



cadernos **IHU** idéias

**Copérnico e Kepler:
como a terra saiu do centro do universo**

Geraldo Monteiro Sigaud

ano 4 - nº 49 - 2006 - 1679-0316

 UNISINOS

INSTITUTO
HUMANITAS
UNISINOS



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS

Reitor

Marcelo Fernandes de Aquino, SJ

Vice-reitor

Aloysio Bohnen, SJ

Instituto Humanitas Unisinos

Diretor

Inácio Neutzling, SJ

Diretora adjunta

Hiliana Reis

Gerente administrativo

Jacinto Aloisio Schneider

Cadernos IHU Idéias

Ano 4 – Nº 49 – 2006

ISSN: 1679-0316

Editor

Prof. Dr. Inácio Neutzling – Unisinos

Conselho editorial

Profa. Dra. Cleusa Maria Andreatta – Unisinos

Prof. MS Dáris Corbellini – Unisinos

Prof. MS Gilberto Antônio Faggion – Unisinos

Prof. MS Laurício Neumann – Unisinos

MS Rosa Maria Serra Bavaresco – Unisinos

Esp. Susana Rocca – Unisinos

Profa. MS Vera Regina Schmitz – Unisinos

Conselho científico

Prof. Dr. Adriano Naves de Brito – Unisinos – Doutor em Filosofia

Profa. MS Angélica Massuquetti – Unisinos – Mestre em Economia Rural

Profa. Dra. Berenice Corsetti – Unisinos – Doutora em Educação

Prof. Dr. Fernando Jacques Althoff – Unisinos – Doutor em Física e Química da Terra

Prof. Dr. Gentil Corazza – UFRGS – Doutor em Economia

Profa. Dra. Hiliana Reis – Unisinos – Doutora em Comunicação

Profa. Dra. Stela Nazareth Meneghel – Unisinos – Doutora em Medicina

Profa. Dra. Suzana Kilpp – Unisinos – Doutora em Comunicação

Responsável técnico

Laurício Neumann

Revisão

Mardilé Friedrich Fabre

Secretaria

Caren Joana Sbabo

Edição eletrônica

Rafael Tarcisio Forneck

Impressão

Impressos Portão

Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Instituto Humanitas Unisinos

Av. Unisinos, 950, 93022-000 São Leopoldo RS Brasil

Tel.: 51.35908223 – Fax: 51.35908467

www.unisinos.br/ihu

COPÉRNICO E KEPLER: COMO A TERRA SAIU DO CENTRO DO UNIVERSO

Geraldo Monteiro Sigaud

O objetivo primordial da Ciência – na verdade, talvez seu *único* objetivo – é a busca de compreensão da Natureza. Esta compreensão – ou *conhecimento* da Natureza – é considerada satisfatória quando se descobrem, em meio à diversidade de fenômenos observados, certas regularidades, certos padrões de comportamento. Estas regularidades são por nós chamadas de *Leis da Natureza*. O extraordinário nisso é que, em primeiro lugar, estas regularidades existam e, segundo, que nós tenhamos sido capazes de descobrir pelo menos algumas delas, em meio à absolutamente fantástica complexidade do mundo em que vivemos. E eu não estou falando da complexidade por nós introduzida através do desenvolvimento tecnológico que nos deu essa parafernália de objetos que tornam nossa vida hoje mais confortável. Estou, sim, me referindo à natureza sem a intervenção dos seres humanos. Todos os fenômenos naturais que observamos apresentam uma complexidade extraordinária, desde uma simples brisa até o mais forte dos temporais, desde o movimento das asas de uma borboleta até o movimento das estrelas e galáxias. O fato de termos conseguido descobrir padrões ordenados e, muitas vezes, universais de comportamento para grupos de fenômenos naturais aparentemente tão desordenados e desconectados entre si é certamente motivo de satisfação e orgulho – positivo, é claro...

Gostaria, aqui, de enfatizar a *observação* como base fundamental de toda a ciência. Por observação entendo eu não só a observação de fenômenos naturais que ocorrem sem a intervenção direta do homem, mas, também, principalmente nos últimos séculos, aquela *provocada* por nós por meio da realização de *experiências*. É importante também que não nos esqueçamos do caráter *sensitivo* embutido na atitude observacional. De fato, a ampliação das possibilidades de observação, que tem, ao longo dos séculos, permitido um grande número de novas *descobertas* e, conseqüentemente, servido de base experimental para o desenvolvimento de novas teorias científicas abrangentes, nada mais é do que uma extensão dos nossos sentidos naturais:

telescópios, microscópios, detectores de radiação, de partículas, etc. Em paralelo, é claro, com a disponibilidade de aparatos e equipamentos *provocadores* de fenômenos novos de forma tão sistemática e repetitiva quanto for necessário, tais como aceleradores de partículas, simuladores, novos materiais, novos produtos químicos e biológicos, etc. A lista é infundável.

Entretanto, nessa busca pelo conhecimento, não basta observar os fenômenos, sejam eles naturais ou provocados. É absolutamente necessário que o observado, natural ou sistematicamente, seja sintetizado de alguma forma em regras gerais, ou *teorias*. Este tem sido, em última análise, o papel de quem tem trabalhado em ciência ao longo destes 2.500 anos desde a Grécia Antiga. Entretanto, este trabalho de síntese do já-observado tem, em toda a História da Ciência, sofrido alguns cortes fundamentais, realizados por cientistas de gênio, que conseguiram, com base em teorias existentes, muitas vezes sobre assuntos aparentemente desconectados entre si, dar passos gigantescos em direção ao novo, revolucionando não só a ciência como também as próprias idéias da humanidade.

Antes disso, porém, gostaria de ressaltar que é preciso não esquecer que nenhum dos cortes fundamentais ocorridos na ciência partiu do nada. Ela é construída sobre bases desenvolvidas anteriormente, cada nova teoria, mesmo revolucionária, abrangendo as anteriormente aceitas. Como afirma Thomas Kuhn: “teorias obsoletas não são acientíficas em princípio, simplesmente porque foram descartadas”. Este conceito de cumulatividade da ciência é de fundamental importância; a rigor, são mais importantes para nossa perspectiva atual as contribuições permanentes de uma ciência desenvolvida anteriormente a nós, do que tentar restringi-las à sua época, mesmo respeitando-se sua integridade histórica.

Costuma-se localizar o início da moderna busca da verdade científica em Galileu e a introdução do *método científico*. Não há nenhuma dúvida de que Galileu foi o grande pai da ciência como a conhecemos – e fazemos – hoje e ele estará presente neste ciclo de palestras mais adiante. Entretanto, vamos tratar aqui de dois outros desses gigantes, Copérnico e Kepler, dois pilares que ajudaram a construir uma visão mais racional da natureza, que conseguiu livrar a humanidade de superstições ancestrais e dos medos irracionais que muitos fenômenos naturais despertavam no ser humano primitivo.

Mas, para que possamos nos situar convenientemente no contexto dos nossos personagens principais, será necessário pular no tempo cerca de 2.000 anos para trás de suas épocas e discutir brevemente aquele que talvez tenha sido o primeiro corte na tentativa de compreensão da natureza. Sim, porque foi na Grécia Antiga, principalmente com Aristóteles, que o que nós conhecemos hoje como ciência deu seus primeiros passos.

Para um ser humano livre da avalanche tecnológica, da poluição atmosférica e luminosa e dos arranha-céus das grandes cidades atuais – como os gregos antigos, por exemplo – a natureza se impõe primeiramente pelo magnífico espetáculo cujo palco é o céu: as danças do Sol, da Lua, dos planetas e das estrelas. Assim, vamos começar apresentando alguns fenômenos astronômicos da perspectiva de uma pessoa na superfície da Terra.

Imaginemos estar de pé no meio de uma planície. A Terra se apresenta para nós como um disco, aproximadamente plano, se não levarmos em conta a topografia local, e limitado por uma circunferência, que chamamos de *horizonte*. No horizonte, a Terra “se encontra” com a abóbada celeste que é azul durante o dia e preta à noite, pontilhada de pontos brilhantes. Todos os astros visíveis parecem estar ligados à abóbada celeste. Alguns deles, como o Sol e a Lua, têm diâmetros apreciáveis a olho nu; outros – os planetas – quando vistos através de um bom binóculo, têm aparência de discos, nem sempre perfeitos. No entanto, a imensa maioria dos astros visíveis aparece sempre como pontos brilhantes, qualquer que seja o meio de observação: são as estrelas. Entretanto, vários fenômenos – como, por exemplo, o desaparecimento progressivo de um navio que se afasta da costa – mostram que a Terra é uma esfera e não um disco. Assim, cada observador tem o seu próprio horizonte e vê sua própria abóbada celeste.

Embora o movimento do Sol seja o mais óbvio para nós, vamos começar estudando o movimento aparente das estrelas, por ser o mais simples. As estrelas, visíveis somente à noite, aparecem para nós como pontos brilhantes. A distância entre duas estrelas quaisquer é, para nós, *constante*. Isso significa que a configuração das estrelas na esfera celeste é *fixa*. Uma outra consequência é que alguns grupos de estrelas aparentemente vizinhas desenham no céu figuras também fixas, algumas delas facilmente reconhecíveis: as constelações, como o Cruzeiro do Sul, por exemplo. Se observarmos a olho nu – ou, melhor ainda, através de uma máquina fotográfica – o céu noturno durante várias horas em direção ao Sul, com um ângulo de cerca de 30° acima do horizonte, veremos a trajetória aparente das estrelas, como arcos de circunferência, todos eles centrados no mesmo ponto da esfera celeste: o pólo Sul celeste. Assim, as estrelas parecem girar *em bloco* em torno de um eixo – o eixo Norte-Sul – da esfera celeste, seguindo sempre a mesma trajetória no espaço, nascendo a Leste e se pondo a Oeste.

Como as estrelas, o Sol nasce sempre a Leste e se põe a Oeste. Entretanto, ao contrário das estrelas, o Sol não nasce nem se põe sempre no mesmo ponto; na verdade, sua trajetória no céu não é fixa, variando ao longo do ano. A trajetória mais ao Sul corresponde ao solstício de verão (22 de dezembro), a mais

ao Norte ao solstício de inverno (22 de junho) e a que fica exatamente entre essas duas corresponde aos equinócios de outono (22 de março) e de primavera (23 de setembro).

Além disso, em consequência do deslocamento de sua trajetória, o Sol não ocupa uma posição fixa em relação às estrelas na esfera celeste. De fato, ao longo do ano, pode-se observar facilmente que o Sol passa por algumas constelações particulares, permanecendo cerca de um mês em cada uma delas: são as chamadas constelações zodiacais, tão importantes para a Astrologia.

Se representarmos as posições sucessivas do Sol na esfera celeste, dia após dia ao longo do ano, descobriremos que o Sol descreve um círculo maior dessa esfera: a *eclíptica*. O Sol é o mais óbvio dos corpos celestes que não compartilham da simplicidade do movimento em bloco das estrelas. Os outros são a Lua e os planetas.

O movimento aparente da Lua é semelhante ao do Sol, nascendo a Leste e se pondo a Oeste. Entretanto, o deslocamento da Lua em relação às estrelas é muito mais rápido de que o do Sol; podemos vê-la se deslocando de uma constelação para outra durante uma noite. Entretanto, a Lua não se afasta muito da eclíptica, no máximo 5° para cada lado. A Lua apresenta um traço característico que é a mudança do seu aspecto ao longo de um mês: são as chamadas fases da Lua.

Há cinco planetas visíveis a olho nu: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Para um principiante, é muito difícil diferenciar os planetas das estrelas, já que, a olho nu, os planetas também aparecem na esfera celeste como pontos brilhantes. No entanto, observações repetidas noite após noite mostram que alguns desses pontos brilhantes se deslocam com relação às estrelas fixas: são os cinco planetas. Existe, entretanto, um fenômeno característico que diferencia o movimento dos planetas de todos os outros corpos celestes: é o chamado *movimento retrógrado*. Seja Marte, por exemplo. Noite após noite, vemos o planeta se deslocar para Leste, passando pelas constelações das estrelas fixas: este é o seu movimento normal. Entretanto chega um momento em que o movimento para Leste diminui de velocidade até parar; em seguida, o planeta começa a se deslocar para Oeste, isto é, no mesmo sentido do movimento diurno das estrelas. Para Marte, este movimento retrógrado dura aproximadamente um mês e meio, depois do qual o planeta desacelera novamente, pára e volta ao seu movimento normal para Leste. Todos os planetas apresentam esse tipo de movimento, mas com períodos diferentes. Além disso, as trajetórias dos planetas se mantêm sempre próximas à eclíptica (a ordem na figura é Saturno, Marte e Mercúrio).

Até agora, o comportamento dos planetas parece apresentar um padrão comum. Há, no entanto, um aspecto particular de

seu movimento, que permite dividir o conjunto dos cinco planetas em dois grupos. No primeiro grupo, estão Mercúrio e Vênus, chamados de planetas inferiores. Eles se distinguem dos demais por permanecerem sempre próximos ao Sol. Vênus é muito mais fácil de se observar do que Mercúrio, já que é o objeto mais brilhante do céu, depois do Sol e da Lua, é claro. Quando Vênus se encontra a Leste do Sol, ele “segue” o Sol em sua trajetória, tornando-se visível logo depois que o Sol se põe. O movimento retrógrado do planeta leva Vênus para o Oeste do Sol, precedendo-o no seu movimento diurno; nesse caso, Vênus aparece antes do nascer do Sol.

Os outros três planetas – Marte, Júpiter e Saturno – formam o grupo dos planetas superiores, que se distinguem dos inferiores por poderem ser encontrados em qualquer posição com relação ao Sol: tanto em conjunção (afastamento angular próximo a 0°) quanto em oposição (afastamento angular próximo a 180°).

Essa é, portanto, uma breve revisão de fatos ou fenômenos astronômicos que podem ser observados.

Embora a Astronomia tenha provavelmente nascido na Babilônia, dois a três mil anos antes de Cristo, a cosmologia científica, isto é, a procura de uma teoria para explicar o movimento aparente dos corpos celestes iniciou-se na Grécia há cerca de 2.500 anos; foi lá que se estabeleceu que a observação da natureza era o estágio inicial de qualquer tentativa para sua compreensão.

Na Grécia do poeta Homero (século IX a.C.), imaginava-se que a Terra fosse um gigantesco disco, flutuando sobre as águas do imenso Oceano. Apesar de acreditar nesta concepção do mundo, o filósofo Tales de Mileto (cerca de 624-546 a.C.) – introdutor da geometria abstrata – foi um dos primeiros pensadores a questioná-la racionalmente, ao colocar de lado as explicações mitológicas. Ele buscou saber como o universo fora criado e qual a matéria fundamental do cosmos. Outro filósofo também de Mileto, Anaximandro (611-547 a.C.), concebeu um universo infinito em extensão e duração, constituído por uma matéria indestrutível e eterna. O céu seria composto por várias camadas esféricas, uma para cada corpo celeste; as esferas teriam orifícios, que seriam o Sol, a Lua, os planetas e as estrelas, sendo possível, através deles, visualizar o fogo cósmico que encheria os espaços entre as camadas. Este foi, de fato, o primeiro modelo mecânico do universo. Um seu discípulo, Anaxímenes (550-480 a.C.), simplificou esse universo, sugerindo que as estrelas se encontravam presas a uma esfera transparente de material cristalino. Estas esferas de cristal pareceram uma idéia tão boa, que dominaram a cosmologia até o início do século XVI.

Quem primeiro tentou explicar o movimento aparente do Sol e dos planetas pela combinação de dois movimentos circulares uniformes ao redor da Terra foi o filósofo grego Pitágoras

de Samos (cerca de 560-480 a.C.). Pitágoras e seus discípulos acreditavam que os movimentos reais dos corpos celestes poderiam ser descritos por meio de relações matemáticas, expressas como intervalos musicais. Assim, o intervalo musical entre a Terra e a Lua era de um tom, da Lua a Mercúrio e deste a Vênus, um meio-tom, de Vênus ao Sol, uma terça menor, e assim por diante. Segundo a lenda, só Pitágoras podia ouvir a “Música das Esferas”. Esta visão do cosmos pitagórico de uma “Harmonia das Esferas” que governaria o movimento dos astros, nunca perdeu o seu encanto. Por meio do poema épico *Paraíso Perdido* do poeta inglês John Milton (1608-1674), ela chegou até os nossos dias. Voltaremos a ela mais tarde.

Anaxágoras (cerca de 500-428 a.C.), filósofo grego que talvez tenha sido dos primeiros a introduzir a idéia de átomo como uma partícula básica da qual toda a matéria é constituída, resumiu a importância dada pelos gregos à observação com a frase: “Eu nasci para poder contemplar as obras da natureza”. Este mesmo Anaxágoras foi banido de Atenas por ter afirmado que o Sol era uma pedra de fogo maior do que o Peloponeso, uma península no Sul da Grécia do tamanho de Sergipe.

Foi o filósofo grego Platão (427-347 a.C.) quem primeiro estabeleceu uma *hierarquia* para o cosmos. Assim, a criação do universo teria sido determinada inicialmente pelas *idéias*, em seguida pelos *números*, que deram origem aos cinco sólidos geométricos perfeitos (tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro e icosaedro) e, finalmente, os quatro elementos sugeridos por Empédocles: fogo, ar, água, terra. Platão concordava com o modelo pitagórico; sendo assim, ele julgava que o único movimento possível para os corpos celestes era o circular uniforme, por ser perfeito e regular. Tais círculos estariam centrados na Terra, que estaria imóvel no centro do universo. Esta é uma idéia de origem metafísica, pois se baseia na suposição de que tudo o que está no cosmos é necessariamente perfeito e imutável. Devido à crença nessa imutabilidade do cosmos, a filosofia de Platão acabou expressando a idéia de que era necessário “salvar as aparências” dos fenômenos observados por meio de raciocínios geométricos que os descrevessem.

A primeira tentativa de “salvar as aparências” foi feita por um discípulo de Platão, Eudoxo de Cnide (408-355 a.C.), que desenvolveu um modelo mecânico extremamente engenhoso para o movimento dos planetas, do Sol e da Lua: o sistema das esferas homocêntricas (ou concêntricas). Nesse sistema, a esfera das estrelas fixas – chamada de *inerrante* – girava uniformemente de Leste para Oeste ao redor do eixo do mundo, completando uma volta em aproximadamente 24 horas. O sistema era mais complicado para os astros *errantes* (a Lua, o Sol e os planetas). Como o movimento de um astro errante não tinha influência sobre os demais, seus mecanismos funcionavam independente-

mente. Para cada astro havia um conjunto de esferas que possuíam duas propriedades comuns: a primeira esfera girava do Leste para o Oeste com o mesmo período de rotação da inerrante, pois se sabia que cada astro devia participar do movimento diurno; a segunda esfera girava em sentido contrário, do Oeste para o Leste, ao redor de um eixo central em relação à eclíptica, com uma revolução que não era a mesma para todos os astros. Para cada planeta, o período de revolução era igual ao tempo que o planeta levava para percorrer a eclíptica. Assim, para explicar o movimento das estrelas, o modelo requeria uma esfera, para o Sol e para a Lua, três esferas cada, e os de cada planeta, quatro ou cinco esferas.

Mas quem transformou a idéia de movimentos circulares uniformes para os corpos celestes num *dogma astronômico* foi o grande filósofo grego Aristóteles (384-322 a.C.), seguidor e discípulo de Platão. Por mais de 2.000 anos, tudo o que os astrônomos fizeram foi, essencialmente, tentar elaborar um sistema geométrico que descrevesse as irregularidades nos movimentos aparentes dos planetas, mantendo de forma irreduzível o movimento circular uniforme. Esta barreira permaneceu até o século XVII, quando Kepler comprovou que os planetas descrevem órbitas elípticas. A ilusão do movimento circular como o movimento perfeito foi tão forte, que foi capaz de nublar o raciocínio objetivo de astrônomos notáveis, como o próprio Copérnico.

Aristóteles foi, provavelmente, o maior de todos os filósofos naturais gregos. Na verdade, ele foi o último dos grandes filósofos gregos e talvez o primeiro grande cientista, principalmente porque, além de usar sua razão, ele utilizou os seus *sentidos*. O aspecto fundamental da filosofia natural aristotélica é o conceito de que o universo, o *cosmos*, constitui um conjunto *ordenado* em que reina uma *hierarquia* determinada e soberana, porém obviamente *subjetiva*. Para Aristóteles, a Terra estava fixa no centro do universo, rodeada por nove esferas concêntricas e transparentes. A camada interior era a esfera da Lua, as duas exteriores eram as das estrelas fixas e, mais além, situava-se a esfera do Primeiro Móvel – Deus – que imprimia o movimento à máquina do mundo completa, começando pela esfera das estrelas fixas, e transmitido às demais sucessivamente por atrito. Para Aristóteles, Deus não governava o mundo do lado de dentro, mas do exterior. Assim, no sistema aristotélico, a região central – a região sublunar – era a região mutável, corruptível. Além da esfera da Lua, ou região supralunar, situava-se a zona dos céus eternos, imutáveis. Para diferenciar de forma definitiva essas duas regiões, Aristóteles afirma que as esferas que compõem a região supralunar são feitas de uma substância desconhecida no mundo sublunar: o *éter*. Segundo Aristóteles: “... Existe na natureza uma substância diferente das que conhecemos ... antecedendo a todas elas e mais divina do que essas ... e a glória su-

perior de sua natureza é proporcional à distância que a separa do nosso mundo”.

O éter era cristalino, inalterável, imperecível, transparente e imponderável. As esferas do céu eram, portanto, feitas de éter. Os objetos celestes eram condensações locais do éter das esferas. Dessa forma, a luz e o calor emanados por eles provinham do atrito provocado pelo movimento relativo das esferas.

O modelo cosmológico de Eudoxo, adotado por Aristóteles – bem como os demais modelos descritos até agora – são modelos *geocêntricos*, isto é, a Terra ocupa o centro do universo. Entretanto, nem todos os modelos desenvolvidos nessa época eram geocêntricos. O astrônomo grego Aristarco de Samos (cerca de 320-250 a.C.), ao tentar estimar as dimensões dos corpos celestes e as distâncias entre a Terra e o Sol e a Lua, usando meios geométricos e trigonométricos, chegou à conclusão que: (1) os tamanhos dos objetos celestes eram comparáveis ao da Terra; e (2) o Sol, e não a Terra, era o centro do universo e que os planetas – inclusive a Terra – giravam em torno dele. Este era, portanto, um modelo *heliocêntrico*. Aristarco chegou a essas conclusões, usando o racionalismo científico. Entretanto, este modelo caiu no esquecimento por mais de 15 séculos, porque Aristarco não possuía provas para fundamentar suas idéias.

O maior problema – digamos, assim, técnico – dos modelos geocêntricos surgia no momento de explicar os movimentos retrógrados dos planetas, ou seja, quando se tentava “salvar as aparências”. Foi necessária uma modelagem muito engenhosa – porém extremamente complicada – para conciliar o conceito de movimentos circulares uniformes com o que é observado. Nestes modelos, a trajetória de um planeta era imaginada como uma composição de movimentos: o planeta girava em torno de um círculo menor – o *epiciclo* – que, por sua vez, realizava um movimento circular em torno de um círculo maior – o *deferente*, cujo centro era a Terra. Estes dois movimentos combinados dão origem a uma curva particular: a *epiciclóide*. 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. Dessa forma, explicava-se não só o movimento retrógrado aparente dos planetas, como também a variação de suas luminosidades.

Entretanto, descobriu-se, mais tarde, que a exigência de que os planetas tinham de se mover uniformemente sobre trajetórias circulares só poderia ser satisfeita com a inclusão de dois artificios adicionais: o *excêntrico* e o *ponto equante*. O primeiro – o excêntrico – é mais fácil de ser compreendido: ele consistia em deslocar o centro do deferente da Terra para um outro ponto, cuja distância da Terra definia a excentricidade da órbita. Assim, o centro geométrico da órbita do planeta não era mais a Terra,

que, entretanto, permanecia como o centro do universo. Já o ponto equante é mais complicado: ele é um ponto fictício, simultaneamente distinto do centro geométrico da órbita (o excêntrico) e do centro do universo (a Terra), ao redor do qual o movimento é uniforme. De fato, embora em certas regiões de suas órbitas os planetas parecessem se deslocar mais rapidamente do que em outras, acreditava-se que os seus movimentos seriam uniformes quando observados a partir do equante.

Um dos maiores responsáveis pela elaboração destes conceitos foi o astrônomo grego Hiparco (século II a.C.), que realizou observações bastante precisas para a época em Rodas e Alexandria, entre 161 e 127 a.C. Hiparco contribuiu decisivamente para explicar o movimento irregular dos planetas ao resolver o problema do movimento do Sol e da Lua. Para tal, ele aplicou o modelo do epiciclo: como estes dois astros apresentavam uma única irregularidade, era necessário aplicar somente um epiciclo e um excêntrico para descrever seus movimentos. De fato, Hiparco foi o primeiro a usar o epiciclo e o excêntrico para “salvar as aparências”.

O modelo de Hiparco chegou até nós pelos trabalhos do grande astrônomo grego Cláudio Ptolomeu (90-168 d.C.), principalmente em suas obras *Almagesto* e *As Hipóteses dos Planetas*, publicadas no século II da nossa era. Nesses livros, Ptolomeu descreveu o universo baseado em quatro princípios básicos, que se tornaram os pilares de sua Astronomia:

- 1) a *esfericidade* dos Céus e da Terra;
- 2) o *geocentrismo*;
- 3) o *geostatismo*, isto é, a imobilidade da Terra;
- 4) o *movimento circular e uniforme*.

Estes princípios já eram adotados pela Astronomia grega há muito tempo. Entretanto, Ptolomeu não os aceitou sem antes avaliá-los e testá-los, adotando-os, baseado em razões tanto de natureza geométrica quanto observacional.

Ao estudar o Sol, Ptolomeu aceitou a teoria de Hiparco sem alterações. Entretanto, para resolver o problema dos movimentos dos planetas, ele observou que era necessário fazer algumas modificações para explicar as observações, introduzindo o conceito do equante. O equante ptolemaico era um ponto simetricamente oposto à Terra em relação ao centro do deferente. O centro do epiciclo deslocava-se com velocidade constante em torno do equante, e não em torno do centro geométrico de deferente ou da Terra. Ptolomeu procurou ajustar as distâncias entre o centro do deferente e o equante para todos os planetas. Com isso, ele conseguiu descrever as principais irregularidades dos movimentos aparentes dos planetas. Apesar do modelo ptolemaico violar o dogma de Platão de que os movimentos dos planetas deveriam ser circulares e uniformes ao redor da *Terra*, Pto-

lomeu estava muito mais preocupado em “salvar as aparências”. Sua principal preocupação era conseguir desenvolver um modelo geométrico-matemático que pudesse descrever os movimentos dos planetas, empregando unicamente círculos. Além disso, o modelo ptolemaico podia também *prever* as posições futuras do Sol, da Lua e dos planetas com a precisão de cerca de um grau, o que é equivalente aproximadamente a uma Lua cheia.

Em resumo, o modelo ptolemaico explicava tão bem as aparências, era tão sedutoramente engenhoso, que ele foi entusiasticamente aceito e que – até Copérnico – todos os astrônomos consideravam o modelo excêntrico-deferente-epiciclo-equante como indispensável à solução de qualquer problema astronômico. Em conseqüência, à medida que a precisão das observações aumentava e que apareciam pequenas discrepâncias entre o modelo e os dados, acrescentava-se um epiciclo sobre o epiciclo, deslocava-se o centro do deferente... e a complexidade do modelo aumentava cada vez mais. Chegou-se a tal ponto que, segundo consta, o rei Afonso X de Leon e Castilla, no século XIII, teria declarado: “... se o Criador me tivesse consultado antes de iniciar Seu trabalho, eu Lhe teria sugerido algo mais simples”.

Mas a complexidade do modelo era apenas a ponta de um *iceberg* com conotações muito mais profundas. A partir de Ptolomeu, enquanto os filósofos e cosmólogos continuassem insistindo no movimento circular uniforme das esferas celestes por razões físicas, baseados em Aristóteles, os chamados astrônomos matemáticos só estavam interessados em elaborar modelos geométricos que pudessem prever corretamente as posições dos astros, não se preocupando com a *realidade* desses modelos. Não que os argumentos “físicos” aristotélicos estivessem corretos. Mas a *atitude* dos seus defensores transcendia ao valor dos argumentos utilizados: eles afirmavam que o cosmos é regido por *leis universais*. Não é importante qual a motivação por trás dessas leis, se metafísicas ou teológicas. O que importa é, precisamente, a *fé* nessa universalidade. Ora, nada disso existe no modelo ptolemaico, que é o caso típico de um modelo *ad hoc*, melhor ainda, casuístico: soluções separadas para cada problema, sem que não se possa prever, de antemão, qual será a solução final em cada caso.

As obras de Aristóteles e Ptolomeu, praticamente esquecidas no mundo ocidental durante boa parte da Idade Média, permaneceram vivas no mundo árabe e passaram a ser difundidas na Europa por volta do ano 1200, principalmente na Espanha e no norte da Itália. Esta difusão despertou mais uma vez o interesse pelo estudo das ciências naturais que, de uma certa forma, tinha permanecido estagnado durante todo este tempo. E, além disso, trouxe novamente à tona a discussão sobre a relação entre a filosofia grega e a fé cristã, já surgida com a “cristianização”

das idéias de Platão por Santo Agostinho no século IV. Tornou-se imperioso que a filosofia natural aristotélica fosse compatibilizada aos textos bíblicos, principalmente no que se refere à Criação e à cosmologia. Este papel de “cristianização” de Aristóteles foi feito por São Tomás de Aquino, que conseguiu mostrar que, desde que convenientemente interpretadas, a cosmologia aristotélica não conflitava com os princípios da doutrina cristã. Depois da publicação do seu grande monumento teológico, a *Summa Theologica*, a Igreja não só deixou de pôr em dúvida a ortodoxia aristotélica como foi muito mais adiante, aceitando sua cosmologia como o modelo do universo criado por Deus, e encorajando os estudos e a propagação pelo ensino de toda a obra de Aristóteles. Assim, a redescoberta de Aristóteles alterou, de forma definitiva, o ambiente intelectual da Europa. As idéias de Aristóteles, apesar de sofrerem algumas resistências, principalmente porque já se reconhecia que algumas delas estavam flagrantemente erradas, influenciaram os principais pensadores da Idade Média.

Durante quase quinze séculos, o progresso da ciência havia sido impedido, pelos seguintes motivos:

- 1) a divisão do universo em dois domínios – o supralunar e o sublunar – que refletia a hierarquia entre o mutável e o imutável;
- 2) o dogma geocêntrico;
- 3) o dogma do movimento circular uniforme;
- 4) a separação entre ciência e matemática;
- 5) a incompreensão do princípio da inércia, isto é, que todo corpo em repouso tende a permanecer em repouso, bem como todo corpo em movimento tende a permanecer em movimento, a menos que uma força seja exercida sobre ele.

A revolução científica só foi possível com a eliminação gradual desses cinco obstáculos, feita pelos três pais da ciência moderna: Copérnico, Kepler e Galileu. Vamos, aqui, nos ocupar dos dois primeiros.

Nicolaus Copernicus nasceu em Thorn, na Pomerânia, em 1473, na época uma província polonesa. Órfão de pai desde os 11 anos, foi adotado por um tio, Lucas Watzenrode, bispo de Ermland, que o mandou estudar na Universidade de Cracóvia, em 1491. Lá, por quatro anos, Copérnico estudou Direito, Medicina, Matemáticas, Filosofia aristotélica, e teve seus primeiros contactos com a Astronomia, graças à amizade que o ligou ao astrônomo Albert de Brudzewo, que ensinava o sistema ptolemaico e comentava Aristóteles na Universidade.

Em 1497, Copérnico se matriculou na Universidade de Bolonha para estudar Direito Canônico. Em Bolonha, Copérnico aprendeu grego e estudou Platão, sem, no entanto, se descuidar da Astronomia, que ele voltou a cultivar como colaborador

do famoso astrônomo Domenico de Novara, catedrático de Astronomia e Astrologia da Universidade. O fato de Copérnico ter sido aceito como colaborador de um astrônomo tão importante quanto Novara indica que ele já era um perito em Astronomia, ou seja, que seus estudos em Cracóvia lhe deram uma formação bastante sólida. Foi com Novara que Copérnico realizou sua primeira observação científica dos céus, a ocultação da estrela Aldebarã pela Lua em 9 de março de 1497.

Neste mesmo ano de 1497, em outubro, Copérnico foi nomeado cônego de Frombork, principalmente devido à influência do seu tio. Por esse motivo e, também para renovar sua bolsa de estudos, Copérnico voltou em 1501 a Thorn. Depois de resolvidas essas questões, ele retornou à Itália, desta vez para Pádua, onde retomou seus estudos de Medicina e Direito até 1503. Nesse período, Copérnico comprou e leu um resumo do *Almagesto* de Ptolomeu. Em 1503, ele obteve seu doutorado em Direito Canônico na Universidade de Ferrara. Depois disso, Copérnico voltou à Polônia, estabelecendo-se definitivamente em Ermland, onde assumiu o cargo de secretário e médico do seu protetor, o bispo, cuja sede episcopal ficava no castelo de Lidzbark (Heilsberg) e onde permaneceu por quase 10 anos, até a morte do tio, em 1512. Depois disso, Copérnico assumiu definitivamente, na qualidade de cônego, o capítulo de Ermland, em sua sede na Catedral de Frombork, onde permaneceu por quase 31 anos, até a sua morte em 1543.

Os contactos de Copérnico com a Astronomia, em Cracóvia e Bolonha, tinham despertado nele uma enorme curiosidade pelas coisas do céu. O seu retiro na tranqüilidade de Frombork permitiu que ele meditasse longamente sobre o sistema ptolemaico e suas imperfeições, além de realizar observações sistemáticas do céu – mas, diga-se de passagem, menos precisas do que as de Ptolomeu – num observatório construído por ele em Frombork. Em 1510, ele terminou a redação de um ensaio, chamado de *Nicolai Copernici de hypothesis mottum coelestium a se constitutis commentariolus* (Breve comentário de Nicolau Copérnico sobre as hipóteses relativas aos movimentos celestes), ou simplesmente *Commentariolus*, onde expõe, pela primeira vez, sua teoria heliocêntrica. No entanto, Copérnico se recusou a publicar o manuscrito, que circulou de forma discreta entre os seus amigos mais confiáveis. Apesar de divergir em vários pontos das idéias apresentadas mais tarde na sua obra maior, o *De revolutionibus*, nele já se encontravam os princípios relativos ao movimento da Terra e à imobilidade do Sol. Leiamo-lo:

Todo movimento registrado no firmamento não provém do firmamento propriamente dito, mas do movimento da Terra. A Terra, em consequência, com os elementos mais próximos, efetua em 24 horas uma volta ao redor dos seus pólos

imutáveis, enquanto o firmamento com o céu mais alto permanece imóvel.

Na Introdução desse ensaio, Copérnico explicava que o modelo ptolemaico era incorreto por não satisfazer a exigência fundamental, segundo a qual “cada planeta deveria se deslocar com velocidade uniforme, descrevendo um círculo perfeito”. Para resolver esse problema difícil de modo mais simples do que o de Ptolomeu, Copérnico estabeleceu sete princípios fundamentais:

- 1) os corpos celestes não se deslocam ao redor do mesmo centro;
- 2) a Terra não é o centro do sistema do mundo, mas somente da órbita lunar;
- 3) o Sol é o centro do sistema do mundo;
- 4) a distância do Sol à Terra é desprezível quando comparada à distância das estrelas fixas;
- 5) o movimento aparente do céu se deve à rotação da Terra em torno do seu próprio eixo;
- 6) o movimento anual aparente do Sol no céu se deve ao movimento da Terra e dos planetas ao seu redor;
- 7) as estações e os movimentos retrógrados aparentes dos planetas se devem aos movimentos da Terra e dos planetas ao redor do Sol.

Esses sete princípios fundamentais permitiram a Copérnico “explicar todas as desigualdades aparentes de deslocamentos celestes com auxílio somente de movimentos uniformes”. De fato, Copérnico encerra seu ensaio com o seguinte parágrafo:

Mercúrio descreve sete círculos; Vênus, cinco; a Terra, três, e, ao redor dela, a Lua descreve quatro; e, finalmente, Marte, Júpiter e Saturno, cada um deles descreve cinco. Ao todo, bastam trinta e quatro círculos para descrever toda a estrutura do universo e toda a dança dos planetas.

Depois do *Commentariolus*, em 1515, Copérnico iniciou a redação da sua obra mais importante, aquela que viria alterar completamente o entendimento da posição da Terra no espaço: *De revolutionibus orbium coelestium, libri VI* (Sobre as revoluções dos orbes celestes, em seis livros). Na colina da catedral de Frombork, ou nas suas vizinhanças, Copérnico realizou as observações astronômicas descritas na sua obra máxima, isso sem abandonar suas atividades de cônego, médico, economista e homem público.

Ele levou quase trinta anos para publicá-la. Em 1543, Copérnico tinha ficado paralítico, devido a uma hemorragia cerebral, e estava muito debilitado, tanto física quanto mentalmente. Ele havia confiado a publicação da obra a seu discípulo Rheticus (Georg Joaquim Von Lauchen, 1514-1576), que a levou a Nürnberg. Entretanto, Rheticus, obrigado a deixar a cidade, en-

tregou a responsabilidade de finalizar a publicação ao teólogo luterano Andréas Osiander, que fez inúmeras alterações sem o conhecimento e consentimento de Copérnico. Osiander introduziu a palavra “hipótese” na página de rosto do livro, retirou passagens importantes e acrescentou suas próprias frases, que diluíram o impacto da obra. O *De revolutionibus* foi publicado em 21 de março de 1543. Consta que Copérnico recebeu um exemplar do livro impresso no próprio dia de sua morte, em 24 de maio do mesmo ano, mas sequer pôde folheá-lo, por já se encontrar inconsciente.

Nas páginas do *De revolutionibus*, Copérnico, além de defender o novo sistema do mundo centrado ao redor do Sol, elaborou, na maior parte desse tratado – de fato, em cinco dos seis livros que o compõem – deduções geométricas e tábuas para a previsão das posições do Sol, da Lua e dos planetas. Na verdade, o primeiro livro é o único cuja leitura está ao alcance do leigo. Nele, Copérnico descreveu a estrutura geral do universo e desenvolveu os argumentos para provar que o Sol estava fixo no centro, em redor do qual a Terra girava como um planeta igual aos demais.

Na sua essência – e em primeira aproximação – o sistema copernicano é de uma simplicidade extrema. Assim, os corpos celestes se repartem sobre sete orbes, ou esferas concêntricas. A primeira delas – muito maior do que as demais – é a esfera das estrelas fixas. A segunda esfera é a de Saturno, vindo, a seguir, a de Júpiter e a de Marte. A quinta esfera é a da Terra; ela arrasta em seu movimento a orbe da Lua, centrada na Terra. Vênus e Mercúrio ocupam, respectivamente, a sexta e a sétima esferas. Todas as esferas giram, com exceção da primeira, a esfera das estrelas fixas, que, em suas palavras, “contém tudo e contém ela mesma, estando, por isso mesmo, imóvel”. Finalmente, “no meio de todos os astros repousa a Sol”.

Esta nova ordem dos corpos celestes eliminava todas as dificuldades provenientes do sistema de Ptolomeu, devido principalmente à colocação – pela primeira vez – de Mercúrio e Vênus, girando em torno do Sol, o primeiro numa órbita menor do que a do segundo, e ambas interiores à da Terra. Fazendo, além disso, Marte, Júpiter e Saturno girarem em torno do Sol com órbitas exteriores à terrestre, Copérnico pôde explicar por que estes planetas se elevam alto no céu, ao contrário dos planetas interiores.

Poderíamos dizer que este sistema é uma descrição de primeira aproximação, devendo ser encarado, portanto, como um esquema destinado à divulgação. Com efeito, se os movimentos aparentes dos astros são perfeitamente explicados *qualitativamente* pelo modelo, o esquema falha completamente no teste da precisão. Nos livros seguintes ao primeiro, Copérnico abandonou a esplêndida simplicidade do seu modelo primitivo e manteve os excêntricos, deferentes e epiciclos no mais

puro estilo ptolemaico – com a exceção do equante, do qual não mais precisava para conservar uniformes os movimentos de rotação – já introduzidos no *Commentariolus*, para explicar as observações.

Como, portanto, devemos comparar o modelo de Copérnico com o de Ptolomeu? Em sua forma final, o modelo de Copérnico também tenta “salvar os fenômenos” tanto quanto o sistema de Ptolomeu. Se considerarmos o modelo copernicano “profissional”, com uma complexidade não muito inferior ao de Ptolomeu, a precisão da concordância do modelo com as observações é da mesma ordem de grandeza. Sendo assim, não é na precisão que devemos buscar as razões para qualquer superioridade do modelo de Copérnico, e sim, nas explicações qualitativas de movimentos e fenômenos celestes fundamentais, como, por exemplo, os movimentos retrógrados dos planetas.

Entretanto, ainda mais forte do que isso, é o que podemos chamar de “coerência interna” da teoria, isto é, o grau de rigor estrutural, que poderia ser caracterizado pela possibilidade de explicar os fenômenos relevantes da teoria pelo menor número de hipóteses iniciais. Desse modo, o modelo ptolemaico é uma teoria “casuística”: cada caso – planeta – é tratado separadamente, utilizando-se os ingredientes necessários e suficientes para “salvar as aparências”. Por isso, o modelo de Ptolomeu é incoerente, uma colcha de retalhos.

O heliocentrismo copernicano, porém, consegue explicar a maioria dos fenômenos celestes conhecidos na época, baseado em um número muito reduzido de hipóteses: todos os planetas – inclusive a Terra – giram em torno do Sol; a Terra tem um movimento diurno sobreposto ao seu movimento orbital; e a esfera das estrelas é fixa. O modelo de Copérnico é, portanto, muito mais coerente e econômico do que o modelo de Ptolomeu.

Ele possui também outra qualidade extremamente importante para uma teoria científica: o modelo copernicano possibilita *prever* a ordem relativa das órbitas planetárias, o que o modelo ptolemaico não permitia. O modelo de Copérnico é, portanto, mais abrangente que o de Ptolomeu, sendo preferível a este.

Entretanto, devemos analisar o modelo de Copérnico com uma certa reserva. Em Copérnico, como em quase todos os homens da Renascença, há uma mistura do antigo e do novo, uma confluência do que ia deixar de ser com o que viria a ser. Ele não abjura sua formação tradicional: o universo esférico e finito, o movimento circular uniforme, as orbes e esferas, tudo isso está presente no *De revolutionibus*.

Daí decorrem contradições inevitáveis. Uma coisa é lançar a Terra no espaço, transformá-la num outro planeta; outra coisa é conciliar esta atitude revolucionária com os mandamentos de uma concepção tradicional.

Na verdade, o *De revolutionibus* é uma obra paradoxal, porque não é uma obra revolucionária, embora as conseqüências por ela geradas o tenham sido. Com efeito, os elementos básicos gerados pela chamada *Revolução Copernicana* – o cálculo preciso e fácil das posições dos planetas, a classificação do sol como estrela, a expansão infinita do universo, dentre muitas outras idéias fundamentais – não foram nem enunciados nem aplicados em nenhum lugar da obra de Copérnico.

Com exceção do movimento da Terra e da colocação dos planetas girando em torno do Sol, a obra de Copérnico, em quase todos os outros aspectos, se parece mais com um trabalho dos antigos astrônomos medievais do que com os textos das gerações que o seguiram. Foram estas que extraíram das entrelinhas do *De revolutionibus* as conseqüências que Copérnico não conseguiu ver em sua própria obra. Podemos, portanto, nos perguntar, o que teria advindo ao sistema de Copérnico se sua obra não tivesse tido as oportunidades que, por exemplo, Aristarco de Samos não teve, principalmente a vinda de Kepler, que iria devolver ao heliocentrismo a magnífica simplicidade do primeiro modelo, embora ao preço – exorbitante para a época – de abdicar do movimento circular uniforme.

Assim, na evolução do pensamento científico, Copérnico aparece como o homem que preparou e permitiu a verdadeira revolução que viria no século XVII. Nas palavras do escritor e cientista alemão Johann Wolfgang Goethe:

De todas as descobertas e opiniões, nenhuma deve ter exercido um efeito maior no espírito humano do que a doutrina de Copérnico. O mundo mal tinha se tornado conhecido como redondo e completo nele mesmo, quando lhe foi pedido abdicar do tremendo privilégio de estar no centro do Universo. Nunca, talvez, tal exigência foi feita à Humanidade – pois, ao admiti-lo tantas coisas desapareceram em névoa e fumaça! O que aconteceu com o Éden, nosso mundo de inocência, piedade e poesia; o testemunho dos sentidos; a convicção em uma fé poético-religiosa? Não foi à toa que os seus contemporâneos não quiseram abrir mão de tudo isso e ofereceram toda a resistência possível a uma doutrina que autorizava e exigia dos seus fiéis uma liberdade de visão e uma grandeza de pensamento desconhecidas até então, de fato nem mesmo sonhadas.

Nas primeiras décadas depois da sua publicação, a obra de Copérnico teve relativamente pouco eco na opinião pública. Os astrônomos, únicos a poder ler na íntegra o *De revolutionibus*, eram unânimes em reconhecer o seu valor, do ponto de vista estritamente técnico: eles viam no *De revolutionibus* o digno sucessor do *Almagesto* de Ptolomeu. A tese central do movimento da Terra era, em geral, rejeitada, o que não impedia que se utilizassem as técnicas de cálculo que Copérnico havia exposto com to-

dos os detalhes. A opinião geral pode talvez ser resumida pelas palavras do astrônomo inglês Thomas Blundeville: “Copérnico ... afirma que a Terra se movimenta e que o Sol permanece imóvel no meio dos Céus; graças a essa hipótese errada, ele conseguiu, melhor do que nunca antes, calcular os movimentos e revoluções das esferas celestes.”

Aos poucos, no entanto, aumentava a leitura do *De revolutionibus* e de sua estranha tese. Comentários e interpretações iam saindo do círculo estreito dos profissionais e começavam a se difundir entre os leigos. Assim, a paixão entrava nos debates e os argumentos técnicos eram substituídos por argumentos metafísicos. Copérnico começou a ser ridicularizado: os argumentos contrários a ele eram os conhecidos argumentos aristotélicos.

A reação mais violenta contra o copernicianismo, contudo, não veio do público esclarecido, mas sim da Igreja. No final da Renascença, pesava sobre a hegemonia da Igreja Católica uma grande ameaça. O protestantismo havia quebrado a sua unidade. Luteranos e calvinistas culpavam a Igreja Católica pela onda de anticlericalismo que havia invadido a Europa no final da Idade Média, pela progressão da heresia, da superstição, pela venalidade de certas ordens religiosas, pelo afrouxamento da moralidade e pela perda de autoridade das cúpulas eclesiásticas.

O que os protestantes queriam era um retorno à pureza da alma, à simplicidade da liturgia e à estrita observância dos mandamentos das Escrituras. Eles censuravam a Igreja Católica pela liberdade de interpretação que ela havia permitido em certos comentários da Bíblia. Para eles, não havia necessidade nem de interpretar a Bíblia, nem de procurar o saber em outras fontes, já que ela é o repositório da Divina Revelação.

O *De revolutionibus* foi publicado bem neste período de efervescência. Logo ele atraiu o anátema dos luteranos: “... Têm-se dado ouvidos a um astrólogo que tenta mostrar que a Terra gira, e não os céus e o firmamento, o Sol e a Lua ... Esse tolo quer inverter toda a ciência da Astronomia, mas a Escritura sacra nos diz (Josué 10:13) que Josué ordenou ao Sol de parar, e não à Terra”. Por seu lado, Calvino perguntava: “Quem se atreverá a colocar a autoridade de Copérnico acima da autoridade do Espírito Santo?”

A Igreja Católica foi lenta a entrar na contenda. Na verdade, o *Commentariolus* foi exposto ao Papa Clemente VII no Vaticano, sem que se saiba de nenhuma reação contrária. Mas, colocada mais uma vez em posição defensiva sobre questões fundamentais de doutrina, ela não podia se mostrar menos cristã do que a Igreja Protestante. Em 1616, o Vaticano pôs o *De revolutionibus* no *Index*, a lista das obras proibidas aos católicos.

E assim, chegamos, finalmente, a Kepler. Johannes Kepler nasceu em 27 de novembro de 1571, na cidade de Weil, em

Württemberg, então um feudo austríaco. Seu pai, Heinrich Kepler, era um mercenário, que abandonou a família para guerrear nas planícies dos Flandres, nas atuais Bélgica e Holanda, e sua mãe, Katherine Guldenmann, era muito versada em feitiços e bruxarias. Quando Kepler ainda era muito criança, Katherine largou os filhos por um ano para acompanhar o marido. Kepler ficou, então, aos cuidados dos tios e avós, que viviam bêbados e em constantes brigas; ele sobreviveu – podemos mesmo usar esta palavra, já que Kepler nasceu prematuro e sempre teve uma saúde muito frágil – numa casa de dois cômodos, em que chegaram a morar onze pessoas, numa promiscuidade sórdida.

Quando os pais voltaram de suas aventuras guerreiras, foi para iniciar uma vida nômade, que levava a família de cidade em cidade. As dificuldades desse tipo de vida foram responsáveis pelo tempo anormalmente longo que o jovem Johannes levou para completar seus estudos primários. No entanto, suas qualidades intelectuais eram tão evidentes, que seus professores, vencendo a indiferença paterna, conseguiram mandá-lo para o seminário e, de lá, para a prestigiosa Universidade de Tübingen, em 1589, onde ele estudou Teologia e Filosofia, bem como Matemática e Astronomia. Apesar dos problemas de saúde e de seu caráter irascível, de sua língua mordaz e cáustica, que lhe granjeava muitos inimigos, ele completou seus estudos brilhantemente, tendo se diplomado aos vinte anos, em 1591.

Três anos mais tarde, ele foi chamado pela Universidade de Graz, capital da província austríaca da Styria, para lecionar Matemática e Astronomia. O início da sua carreira como professor em Graz não foi dos mais brilhantes: na ausência de alunos, pois, como reconheciam seus superiores, “o estudo da Matemática não era para qualquer um”, ele ensinava Latim e Retórica, e começou a publicar mapas astrológicos. Este gosto pela Astrologia, bem popular na época, e que nunca abandonaria Kepler, também o ajudava a sobreviver, acrescentando algum dinheiro ao seu pequeno salário. Para se ter uma idéia, cada calendário anual com previsões astrológica valia vinte florins, enquanto seu salário como professor era de cento e cinquenta florins por ano. Apesar disso, Kepler tinha muito tempo livre. Portanto, ele decidiu aproveitar seu ócio forçado para se dedicar à pesquisa sobre o movimento dos planetas.

Durante seus estudos na Universidade de Tübingen, Kepler aprendeu tanto a descrição do universo dada por Ptolomeu, quanto o modelo heliocêntrico de Copérnico. Após avaliar as vantagens “matemáticas” do sistema copernicano com relação ao ptolemaico, Kepler optou pelo heliocentrismo, muito mais, entretanto, por razões místicas do que propriamente astronômicas.

Foi em Graz que Kepler teve a “inspiração” que iria marcar toda a sua vida e sua obra: a de que o universo é construído se-

gundo certas *harmonias geométricas*. Em 9 de junho de 1595, durante uma aula, Kepler desenhou no quadro negro uma figura geométrica: um triângulo eqüilátero com os seus círculos inscrito e circunscrito. Ele notou que a proporção entre os raios dos círculos maior e menor parecia semelhante àquela existente entre os raios das órbitas de Saturno e Júpiter. Ele logo tentou determinar a distância entre Marte e Júpiter, desta vez fazendo uso de um quadrado. Em seguida, uma terceira distância com a ajuda de um pentágono, e uma quarta, usando um hexágono. Como essas tentativas não deram certo, Kepler se perguntou: “por que usar figuras planas (bidimensionais) entre os orbes sólidos (tridimensionais)?”. Assim, no lugar dos polígonos regulares, ele resolveu usar poliedros regulares, sólidos com todas as faces iguais. Eles são apenas cinco:

- 1) *tetraedro* – quatro triângulos eqüiláteros;
- 2) *cubo* – seis quadrados;
- 3) *octaedro* – oito triângulos eqüiláteros;
- 4) *dodecaedro* – doze pentágonos regulares; e
- 5) *icosaedro* – vinte triângulos eqüiláteros.

Nenhum outro sólido fechado pode ser construído com todas as faces iguais. Por serem perfeitamente simétricos, eles têm a propriedade de poderem ser inscritos no interior de uma esfera, de modo que todos os seus vértices toquem a superfície interna da esfera, e circunscritos a uma esfera, de modo que a superfície externa da esfera toque o centro de cada uma de suas faces.

Se seis eram os planetas conhecidos e cinco os poliedros regulares – os sólidos perfeitos – por que não seriam eles os determinantes do universo e do curso dos próprios planetas? Kepler criou, assim, uma estrutura geométrica para os planetas, com o Sol no centro, e na seguinte sucessão, semelhante às bonecas russas, em que cada uma se encaixa numa maior:

Esfera de Saturno – cubo – esfera de Júpiter – tetraedro – esfera de Marte – dodecaedro – esfera da Terra – icosaedro – esfera de Vênus – octaedro – esfera de Mercúrio – Sol

Vejam como o Criador tinha feito as coisas tão bem! Como existiam cinco, e somente cinco, poliedros regulares, só poderiam existir seis planetas, justamente os seis planetas conhecidos na época! Perfeito! Ainda mais para um homem profundamente religioso como era Kepler. Mas a coincidência (ou seria a Providência) não parava por aí. Está claro que esse quebra-cabeças geométrico, uma vez montado, somente poderia admitir uma solução para os valores relativos dos raios de todas as órbitas. Acontece que estes valores relativos eram quase que exatamente os valores que Copérnico havia determinado! *Quase* que

exatamente... Havia discrepâncias para Júpiter e para Mercúrio. Kepler resolveu o problema de Júpiter com facilidade: ele afirmou simplesmente que os dados de Copérnico deveriam estar errados. Mas com Mercúrio, Kepler literalmente trapaceou: para encaixar a esfera de Mercúrio no octaedro, ele fez tangenciar não as faces, mas os lados do quadrado que constitui a base mediana do poliedro.

Esta construção surpreendente foi proposta na primeira obra de Kepler, o *Mysterium Cosmographicum* (Mistério Cosmográfico), publicada em 1596, mais de cinqüenta anos depois do *De revolutionibus* de Copérnico e quando Kepler contava com apenas 25 anos de idade. Nela Kepler propôs estabelecer definitivamente a superioridade do sistema coperniciano sobre todos os outros, mostrando que este era o único sistema capaz de se ajustar aos arquétipos que Deus havia usado para colocar em ordem o universo. Mais surpreendente ainda é que, por ocasião da segunda edição do *Mysterium* 25 anos depois, Kepler, já sabendo que esse modelo não tinha passado de um sonho e fazendo em notas ao texto uma autocrítica da sua obra de juventude, acrescentou, no entanto: "... é com prazer que eu lembro das muitas voltas que eu dei, das paredes sem fim ao longo das quais eu tateava na escuridão da minha ignorância, até encontrar a porta por onde entrava a luz da verdade."

No *Mysterium*, Kepler não se contentou em determinar os raios relativos das órbitas planetárias. Ele pretendeu também explicar as diferenças entre as velocidades respectivas dos planetas ao longo de suas respectivas órbitas. Kepler já sabia que a velocidade diminui à medida que o raio da órbita aumenta. Ele supôs, então, que existe uma *alma motriz* no centro do universo, isto é, no Sol, e que esta alma *empurra* o planeta com tanto mais vigor quanto mais próximo do Sol se encontra o planeta. A alma motriz – chamada por ele, mais tarde na segunda edição de *força motriz* – vai se exaurindo com a distância, o que explicava por que as velocidades dos planetas mais afastados fossem relativamente menores.

Para nós, hoje, os poliedros de Kepler parecem totalmente impraticáveis. Entretanto, embora as premissas expostas no *Mysterium* estivessem erradas, as conclusões de Kepler ainda eram surpreendentemente precisas e decisivas, e foram essenciais na formação dos caminhos da ciência moderna. Além disso, essa obra tornou-o conhecido nos meios científicos da Europa. Quando o livro foi publicado, Kepler enviou uma cópia para Galileu, instando-o a "acreditar e dar um passo adiante", mas o astrônomo italiano rejeitou esta proposta, talvez por ter considerado as idéias de Kepler por demais especulativas.

Somente um homem, o dinamarquês Tycho Brahe – o mais notável astrônomo da época – apreendeu imediatamente o gênio de Kepler, apesar de rejeitar as especulações metafísicas

contidas no *Mysterium*. Em carta de abril de 1598, Tycho Brahe aconselhava Kepler a abandonar as especulações *a priori* para se dedicar à observação e depois estudar as causas. Ele acreditava que Kepler deveria procurar aplicar à concepção desenvolvida no *Mysterium* a sua hipótese do geoheliocentrismo, segundo ele muito superior ao modelo de Copérnico. No sistema de Tycho Brahe, o Sol girava ao redor da Terra, como a Lua; os demais planetas, por sua vez, giravam em torno do Sol.

Logo depois da publicação do *Mysterium*, Kepler embarcou na busca de uma nova quimera: a construção do universo em torno de harmonias musicais. Ele supôs que os céus estivessem cheios de ar. O atrito dos planetas em movimento com o ar produziria um som, cuja frequência dependeria da velocidade do planeta. No entanto, para determinar a relação entre as frequências emitidas pelos seis planetas (os intervalos, como se diz em acústica), seria necessário conhecer as velocidades dos planetas com grande precisão, ou seja, conhecer exatamente as posições dos planetas em ocasiões sucessivas bem determinadas. E como Kepler não ignorava que o grande artesão da precisão em Astronomia era Tycho Brahe, foi nele que Kepler depositou as suas esperanças. Numa carta a seu antigo professor e grande amigo e entusiasta Michael Maestlin, em fevereiro de 1599, Kepler escreveu: “... Somente por Tycho Brahe é quem espero; ele me explicará a ordem e a disposição das órbitas... espero, então, um dia se Deus me der vida, erguer um admirável edifício”.

Nesse meio tempo, em 1597, Kepler se casou com Barbara Müller, filha de um moleiro rico, mas de uma avareza tal, que Kepler nunca desfrutou de sua fortuna pessoal. Eles se casaram em 27 de abril daquele ano, sob circunstâncias astrológicas desfavoráveis, como Kepler anotaria posteriormente em seu diário. Aparentemente, este nunca foi um casamento feliz. Seus dois primeiros filhos morreram muito jovens, o que deixou Kepler consternado. Ele mergulhou no trabalho para aplacar a dor, mas sua mulher nunca o compreendeu. No seu diário, Kepler a descreveu como “gorda, confusa e estúpida”. Apesar disso, o casamento durou quatorze anos, até a morte de Bárbara, em 1611, de tifo.

Pouco depois do casamento, o casal se viu obrigado a deixar Graz: eles eram protestantes numa cidade predominantemente católica e começavam a se exacerbar as paixões religiosas que iriam dilacerar a Alemanha durante cinqüenta anos. Kepler recebeu, então, um convite de Tycho Brahe para ir visitá-lo em Praga, onde estava desde junho de 1599. Como não há a menor dúvida de que, sem a colaboração de Tycho Brahe, Kepler não teria conseguido compor o monumento que ele nos legou, é importante que conheçamos um pouco da sua vida.

A vida de Tycho Brahe – nascido na Dinamarca em 1546 – foi marcada por quatro eventos astronômicos decisivos. O primeiro foi um eclipse parcial do Sol, quando ele tinha quatorze anos e que muito o estimulou para o estudo da Astronomia. O segundo foi a conjunção de Marte, Júpiter e Saturno, quando ele contava dezessete anos. As previsões das tábuas existentes erraram a data deste evento em quase um mês. Essas discrepâncias lhe indicaram que a observação sistemática das posições planetárias e o aperfeiçoamento dos instrumentos eram de fundamental importância para testar as diferenças entre os sistemas geocêntrico e heliocêntrico. O terceiro evento, a supernova descoberta por ele na constelação de Cassiopéia, quando tinha vinte e seis anos, lhe demonstrou que o céu era mutável, em oposição à doutrina aristotélica e cristã que limitava as mudanças ao mundo sublunar. Esta descoberta ocorreu em sua cidade natal, onde ele já havia construído um observatório, depois de ter regressado de seus estudos na Alemanha. O quarto evento foi a passagem do cometa de 1577, quando ele tinha 31 anos, que lhe permitiu demonstrar que ele estava pelo menos seis vezes mais distante da Terra do que a Lua: outra estocada contra a concepção aristotélica, que confinava os cometas ao mundo sublunar.

Antes desse último evento, entretanto, Tycho já tinha viajado à Alemanha e à Itália. Em 1576, ele recebeu uma mensagem do rei da Dinamarca, Frederico II, pedindo que regressasse: o rei lhe ofereceu a ilha de Hveen para que ele instalasse um grande observatório, às custas da Coroa.

Na construção do observatório, que ele chamou de *Uraneborg*, isto é, Cidade dos Céus, Tycho Brahe deu a medida dos seus talentos de experimentador. Ele projetou e dirigiu em pessoa a construção de todos os instrumentos de observação, os quais representavam um progresso gigantesco, em matéria de precisão, com relação a tudo o que havia até então. Graças a seus instrumentos, Tycho levantou as posições de quase mil estrelas e dos cinco planetas com precisão melhor do que quatro minutos de grau (cerca de 0,02% de uma circunferência). É bom lembrar que essas medidas foram feitas a olho nu! O investimento da Coroa dinamarquesa foi, em dinheiro de hoje, algo como cinco bilhões de dólares!

Foi em *Uraneborg* que Tycho começou a elaborar o seu sistema do mundo, que já descrevemos anteriormente. Geometricamente, o modelo de Tycho Brahe é equivalente ao modelo simplificado de Copérnico. No entanto, a grande contribuição de Tycho não foi ter proposto um novo sistema do mundo, dificilmente aceitável quer pelos adeptos, quer pelos adversários de Copérnico. O que ele trouxe de novo foi, por um lado, técnicas refinadas e melhores instrumentos de observação e, por outro, a

demonstração de que o espírito de perfeição e o trabalho árduo e sistemático são indispensáveis em trabalhos científicos.

Em 1597, Tycho Brahe foi obrigado a deixar a Dinamarca. O seu protetor, Frederico II, o financiador do primeiro centro de pesquisa em Astronomia da História Ocidental, havia morrido nove anos antes, deixando um filho menor, que, ao subir ao trono como Cristiano IV, retirou todas as regalias de que Tycho dispunha, em particular sua enorme renda. Tycho Brahe, devido à fama que gozava em toda a Europa, não teve dificuldades em ser acolhido em Praga pelo Imperador Rodolfo II, que mandou instalar para ele um observatório no castelo vizinho de Benatky. Foi aí que Tycho recebeu Kepler em 4 de fevereiro de 1600.

Os dois homens eram diferentes em quase todos os aspectos. Tycho era rico e nobre, Kepler, pobre e plebeu; Tycho tinha uma saúde exuberante, gostava de festas e banquetes, enquanto Kepler tinha uma saúde muito frágil e era hipocondríaco. Havia, entretanto, alguns traços comuns entre eles: ambos eram irascíveis, cáusticos, teimosos. Ambos tinham propensão para discussões violentas, mas, principalmente, tinham paixão pela Astronomia e eram brilhantemente inteligentes. À medida que foram trabalhando juntos, numa fértil colaboração, construiu-se um respeito mútuo, devido à competência observacional de Tycho e à capacidade e ousadia de Kepler na análise das observações. Essa associação foi absolutamente fundamental para o desenvolvimento da ciência moderna.

Entretanto, o começo desse relacionamento não foi nada fácil. Inicialmente, Brahe tratou o jovem Kepler como um assistente, distribuindo tarefas de modo parco e cuidadoso, sem fornecer a Kepler muito acesso a seus dados observacionais detalhados. Kepler desejava ser tratado de igual para igual e ter uma certa independência, mas o que Tycho queria, de fato, em segredo, era que Kepler estabelecesse o seu – dele, Tycho – modelo para o universo.

Kepler estava imensamente frustrado. Tycho tinha uma enorme quantidade de dados observacionais, acumulados ao longo de trinta anos, mas não possuía as ferramentas matemáticas para compreendê-los, muito menos, a imaginação para construir, fundamentado neles um novo modelo para o universo. Finalmente, talvez para acalmar o seu incansável assistente, Tycho Brahe lhe deu a tarefa de estudar a órbita de Marte, que havia confundido o astrônomo dinamarquês por algum tempo, por parecer a menos circular de todas. Inicialmente, Kepler julgou poder resolver o problema em oito dias; entretanto, o projeto tomou dele mais de oito anos!

Menos de dois anos depois do começo da cooperação entre eles, Tycho Brahe morreu de uma infecção urinária, muito provavelmente devida à sua vida desregrada. Imediatamente depois, Kepler foi nomeado Matemático Imperial pelo Impera-

dor. Kepler estava finalmente livre para poder analisar os dados de Tycho, particularmente aqueles referentes a Marte, aos quais ele acrescentou suas próprias observações. Convencido de que Marte detinha os segredos dos movimentos planetários, Kepler empreendeu, então, a tarefa da determinação da órbita.

Depois de dezenas de tentativas e quase mil páginas manuscritas de cálculos, Kepler conseguiu determinar uma órbita possível para Marte, com base em quatro oposições do planeta. Ao confrontar com os dados observacionais de que dispunha, referentes a oito outras oposições, Kepler verificou que suas previsões concordavam com sete, dentro da precisão das medidas de Tycho, que era de quatro minutos de grau. No entanto, para uma delas, as posições observadas e calculadas diferiam em oito minutos de grau, menos do que 0,04% de uma circunferência! Talvez Ptolomeu ou Copérnico tivessem desprezado esta diferença tão pequena. Mas, como disse Kepler, "... se a Divina bondade nos deu um observador como Tycho Brahe, devemos agradecer essa dádiva, e fazer bom uso dela". Tycho nunca poderia ter errado em oito minutos!

É possível que esse tenha sido o primeiro momento na História da Ciência em que a honestidade intelectual de um homem se sobrepõe ao seu espírito aventureiro. O Kepler do *Mysterium Cosmographicum*, que tinha manipulado os fatos para ajustá-los a uma hipótese *a priori*, capitulou diante de fatos indiscutíveis e irredutíveis, e rejeitou um modelo que não concordava com os dados.

Finalmente, então, Kepler se convenceu de que, depois do geocentrismo e do movimento uniforme, o último dos mitos aristotélicos tinha de ser abandonado: o dogma da circularidade.

Se a órbita de Marte, contudo, não era uma circunferência, o que poderia ser? Reexaminando os dados de Tycho Brahe, e pondo todas as oposições na órbita aproximadamente circular que ele tinha obtido, Kepler logo percebeu que a velocidade do planeta é maior no *periélio* (ponto mais próximo do Sol) do que no *afélio* (ponto mais afastado do Sol). Kepler então abandonou provisoriamente o problema da órbita de Marte e voltou a uma de suas primeiras idéias fixas: qual é a relação que existe entre a distância de um planeta ao Sol e sua velocidade?

Começava, assim, uma "comédia de erros" tremenda. Após uma série de deduções, algumas baseadas em hipóteses corretas e outras em leis completamente erradas (forças inversamente proporcionais às distâncias e forças diretamente proporcionais às velocidades), Kepler concluiu em 1602 que:

O raio-vetor de um planeta varre áreas iguais em tempos iguais.

Por uma incrível coincidência que fez todos os erros cometidos serem cancelados no final, Kepler acabou descobrindo

uma *lei correta*, que viria a ser conhecida como a 2ª Lei de Kepler ou *Lei das Áreas*, embora ela tenha sido descoberta antes da 1ª.

Tendo descoberto a relação entre a velocidade e a posição de um planeta, Kepler voltou ao problema da órbita de Marte. Três anos seriam ainda necessários para resolver a questão, três anos de trabalho intenso, no qual vemos Kepler hesitar várias vezes na iminência da descoberta, recuando cada vez para se refugiar em estranhas obsessões, perseguindo uma verdade que lhe escapava, e, mesmo no final, com a solução nas mãos – uma elipse – não sabendo reconhecê-la, recomeçando tudo de novo, somente para se deparar novamente com a elipse, que lhe entra “pela porta dos fundos”, segundo sua própria expressão.

Finalmente, em 1605, Marte fora vencido, e Kepler tinha obtido aquela que nós chamamos hoje de 1ª Lei de Kepler ou *Lei das Órbitas*:

As órbitas dos planetas são elipses, com o Sol ocupando um dos focos.

Estas duas leis foram publicadas em 1609, no seu livro *Astronomia Nova*. Temos hoje o conhecimento bastante exato dos detalhes do processo que culminou na determinação dessas duas leis, pois Kepler redigiu esse extenso livro quase como um diário de bordo. Todas as suas hipóteses, cálculos e tabelas, as idas e vindas do seu raciocínio, e suas conclusões estão ali descritas em detalhes.

Tendo ficado viúvo em 1611, Kepler se casou novamente em 1613 com Susanna Reuttinger, em Linz (atual Áustria), para onde havia sido transferido no ano anterior, e onde continuou seus trabalhos. No entanto, dificuldades de todos os tipos se erguiam à sua frente. A pior delas foi o processo em que as autoridades eclesiásticas de Württemberg acusaram sua mãe de bruxaria. Durante seis anos, de 1615 a 1621, Kepler lutou para salvá-la de morrer queimada em praça pública, viajando constantemente entre as duas cidades, redigindo ele mesmo as petições do processo. Ele finalmente conseguiu libertá-la; mas ela veio a morrer seis meses depois.

Em Linz, no meio de toda essa confusão, Kepler voltou à sua antiga obsessão. Ele continuava convencido de que as velocidades dos planetas nas suas órbitas devem estar relacionadas de alguma maneira com as escalas e os acordes polifônicos da música renascentista. A obra *Harmonice Mundi* (Harmonia do Mundo), publicada em 1619, é o relato fantástico das tentativas de Kepler para descobrir essas harmonias. Nesta série de cinco livros, ele estendeu sua teoria das harmonias para a Música, a Astrologia, a Geometria e a Astronomia. É nesta obra que Kepler

apresenta a sua 3ª Lei, a *Lei Harmônica* ou *Lei dos Períodos*, como é hoje conhecida:

Os quadrados dos períodos são proporcionais aos cubos dos semi-eixos maiores das órbitas dos planetas

Tal lei, como as duas primeiras, constituiu o objeto principal de sua investigação. Ao enunciar as Três Leis do Movimento Planetário, misturadas ao seu delírio de sonhos místicos, tem-se a impressão de que Kepler não pressentiu a sua importância. Importância que somente Newton, cerca de sessenta anos mais tarde, saberia avaliar, verificando que nela se encontrava implícita a essência da Lei da Gravitação Universal. Em resumo, Kepler descobriu como os planetas orbitam, e, ao fazer isso, pavimentou o caminho (ou pelo menos parte dele) para que Newton descobrisse por quê.

Ao mesmo tempo que escrevia a *Harmonice Mundi*, Kepler preparava um compêndio de suas descobertas e de suas teorias astronômicas ao qual deu, curiosamente, o nome de *Epitome Astronomiae Copernicanae* (Epítome da Astronomia Copernicana), apesar de não discutir nela praticamente nada dos trabalhos de Copérnico. É uma obra respeitável. Nela, Kepler generaliza a todos os planetas os seus resultados anteriores relativos a Marte, e que ele havia publicado na *Astronomia Nova*, de modo que o *Epitome* descreve o sistema solar praticamente como o fazemos hoje. Ele contém as Três Leis, embora sem particular relevo, bem como a descrição do movimento dos planetas, as retrogressões, as elipses, os eclipses, etc. Mas, no *Epitome*, Kepler apresenta uma nova visão sobre as causas do movimento dos planetas. Kepler tinha conhecimento da descoberta de Galileu de que o Sol possuía um movimento de rotação, pela observação das manchas solares através de um telescópio. Por outro lado, ele também tinha lido o livro *De Magnete*, no qual o médico e físico inglês Gilbert estudava detalhadamente as propriedades dos corpos imantados. Kepler viu, então, na rotação do Sol e nas propriedades atrativas e repulsivas dos corpos imantados a possibilidade de substituir a explicação metafísica do *Mysterium (alma motriz)* por uma explicação física, na qual um imenso vórtice magnético, criado no éter pela rotação do Sol, obriga o planeta a girar junto com ele.

Kepler passou os últimos anos de vida tentando fugir das lutas religiosas, sendo enganado pelos jogos políticos dos seus protetores, com sua saúde altamente debilitada, pobre, viajando de um lado para outro do que são hoje a Áustria e o sul da Alemanha. Em 15 de novembro de 1630, Kepler faleceu em Regensburg, hoje situada na Alemanha. Seu epitáfio, redigido por ele mesmo, diz:

“Os céus medi, e agora meço as sombras.
Meu espírito ao céu esteve sempre preso.
E agora preso à terra jaz meu corpo.”

As contribuições de Kepler à Astronomia e à ciência moderna são, sem dúvida, extremamente importantes. Ele enunciou, pela primeira vez na História da Astronomia, três leis, *enunciadas em linguagem matemática*, válidas para *todo* o sistema solar, e que, conseqüentemente, permitiam prever as posições futuras dos planetas dentro da aproximação dos dados observados e não de modelos teóricos *ad hoc*. Ela é uma Astronomia *exata*. Ela é, ao mesmo tempo, uma vitória do heliocentrismo, que fê-lo ganhar adeptos, o mais importante deles tendo sido Galileu, até Newton estender e completar o edifício iniciado por Copérnico e Kepler.

Assim, gostaria de encerrar com as palavras do próprio Newton:

“Se eu vi mais longe, foi por ter ficado de pé sobre os ombros de gigantes”.

Referências Bibliográficas

HAWKING, Stephen. *Os Gênios da ciência: sobre os ombros dos gigantes*. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

KUHN, Thomas. *A Estrutura das Revoluções Científicas*. 3. ed. Perspectiva, 1995. (Coleção Debates)

LUCIE, Pierre Henry. *Física Básica*. Departamento de Física – PUC-Rio, 1975.

MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas. *Kepler: a descoberta das leis do movimento planetário*. São Paulo: Odisseus, 2003.

_____. *Copérnico: pioneiro da revolução astronômica*. São Paulo: Odisseus, 2003.

TEMAS DOS CADERNOS IHU IDÉIAS

- N. 01 *A teoria da justiça de John Rawls* – Dr. José Nedel.
- N. 02 *O feminismo ou os feminismos: Uma leitura das produções teóricas* – Dra. Edla Eggert.
O Serviço Social junto ao Fórum de Mulheres em São Leopoldo – MS Clair Ribeiro Ziebell e Acadêmicas Anemarie Kirsch Deutrich e Magali Beatriz Strauss.
- N. 03 *O programa Linha Direta: a sociedade segundo a TV Globo* – Jornalista Sonia Montaña.
- N. 04 *Ernani M. Fiori – Uma Filosofia da Educação Popular* – Prof. Dr. Luiz Gilberto Kronbauer.
- N. 05 *O ruído de guerra e o silêncio de Deus* – Dr. Manfred Zeuch.
- N. 06 *BRASIL: Entre a Identidade Vazia e a Construção do Novo* – Prof. Dr. Renato Janine Ribeiro.
- N. 07 *Mundos televisivos e sentidos identitários na TV* – Profa. Dra. Suzana Kilpp.
- N. 08 *Simões Lopes Neto e a Invenção do Gaúcho* – Profa. Dra. Márcia Lopes Duarte.
- N. 09 *Oligopólios midiáticos: a televisão contemporânea e as barreiras à entrada* – Prof. Dr. Valério Cruz Brittos.
- N. 10 *Futebol, mídia e sociedade no Brasil: reflexões a partir de um jogo* – Prof. Dr. Édison Luis Gastaldo.
- N. 11 *Os 100 anos de Theodor Adorno e a Filosofia depois de Auschwitz* – Profa. Dra. Márcia Tiburi.
- N. 12 *A domesticação do exótico* – Profa. Dra. Paula Caleffi.
- N. 13 *Pomeranas parceiras no caminho da roça: um jeito de fazer Igreja, Teologia e Educação Popular* – Profa. Dra. Edla Eggert.
- N. 14 *Júlio de Castilhos e Borges de Medeiros: a prática política no RS* – Prof. Dr. Gunter Axt.
- N. 15 *Medicina social: um instrumento para denúncia* – Profa. Dra. Stela Nazareth Meneghel.
- N. 16 *Mudanças de significado da tatuagem contemporânea* – Profa. Dra. Débora Krischke Leitão.
- N. 17 *As sete mulheres e as negras sem rosto: ficção, história e trivialidade* – Prof. Dr. Mário Maestri.
- N. 18 *Um inítenário do pensamento de Edgar Morin* – Profa. Dra. Maria da Conceição de Almeida.
- N. 19 *Os donos do Poder, de Raymundo Faoro* – Profa. Dra. Helga Iracema Ladgraf Piccolo.
- N. 20 *Sobre técnica e humanismo* – Prof. Dr. Oswaldo Giacóia Junior.
- N. 21 *Construindo novos caminhos para a intervenção societária* – Profa. Dra. Lucilda Selli.
- N. 22 *Física Quântica: da sua pré-história à discussão sobre o seu conteúdo essencial* – Prof. Dr. Paulo Henrique Dionísio.
- N. 23 *Atualidade da filosofia moral de Kant, desde a perspectiva de sua crítica a um solipsismo prático* – Prof. Dr. Valério Rodhen.
- N. 24 *Imagens da exclusão no cinema nacional* – Profa. Dra. Miriam Rossini.

- N. 25 *A estética discursiva da tevê e a (des)configuração da informação* – Profa. Dra. Nísia Martins do Rosário.
- N. 26 *O discurso sobre o voluntariado na Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS* – MS. Rosa Maria Serra Bavaresco.
- N. 27 *O modo de objetivação jornalística* – Profa. Dra. Beatriz Alcaraz Marocco.
- N. 28 *A cidade afetada pela cultura digital* – Prof. Dr. Paulo Edison Belo Reyes.
- N. 29 *Prevalência de violência de gênero perpetrada por companheiro: Estudo em um serviço de atenção primária à saúde – Porto Alegre, RS* – Prof^o MS. José Fernando Dresch Kronbauer.
- N. 30 *Getúlio, romance ou biografia?* – Prof. Dr. Juremir Machado da Silva.
- N. 31 *A crise e o êxodo da sociedade salarial* – Prof. Dr. André Gorz.
- N. 32 *À meia luz: a emergência de uma Teologia Gay - Seus dilemas e possibilidades* – Prof. Dr. André Sidnei Musskopf.
- N. 33 *O vampirismo no mundo contemporâneo: algumas considerações* – Prof. MS Marcelo Pizarro Noronha.
- N. 34 *O mundo do trabalho em mutação: As reconfigurações e seus impactos* – Prof. Dr. Marco Aurélio Santana.
- N. 35 *Adam Smith: filósofo e economista* – Profa. Dra. Ana Maria Bianchi e Antonio Tiago Loureiro Araújo dos Santos.
- N. 36 *Igreja Universal do Reino de Deus no contexto do emergente mercado religioso brasileiro: uma análise antropológica* – Prof. Dr. Airton Luiz Jungblut.
- N. 37 *As concepções teórico-analíticas e as proposições de política econômica de Keynes* – Prof. Dr. Fernando Ferrari Filho.
- N. 38 *Rosa Egipcíaca: Uma Santa Africana no Brasil Colonial* – Prof. Dr. Luiz Mott.
- N. 39 *Malthus e Ricardo: duas visões de economia política e de capitalismo* – Prof. Dr. Gentil Corazza
- N. 40 *Corpo e Agenda na Revista Feminina* – MS Adriana Braga
- N. 41 *A (anti)filosofia de Karl Marx* – Profa. Dra. Leda Maria Paulani
- N. 42 *Veblen e o Comportamento Humano: uma avaliação após um século de “A Teoria da Classe Ociosa”* – Prof. Dr. Leonardo Monteiro Monasterio
- N. 43 *Futebol, Mídia e Sociabilidade. Uma experiência etnográfica* – Édison Luis Gastaldo, Rodrigo Marques Leistner, Ronei Teodoro da Silva & Samuel McGinity
- N. 44 *Genealogia da religião. Ensaio de leitura sistêmica de Marcel Gauchet. Aplicação à situação atual do mundo* – Prof. Dr. Gérard Donnadiou
- N. 45 *A realidade quântica como base da visão de Teilhard de Chardin e uma nova concepção da evolução biológica* – Prof. Dr. Lothar Schäfer
- N. 46 *“Esta terra tem dono”. Disputas de representação sobre o passado missioneiro no Rio Grande do Sul: a figura de Sepé Tiaraju* – Profa. Dra. Ceres Karam Brum
- N. 47 *O desenvolvimento econômico na visão de Joseph Schumpeter* – Prof. Dr. Achyles Barcelos da Costa
- N. 48 *Religião e elo social. O caso do cristianismo* – Prof. Dr. Gérard Donnadiou.

Cadernos IHU Idéias: Apresenta artigos produzidos pelos convidados-palestrantes dos eventos promovidos pelo IHU. A diversidade dos temas, abrangendo as mais diferentes áreas do conhecimento, é um dado a ser destacado nesta publicação, além de seu caráter científico e de agradável leitura.



Geraldo Monteiro Sigaud (1954) é natural de Rio de Janeiro/RJ. É professor associado da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro desde 1989. É graduado em Física, 1975, mestre em Física Radiológica, 1979, e doutor em Física Atômica e Molecular, 1985, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Sua tese de doutorado intitula-se *Estudo da Ionização do Orbital Molecular $1s\sigma$ em Colisões Assimétricas Lentas*.

Algumas publicações do autor

SIGAUD, G. M. e outros. *Multiple Ionization of Noble Gases by Swift Ions in Breakup and Nonbreakup Collisions*. Physical Review A. v. 69. 062718, 2004.

LUNA, H. e outros. *CH_4 Ionization and Dissociation by Proton and Electron Impact*. Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. v. 36, p. 4717-29, 2003.

SIGAUD, G. M.; MONTENEGRO, E. C. *Two-Centre Electron-electron Correlation within the Independent Event Model*. Brazilian Journal of Physics. v. 33, p. 382-91, 2003.

MONTENEGRO, E. C. e outros. *Effective Strength of the Electron-electron Interaction in Simultaneous Projectile and Target Ionization*. Physical Review Letters. v. 88. 013201, 2002.

Electron Loss Processes in Three – and Four-Electron Systems. Physica Scripta. v. T92, p. 420-22, 2001.