais que  $29^\circ$  a  $47^\circ$ . Para dar conta destes movimentos, Heráclides supôs que tanto Mercúrio quanto Vênus fossem exceções na grande máquina celeste, ou seja, eles rodariam ao redor do Sol, e o conjunto todo, rodaria ao redor da Terra. Este mesmo sistema seria utilizado por Tycho Brahe durante o século XVI, sendo um sistema semi-geocêntrico e semi-heliocêntrico.

Simplício e Geminus (primeira metade do primeiro século d.C.), comentando os modelos astronômicos desenvolvidos pelos gregos, passaram a distinguir duas descrições possíveis do mundo: aquela pertencente ao físico (método do físico) e aquela pertencente ao astrônomo (método do astrônomo), [9]. Ao primeiro, cabia o exame detalhado da natureza, da qualidade, da geração e da corrupção das coisas dos céus e da Terra; ao segundo, cabia, tão somente, a descrição e a disposição dos corpos celestes, “a figura e as dimensões e a distância da Terra, do Sol e da Lua, os eclipses e as conjunções dos astros e à qualidade e quantidade de seus movimentos [se circulares ou compostos de movimentos circulares]; nestas indagações quantitativas, a astronomia se faz ajudar pela aritmética e pela Astronomia”, [1:119]. Aqui, a questão de *salvar os fenômenos* distancia os modelos astronômicos de suas realidades físicas: o que era importante era compatibilizar dados observacionais com os modelos geométricos, mesmo que estes estivessem bastante distantes de sua real natureza.

Por Arquimedes (287-212 a.C.), sabemos que um grego, de nome Aristarco de Samos (que já mencionamos), aluno de Estratão, o Físico, concebia um modelo

no qual supunha que a Terra, os planetas e a esfera das estrelas fixas se moviam em círculos ao redor de um Sol estático. Ele considerava tanto o movimento de rotação quanto o de translação. O modelo desenvolvido por Aristarco era superior ao de Eudoxo e Aristóteles porque explicava a variação da luminosidade dos planetas, devido à respectiva variação de suas distâncias relativas à Terra. As esferas homocêntricas de Eudoxo, Callipo e Aristóteles mantinham sempre as mesmas distâncias com respeito a Terra, ou seja, não havia variação do brilho.

Apolônio de Perga (segunda metade do século III), que foi citado no XII livro do *Composito de Ptolomeo*, para dar conta das retrogradações planetárias e do movimento de oeste para leste do Sol, introduziu, ao redor de uma Terra imóvel, um círculo, chamado deferente (movimento em longitude) e, sobre este, onde se encontrava o astro errante (planeta), deslizava um epiciclo (pequeno círculo - movimento em anomalia).

Como este sistema não dava conta de todas as irregularidades dos planetas, Apolônio aplicou para os planetas externos (Marte, Júpiter e Saturno) círculos excêntricos móveis. Neste modelo, o centro do excêntrico revoluciona com velocidade igual à velocidade aparente do Sol em sua revolução em torno ao centro do zodíaco (de oeste para leste), ao passo que o astro se move sobre o excêntrico na direção oposta, [1:140-141].

Hiparco de Nicéia, outro grande nome da Astronomia grega, sucedeu Apolônio. Tinha à sua disposição os resultados de 150 anos de observação, arquivados na grande Biblioteca de Alexandria, além de contar com dados muito antigos coletados pelos babilônios. Graças aos seus estudos, foi descoberta a precessão dos equinócios (o movimento em pião do eixo terrestre, que leva cerca de 25.800 anos para uma revolução completa). Por este movimento, o equinócio de marco, que ocorria na Constelação de Áries (conhecido como ponto vernal, ou primeiro ponto de Áries), hoje localiza-se na Constelação de Peixes, em direção à Constelação de Aquários.

Hiparco, estudando o movimento do Sol e levando em consideração a diferença de duração das quatro estações do ano, compôs o movimento solar ao longo de um epiciclo com a Terra no centro do deferente. No entanto, para dar conta da diferença observada na duração das estações, considerou uma excentricidade para o Sol, dando a este uma distância máxima (apoigeu) e uma distância mínima (perigeu) em relação a Terra.

Seu modelo reproduzia o movimento solar com um erro de menos de um minuto de arco; dado que só iria melhorar com a introdução do sistema copernicano em 1543 (d.C.). Hiparco, no entanto, preferia, para explicar o movimento dos planetas, o modelo de seu antecessor, Apolônio, ou seja, a dos excêntricos móveis.

A síntese dada por estes modelos levou ao ordenamento seguinte: *Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter, Saturno, Esfera das Estrelas Fixas*.

Claudius Ptolomeu (segundo século d.C.) realizou numa obra, que ficou conhecida como *Almagesto* (uma corruptela do árabe *Hi Magisti*, A Maior (obra)), a grande síntese do pensamento grego sobre o movimento dos astros.

Com relação a Hiparco, critica seu modelo, pois este não dá conta do movimento da Lua.

Ptolomeu para “salvar melhor os fenômenos”, concebeu um novo modelo, ainda baseado em deferentes e epiciclos. No entanto, introduziu, além do ponto excêntrico, posição ocupada pela Terra (excentricidade), um novo ponto: o *punctum aequans* (ponto equante). Em relação a este ponto, o epiciclo de um planeta possuía velocidade angular constante. Utilizando este sistema, Ptolomeu, aproveitando-se de observações realizadas pelos caldeus, e verificando a posição de dois eclipses lunares (que ocorrem na proximidade do apogeu do epiciclo), calculou o diâmetro da lua no apogeu: 31'20" [1:178]. Seu erro não excedia os dois minutos de arco!

O modelo desenvolvido por Ptolomeu era o coroamento da Geometria e da Astronomia (teórica e observacional) grega. No entanto, este sistema se afastava dos ideais platônicos e aristotélicos, das esferas cristalinas girando ao redor de uma Terra posicionada no centro do universo. A posição excêntrica da Terra, desprovida de movimento circular uniforme ao seu redor (qualidade agora destinada ao ponto equante), valeu a Ptolomeu severas críticas. Os astrônomos árabes não o perdoaram, preferindo as esferas cristalinas de Eudoxo, Callipo e Aristóteles. Apesar disso, o grau de precisão obtido por Ptolomeu salvava os fenômenos observados no céu.

Em sua obra *Hipótese dos Planetas*, Ptolomeu dizia: “*não sustento ser capaz de explicar todos os movimentos do mesmo modo; mas mostrarei que cada um deles pode ser explicado recorrendo à sua hipótese particular*”, ou seja, o sistema de epiciclos, deferentes, excêntricos e equantes, desenvolvido por Ptolomeu (com uma Terra numa posição geostática, não mais *geocêntrica*), explicava, com seus 13 círculos [10:514], aqueles mesmos movimentos que Aristóteles tentou explicar recorrendo a um modelo de *55 esferas* [6:71;1:102-103]. Apesar de descentrar a posição da Terra e utilizar menos círculos que Aristóteles, o modelo ptolomaico estava de acordo com a *Física* de Aristóteles, pois em seu sistema estava implícito que os corpos graves caíam perpendicularmente ao horizonte porque a Terra estava imóvel no universo. Assim, os fenômenos celestes foram salvos por cerca de 1.500 anos.

## IV Heliocentrismo e heliostatismo: de Ptolomeu a Kepler

O único modelo realmente heliocêntrico da Antigüidade foi aquele desenvolvido por Aristarco de Samos, como já discutimos na seção anterior. No entanto, após

Ptolomeu, algumas críticas acerca da imobilidade da Terra foram tecidas por alguns poucos nomes ligados à história da ciência.

Ali Negm ad-din al-Katibi (1277 d.C.), em seu livro *Hikmat al-Ain*, não faz coro com aqueles que engendram argumentos contra a imobilidade da Terra. Um destes argumentos é o de que um pássaro voaria mais rápido no sentido da rotação terrestre, enquanto aquele que estivesse contra o sentido de rotação, voaria mais lentamente. Ele refutava este argumento dizendo que a atmosfera, contígua à Terra, também participa de seu movimento, assim também como o éter participa do movimento da esfera celeste. Apesar disso, ele próprio refutava essa contra-argumentação porque estava preso ao ideário da circularidade dos movimentos celestes e que, portanto, não poderia [a circularidade do movimento] pertencer à Terra.

Outro nome árabe interessante de citar é o de *Moshed ben Shemtob di Leon* (1305 d.C.). Ele relata em seu livro *Zohar* [1:249] que um certo Rabbi Hamnuna, o *Velho*, ensinava que a Terra girava ao redor de seu próprio eixo.

Na Europa Medieval, Nicolau de Cusa (1401-1464 d.C.), em sua obra *La Docta Ignorantia*, publicada em 1440, recorre a intrincadas noções filosóficas de *absoluto e relativo*. Ele dizia que a Terra se movia, mas que não nos apercebíamos disso tal qual ocorre quando estamos no interior de um navio e não nos apercebemos de seu movimento.

Girolamo Fracastoro (1483-1553), que provavelmente conheceu Copérnico na Universidade de Pádua, representou os movimentos planetários retornando às esferas homocêntricas de Eudoxo, aumentando o número de esferas para 79, [1:274]!

Nicolau Copérnico (1473-1543), que é o divisor de águas entre o sistema baseado numa Terra estática e seu novo sistema (apesar de Aristarco), de Sol estático, publicou inicialmente, em 1533, um pequeno Comentário, *Commentariolus*, onde critica os sistemas de Callipo e Eudoxo porque estes não salvam os fenômenos celestes adotando círculos concêntricos.

Em 1543, com sua obra-mor, *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, Copérnico muda o referencial dos movimentos planetários para o Sol, deixando a Terra como mais outro planeta a orbitar o “astro-rei”. Seu livro começa demonstrando que o Mundo e a Terra são esféricos. No quarto capítulo, afirma que os movimentos dos corpos celestes são uniformes e circulares, ou compostos de movimentos circulares. Para afirmar que a Terra gira ao redor do Sol e de seu próprio eixo, reinterpretava os argumentos da física aristotélica, invocando que a tendência dos corpos de irem para seus lugares naturais (movendo-se em linha reta) também se verificava nos outros corpos celestes. Além das órbitas, Copérnico faz assemelhar ainda mais a Terra com outros planetas. O sistema de Copérnico permitiu a ele, através da observação precisa dos períodos sinódicos (duas sucessivas oposições de um planeta) dos planetas, chegar a um método correto para o cálculo dos períodos siderais

(orbitais) dos planetas ao redor do Sol, como pode ser visto pela tabela 1, [11:58].

Tabela 1 - Valores comparativos do período sideral de cada planeta, obtidos por Copérnico e aqueles aceito atualmente.

Planeta	Período sinódico (em dias)	Período sideral (por Copérnico)	Período Sideral (Atual)
Mercúrio	115,88	87,97 dias	87,97 dias
Vênus	538,92	224,70 dias	224,70 dias
Terra	-	365,26 dias	365,26 dias
Marte	779,04	1,882 anos	1,881 anos
Júpiter	398,96	11,87 anos	11,862 anos
Saturno	378,09	29,44 anos	29,457 anos

Baseando-se no fato de que os planetas inferiores (Mercúrio e Vênus) estão sempre dentro de um ângulo máximo que une Terra-Sol, Copérnico estimou as distâncias relativas que separam os planetas do Sol (em U.A. - unidades astronômicas). Os valores que ele obteve podem ser vistos na tabela 2, [11:59].

Tabela 2 valores das distâncias médias Planeta-Sol (em Unidades Astronômicas = 1 U.A.  $\cong$  150.000.000 km), obtidos por Copérnico e aqueles aceitos atualmente.

Planeta	Distância (por Copérnico)	Distância (Atual)
Mercúrio	0,3763	0,3871
Vênus	0,7193	0,7233
Terra	1,0000	1,0000
Marte	1,5198	1,5237
Júpiter	5,2192	5,2028
Saturno	9,1743	9,5388

Assim, Copérnico chega ao ordenamento preciso dos planetas, “corrigindo” o sistema de Heráclides do Ponto (semiheliocêntrico e semigeocêntrico, que forneciam distintas posições relativas entre Mercúrio-Terra e Vênus-Terra).

Copérnico estimou ainda as variações da obliquidade da eclíptica num período de 3434 anos, chegando aos limites de  $23^{\circ}12'$  e  $23^{\circ}28'$ , [1:301].

Apesar de seu sistema apresentar inúmeras diferenças em relação àquele de Ptolomeu, Copérnico mantinha-se preso à circularidade uniforme dos movimentos planetários. Para isso, rejeitou a introdução do ponto equante ptolomaico, mas, para salvar os fenômenos, precisou adotar os excêntricos móveis, à maneira de Apolônio, para dar conta dos movimentos observados. Seu sistema, utilizava *34 círculos* para explicar todos os movimentos planetários e da esfera celeste. Apesar disso, considerando o Sol como o centro de todos os movimentos, Copérnico não conseguiu sanar os erros que o modelo incorria no cálculo da longitude de Marte.

Apesar do prefácio anônimo de Osiander do *De Revolutionibus* (seguramente reprovado por Copérnico), invocando a velha distinção entre o *método do físico* e o *método do astrônomo*, Copérnico não pretendia, com seu sistema de mundo, simplesmente *salvar os fenômenos*, como na acepção clássica deste termo [9]. Ele realmente acreditava que seu sistema estava de acordo com as hipóteses por ele aventadas. Grant, [6:87], a este respeito, diz:

*“Somente se as hipóteses são verdadeiras podem as aparências ser realmente salvas. O movimento diurno e anual da Terra foi uma hipótese que Copérnico acreditava ser indubitavelmente verdadeira. Este duplo movimento produzia uma simetria no universo que era claramente superior ao velho esquema. Retrogradações e progressões dos planetas foram tornados fisicamente inteligíveis. Estas conseqüências do movimento da Terra parecem ter sido um instrumento em convencer Copérnico de que a Terra realmente se movia e que esta hipótese era uma reflexão verdadeira da realidade cosmológica.”*

O sistema de Copérnico ia contra as Sagradas Escrituras (Josué 10:12-14), que considerava a Terra imóvel. Lutero havia criticado severamente a obra de Copérnico e, cerca de 60 anos após sua publicação, a Igreja Católica colocou o *De Revolutionibus* no *Index Librorum Prohibitorum*.

Seis anos após a morte de Copérnico, é interessante lembrar aqui o argumento de Melantone, exposto em seu livro *Initia Doctrina Physica*, [1:323], contra a mobilidade da Terra. Para ele, quando um círculo roda seu centro permanece imóvel; mas a Terra está no centro do mundo, e, portanto, está imóvel.

Outro grande nome da Astronomia e de fundamental importância para o desenvolvimento do sistema kepleriano de movimentos planetários foi o dinamarquês Tycho Brahe (1546- 1601). Apesar da adesão ao sistema copernicano de nomes como Gilbert e Thomas Digges, faltava à obra copernicana uma física que sustentasse seus argumentos geométricos da mobilidade da Terra. Tycho Brahe invocou argumentos aristotélicos para refutar o sistema copernicano. Para que a Terra se movesse, seja ao redor de seu próprio eixo, como ao redor do Sol, era necessário registrar paralaxes estelares e desvios na queda vertical de um corpo grave deixado cair do alto de uma torre. No entanto, estes fenômenos não se verificavam na física do mundo subllunar. Os corpos atirados para cima ou para os lados prosseguiram seus percursos sem qualquer desvio. As paralaxes não se registravam, a menos que a distância entre Saturno e a esfera das estrelas fixas fosse elevadíssima (na verdade, ele havia estimado essa distância como 700 vezes superior à distância entre o Sol e o planeta Saturno).

O modelo planetário de Tycho era, na verdade, o modelo imaginado por Heráclides do Ponto, ou seja, um

misto de geocentrismo (Terra no centro do Universo e como centro dos movimentos circulares de todos os astros) e heliocêntrico (o Sol era circundado pelos planetas Mercúrio e Vênus).

Tycho estimou a distância entre Saturno e a Terra em 12.300 semidiâmetros terrestres e entre Saturno e a esfera das estrelas fixas em 14.300 semidiâmetros terrestres. Para a estrela nova de 1572 (uma corruptibilidade no “imutável” céu estrelado), estimou uma distância de 13.000 semidiâmetros terrestres.

A estrela nova e a aparição de um cometa (com paralaxe muito pequena observada - o que indicava uma distância muito além da lua) mostraram a Tycho que o céu acima da Lua era passível de corrupção e alteração, indo contra os ensinamentos da física e da astronomia aristotélica.

Tycho havia completado um catálogo determinando a posição de 777 estrelas e melhorado grandemente as observações das posições planetárias (seus dados tinham uma precisão de cerca de 2 minutos de arco, enquanto, antes dele, essa precisão ficava em torno dos 10 minutos, [12:343]), especialmente aquelas de Marte, que conduziria seu sucessor e colaborador (por escassos 18 meses), Johannes Kepler, à idéia do movimento elíptico dos planetas.

Seis anos após a morte de Tycho foi o tempo que Kepler se dedicou ao estudo da órbita de Marte. Adotando o universo heliocêntrico de Copérnico, com um movimento circular uniforme, Kepler tentou encontrar uma curva que se ajustasse a todos os dados obtidos pelas pacientes observações de Tycho. Em seu livro “Astronomia Nova” ele mostra como chegou primeiramente àquilo que hoje nós chamamos de segunda lei de Kepler (lei das áreas). Kepler sabia a duração de um ano marciano (= 687 dias). Pela Fig. 1, vemos que a Terra (E) completa 1,88 revoluções (=  $687/365$ ) nos 687 dias que Marte (M) emprega para retornar ao ponto M da figura 1. Assim faltam  $43^\circ$  para a Terra completar exatamente duas revoluções ( $1,88 \times 360^\circ \cong 677^\circ$ ;  $677^\circ - (2 \times 360^\circ) = 43^\circ$ ) ao redor do Sol. Quando Marte se encontra de novo no ponto M, a Terra se encontra no ponto  $E_1$ . Depois de um ano marciano, Marte estará de novo no ponto M, mas a Terra estará no ponto  $E_2$ , distante  $43^\circ$  de  $E_1$  e assim por diante. Realizando um duro trabalho de localizar as distâncias angulares entre Marte e Terra nos sucessivos anos de observações realizadas por Tycho, Kepler constatou que, apesar de um ligeiro descentramento do Sol, a órbita era muito semelhante a um círculo. Nas análises realizadas por Kepler, e levando em consideração a pequena posição excêntrica ocupada pelo Sol, ele verificou que a Terra se movia mais rápido quanto mais próxima do Sol (perihélio). Os vários valores de que dispunha, levaram-no a formular o que hoje conhecemos por segunda lei de Kepler: “o raio vetor que une Sol-planeta descreve áreas iguais em tempos iguais”, [11:47].

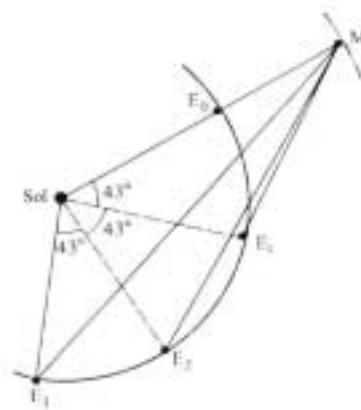


Figura 1. Órbitas da Terra e de Marte.

Kepler partiu então para uma triangulação para encontrar a órbita de Marte, como podemos ver pela Fig. 2. O triângulo, digamos assim, inicial é aquele que une duas posições da Terra,  $E_0$  e  $E_1$  (distantes  $43^\circ$ ), com aquela ocupada por Marte (M). Ele podia então escolher um segundo ponto, por exemplo  $M'$  e encontrar a posição da Terra (por exemplo  $E'_0$ ). No entanto, para completar os  $43^\circ$  na nova triangulação, a Terra deveria estar na posição  $E_1'$ . Os dados de Tycho, reunidos em cerca de 25 anos, permitiram a Kepler estabelecer do modo relatado doze pontos sobre a órbita de Marte. Mantendo um movimento circular, Kepler errava, por mais que repetisse os cálculos, em oito minutos de arco. Mas, como salienta Dreyer [1:354]: “... oito minutos eram, de fato, um valor inferior ao limite de precisão de suas observações (10 minutos); mas, já que a divina bondade nos deu em Tycho Brahe um diligentíssimo observador, é justo que façamos uso com gratidão deste presente para encontrar os verdadeiros movimentos celestes. Por fim, mantendo-se fiel aos valores obtidos por Tycho, Kepler renunciou ao ideal platônico do movimento circular, reconhecendo que aqueles doze pontos só se encaixavam numa figura geométrica ovalada: a elipse. Assim, Kepler chega à lei das órbitas, sua primeira lei, que, modernamente é enunciada como se segue: “Todo planeta descreve uma órbita elíptica, com o Sol ocupando um dos focos”, [11:47].

Sua terceira e última lei saiu quase como de seu último refúgio na perfeição e harmonia do cosmos. Era uma proporcionalidade que lembrava a música das esferas, inicialmente pensada por Pitágoras e seus discípulos. A terceira lei pode assim ser enunciada: “o quadrado do período de um planeta é diretamente proporcional ao cubo de seu semi-eixo maior”.

Para finalizar esta seção, lembremos as palavras de Dreyer, [1:361], acerca da segunda lei de Kepler:

“A descoberta da órbita elíptica de Marte era um ponto de partida absolutamente novo, uma vez que implicava o abandono do princípio do movimento circular uniforme, um princípio que, de tempos em tempos, foi



considerado evidente e inviolável, apesar de que Ptolomeu já houvesse, tacitamente, deixado cair, introduzindo o equante.”

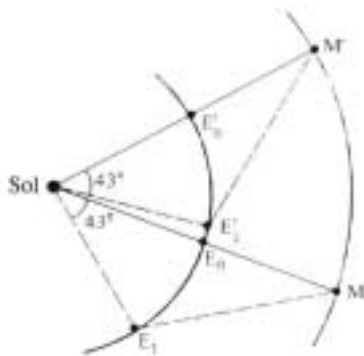


Figura 2. Triangulação para a órbita de Marte.

## V O casamento do céu e da Terra: de Oresme e Buridan a Galileu, Newton e Foucault

A corruptibilidade dos céus já havia sido demonstrada pela observação dos cometas e de estrelas novas, que tumultuavam a harmonia das esferas. Para dar conta destes estranhos fenômenos, atribuiu-se a eles uma origem atmosférica.

Plutarco e Sêneca, assim como Apolônio de Mindo, a despeito de toda a força do pensamento aristotélico, acreditavam que os cometas fossem corpos celestes já que não sofriam a ação dos ventos e das tempestades.

As irregularidades nos céus, aliadas à precisão cada vez maior das medidas, impondo a criação de novos modelos para que os fenômenos fossem salvos, impuseram também um alargamento das distâncias entre os astros.

Anaximandro acreditava que a distância Terra-Sol fosse de 27 raios terrestres, enquanto que a distância Terra-Lua fosse de 19 raios terrestres.

Plínio e Censorino davam em 126.000 estádios a distância Terra-Lua (metade do valor calculado por Eratóstenes para a circunferência terrestre). Plínio afirmava ainda que a distância Terra-Sol era duas vezes menor que aquele valor, enquanto a distância do Sol às estrelas fixas era três vezes maior.

Martiano Capella estabeleceu que a distância Terra-Sol era de 12 vezes a distância Terra-Lua, enquanto Terra e Marte estavam cerca de duas vezes a distância Terra-Sol; Terra-Júpiter, doze vezes; e Terra-Sol, 28 vezes.

Varrone estimava a distância Terra-Lua em cem raios terrestres.

Mas foi Aristarco de Samos que, adotando um método de cálculo baseado na observação da Lua, calculou a distância Terra-Sol entre 18 e 20 vezes a distância Terra-Lua. Apesar deste valor incorreto, o método desenvolvido por Aristarco era essencialmente correto. Estimou ainda a distância entre a Terra e a esfera das estrelas fixas: aproximadamente 124.000 raios terrestres.

Hiparco estimou que a distância da Terra a Lua era de 60 vezes o raio da Terra e a distância Terra-Sol era de aproximadamente 2.100 vezes o raio da Terra. Estimou também que o Sol deveria ser 1.800 vezes maior que a Terra e que a distância entre nós e a abóbada celeste fosse de 413.000 raios terrestres.

Os valores adotados por Ptolomeu em sua obra máxima são:

- Distância média da Lua = 59 raios terrestres.
- Distância média do Sol = 1.210 raios terrestres.
- Raio da Lua =  $1 / 3,4$  raios da Terra.
- Raio do Sol = 5,5 raios da Terra.

Posidônio estimava que a distância da superfície da Terra até as nuvens fosse de 40 estádios; das nuvens à Lua, de 2.000.000 de estádios, e da Lua ao Sol, de 500.000.000 de estádios.

Macróbio, sem demonstração alguma, afirma que a sombra da Terra chegava exatamente até o fim da órbita solar (a 60 diâmetros da Terra). Para ele, baseado nesta estimativa, o diâmetro do Sol deveria ser o dobro daquele da Terra.

O fracasso de Tycho em medir a paralaxe das estrelas, adotando o sistema copernicano, implicaria em aceitar uma distância de, pelo menos 1,4 milhões de raios terrestres. Galileu adotou 13 milhões de raios terrestres, Kepler, 34, e, mais tarde, 60 milhões de raios da Terra, [8:11].

Thomas Digges e Giordano Bruno defenderam em suas obras a infinitização do espaço e a pluralidade dos mundos.

Em torno dessas idéias, que alargavam as dimensões do Mundo, teve início na Idade Média uma profícua discussão acerca da possibilidade de movimento terrestre. Os parágrafos precedentes mostram que haviam várias estimativas conflitantes acerca da dimensão do espaço supralunar. Portanto, o argumento da ausência de paralaxe não era definitivo para se assegurar a imobilidade da Terra. Era necessário tocar na Física do mundo sublunar, e assim foi feito por dois grandes nomes da história da Ciência e da Filosofia: Jean Buridan e Nicole Oresme.

Buridan chega a reconhecer que o problema principal sobre a imobilidade ou não da Terra era uma questão de relatividade do movimento, [6:65;12]. Buridan concordava com um dos princípios básicos de Aristóteles, que era aquele de atribuir um estado de nobreza ao repouso comparado ao movimento. No entanto, Buridan elabora um raciocínio onde chega a atribuir um movimento de rotação à Terra, pois esta em-

pregaria uma velocidade de rotação muito menor que aquela exigida para a rotação da esfera celeste. Apesar deste forte argumento em favor da mobilidade da Terra, Buridan renuncia a ele por não explicar corretamente o movimento de uma flecha lançada para cima. Numa Terra em movimento, certamente ela não cairia no mesmo ponto de onde foi lançada.

Nicole Oresme partiu dos mesmos pressupostos de Buridan, chegando a afirmar que o movimento da flecha tanto para uma Terra imóvel, quanto para uma Terra em movimento, seria o mesmo, já que nesta última o ar também participaria do movimento. Ele constrói seus argumentos usando como analogia o movimento de um navio e de como um passageiro veria o movimento de um corpo em lançamento vertical ou deixado cair [o exemplo do navio seria retomado posteriormente por Bruno e Galileu].

Vale a pena lembrar aqui um interessante parágrafo de Grant, [6:69], a respeito destes dois personagens da escola francesa de pensamento:

*“Embora Buridan e Oresme concluíssem que a Terra não possuía movimento de rotação, alguns de seus argumentos a favor da rotação eram próximos àqueles defendidos por Copérnico em seu sistema heliocêntrico onde a Terra possuía ambos os movimentos: rotação e movimento anual ao redor do Sol. Entre esses [argumentos] encontramos a relatividade do movimento, como o ilustrado pelo movimento dos navios; é melhor para a Terra completar uma rotação diária com uma velocidade muito menor do que aquela necessária para os vastos céus; que o movimento de ascensão e queda dos corpos resultam de um movimento composto de elementos retilíneos e circulares; e, finalmente, que o estado de repouso é mais nobre que aquele de movimento; ele é mais apropriado para a ignóbil Terra girar do que os Céus fazê-lo (...). Não existe evidência de que Copérnico conhecesse os tratados ou derivasse seus argumentos de fontes medievais.”*

Somente com os trabalhos de Galileu [14; 15], de Newton [16], e dos experimentos decisivos para a comprovação da mobilidade da Terra, como é o caso da medida da aberração estelar de Bradley em 1728 [8:11], do desvio para leste de um corpo em queda livre, como o realizado por Gugliemini na Torre della Specola di Bologna em 1791 [17], e do famoso experimento de Leon Foucault no Pantheon de Paris, em 1851, [18], é que finalmente a Terra ganhou uma posição dinâmica no sistema solar, definindo-se decisivamente pelo sistema original de Aristarco de Samos. Mas só depois da criação de uma física inercial é que os argumentos de Oresme e Buridan ganharam força para a escolha definitiva do “heliostatismo”.

## VI Conclusão

Para concluir essa exposição histórica do difícil caminho percorrido pela ciência para o estabelecimento da tão proclamada Revolução Copernicana, lembramos que o mundo pós- Copérnico só se firmou graças à melhoria da precisão dos instrumentos de medida, aliada a uma física que encontrou nos trabalhos de Galileu e Newton a força definitiva para nos dar uma posição dentro do sistema solar.

Essa nova posição da Terra e todo o trabalho da ciência ao redor desta definição, fez o historiador e filósofo da ciência E.A. Burt, [19:113], escrever al- gures:

*“A grande autoridade de Newton se fazia sentir plenamente na visão do cosmos que fazia do homem um espectador insignificante e irrelevante (...) do vasto sistema matemático, cujos movimentos regulares, segundo os princípios mecânicos, constituíam o mundo da natureza. O universo gloriosamente romântico de Dante e Milton, que não fixava limites à imaginação do homem para desenrolar-se no espaço e tempo, foi posto de lado. O espaço foi identificado com a Geometria, o tempo com a continuidade do número. O mundo em que julgávamos estar vivendo - um mundo rico de cores e sons, de fragrância, de alegria, amor e beleza que demonstravam em tudo uma harmonia e ideais criativos intencionais - passou a ser amontoado em pequenos cantos nos cérebros dos seres orgânicos dispersos. O mundo realmente importante lá fora era um mundo duro, frio, sem cor, silencioso e morto; um mundo de quantidades, um mundo de movimentos matematicamente computáveis em regularidade mecânica. O mundo das qualidades, tal como o imediatamente percebido pelo homem, tornou-se um efeito curioso e insignificante daquela máquina infinita que jaz mais além.”*

Podemos depreender, pela leitura de todos os passos que culminaram no mundo mecanicista e cartesiano depois de Newton expostos acima, que o sistema educacional e todos que deles participam efetivamente na transmissão e construção do conhecimento, sejam professores, cientistas, filósofos ou pesquisadores em Ensino, muitas vezes esquecem as fontes de onde brotaram todos os resultados dos paradigmas que hoje abraçamos como supostas verdades dentro da atual Ciência. Para finalizar este trabalho, citamos aqui T. S. Kuhn, [20:67], sobre a questão do sistema ptolomaico e copernicano (e da relatividade dos dois sistemas [11:128- 129]):

“Teriam a Astronomia e a Dinâmica avançado mais depressa se os cientistas tivessem reconhecido que tanto Ptolomeo como Copérnico tinham escolhido processos igualmente legítimos para descrever a posição da Terra? (...) Tal posição foi, de fato, sugerida durante o século XVII e foi depois confirmada pela teoria da relatividade. Mas até lá ela foi, juntamente com a Astronomia de Ptolomeo, vigorosamente rejeitada vindo ao cimo de novo só no fim do século XIX, quando, pela primeira vez, se relacionava concretamente aos processos insolúveis postos pela prática usual da Física não-relativística.”

## References

- [1] DREYER, J.L.E., *Storia dell'Astronomia da Talete a Keplero*, Feltrinelli, Milano, 1970.
- [2] PTOLOMEO, C., *Syntaxis*, **op. cit. in 1.**
- [3] SACROBOSCO, J., *Tratado da Esfera*, Editora da Unesp, São Paulo, 1992.
- [4] COPÉRNICO, N., *A Revolução dos Orbes Celestes*, Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1984.
- [5] COPÉRNICO, N. *Commentariolus*, MAST, Rio de Janeiro e Nova Stella Editorial, São Paulo, 1990.
- [6] GRANT, E., *Physical Science in the Middle Ages*, John Wiley & Sons, New York, 1971.
- [7] NEVES, M.C.D. e GALLERANI, L.G., *Reflexões sobre o Ensino de Ciências*, Palavra Muda, Campinas, 1988.
- [8] LIVI, S.H.B., “A Terra e o Homem no Universo”, *Cad. Cat. Ens. Fis.*, vol. 7 (1990), pp.7- 26.
- [9] DUHEM, P., “Salvar os Fenômenos”, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, CLE/Unicamp, Campinas, 1984.
- [10] BREHME, R.W., “New Look at the Ptolemaic System”, *Am. J. Phys.*, vol. 44, n.6 (1976), pp. 506-514.
- [11] NEVES, M.C.D. e ARGUELLO, C.A., *Astronomia de Régua e Compasso: de Kepler a Ptolomeo*, Papirus, Campinas, 1986.
- [12] OLENICK, R.P., APOSTOL, T.M. and GOODSTEIN, D.L., *L'Universo Meccanico*, Zanichelli, Bologna, 1993.
- [13] DUHEM, P., *Le Systeme du Monde* - tome IX, Hermann, Paris, 1958.
- [14] GALILEI, G., Dialogo. In: *Le Opere di Galileo Galilei*. Firenze, Edizione Nazionale, 1964.
- [15] GALILEO, G., *Duas Novas Ciências*, Nova Stella, São Paulo, 1990.
- [16] NEWTON, I., *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, Enciclopaedia Britannica, California, 1978.
- [17] BRACCESI, A., *Un Dimenticato Experimentum Crucis: La Prova Fisica Della Rotazione Terrestre Ottenuta nel 1791 da G. B. Guglielmini Osservando La Deviazione a S-E della Verticale dei Gravi in caduta Libera*, *Giornale di Astronomia*, 1983.
- [18] DELIGEORGES, S., *Foucault e la Prova del Pendolo*, Editions Carré, Milano, 1990.
- [19] BURTT, E.A., citado por HOLTON, G., *A Imaginação Científica*, Zahar, Rio de Janeiro, 1979.
- [20] KUHN, T.S., *A Função do Dogma na Investigação Científica*. In: *A Crítica da Ciência: Sociologia e Ideologia da Ciência*, J.D. Deus (org.), Zahar, Rio de Janeiro, 1974.