

MESTRADO DE HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA

KEPLER E A CIÊNCIA MODERNA

A. J. Barros Veloso

Julho de 2004

KEPLER E A CIÊNCIA MODERNA

Introdução

Johannes Kepler foi uma das figuras chave da “Revolução Científica” dos séculos XVI e XVII. Com uma obra que se situa historicamente entre o heliocentrismo copernicano e a física newtoniana, foi ele que estabeleceu a ponte entre estes dois acontecimentos decisivos que marcaram o nascimento da ciência moderna.

Acontece que, durante muito tempo, Kepler foi considerado, injustamente, o elemento menos importante da lista das grandes figuras que contribuíram para a criação do pensamento científico e que, por ordem cronológica, inclui os nomes de Copérnico, Galileu, Bacon, Descartes e Newton. Começaremos pois por tentar compreender como foi possível esta relativa desvalorização da sua figura e da sua obra.

Até à segunda década do século XX, as biografias de Kepler que tinham sido publicadas eram bastante incompletas e revelavam apenas alguns aspectos da sua vida. Foi só a partir de 1923 que Max Caspar iniciou a tradução das “Obras completas” (*Gesamelte Werke*) e escreveu uma biografia baseada na análise de cerca de 15000 manuscritos. Publicada em alemão em 1948, esta biografia só viria a ser traduzida para inglês em 1959, servindo de base a quase tudo quanto posteriormente se escreveu. Não admira pois que, antes disso, Kepler apenas fosse conhecido por um reduzido número de especialistas.

Por outro lado, há que ter presente que no pensamento de Kepler se encontram sobrepostos conceitos aparentemente inconciliáveis para espíritos marcados por uma cultura positivista, o que contribuiu para que a sua obra fosse, durante muito tempo, mal compreendida e pouco estudada. Sendo um produto típico do Renascimento, Kepler foi muito influenciado pelas correntes neo-platónicas e neo-pitagóricas, pela astrologia e pela alquimia. Mas os seus escritos, embora revelando uma perspectiva que podemos classificar ainda de pré-científica, contêm também o anúncio de uma nova compreensão do mundo. Entre Copérnico, claramente renascentista, e Galileu seu contemporâneo mas já possuidor de uma mentalidade moderna, Kepler desempenha como que um papel de charneira na medida em que, sobre um terreno ainda impregnado de componentes mágicos e animistas, abriu as portas à ciência do século XVII.

O que não se pode ignorar é que durante os seus 35 anos de vida activa, Kepler esteve no centro de todas as grandes mudanças conceptuais que iriam marcar a transição da astronomia clássica para a astronomia moderna. O *De Revolutionibus* tinha sido publicado 28 anos antes dele nascer. Mas o heliocentrismo proposto por Copérnico levantava problemas complexos pelo que dificilmente poderia ser aceite sem reservas pelos astrónomos da

época. Quando muito era apresentado como uma forma de “salvar as aparências”, ou seja, como um bom instrumento para facilitar os cálculos astronômicos. Não admira por isso que, no último quartel do século XVI, não houvesse em toda a Europa mais do que 10 copernicianos convictos. Um deles era Kepler que num dos seus escritos de juventude se confessava adepto de Copérnico e reconhecia as vantagens matemáticas do novo sistema.

Kepler foi também o primeiro a considerar o sistema solar como uma realidade física e não apenas matemática em que os astros se movem pela acção de forças, a que deu o nome genérico de “*anima motrix*”, cuja origem se situa no centro das órbitas, ou seja, no Sol. Desta forma, a concepção das “esferas cristalinas”, que já começara a ser posto em causa por Tycho Brahe, dava lugar a um modelo em que os astros vogavam no espaço comandados por qualquer coisa a que, antecipando-se a Newton, chamou “gravitação”.

Por outro lado, com a lei das órbitas elípticas para os planetas, Kepler acabaria de vez com o mito platónico segundo o qual os movimentos dos corpos celestes tinham de ser necessariamente uniformes e circulares. Com esta nova visão, o copernicianismo libertou-se definitivamente dos epiciclos e afirmou-se como uma modelo coerente com o qual passaria a ser mais fácil explicar o funcionamento do sistema solar. Ao estabelecer uma relação inversa entre a distância dos planetas ao Sol e a sua velocidade e, mais tarde, ao enunciar a terceira lei, Kepler preparou o caminho para o princípio da gravitação universal de Newton o qual constituiu o momento culminante da “Revolução Científica”.

Kepler teve ainda um papel fundamental na transição da astronomia feita a olho nu, para a astronomia dos instrumentos ópticos. Se é verdade que pertenceu a Galileu o mérito de ter pela primeira vez apontado a luneta para os astros, foi ele que, no seu livro *Dioptrice*, formulou os princípios teóricos que permitiram explicar e dar credibilidade às imagens observadas. Dito isto, percebe-se a dificuldade de abarcar todos os aspectos de uma obra tão vasta e tão variada. As páginas que se seguem constituem uma opção pessoal que procurará sobretudo analisar a obra de Kepler à volta de dois aspectos aparentemente contraditórios do seu pensamento: por um lado a influência do neo-platonismo e do neo-pitagorismo que o levaram a enunciar hipóteses *a priori* aparentemente desligadas de qualquer experiência empírica; por outro a formulação de leis gerais a partir da aplicação dos dados da observação. Estas duas atitudes, e a importância relativa que assumiram ao longo da sua vida, permitem identificar três períodos distintos numa obra que, como se fossem andamentos de uma peça musical, correspondessem, cada um deles, às suas três publicações mais importantes: *Mysterium Cosmographicum*, *Astronomia Nova*, e *Harmonice Mundi*.

Primeiro andamento
Mysterium Cosmographicum

Kepler nasceu em Weil der Stadt a 27 de Dezembro de 1571 numa altura em que o Sacro Império Romano se debatia com graves questões religiosas. Lutero tinha consumado a sua rotura com a Igreja e as lutas entre protestantes e católicos tinham gerado uma grande instabilidade política e social. Kepler, neto de um influente protestante iria seguir a tradição religiosa da família e, face à sua fraca constituição física, foi orientado muito cedo para a carreira eclesiástica.

No seminário, onde entrou aos 13 anos, o programa de estudos incluía a aprendizagem do latim e do grego, o contacto com alguns clássicos como Cícero, Virgílio e Demóstenes, e a leitura da Bíblia. De acordo com o esquema do *trivium* e do *quadrivium*, era também obrigatório o ensino da retórica, da dialética e da música.

Kepler cedo revelou raras qualidades intelectuais e apenas com 17 anos ficou aprovado nos exames de acesso à universidade de Tübingen. O seu objectivo era a formação em teologia mas sabemos através do seu próprio testemunho que, para além das disciplinas teológicas, estudou Aritóteles (*Tópicos, Analíticos Posteriores, Física e Ética*), Platão e os neo-platónicos em particular Proclus, Pitágoras que exerceu sobre ele grande influência e Nicolau de Cusa com cujo “misticismo geométrico” se sentia identificado.

Contudo, o facto mais importante desta fase da sua vida foi o encontro com Michael Maestlin, professor de matemática e de astronomia da Universidade. Cerca de 20 anos mais velho que Kepler, Maestlin era um dos mais conhecidos astrónomos da época. O seu ensino baseava-se nas obras de Euclides, Arquimedes e Apolónio, no *Epitome Astronomiae* cuja primeira edição aparecera em 1582 e, como era de esperar, no *Almagesto* de Ptolomeu. Mas se em público Maestlin se mantinha fiel ao sistema ptolomaico, que era aquele que segundo os seus colegas teólogos estava de acordo com as Escrituras, em privado ensinava aos seus alunos o novo modelo copernicano. Kepler, cujo interesse pela matemática era já reconhecido pelo mestre, confessaria mais tarde que logo nessa altura aderiu sem hesitações ao sistema de Copérnico.

Em 1594, com apenas 22 anos, Kepler estava à beira de terminar os seus estudos teológicos quando ocorreu uma mudança inesperada na sua vida: após ter morrido o professor de matemática do seminário de Graz, o senado universitário recomendou o seu nome para ocupar a vaga. É quase certo que esta escolha resultou do reconhecimento das capacidades de Kepler mas não se pode excluir que tenha havido também um desejo inconfessado de afastar da universidade um incómodo adepto das teses de Copérnico.

Apanhado de surpresa, aceitou o lugar sabendo que isso iria ter consequências importantes na sua vida, a primeira das quais seria a interrupção da carreira eclesiástica.

Graz, capital da Estíria, província muito dividida do ponto de vista religioso mas em que os quadros governantes apoiavam com zelo a facção católica, não era o sítio ideal para Kepler, protestante convicto, exercer a sua actividade. O permanente clima de tensão e os sérios limites à liberdade de culto constituíam factores desfavoráveis às suas fortes convicções religiosas e faziam adivinhar tempos difíceis.

Além das funções de professor, Kepler foi também nomeado matemático do distrito e ficou encarregado da elaboração anual dos calendários. Esta actividade estava intimamente ligada à astrologia com a qual manteve sempre uma relação ambígua: embora nunca recusasse praticá-la, seja por gosto seja por querer ganhar algum dinheiro, exprimiu sempre grandes reservas em relação a ela. Diga-se de passagem que, pelo menos duas vezes acertou em cheio nos seus prognósticos ao prever uma intensa vaga de frio e uma invasão do território imperial pelos turcos. Contudo, não eram êxitos deste género que na altura procurava. Cada vez mais atraído pelo sistema de Copérnico e influenciado pela leitura de Pitágoras e Platão, o que realmente desejava era desvendar os mistérios do cosmos.

As perguntas sem resposta eram muitas. Porquê seis planetas? Porquê estas distâncias dos planetas ao Sol e não outras? Profundamente crente, Kepler via o mundo como o resultado de um plano de Deus em que nada tinha sido feito ao acaso e em que tudo fora criado de acordo com a geometria e os números que tinham, sem dúvida, origem divina.

Mas quais seriam então as formas geométricas cujas relações numéricas corresponderiam aos planos usados por Deus para a criação do cosmos? Para responder a esta pergunta tentou identificar cinco figuras geométricas, que possuísem características próprias para se articularem com os seis planetas do sistema de Copérnico. Começou por utilizar polígonos mas a tentativa revelou-se infrutífera por ser infinito o número de polígonos regulares existentes. Depois de um período de intenso trabalho, Kepler registou no seu diário uma data: 19 de Julho de 1595. Foi esse o dia em que encontrou a solução que procurava: os sólidos regulares de Platão.

Os sólidos regulares são apenas cinco: o tetraedro (quatro faces), o cubo (seis), o octaedro (oito), o dodecahedro (doze) e o icosaedro (vinte). As esferas inscritas em cada um destes sólidos definiriam, para ele, as órbitas de cada um dos seis planetas. Desta forma, não tinha dúvidas de que tudo batia certo: aos cinco sólidos regulares previstos na mente de Deus só poderiam corresponder seis planetas.

Para Kepler esta descoberta era como que uma mensagem enviada pelos céus, uma verdadeira inspiração de Deus. Sentia por isso uma profunda felicidade por ter sido ele o escolhido para revelar esta manifestação da

sabedoria divina. No auge do seu neo-platonismo, Kepler não se preocupava em obter dados que lhe permitissem confirmar hipótese tão arrojada. Aliás, uma lesão ocular resultante da varíola que contraíra na infância, limitava muito a sua capacidade para realizar observações astronómicas. Para ele bastava-lhe ter verificado esta correspondência entre os planetas e os sólidos regulares mesmo que não se fundamentasse em qualquer dado empírico.

Tivesse ficado por aqui e talvez hoje o seu nome não merecesse mais do que uma nota de rodapé nos tratados de história da ciência. Mas Kepler iria prosseguir nos seus trabalhos embora nessa altura, deslumbrado com a descoberta que acabava de fazer, os seus esforços se orientassem apenas no sentido de conseguir a publicação do *Mysterium Cosmographicum* onde descrevia e explicava a sua nova concepção do sistema planetário. Maestlin foi quem se encarregou de apreciar o manuscrito para enviar um parecer ao senado da universidade de Tübingen. Nesse parecer considerou que a ideia de Kepler era engenhosa e original uma vez que ninguém até aí se lembrara de deduzir *a priori* o número e dimensões das órbitas para tentar compreender os planos do Criador. De facto, se estes elementos pudessem ser conhecidos *a priori*, como parecia, então tornar-se-ia mais fácil calcular os movimentos dos planetas.

Na primavera de 1597 o *Mysterium Cosmographicum* estava impresso e Kepler apressou-se a enviar exemplares aos mais destacados astrónomos europeus. As reacções foram muito diversas, desde o aplauso entusiástico até ao desacordo total. Convém recordar que esta obra aceitava como ponto de partida o modelo heliocêntrico de Copérnico, considerado nessa altura muito polémico e rejeitado pela maioria dos astrónomos.

Das respostas recebidas por Kepler duas merecem destaque especial. Tycho Brahe, que acabara de deixar a Dinamarca, transportando consigo um enorme volume de observações astronómicas acumuladas durante 20 anos, enviou-lhe uma longa carta que continha pontos de acordo e algumas discordâncias e em que sugeria que, “medições mais rigorosas” que ele próprio tinha realizado, talvez pudessem confirmar a hipótese do *Mysterium Cosmographicum*. Acontecimentos posteriores mostrariam que Kepler nunca mais iria esquecer este comentário. Mas o mesmo Tycho Brahe, numa outra carta dirigida a Maestlin, mostrava-se muitíssimo mais crítico e punha em evidência a enorme distância que realmente separava os dois homens. Para Tycho Brahe o progresso da astronomia não podia realizar-se *a priori* através das relações estabelecidas com os sólidos regulares, mas sim *a posteriori* a partir dos dados da observação. Curiosamente, seria o encontro do neo-platonismo de um com o empiricismo do outro que iria mais tarde criar condições para ultrapassar alguns dos grandes mistérios da cosmologia.

Kepler também enviou um exemplar a Galileu mas a resposta deste foi lacónica e formal: confessava que só tinha lido o prefácio mas prometia ler todo o texto mais tarde. Kepler, como era de esperar, não ficou satisfeito e insistiu com outra carta: queria uma opinião acerca do livro e pedia a Galileu que, juntamente com ele, se manifestasse com firmeza a favor do sistema de Copérnico. Desta vez não obteve resposta e, como veremos, foi preciso esperar vários anos para que se repetissem os contactos entre os dois.

Com tudo isto Kepler tinha, pelo menos, conseguido um objectivo importante de que iria mais tarde tirar dividendos: tornara-se conhecido entre a comunidade dos astrónomos europeus.

Segundo andamento

Astronomia Nova

A situação na Estíria tinha-se agravado a partir de Dezembro de 1596 com a subida ao poder do jovem Arquiduque Fernando. Com este acontecimento inicia-se a Contra-Reforma e com ela a perseguição aos protestantes que acabariam por ser expulsos da província. Kepler que entretanto casara, apercebe-se a partir do Verão de 1600 de que a sua permanência em Graz se tinha tornado insustentável apesar do tratamento tolerante que, por razões que nunca foram completamente esclarecidas, as autoridades católicas revelavam em relação a ele. Sem meios próprios e com uma família a seu cargo, tenta o regresso à universidade de Tübingen onde estudara. Escreve a Maestlin mas, curiosamente, a resposta tarda e quando chega, muito tempo depois, contém uma resposta negativa e um conselho lacónico: *“reza por ti e pelos teus”*. Este episódio tem servido para alimentar a convicção de que Kepler não era uma figura bem vista pelo senado universitário de Tübingen.

Inesperadamente, contudo, surge para ele outra solução. Tycho Brahe que em 1599 tinha sido nomeado Matemático Imperial em Praga, dirige-lhe um convite para que viesse trabalhar como seu assistente. Criam-se assim as condições para o encontro entre dois homens que vão mudar por completo os rumos da astronomia e da ciência. Tycho Brahe dispunha de um grande volume de observações astronómicas de excepcional rigor; Kepler possuía, pela sua parte, uma enorme capacidade teórica e era, provavelmente, o melhor matemático alemão, senão mesmo europeu. Curiosamente tanto um como outro parecem ter tido a percepção desta complementaridade e de certa forma procuraram que o encontro entre os dois se concretizasse. Contudo, para compreender melhor a importância do que se iria passar, há que conhecer o percurso de Tycho Brahe e o seu papel na história da ciência.

Tycho Brahe nascera na Dinamarca e desde cedo se interessou pela astronomia. Em 1576, tinha então 28 anos, Frederico II entregou-lhe a ilha de Hveen para aí construir um observatório a que deu o nome de Uraniborg em homenagem a Urania deusa dos céus. Concebeu então instrumentos de grandes dimensões que lhe permitiam diminuir substancialmente os erros das observações dos astros. Basta dizer que o quadrante que mandou construir tinha um raio que media seis metros. Rodeou-se também de uma equipa em que as tarefas eram metodicamente distribuídas entre os que observavam, os que registavam valores e os que manejavam instrumentos. Tudo isso, juntamente com o estudo sistemático dos astros ao longo do ano, permitiu-lhe reunir um grande número de medições astronómicas muito mais rigorosas do que aquelas que eram conhecidas até então.

Com a morte de Frederico II, Tycho Brahe cai em desgraça. Obrigado a abandonar Uraniborg em 1597, trouxe consigo toda a informação que acumulara e veio para a Alemanha onde durante dois anos procurou colocação. Nessa altura, os poderosos davam muita importância à companhia dos astrónomos cuja actividade trazia prestígio, em grande parte porque a eles cabia a prática da astrologia e, portanto, a capacidade de adivinhar o futuro e detectar bons e maus presságios. Rudolfo II, Imperador do Sacro Império Romano, mais vocacionado para as artes e para a ciência do que para a política, estava a par da fama de Tycho Brahe. É natural por isso que em 1599 o tenha nomeado Matemático Imperial e tenha ordenado a construção de um observatório em Benatky, a cerca de 30 quilómetros de Praga.

Parece certo que Tycho Brahe desejava ter Kepler como colaborador por estar informado das suas excepcionais capacidades de matemático. Por sua vez Kepler estava ansioso por ter acesso aos dados que Tycho Brahe acumulara durante a sua permanência em Uraniborg. Mas estes dois homens eram profundamente diferentes tal como eram diferentes os objectivos que tinham em vista. Tycho Brahe era um aristocrata extrovertido, apreciador da boa mesa, gostando de viver rodeado de muita gente. Nunca aceitara o sistema de Copérnico por detectar nele graves incongruências e tinha proposto um outro sistema, o *ticónico*, que fora aceite por muitos dos astrónomos da época. Era este sistema que ele esperava agora ver confirmado através dos dados das suas observações. Kepler, ao contrário, era um plebeu profundamente religioso, permanentemente atormentado por problemas financeiros e familiares. Desde muito cedo tornara-se adepto do sistema copernicano e o que realmente esperava era que os dados na posse de Tycho Brahe pudessem confirmar o modelo que propusera no *Mysterium Cosmographicum*. Além disso, enquanto um procurava compreender o cosmos através dos dados da observação, o outro empenhava-se em descobrir uma ordem divina recorrendo a ideias *a priori*.

A aproximação entre os dois não foi fácil, apesar dos esforços feitos nesse sentido por um poderoso amigo e admirador de Kepler, o Barão de Hoffman. Kepler manteve-se hesitante durante algum tempo e apresentou a Tycho Brahe uma enorme lista de exigências que eram difíceis de aceitar. Supõe-se que apenas procurava garantir uma certa autonomia no trabalho e, ao mesmo tempo, tornar mais fácil o acesso aos dados de Tycho Brahe. A verdade é que, com a sua atitude impertinente, esteve à beira de provocar uma rotura definitiva entre os dois. Mas subitamente, e sem explicação aparente, mostrou-se arrependido e apresentou a Tycho Brahe desculpas por uma conduta que ele próprio classificou de inqualificável.

Ultrapassado este episódio havia que obter o acordo do Imperador para o contrato de Kepler e a garantia de um salário que resolvesse as suas dificuldades financeiras. Tycho Brahe usou então toda a sua habilidade e diplomacia ao ligar a contratação de Kepler ao projecto das *Tábuas Rodolfinas* dos planetas, em que Rodolfo II punha grande empenho, convencido de que com elas garantiria um lugar na História.

Em Outubro de 1600, Kepler, então com 28 anos, mudou-se com a família para Praga e integrou-se no grupo de que fazia parte Tegnagel, um aristocrata que casara com uma das filhas de Tycho, e Longamontanus que viera com ele de Uraniborg. Logo de início percebeu que teria de pôr de lado o projecto de confirmar o seu modelo cosmográfico, porque nessa altura Tycho dava prioridade à resolução de dois problemas: a teoria dos movimentos da Lua e a determinação da órbita de Marte. Este último problema estava a revelar-se muito complexo tendo sido entregue a Kepler que julgou ser capaz de o resolver no espaço de uma semana. Sabemos hoje que iria precisar de cerca de seis anos.

Logo que iniciou a sua actividade em Praga Kepler percebeu que as observações feitas por Tycho Brahe eram de um valor excepcional, tanto pelo número como pela qualidade, mas que os cálculos matemáticos estavam todos por fazer. Se era verdade que o material disponível poderia conduzir à construção de uma nova estrutura para o cosmos, era necessário para isso um arquitecto e esse arquitecto só poderia ser ele. A questão é que Tycho Brahe, que seguramente estava ciente de tudo isto, só lhe fornecia os dados à medida que iam sendo necessários, recusando-lhe o acesso livre à totalidade da informação. Isso irritava Kepler e criava nele uma impaciência crescente e um sentimento de revolta.

Mas um acontecimento inesperado viria alterar este cenário: Tycho Brahe morria a 24 de Outubro de 1601 com 54 anos. Dez dias antes, após um banquete em que se excedera nas bebidas, deixou de urinar. Os médicos relacionaram esta situação com uma obstrução do aparelho urinário provocada por cálculos da bexiga. Mas uma morte tão rápida, num indivíduo aparentemente saudável, iria provocar alguns rumores acerca da possibilidade de um envenenamento. Talvez por isso, Jessenius, médico e

amigo de Tycho, tenha aproveitado a oração fúnebre para fazer um relato pormenorizado da doença que vitimara o seu amigo dinamarquês procurando assim dissipar quaisquer suspeitas.

Mas antes de prosseguir esta narrativa impõe-se dar um salto no tempo para acrescentar alguns dados adquiridos posteriormente acerca deste episódio. Em 1901, ano do tricentenário da morte de Tycho Brahe, as autoridades de Praga decidiram exumar o seu cadáver e recolher o que dele restava. Os ossos ficaram depositados na sacristia da igreja dentro de uma pequena caixa metálica e o longo bigode, que resistira ao tempo, foi guardado no Museu Nacional de Praga. Em 1991 o director do Museu ofereceu um pequeno fragmento do bigode ao embaixador da Dinamarca que por sua vez o entregou ao “Planetarium Tycho Brahe” de Copenhaga. Foi então que alguém se lembrou dos rumores acerca da morte por envenenamento e decidiu pedir ao Director do Departamento de Medicina Forense da Universidade de Copenhaga a realização de uma análise toxicológica. Os resultados revelaram que os pêlos do bigode apresentavam níveis de mercúrio suficientes para provocar a morte e admitiram a possibilidade de um envenenamento ocorrido dias antes, provavelmente quando Tycho Brahe, que se dedicava à alquimia, manipulava compostos contendo mercúrio.

Esta interpretação foi recebida com cepticismo pela maioria dos historiadores, mais inclinados a atribuir a presença de mercúrio a uma contaminação do cadáver ocorrida depois da morte, tanto mais que uma equipa médica que voltara a analisar a doença terminal de Thycho Brahe aceitara a infecção urinária como o diagnóstico mais provável.

Contudo, em 1996 o problema foi reavaliado, desta vez recorrendo a um método de análise química com feixes de protões de alta energia (*particle-induced X-ray emission—PIXE*). Assim foi possível concluir que as elevadas concentrações de mercúrio se encontravam dentro do próprio pêlo e, sendo assim, não resultavam de uma contaminação externa: tinham lá chegado por via sanguínea. Com estes dados, poucas dúvidas podiam persistir: Tycho Brahe morrera por ter ingerido mercúrio e, não existindo razões aparentes para um suicídio, haveria que admitir que alguém o envenenara.

Convém deixar bem claro que, do ponto de vista dos conhecimentos médicos actuais, o quadro clínico que levou à morte de Tycho Brahe pode agora ser descrito de uma forma bastante coerente: intoxicação por metal pesado, necrose tubular aguda, insuficiência renal, coma urémico, morte. Já no que diz respeito ao problema forense as dúvidas persistem e provavelmente nunca serão esclarecidas. Mas, independentemente das boas razões que há para considerar Kepler um homem virtuoso e temente de Deus, dificilmente será possível excluí-lo do grupo dos suspeitos: pelo que

se sabe, tinha motivos, oportunidade e meios disponíveis para praticar o crime.

Desaparecido Tycho Brahe, tudo se encaminhava para que Kepler pudesse ter livre acesso ao “caos de informação” deixado pelo astrónomo dinamarquês. Assim foi de facto, apesar de algumas dificuldades iniciais levantadas por Tegnagel, genro de Tycho e que era um dos herdeiros da sua documentação. Entretanto o Imperador Rodolfo escolhia Kepler para ocupar o lugar deixado vago e nomeava-o Matemático Imperial.

Kepler não perdeu tempo e lançou-se imediatamente ao trabalho. Mas contrariamente ao que seria de esperar, continuou empenhado na teoria da órbita de Marte, deixando para trás aquilo que tinha sido a sua preocupação dominante: a confirmação do *Mysterium Cosmographicum*. Tudo se passou como se, inesperadamente, tivesse posto de parte as suas ideias neo-platónicas para se empenhar em construir teorias a partir dos dados da observação. O Kepler que especulava deu lugar a outro Kepler que calculava e verificava medidas e essa iria ser a fase mais produtiva da sua carreira de astrónomo.

O modelo com que começou a trabalhar sobre a teoria de Marte era o tradicional: órbitas circulares à volta de um ponto excêntrico em relação ao centro do universo. Quer isto dizer que, mesmo sendo uniforme o movimento dos planetas, parecia irregular quando observado do centro: mais rápido no perihélio, mais lento no afélio.

A teoria de Marte passava pelo cálculo da posição da linha das apsidas e da excentricidade. Para isso havia que conhecer três pontos da órbita obtidos com o planeta em oposição. Kepler confessou mais tarde que repetiu complicados cálculos mais de setenta vezes até obter resultados que lhe pareciam satisfatórios. Comparou depois a órbita obtida com outras observações e verificou que elas se encaixavam com um grau de erro que não ia além dos 2'. Mas não totalmente satisfeito fez mais uma contraprova com outras medições e, em vez de obter uma confirmação, encontrou diferenças da ordem dos 8' para a posição do planeta. Nas observações de Tycho Brahe -- que Kepler, no seu habitual misticismo, considerava um intermediário da “bondade divina” --, uma diferença destas não era admissível, pelo que só poderia ser atribuída a uma concepção errada das órbitas. Acerca disto, diria mais tarde: “*Estes 8 minutos apontaram o caminho para a renovação de toda a astronomia*”.

Kepler começou então tudo de novo mas agora partindo de dois pressupostos. O primeiro consistiu em referir as medições à posição do Sol e não ao centro da órbita da Terra como fizera Copérnico. O segundo resultou de considerar o Sol, não como um ponto geométrico, mas como a origem da força que faz mover os planetas. E como essa força aumenta e diminui conforme as distâncias, a Terra e os restantes planetas, nas suas órbitas excêntricas, deslocam-se mais depressa quando estão perto do Sol e

mais devagar quando estão afastados. Claramente influenciado pelos estudos que em 1600 Gilbert expusera no *De Magnete* sobre as forças magnéticas, Kepler introduz aqui uma visão inteiramente nova e revolucionária segundo a qual o sistema planetário tem leis próprias e é regulado por forças físicas. Os movimentos dos planetas deixavam assim de ser representações cinemáticas e puramente geométricas para passarem a ter causas que os explicavam.

Mas antes de introduzir a física na sua teoria, percebeu que era necessário provar empiricamente que a órbita da Terra, tal como ele a imaginava, estava correcta, uma vez que todas as observações astronómicas disponíveis eram feitas numa plataforma que era a própria Terra em movimento. Com o seu génio inventivo imaginou então a Terra a ser observada a partir de um ponto da órbita de Marte, e pôde assim confirmar que, tal como os planetas superiores, ela se deslocava com um movimento não uniforme.

Só então é que acrescentou a física, para concluir que a velocidade da Terra é inversamente proporcional à sua distância ao Sol. E, logo a seguir, aplicando o método indutivo, generalizou este princípio a todos os outros planetas, embora consciente de que esta proposição exigia confirmação posterior.

Mas a partir daqui, como seria possível determinar a posição de um planeta em determinado momento? Kepler imaginou o círculo dividido num número infinito de triângulos à semelhança do que Arquimedes fizera para encontrar a relação entre circunferência e diâmetro. E foi assim que chegou à lei que historicamente é a segunda mas que foi a primeira a ser enunciada: “*O raio vector descreve áreas iguais em tempos iguais*”.

Estava esclarecido como se processava o movimento dos planetas mas faltava conhecer a geometria da órbita de Marte. Kepler admitiu então que poderia não ser circular e começou por ensaiar a hipótese de uma órbita oval. Mas após várias tentativas teve de abandonar esta solução por não se adaptar aos dados das observações. Foi então que, acidentalmente, lhe surgiu a ideia da elipse e verificou que a ela se adaptavam todas as medições de Tycho Brahe. Pôde então concluir que a órbita de Marte era elíptica e, recorrendo mais uma vez à indução, enunciou a sua primeira lei: “*As órbitas dos planetas são elipses com o Sol num dos focos*”.

É difícil de imaginar quanto terá custado a Kepler substituir o círculo pela elipse. Ele, que tinha sido sempre neo-platónico e neo-pitagórico, via-se agora obrigado a abandonar as suas convicções mais profundas face aos dados da observação. E aqui está como o mesmo homem que chegara a Praga determinado a completar a sua concepção *a priori* da estrutura do universo, passava anos a fazer cálculos com base em dados empíricos. Não foi uma tarefa fácil: os números com os registos das posições de Marte

estavam dispersos em muitas folhas dos apontamentos de Tycho Brahe numa confusão que Kepler iria conseguir pôr em ordem.

A revolução da astronomia era agora total: as órbitas elípticas acabavam de vez com o axioma dos movimentos circulares, enquanto que os esquemas formais da astronomia clássica eram substituídos por um sistema dinâmico. Na concepção de Kepler a mecânica celestial assemelhava-se a um mecanismo de relógio em que os corpos se moviam accionados por forças magnéticas.

Todo este trabalho, que começou ainda durante a vida de Tycho Brahe, só ficaria terminado em 1605, mas dificuldades de vária ordem só permitiram que fosse publicado em 1609 com o título de *Astronomia Nova*.

As reacções dos astrónomos, tal como Maestlin e Longomontanus foram claramente desfavoráveis. Maestlin chegou a aconselhar Kepler a abandonar as suas ideias sobre causas físicas e a recorrer à geometria e à aritmética como verdadeiros instrumentos para conhecer os céus. Em relação a Galileu os acontecimentos assumiram contornos mais complexos porque, além de terem influenciado a actividade científica de Kepler, ainda hoje continuam a ser uma fonte de debate acerca da importância que cada um deles teve na transição da física aristotélica para a física moderna.

Em Março de 1610 Kepler recebeu a notícia de que, em Pádua, Galileu tinha descoberto quatro novos planetas com a ajuda de um “perspicillum” de duas lentes, ou seja, com a sua famosa luneta. A confirmação destas observações chegaria dias depois com um exemplar do *Sidereus Nuncius* que lhe foi entregue pelo embaixador toscano em Praga. Kepler não demorou mais de dez dias a enviar uma carta a Galileu, cujo texto, em forma de diálogo, seria publicado um mês depois com o título *Dissertatio cum Nuncio Sidereo*. Nesse texto mostrava-se entusiasmado com as novas descobertas que, na sua opinião, iriam exigir uma profunda reflexão por parte de filósofos e astrónomos. Mas foram necessários quatro meses para que Galileu se resolvesse a responder, desta vez com uma carta em que elogiava a coragem e estatura intelectual de Kepler e agradecia o seu apoio. Na verdade tinha boas razões para lhe estar grato porque, numa altura em que de todos os lados surgiam dúvidas e críticas às observações feitas com a luneta, Kepler, que há algum tempo esperava em vão uma opinião de Galileu acerca da sua *Astronomia Nova*, manteve uma posição totalmente isenta e sem qualquer ressentimento. E não restam dúvidas de que o silêncio do toscano parecia no mínimo revelar um total desinteresse pelo trabalho do astrónomo alemão. É por isso fundamental tentar entender as razões desta atitude.

Galileu, homem da Corte dos Médicis e relacionado com altos dignitários da Igreja, tinha-se a si próprio em alta consideração. As relações que mantinha com os seus pares eram muitas vezes marcadas por alguma arrogância e pareceu sempre mais preocupado em fazer demonstrações das

suas descobertas aos poderosos de quem dependia, do que àqueles que, como ele, se dedicavam à ciência. Além disso olhava com um certo desprezo para tudo o que lhe chegava da Europa do Sacro Império Romano, então envolvida em violentas lutas religiosas e ainda mergulhada numa cultura renascentista em que prevalecia o animismo, o misticismo e o obscurantismo. Para ele a astronomia de Kepler estava marcada por simbolismos e raciocínios cosmo-teológicos intoleráveis, e as suas elipses não eram mais do que manifestações de uma cosmologia “maneirista”, ou seja, tardo-renascentista. Mas, para além disso tudo, não podia aceitar a ideia das elipses porque elas contradiziam o seu fascínio obsessivo pelo movimento circular, o único que possuía as propriedades de uniformidade e perpetuidade em que assentava a sua ideia de movimento inercial. Kepler e Galileu estavam, pois, irreduzivelmente separados pelos seus próprios paradigmas: um, ao substituir a cinemática pela dinâmica celestial, mantinha-se fiel à ideia aristotélica do movimento como “processo”; o outro, ao introduzir o conceito de inércia, considerava o movimento como um “estado”. Se Galileu ignorava as órbitas elípticas, Kepler, pelo seu lado, ignorava o movimento inercial. Convém ainda recordar que Galileu estava envolvido numa batalha difícil para impor as suas teorias sobre o movimento e não lhe interessava envolver-se noutras lutas que não eram as suas, tanto mais que a condenação de Giordano Bruno, em 1600, ainda estava muito próxima e na memória de todos.

Entretanto Kepler estava ansioso por obter uma luneta mas os pedidos dirigidos a Galileu não tiveram resposta. Foi preciso esperar que o Duque da Bavaria trouxesse de Viena um dos exemplares que Galileu oferecera a Matias, irmão do Imperador, para que pudesse finalmente ver as luas de Júpiter. Mas para Kepler não bastava confirmar aquilo que Galileu já tinha observado e, em poucas semanas, durante o Verão de 1610, definiu as leis básicas a que obedece a passagem da luz através dos vários sistemas de lentes. A publicação no ano seguinte do seu livro *Dioptrice* com 141 teoremas e com os esquemas que ainda hoje figuram nos livros de texto da física, ficou para a história como o momento fundador da óptica moderna. Entre 1610 e 1611 Kepler dirigiu mais seis cartas a Galileu e em resposta apenas recebeu uma. Todas as outras informações acerca das novas descobertas vinham dirigidas ao embaixador toscano com pedido de serem transmitidas ao “Signor Glepero”!

Terceiro andamento *Harmonice mundi*

O ano de 1611 começou particularmente mal para Kepler: os seus três filhos adoeceram com varíola e um deles acabaria por morrer com apenas seis anos. Ao mesmo tempo agudizavam-se as lutas entre o Imperador e o

seu irmão Matias que levariam à abdicação do primeiro. Kepler sentia-se pouco seguro em Praga e decidiu procurar outro local de trabalho. Após várias hesitações decidiu-se por Linz onde chegou sozinho em Maio de 1612 depois da morte da mulher que ocorrera um mês antes. Aí foi ocupar os lugares de matemático distrital e de professor da escola.

Mas a sua vida em Linz não foi fácil: na sequência das posições que tomara sobre o problema da Eucaristia, que na altura dividia profundamente luteranos e calvinistas, o pastor Luterano de Linz decidiu excluí-lo da comunhão, o que para um crente fervoroso como Kepler constituiu um duro golpe. Entretanto no ano seguinte, com 42 anos casou pela segunda vez com uma mulher de 24 anos. Dela teve seis filhos dos quais três viriam a morrer na primeira infância.

Mas outro problema ensombrou este período da sua vida. A mãe, acusada de bruxaria em 1615 iria ser submetida a um longo processo judicial a que não faltou o recurso à tortura. Kepler envolveu-se neste episódio com grande empenho tentando livrá-la da pena capital. A libertação da mãe só chegaria em 1621 mas ela viria a falecer seis meses depois.

Apesar de todos estes contratemplos, Kepler mostrava-se com energia suficiente para preparar um dos mais brilhantes produtos do seu génio criador, o *Harmonice mundi*. A ideia nascera muitos anos antes quando, ainda em Graz, tinha começado a esboçar um plano sobre este assunto. Mas, com a ida para Praga a sua actividade fora totalmente monopolizada pelos projectos de Tycho Brahe sobre a teoria de Marte. Agora em Linz, sem ter outros astrónomos para discutir, estava completamente só e nas condições ideais para recriar as suas concepções acerca da estrutura do cosmos.

O que surpreende nesta fase é o seu regresso ao culto do neo-platonismo e do neo-pitagorismo com abandono dos caminhos que percorrera na elaboração da *Astronomia Nova*. Em vez de fundamentar as suas teorias em dados empíricos, regressa agora a uma atitude mística que o orientará na procura dos planos de Deus para a criação do universo. Como se, à maneira de Platão, o conhecimento da natureza repousasse numa coincidência entre as imagens primordiais interiores e os objectos exteriores. Tal como se o círculo que desenhamos a compasso não fosse mais do que a cópia imperfeita de uma ideia que o espírito já possui.

Kepler sente-se transportado pela contemplação das harmonias celestiais mas o seu discurso nada tem de vago nem de nebuloso. Assenta num conjunto de ideias bem estruturadas de quem atribui à matemática um papel fundamental e que sabe do que é que está a falar. Para ele tudo na natureza funciona de acordo com números e medidas. Mas a harmonia, seja no campo da geometria, da música ou da astronomia, é sempre uma relação entre dois elementos que só o espírito é capaz de reconhecer. Através de Deus, que ao criar o mundo utilizou os modelos da geometria e da música, o homem, feito à sua imagem, reconhece a harmonia de certas proporções.

No seu incontrolável misticismo tinha já formulado a simbologia adequada para a geometria e para as quantidades numéricas, comparando a esfera à Santíssima Trindade, em que o Pai é o centro, o Filho a superfície, e Espírito Santo as distâncias constantes entre o centro e a periferia.

A música vai ocupar uma parte importante das suas reflexões, devido às relações numéricas que existem entre as consonâncias: oitava 1:2, quinta 2:3, quarta 3:4, etc. Conclui então que tal como o Criador não concebeu o sistema harmónico da escala musical de uma forma arbitrária mas em conformidade com a razão e a natureza, também os movimentos celestiais foram arquitectados com o respeito pela harmonia que está presente no pensamento de Deus. Os movimentos dos planetas não são mais do que música contínua a várias vozes que só o intelecto consegue entender. E a harmonia só está presente quando uma multidão de fenómenos é regulada pela unidade de uma lei matemática que exprime uma ideia cósmica.

Muitos anos antes, no *Mysterium Cosmographicum*, tinha tentado definir *a priori* o número e as distâncias entre os planetas através dos sólidos regulares. Agora está convencido de que, face à excentricidade das órbitas que ele próprio descobrira, irá conseguir o mesmo à custa das harmonias. Aquilo de que não tem dúvidas é que Deus não introduziu as excentricidades ao acaso e sem razão.

Como coroação desta contemplação das harmonias celestiais descobre, no dia 15 de Maio de 1615 (oito dias antes de começar a Guerra dos Trinta Anos) a sua terceira lei: “*Os quadrados dos períodos estão entre si como os cubos das distâncias médias*”. Juntamente com a primeira e a segunda, esta terceira lei irá concretizar a fundação de um cálculo astronómico inteiramente novo e irá abrir o caminho para a lei da gravitação de Newton. O *Harmonice mundi* só acabou de ser impresso no Verão de 1619. É uma visão grandiosa do cosmos em que a ciência se mistura com poesia, filosofia, teologia e misticismo, como se a inspiração divina florisse, tal como ele pensava, através de um espírito brilhante.

Coda final

Nos anos que se seguiram à *Harmonice Mundi*, Kepler continuou a publicar. A *Epitome Astronomiae Copernicanae* é a mais extensa de todas as suas obras. Situa-se na linha do *Almagesto* de Ptolomeu e do *De Revolutionibus* de Copérnico, na medida em que constitui uma apresentação completa e sistemática de uma nova mecânica celestial: a kepleriana. Foi publicada entre 1618 e 1621.

As *Tabulae Rudolphinae*, projectadas ainda com Tycho Brahe e que o Imperador Rudolfo tanto desejara, tinham sido sucessivamente adiadas. Só agora, passadas mais de duas décadas, Kepler iria finalmente terminá-las e, depois de vários acidentes de percurso, foram finalmente impressas em Ulm, nos princípios de Setembro de 1627.

Entretanto, os acontecimentos ligados à Guerra dos Trinta Anos obrigaram Kepler a deixar Linz e a procurar local mais seguro para viver. Durante algum tempo permaneceu em Ulm para tratar da impressão das *Tabulae*, enquanto a família aguardava em Regensburg. Depois acabou por se instalar em Sagan onde chegou em Julho de 1630.

A 8 de Outubro desse ano, Kepler saiu de Sagan em direcção a Regensburg. Não se conhece ao certo a razão desta viagem embora se pense que tinha como objectivo recuperar velhas dívidas que deixara para trás. Chegou a Regensburg a 2 de Novembro e de súbito adoeceu com um quadro febril. A situação agravou-se rapidamente e nos dias seguintes surgiu confusão mental, agitação e perda de consciência. A 15 de Novembro, seis semanas antes de completar 59 anos, Kepler morreu.

Foi sepultado no cemitério protestante de Regensburg e na lápide tumular ficaram gravadas palavras da sua autoria que, talvez num gesto premonitório, entregara ao genro alguns meses antes de morrer:

Mensus eram coelus, nunc terrae metior umbras

Mens coelestis erat, corpori sumbra jacet

(Costumava medir os céus, agora medirei as sombras da terra

O espírito pertencia ao céu, aqui jaz a sombra do corpo)

Entretanto a violência brutal da Guerra dos Trinta Anos estava em marcha destruindo tudo à sua frente. Pensa-se que mais de metade da população da Alemanha foi dizimada e muitas cidades desapareceram. Durante a invasão dos suecos pelo norte, Regensburg preparou-se para a defesa e, para isso, foi necessário fazer escavações na cerca e no cemitério da igreja protestante. Do túmulo de Kepler não sobrou qualquer vestígio.

Bibliografia consultada

Caspar, M. *Kepler*. Dover Publications, 1993

Gilder, J. e Gilder, A-L. *Heavenly Intrigue*. Doubleday, 2004

Gribbin, J. *Science. A History, 1543-2001*. 2002

Holton. *Johannes Kepler's: its physics and metaphysics*, in Thematic Origins of Scientific Thought. Kepler to Einstein, 1988

Pauli, W. *Le cas Kepler*. Éditions Albin Michel, 2002

Kepler, J. *The Harmonies of the World*. Britannica-Great Books 1952

Lisboa, 23 de Agosto de 2004

A. J. Barros Veloso