

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

GIL ALVES SILVA

A EVOLUÇÃO DA CARTOGRAFIA CELESTE ENTRE OS SÉCULOS XV E
XIX

RIO DE JANEIRO

2009

GIL ALVES SILVA

A EVOLUÇÃO DA CARTOGRAFIA CELESTE ENTRE OS SÉCULOS XV E
XIX

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia.

Orientador: Carlos Benevenuto Guisard Koehler

RIO DE JANEIRO

2009

Silva, Gil Alves.

A evolução da cartografia celeste entre os séculos XV e XIX/ Gil Alves
Silva. - 2009. 107f.: il.

Dissertação (Mestrado em História das Ciências e das Técnicas e
Epistemologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química,
Rio de Janeiro, 2009.

Orientador: Carlos Benevenuto Guisard Koehler

1. Astronomia. 2. Cartografia Celeste. I. Koehler, Carlos Benevenuto
Guisard. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Química. III. A
evolução da cartografia celeste entre os séculos XV e XIX.

GIL ALVES SILVA

A EVOLUÇÃO DA CARTOGRAFIA CELESTE ENTRE OS SÉCULOS XV E
XIX

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Instituto de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia.

Aprovada em 28/05/2009

Presidente, Prof. Dr. Carlos Benevenuto Guisard Koehler

Prof. Dr. Ricardo Silva Kubrusly

Prof. Dr. Jorge de Albuquerque Vieira

Prof. Dr. Oscar Toshiaki Matsuura

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desse trabalho.

Aos meus pais.

RESUMO

SILVA, Gil Alves. A evolução da cartografia celeste entre os séculos XV e XIX. Rio de Janeiro, 2009. Dissertação (Mestrado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Este trabalho tem dois objetivos: o primeiro é mostrar que a astronomia e a cartografia celeste caminharam juntas ao longo do Renascimento e da Revolução Científica, e os atlas celestes resumiram o conhecimento astronômico de toda essa época; o segundo é provar que o fator determinante para a evolução dos atlas celestes nos séculos XVII e XVIII não foi a invenção do telescópio, mas sim a busca por uma maior precisão nas medidas das posições estelares.

Palavras-chave: Astronomia – Atlas Celestes - Cartas Celestes – Cartografia Celeste – História - Mapas Celestes

ABSTRACT

SILVA, Gil Alves. A evolução da cartografia celeste entre os séculos XV e XIX. Rio de Janeiro, 2009. Dissertação (Mestrado em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

This work have two purposes: first is to show that astronomy and celestial cartography walk together through the Renascense and Scientific Revolution, and the celestial atlas synthetize the astronomical knowledge of all this era; second is to prove that the decisive factor for the evolution of the celestial atlas in the centuries XVII e XVIII wasn't the telescope invention, but the search for bigger accuracy in the measure of stellar positions.

Keywords: Astronomy – Celestial Atlas - Celestial Cartography -- Celestial Charts – Celestial Maps – History

SUMÁRIO

Introdução	10
História da Astronomia	13
Astronomia grega: filosofia e cosmologia	13
Tales e a escola pitagórica	14
Platão, Aristóteles e Aristarco	16
Eratóstenes e Hiparco	19
Ptolomeu e a teoria dos epiciclos	21
Renascimento e Revolução Científica	23
O heliocentrismo de Copérnico	24
O universo da precisão de Tycho Brahe	28
Kepler e as órbitas elípticas	31
Galileu e a matematização da natureza.....	34
Descartes, Hooke e Huygens	36
Newton e a gravitação universal.....	39
Herschel, Adams e Le Verrier	41
Evolução da cartografia celeste entre os séculos XV e XIX	44
Algumas pequenas convenções	44
As fontes gregas	45
Os catálogos medievais	48
Renascimento	51
A Idade de Ouro dos atlas celestes	61
A fase de transição.....	75
Considerações Finais	80
Referências Bibliográficas	87
Glossário	95
Apêndices	98

Introdução

Antes que a poluição e que a iluminação excessiva tomassem conta dos nossos céus, nossos antepassados freqüentemente olhavam para as estrelas, acompanhando seu movimento incessante. O homem antigo deu os primeiros passos na compreensão do céu quando estabeleceu um método para reconhecer as estrelas, agrupando-as e formando as constelações. Usou os desenhos por elas formados e as figuras da mitologia que lhes sobrepôs para estabelecer um processo de orientação no céu, um pano de fundo sobre o qual se moviam os outros corpos celestes (Sol, Lua, planetas, cometas).

As 88 constelações usadas hoje foram oficialmente adotadas em 1922, definidas pela União Astronômica Internacional (IAU em inglês). Resumidamente, podemos definir 2 importantes grupos de constelações: um formado pelas 48 clássicas, descritas por Ptolomeu no *Almagesto* (século II), e outro formado por 40 constelações “modernas”, criadas entre os séculos XVI e XVIII (principalmente no hemisfério sul celeste). O primeiro grupo, envolvendo em sua grande maioria estrelas do hemisfério norte celeste, foi criado pelas civilizações do Crescente Fértil, e o intercâmbio/domínio de uma cultura sobre outra fez com que elas chegassem à Grécia. O segundo grupo prescinde de muitas explicações: constelações criadas basicamente para homenagear as artes, as ciências e a recém descoberta fauna austral.

O surgimento das constelações “modernas” ocorreu em paralelo à publicação de alguns dos mais belos atlas celestes jamais produzidos. Esses atlas também retratavam as constelações clássicas segundo a mitologia grega, permitindo ao usuário localizar um astro no céu. Essa é, de fato, a função técnica da cartografia celeste dentro da astronomia: fixar uma posição para os objetos celestes. A cartografia, influenciada pelo movimento barroco, e a astronomia, renovada pelo conflito espiritual do Renascimento, fizeram a combinação perfeita entre arte e ciência, até o momento em que a cartografia recebeu uma espécie de estímulo que a deixou mais perto da ciência do que da arte. Assimilando as novidades da reforma na astronomia, os atlas celestes começaram a apresentar diagramas que explicavam os movimentos da Terra, as fases da Lua, os eclipses, e até mesmo os sistemas cosmológicos de Ptolomeu, Copérnico e Tycho. Em que ocasião a cartografia, essa forma de expressão icônica e auto-suficiente, foi absorvida pela astronomia como parte do conhecimento científico?

No começo do século XVI as grandes navegações fizeram com que os exploradores europeus tivessem acesso a uma região do céu não observável a partir das latitudes boreais.

Eles passaram a catalogar novas estrelas e agrupá-las em constelações, e o uso crescente de cartas celestes na navegação viabilizou travessias cada vez mais ousadas, já que um bom conhecimento do céu era sinônimo de um regresso seguro ao lar. A insatisfação com a acurácia das antigas efemérides astronômicas levou à elaboração de catálogos estelares mais precisos, e esse aumento na precisão foi o impulso que uniu e revolucionou de vez a história de ambas, a astronomia e a cartografia celeste. O grande responsável por esta mudança de paradigma foi Tycho Brahe, astrônomo dinamarquês que no final do século XVI produziu o mais preciso catálogo estelar de seu tempo. Suas medidas de posições estelares tornaram-se o verdadeiro *turning point* tanto da astronomia quanto da cartografia celeste.

O catálogo de Tycho inspirou a elaboração de *Uranometria* (1603), do advogado e astrônomo alemão Johann Bayer, considerado o primeiro dos Grandes Atlas e que inaugurou a Idade de Ouro dos atlas celestes. Além de retratar as constelações clássicas com uma exuberância sem precedentes, Bayer também foi o primeiro a descrever as novas constelações austrais, introduzidas pelos navegantes holandeses no final do século XVI. Mas um dos maiores avanços de *Uranometria* foi permitir que um objeto celeste fosse localizado através de um par de coordenadas (latitude e longitude), e não somente por sua posição na constelação, ou seja, desde então os astros poderiam ser encontrados sem que fossem utilizadas as figuras das constelações.

Embora tenha surgido astronomicamente em 1609, o telescópio só ganhou alguma relevância para a cartografia celeste no século seguinte, quando o astrônomo inglês John Flamsteed utilizou o instrumento para montar um catálogo estelar que auxiliasse a navegação. Mas a cartografia só se torna uma atividade puramente científica na metade do século XIX, quando as figuras das constelações começam a desaparecer dos atlas. Em dois séculos de convivência harmônica o aumento da precisão não disputou lugar com as belas imagens das cartas celestes, mas o acréscimo de novos objetos (estelares ou não) descobertos telescopicamente obrigou os cartógrafos a escolher entre as figuras das constelações e as novas informações astronômicas. Este novo *turning point* ocorreu quando o astrônomo alemão Johann Bode publicou *Uranographia* (1801), quarto e último dos Grandes Atlas, que finalizou a Idade de Ouro dos atlas celestes.

Este trabalho tem dois objetivos: o primeiro é mostrar que a astronomia e a cartografia celeste caminharam juntas ao longo do Renascimento e da Revolução Científica, e os atlas celestes resumiram o conhecimento astronômico de toda essa época; o segundo é provar que o fator determinante para a evolução dos atlas celestes nos séculos XVII e XVIII não foi a

invenção do telescópio, mas sim a busca por uma maior precisão nas medidas das posições estelares.

Com o intuito de facilitar a leitura, o corpo principal dessa obra está dividido em apenas dois capítulos: um dedicado à história da astronomia e outro à da cartografia celeste. No começo de cada capítulo será feito um breve relato sobre as origens gregas de cada uma dessas histórias, onde o leitor não encontrará dificuldades em reconhecer a relevância dessas contribuições. É evidente que o capítulo sobre história da astronomia está bastante resumido, mas os critérios de seleção não foram completamente subjetivos, e uma rápida consulta a qualquer livro sobre o assunto mostra que os eventos escolhidos são de reconhecida notoriedade. O capítulo sobre história da cartografia celeste também será sintético, mas por ser mais técnico (do ponto de vista desse trabalho) terá algumas explicações adicionais no momento oportuno. As considerações finais tratam das observações e comentários pertinentes a cada capítulo, oferecendo ao leitor novos (e ousados) pontos de vista, bastante diferentes dos tradicionais.

A metodologia utilizada para testar a primeira hipótese é bastante simples: raciocinar por analogia, ou seja, comparar os principais fatos relacionados às histórias da astronomia e da cartografia celeste (dentro do período proposto) e julgar se as semelhanças existentes entre datas e nomes são suficientes para provar nossa suposição. Recomendamos a leitura atenta de ambos os capítulos (ou uma releitura, quando for o caso), pois não será dedicado um tópico específico para o entrelaçamento dessas histórias. No teste da segunda hipótese vamos nos servir da arqueocartografia celeste, híbrido sócio-científico da cartografia com outras ciências, que se utiliza de antigas cartas celestes para investigar (e quem sabe recontar) a história da astronomia. Indiferentes à quaisquer polêmicas que possam surgir devido a problemas com direitos autorais, estamos orgulhosos desta nova área interdisciplinar debutar justamente em nosso trabalho, certos de que esta é a primeira vez em que o termo “arqueocartografia” é publicado com propósitos científicos.

História da Astronomia

O objetivo deste capítulo é descrever os principais acontecimentos relacionados à reforma astronômica ocorrida durante o Renascimento e a Revolução Científica, mas antes devemos identificar de que fontes beberam os astrônomos medievais. Assim como a democracia, a filosofia e quase toda a cultura ocidental, um dos principais berços da ciência renascentista foi a Grécia, país privilegiado geograficamente, já que sua posição no sul da península balcânica sempre favoreceu a convergência de saberes. O pioneirismo grego em tentar racionalizar o universo influenciou todo nosso modo de interpretar a natureza. Aristóteles, por exemplo, acreditava que através da indução se poderia chegar a conclusões sobre o mundo natural, e que essas verdades universais (por dedução) nos dariam um autêntico retrato da natureza, ou seja, do particular iríamos ao geral (ou universal) e daí seriam deduzidas as conseqüências. Se atribuímos aos gregos as primeiras interpretações do cosmo baseadas em crítica racional e observações, também será justo considerá-los os primeiros filósofos da natureza.

Astronomia grega: filosofia e cosmologia

Os estudos sobre a astronomia grega enfrentam um grave problema: a escassez de fontes. Esta dificuldade em conseguir textos originais relativos à história da astronomia grega é essencialmente devida a dois fatores: primeiro, muitos textos desapareceram basicamente pela censura eclesiástica; segundo, os textos ultrapassados não eram mais reproduzidos, e assim poucas cópias foram feitas de obras de considerável importância. Um bom exemplo é o famoso trabalho de Euclides, *Os Elementos*, do qual poucas cópias restaram. Retornando a Aristóteles, vale ressaltar seu importante trabalho na preservação e transmissão do conhecimento produzido pelos gregos, já que tinha por hábito citar seus antecessores. Suas obras ganharam notoriedade e respeito, e o peso de sua cosmologia seria sentido por quase dois milênios.

Tales e a escola pitagórica

As qualidades da ciência grega aparecem pela primeira vez com o matemático e astrônomo Tales de Mileto (636–546 a.C.). Tales trouxe do Egito alguns conhecimentos de geometria, e teve algumas idéias consideradas revolucionárias para a época: sugeriu que a Terra era um disco plano boiando na água (e que esta era o constituinte básico de todas as coisas), e que o Sol e as estrelas não são deuses, mas sim bolas de fogo. Mas sua maior façanha está ligada à astronomia: a ele é atribuída a previsão de um eclipse total do Sol em 28 de maio de 585 a.C., levando-se a crer que conhecia o ciclo de Saros.

Contemporâneo mais jovem de Tales, Anaximandro de Mileto (610–547 a.C.) foi outra figura notável da astronomia grega, atribuindo-se a ele a elaboração de um mapa-mundi e um livro sobre a Terra e seus habitantes. Anaximandro acreditava que a Terra era um cilindro, e o homem vivia na superfície de um dos planos. Achando-se à mesma distância de tudo, a Terra e o homem estavam no centro do universo. Também dizia que as estrelas eram condensações de ar cheias de fogo, com aberturas pelas quais saíam chamas. Apesar das limitações desta cosmologia, começa a surgir, ainda na época do próprio Tales, um esquema coerente de toda a criação, onde hipóteses sustentadas por leis naturais começam a substituir as mitologias anteriores.

Pitágoras, que nasceu por volta de 570 a.C., acreditava que os planetas estavam situados a diferentes distâncias da Terra, e mais perto dela do que das estrelas. O universo seria esférico e no centro existiria um “fogo central”, com todos os outros corpos girando ao seu redor. Em volta desse fogo central giravam a Terra, a Lua, o Sol, os 5 planetas conhecidos e as estrelas (note-se este ponto de vista ousado: a Terra era um planeta, em órbita como todos os outros). Observando as fases da Lua (Figura 1), Pitágoras deve ter chegado à conclusão de que a Terra não é plana, mas sim curva. Por volta de 450 a.C., essa revolucionária concepção do universo fez com que a escola de Pitágoras se tornasse uma das mais influentes escolas de pensamento gregas.

Outro filósofo grego que seguiu os passos de Pitágoras foi Anaxágoras de Clazômenas (500–428 a.C.). Normalmente é atribuída a ele a descoberta da verdadeira causa dos eclipses lunares. Considerando que estes fenômenos eram consequência da projeção da sombra da Terra na superfície lunar concluiu que, uma vez que a sombra da Terra projetada na Lua tem uma forma arredondada (Figura 2), então a Terra teria que ser redonda.

Anaxágoras ensinava que os cometas eram uma ilusão óptica criada pelo encontro de várias estrelas (ou ainda a conjunção visual de um planeta com essas mesmas estrelas). Em virtude de posições consideradas ousadas (como ter defendido que o Sol era uma pedra incandescente maior que a própria Grécia) Anaxágoras foi expulso de Atenas, mesmo tendo vivido lá por cerca de 30 anos.

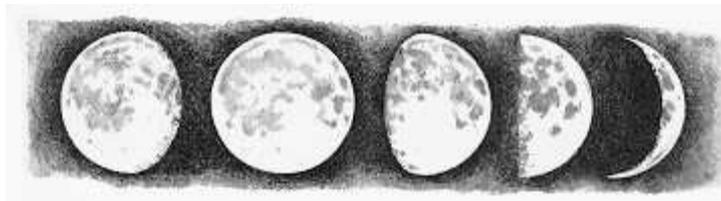


Figura 1: As seguidas observações das fases da Lua teriam feito com que Pitágoras imaginasse uma Terra esférica.

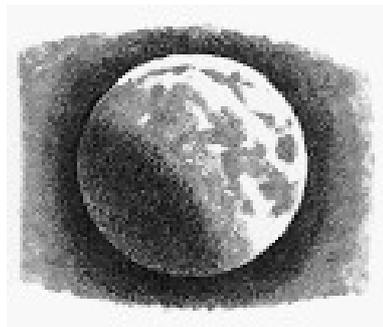


Figura 2: A descoberta da causa dos eclipses lunares é atribuída a Anaxágoras.

Platão, Aristóteles e Aristarco

Platão (427–348 a.C.), considerado uma das figuras mais importantes do mundo grego, foi discípulo de Sócrates, e a ele devemos as referências a seu mestre. Mesmo não sendo astrônomo, teve muita importância para a astronomia grega. Acreditava que a Terra era esférica e estava no centro do universo, com o Sol, a Lua e os planetas movendo-se em torno dela. A geometrização de Platão influenciou de forma significativa a construção e desenvolvimento de alguns dos modelos cosmológicos gregos, mas seu verdadeiro estímulo no desenvolvimento da ciência grega surgiu na importância que atribuía à matemática, importância esta que veio mostrar-se cientificamente produtiva.

Aristóteles (384–322 a.C.) foi aluno de Platão, e talvez o mais influente dos filósofos/cientistas gregos. Limitando-se ao que poderia ser considerado um trabalho verdadeiramente científico, Aristóteles foi mais cientista que Platão, que não valorizava a investigação da matéria. Aristóteles utilizava a lógica para investigar os objetos que observava, contribuindo de forma significativa para o conhecimento da biologia, da física e da astronomia. Nesta última, em particular, concebeu um modelo em que o universo era constituído, no início, apenas por duas esferas: uma central (a Terra), envolvida por uma exterior, na qual se localizavam as estrelas. Depois incluiu as esferas da Lua, do Sol e dos planetas, e o modelo inicial evoluiu para um sistema mais complexo que possuía oito esferas concêntricas (sempre com a Terra no centro).

Aristóteles acreditava que as estrelas e os corpos celestes se moviam em órbitas circulares, e que as esferas que sustentavam seu modelo do universo tinham uma existência física real. As esferas giravam graças ao movimento da esfera externa (esfera das estrelas fixas), movidas por uma “força motriz”. Como nunca observou nenhuma alteração no céu, considerou que este era perfeito e imutável, e que as estrelas e os planetas formavam o mundo supralunar, de uma quintessência eterna, não corruptível. A esfera abaixo da Lua (mundo sublunar) era efêmera, sujeita a fenômenos transitórios, tais como o aparecimento de cometas e outros fenômenos meteorológicos. Neste orbe, as mudanças e transformações eram restritas aos quatro elementos comuns (ar, água, fogo e terra).

Aristóteles estava correto acerca de várias das idéias que propunha, dentre as quais:

- a Lua deveria ser redonda;
- o Sol estava mais longe do que a Lua, pois a Lua na sua fase crescente passava entre o Sol e a Terra;
- a Terra era esférica, apontando para isso dois argumentos:
 1. o Terminador (linha na superfície da Lua que separa a parte iluminada da parte escura) sugeria que a Terra deveria ter um aspecto semelhante à Lua;
 2. um viajante, ao deslocar-se para o norte, verifica que as estrelas do sul se deslocam para baixo do horizonte, o que não aconteceria se a Terra fosse plana (mesmo raciocínio pelo qual um navio parece afundar no horizonte – consequência de uma Terra esférica).

Mesmo com a importância que Aristóteles tinha na cultura grega, nem todos partilhavam das suas idéias. Entre estes devemos destacar o matemático e astrônomo Aristarco de Samos (310–230 a.C.), que imaginou um método bastante original para medir as distâncias relativas entre o Sol e a Lua, baseado na geometria das fases desta última (Figura 3). Utilizando o triângulo formado por esses três astros no início do quarto crescente, Aristarco determinou a distância Terra-Lua em relação à distância Terra-Sol, e concluiu que Sol estaria cerca de vinte vezes mais distante da Terra que da Lua (hoje sabemos que o verdadeiro valor é aproximadamente quatrocentos). Também idealizou um método para medir os tamanhos relativos da Terra e da Lua (Figura 4), baseando-se na sombra projetada pelo nosso planeta durante um eclipse lunar, concluindo que a Lua tinha um diâmetro três vezes inferior ao da Terra. Em posse desse dado tentou calcular o diâmetro do Sol, encontrando um valor vinte vezes maior que o da Lua e sete vezes maior que o da Terra.

Embora os valores numéricos estivessem errados, os resultados qualitativos estavam corretos, isto é, o Sol é maior do que a Terra e esta é maior do que a Lua. Também acertou com relação às distâncias, ou seja, a distância da Terra ao Sol é superior à da Terra à Lua. Dotado de bom senso, Aristarco utilizou estes resultados e interpretou corretamente que se a Lua girava ao redor da Terra e o Sol era o maior dos três objetos, seria natural que o sistema Terra-Lua tivesse um movimento ao redor do Sol. Assim, embora não fosse um grande observador, Aristarco pode ser considerado o primeiro astrônomo a propor um sistema heliocêntrico, com o Sol estacionário no centro do universo.

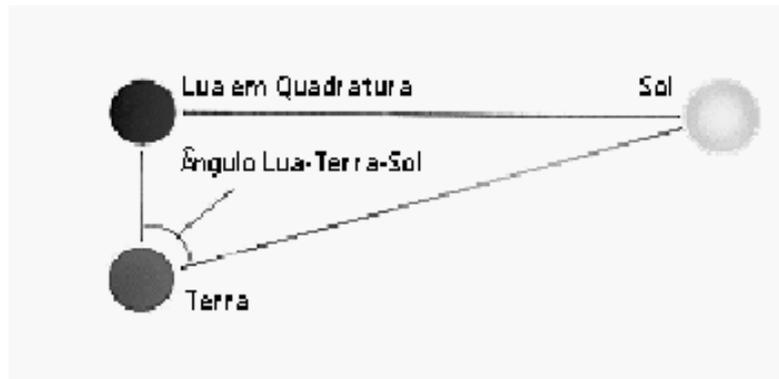


Figura 3: Neste esquema podemos verificar como Aristarco determinou geometricamente os valores relativos das distâncias Terra-Lua e Terra-Sol. Para isso mediu o ângulo Lua-Terra-Sol. Conhecendo o ângulo Sol-Lua-Terra, que é 90° nesta configuração, Aristarco estimou que a distância da Terra ao Sol seria cerca de vinte vezes a distância da Terra à Lua (hoje sabemos que o valor correto é aproximadamente quatrocentos).

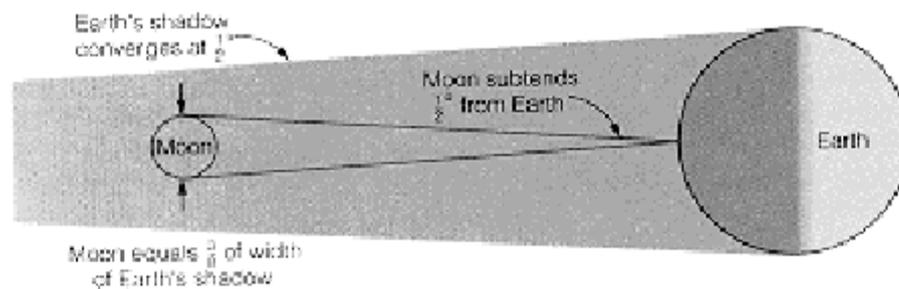


Figura 4: Esquema imaginado por Aristarco para estimar os tamanhos relativos da Terra e da Lua (seus cálculos resultaram num diâmetro lunar três vezes inferior ao da Terra).

Eratóstenes e Hiparco

Eratóstenes de Cirene (276-195 a.C.), sábio grego que dirigiu a biblioteca de Alexandria, foi contemporâneo de Aristarco e também teve importantes contribuições para a história da astronomia. Em primeiro lugar, a ele é atribuída a criação da primeira esfera armilar, além da confecção de um catálogo que encerrava 675 estrelas. Outro trabalho seu consistiu em medir a obliquidade da eclíptica (inclinação entre o equador celeste e o plano da órbita da Terra), encontrando o valor de 23.5° (valor atual: 23.45°). Conseguiu medir o tamanho da Terra utilizando um método puramente trigonométrico (Figura 5): sabendo a distância entre as cidades de Siena e Alexandria, mediu o ângulo entre a direção do Sol e a direção da vertical do lugar em Alexandria (medido no instante em que Siena registra esse ângulo nulo, isto é, quando o Sol passa pelo zênite). Admitindo-se que os raios solares têm a mesma direção em Siena e Alexandria, Eratóstenes concluiu que esse ângulo é o mesmo que subtende o arco de meridiano entre Siena e Alexandria. Assim, pôde efetuar estimativas para os valores dos comprimentos do meridiano e do raio terrestre.

O matemático e cartógrafo Hiparco de Nicéia (190-125 a.C.) é considerado o maior observador celeste da antiguidade, o verdadeiro fundador da astronomia científica. Não inovou na teoria planetária, apenas assinalando alguns erros cometidos por Apolônio (que o precedeu cerca de 75 anos) no seu sistema de epiciclos. Pensava que o modelo de Aristarco era muito complicado, e em virtude disso preferiu um modelo cosmológico geocêntrico. Suas observações rigorosas mostravam que o Sol não tinha um movimento uniforme, donde concluiu que o movimento do Sol em torno da Terra era efetuado numa órbita circular ligeiramente descentrada (Figura 6).

Um de seus trabalhos mais notáveis foi realizado na ilha de Rodas, onde compilou, num catálogo, a posição de aproximadamente 850 estrelas. Este catálogo, o mais preciso produzido até então, também introduzia o conceito de magnitude (ou brilho) de uma estrela, onde as estrelas mais luminosas eram de “primeira magnitude”, e as que estavam no limiar da visão eram as de “sexta magnitude”. Comparando as posições estelares deste catálogo com anteriores, verificou que os equinócios deslizavam lentamente ao longo da eclíptica, e assim descobriu a precessão dos equinócios, fenômeno de suma importância para a astronomia de posição.

Também determinou as distâncias relativas entre a Terra e a Lua e entre a Terra e o Sol, deduzindo que a Lua dista da Terra cerca de 59 raios terrestres, valor este que se aproxima bastante do valor real.

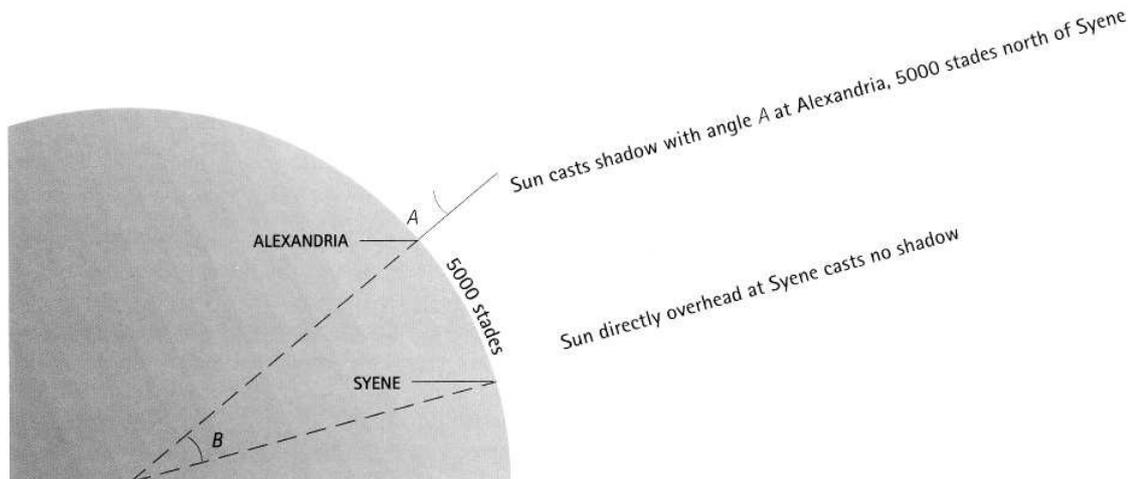


Figura 5: Esboço ilustrando a forma como, utilizando apenas conhecimentos de trigonometria, Eratóstenes estimou os valores do comprimento do meridiano, bem como do raio da Terra.

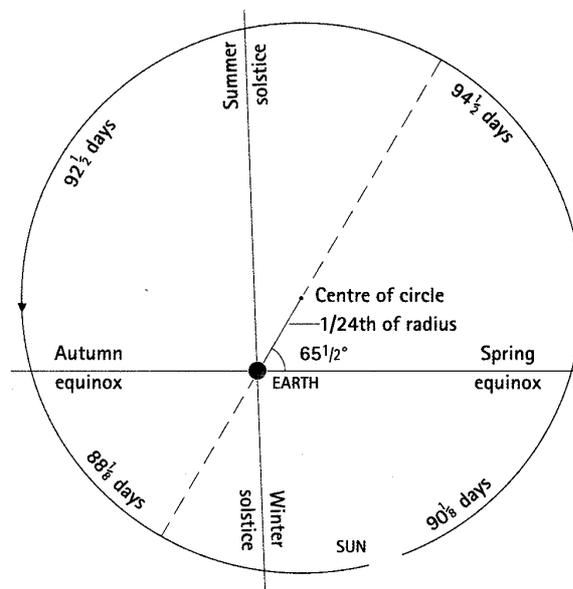


Figura 6: Modelo de Hiparco para o sistema Terra-Sol. Hiparco admitia que a órbita do Sol em volta da Terra era circular, entretanto, como havia concluído que o movimento do Sol não era uniforme, colocou a Terra não no centro da órbita circular, mas sim numa posição descentrada.

Ptolomeu e a teoria dos epiciclos

Depois de Hiparco entramos num período que durou cerca de três séculos, e do qual muito pouco se sabe quanto ao desenvolvimento da astronomia grega. De fato, apenas com os trabalhos de Cláudio Ptolomeu (100-170 d.C.), em meados do século II, se retoma o curso da história da astronomia.

Astrônomo, matemático e geógrafo, Ptolomeu viveu em Alexandria e ganhou notoriedade por sua *Coleção Matemática*, compêndio astronômico dividido em 13 volumes, e que foi objeto de diversas traduções ao longo dos séculos. Este trabalho se tornou tão importante que passou a ser uma referência para os astrônomos durante mais de mil anos. As traduções árabes viriam a chamar-lhe *Al-Magist* (“O Maior”), e mais tarde as traduções européias efetuadas a partir do árabe passaram a utilizar a designação *Almagesto*, nome pelo qual é até hoje reconhecido.

Tendo em mente o fenômeno da precessão, Ptolomeu corrigiu as observações de Hiparco, ampliando seu catálogo. Sem dúvida, a relação de estrelas fixas do *Almagesto* é o mais próximo que a história da astronomia chegará do catálogo perdido de Hiparco, mas existe outra importante contribuição deste célebre astrônomo que não poderia deixar de ser mencionada: o desenvolvimento dos epiciclos, um método para prever a posição do Sol, da Lua e dos planetas.

Realmente, um dos maiores desafios da astronomia antiga era conseguir que os modelos cosmológicos reproduzissem o movimento retrógrado observado para alguns planetas, especialmente Marte (Figura 7). A criativa solução encontrada por Ptolomeu consistiu na utilização dos epiciclos. Os planetas eram colocados em esferas ao redor da Terra, na seguinte ordem: Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno. Todas as esferas, à exceção da primeira e da última, tinham movimentos bastante complexos, já que eram animadas de movimentos de rotação em torno de vários eixos. A última era a esfera das estrelas fixas, um pano de fundo celeste sobre o qual se moviam os planetas.

Contudo, o modelo desenvolvido por Ptolomeu, apesar de resolver alguns problemas (especialmente o do movimento retrógrado dos planetas), levantava outra questão: o epiciclo da Lua era muito grande, aproximando-a muito da Terra, o que de fato não era observado. A solução encontrada por Ptolomeu foi considerar que a Lua tinha um diâmetro aparente variável, solução naturalmente pouco convincente.

Para a teoria do Sol, Ptolomeu se contenta em retomar a de Hiparco (embora com três séculos de defasagem). Hiparco superestimou o ano trópico em pouco mais de seis minutos, o que deu ao Sol um movimento médio muito lento (acumulada ao longo de três séculos, fica clara a separação de quase dois minutos de arco, um afastamento grande entre as longitudes calculada e observada).

O modelo de Ptolomeu não era diferente do cosmo aristotélico, alterado e desenvolvido de forma a melhor poder explicar as observações astronômicas. Realmente, a filosofia dos dois modelos é a mesma, atribuída a Aristóteles. A contribuição de Ptolomeu em relação aos modelos cosmológicos anteriores foi sobretudo no aspecto técnico, com a introdução dos epiciclos.

Aliás, é extraordinário como os modelos geocêntricos gregos foram utilizados em todos os cálculos até o século XVI. Utilizando os epiciclos de Ptolomeu, os astrônomos medievais conseguiam prever a posição dos astros com uma precisão relativamente boa, perpetuando o *Almagesto* como livro-texto da astronomia por quatorze séculos.

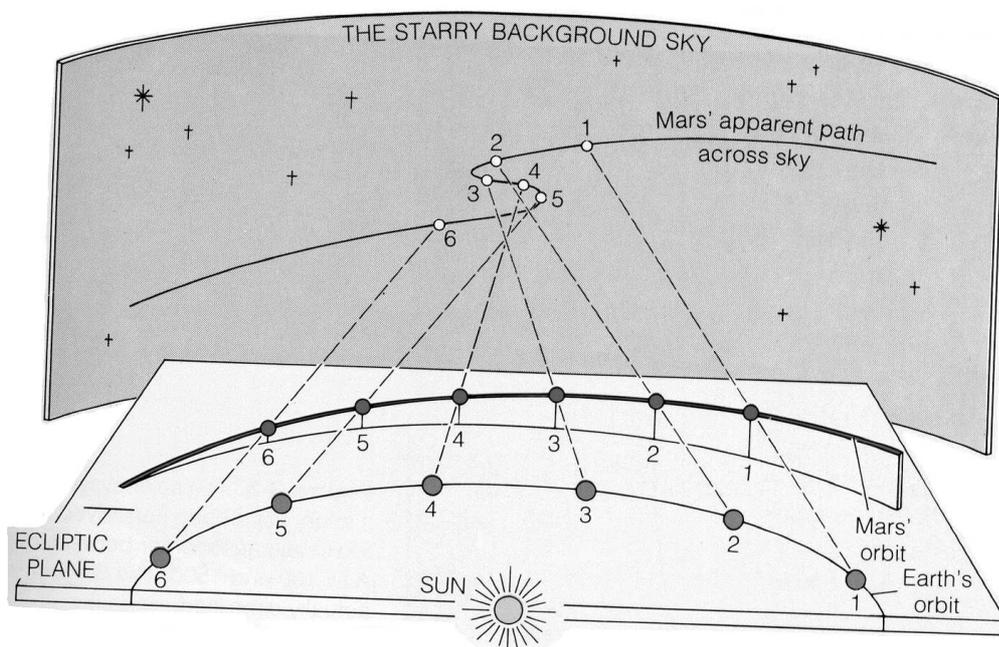


Figura 7: Projeção da órbita de Marte na esfera celeste, quando este planeta é observado a partir da Terra, ilustrando o porquê do movimento aparentemente retrógrado deste planeta.

Renascimento e Revolução Científica

Nos séculos XIV e XV a fome, a peste negra e os escândalos eclesiásticos assolavam a Europa. Nestes séculos os europeus se lançaram ao mar, contornando a África e conquistando novos continentes. Colonizaram a América e fizeram comércio com a Ásia. Mas o século XV também marcou o início do Renascimento, movimento que tinha como uma de suas principais características o retorno à cultura greco-romana. O antropocentrismo, o humanismo, a literatura e as artes também mereceram destaque. Mas somente nos séculos XVI e XVII o homem tentou entender o mundo através de leis universais que poderiam ser explicadas matematicamente. A importância dada ao estudo da natureza levou ao desenvolvimento de métodos experimentais e à observação científica, e esse período da história da Humanidade ficou conhecido como Revolução Científica. Esta revolução também promoveu profundas modificações sociais, religiosas, filosóficas e intelectuais em toda a Europa Ocidental.

Sem dúvida o *Almagesto* transformou-se numa verdadeira “bíblia” da astronomia, em particular para as civilizações árabe e latina. Esta obra constituiu o mais valioso e completo resumo do conhecimento astronômico até aquela época, um texto claro e objetivo, que serviu de modelo ao próprio Copérnico. O heliocentrismo demoliu a velha idéia de um universo centrado na Terra, mas somente no final do século XVI o catálogo de estrelas de Ptolomeu seria substituído pelas mais precisas observações astronômicas até então, feitas por Tycho Brahe. Destas observações Kepler deduziu suas três leis do movimento, e estes resultados influenciaram a visão de mundo de filósofos da natureza como Galileu, Descartes e Newton. Numa época em que os astrônomos se limitavam a uma descrição cinemática das aparências celestes, coube a Galileu afirmar a matemática como linguagem da natureza e a Newton formular a lei da gravitação universal. Depois deles, a astronomia e a física estavam consolidadas como a imagem do mundo. Sabemos que para uma melhor compreensão das origens da ciência moderna seria necessário considerar outros aspectos socialmente relevantes, mas nesse momento nosso objetivo é relatar os principais avanços no campo da ciência astronômica.

O heliocentrismo de Copérnico

Certamente as mais significativas mudanças ocorridas na ciência renascentista foram relacionadas com as idéias sobre o universo. O ponto de vista que prevaleceu no final do século XVI representou uma revolução não só para a astronomia, mas também para a filosofia e religião. Neste lento processo de refinamento e consolidação, a astronomia contou com novas idéias, embora algumas proposições relativamente revolucionárias tenham sido feitas ainda no século XV, pelo cardeal alemão Nicolau de Cusa (1401-1464).

Nicolau era essencialmente um filósofo, mas decidiu pôr a ciência a serviço da filosofia, e isso o levou a algumas conclusões interessantes. Em seu estudo do universo, Nicolau rejeitava a existência de um ponto central cósmico para o movimento celeste e repudiava a idéia de que a Terra era o centro de todas as coisas ou de que era estacionária (de fato, acreditava que a Terra se movia, mas não em uma órbita, e sim com um movimento aparente). Nicolau também sugeriu que a Terra não era o único lugar do universo em que havia vida.

Os conceitos de Nicolau de Cusa não foram adotados pela maioria dos astrônomos, que continuaram a seguir o modelo geocêntrico. Porém, seu contemporâneo George Peurbach (1423-1461) trabalhou no sentido de esclarecer a astronomia do *Almagesto*, preparando tabelas de eclipses e do movimento do Sol. Entretanto, sua morte prematura interrompeu uma carreira promissora, e teria impedido a finalização de sua revisão da astronomia ptolomaica, não fosse seu discípulo Johannes Muller (1436-1476), mais conhecido como Regiomontanus. Peurbach propôs-se a fazer um resumo do *Almagesto*, tendo uma cópia da tradução latina feita por Gerard de Cremona (século XII) como guia e, em seu leito de morte, conseguiu a promessa de Regiomontanus de que este completaria o trabalho. Regiomontanus completou o que chamou de *Epitome* um pouco antes de 1463 – embora não tenha sido publicado até 1496. O livro foi mais do que um sumário do *Almagesto*, pois acrescentou observações posteriores, revisou os cálculos do original e também incluiu alguns comentários críticos ao texto de Ptolomeu (principalmente em relação à teoria do movimento da Lua).

Ansioso por publicar seu trabalho, Regiomontanus mudou-se para Nuremberg em 1471, onde conheceu e tornou-se amigo do rico comerciante Bernhard Walther. Em posse de um observatório e de uma imprensa, Regiomontanus tornou-se o primeiro editor de trabalhos astronômicos e matemáticos cujas obras eram realmente confiáveis. Fez observações tão precisas do brilhante cometa aparecido em junho de 1456 que permitiram sua identificação, séculos mais tarde, como uma das aparições do cometa de Halley.

A crítica à teoria elaborada por Ptolomeu a respeito do movimento da Lua contida no *Epitome* colaborou para identificar alguns erros naquela teoria, e abriu caminho para a grande revolução astronômica do século XVI, diretamente ligada ao nome de Nicolau Copérnico (1473-1543). Nascido em Torun (Polônia), Copérnico entrou para a Universidade de Cracóvia em 1491, onde estudou os clássicos, a matemática, e interessou-se pela astronomia; foi para Bolonha estudar direito canônico, embora sua atenção estivesse voltada para o céu. Nesta cidade ele fez sua primeira observação astronômica, realizada a 9 de março de 1497: a ocultação da estrela Aldebarã pela Lua.

O modelo heliocêntrico inicialmente proposto por Copérnico era também, tal como o ptolomaico, constituído por esferas concêntricas. Copérnico preocupou-se com o velho problema de Platão, isto é, com a construção de um sistema planetário através da combinação do menor número possível de movimentos circulares uniformes. Copérnico sabia que Aristarco sugeriu uma Terra móvel e achava que um ponto de vista mais correto poderia surgir se o Sol fosse colocado no centro do universo e a Terra passasse a ser vista como um planeta, percorrendo uma órbita em torno do Sol, como faziam os outros planetas. Mas afinal, qual era a prova de que a Terra se movia? Não parecia haver nenhuma; faltava um indício concreto, pois se a Terra se movesse (como sugeria Copérnico) haveria uma mudança anual nas posições aparentes das estrelas, e essa mudança não era observada. Copérnico contrariava esse argumento com a explicação de que a esfera das estrelas estava tão distante que esta mudança não seria perceptível.

Copérnico não conseguiu se livrar dos epiciclos de Ptolomeu; de fato, quanto mais tentava aperfeiçoar o heliocentrismo, mais deferentes e epiciclos eram necessários para adequar a teoria às observações. Sua principal vantagem era: as taxas de movimentos das esferas celestes aumentavam, desde a esfera imóvel das estrelas até a de Mercúrio (a mais rápida). Porém, além da crítica com relação à paralaxe, surgiu outra: as distâncias planetárias, na teoria de Copérnico, eram muito grandes e, segundo Aristóteles, a natureza tem horror a vácuo. Nem mesmo o crescente número de epiciclos utilizados por Copérnico conseguia preencher o espaço entre as órbitas planetárias.

Receando parecer ridículo, Copérnico inicialmente difundiu suas idéias apenas entre amigos, em um *Pequeno Comentário*, sendo bem-sucedido. Mais tarde, na primavera de 1539, encontrou o estímulo que faltava na pessoa de George Joachim (1514-1574), também conhecido como Rheticus, professor de matemática da Universidade de Wittenberg. Copérnico e Rheticus trabalharam juntos na nova teoria e, em poucos meses, Rheticus já possuía material suficiente para escrever seu próprio e curto panfleto, *Narratio Prima* (Primeiro Relato), de 1540. Tratava apenas do movimento da Terra, e deveria ser seguido por outros comentários, mas o gelo foi quebrado e Copérnico preparou seu próprio relato completo da teoria. Rheticus passou a supervisão técnica do livro para o clérigo luterano local, Andreas Osiander, o que trouxe conseqüências inesperadas. Osiander mantinha o ponto de vista que “para os astrônomos, é suficiente assumir um modo de salvar o fenômeno, quer ele seja real ou não”. Já que Copérnico estava doente e longe de Nuremberg, Osiander resolveu expressar sua opinião em um prefácio não assinado, em que diz “a nova teoria não necessita de ser aceita como uma realidade física, e que pode ser vista como um modelo meramente conveniente para o cálculo das posições planetárias”. Também altera o título original para *Sobre as Revoluções das Órbitas Celestes*, numa tentativa clara de transmitir a idéia de que a Terra não estava necessariamente incluída nas propostas de Copérnico.

Este era o problema mais sério do heliocentrismo: a queda do homem (e da Terra) do trono central do universo para um lugar sem importância. O homem não estava mais no lugar adequado à sua natureza ímpar como imagem de Deus, no centro de todas as coisas, mas banido para um mero planeta entre tantos outros. No devido tempo, isso teria as mais profundas repercussões na visão do homem de si mesmo e de seu lugar na criação. Muitos intelectuais contribuíram com suas idéias para essa reformulação. Outros contribuíram com as observações que permitiram os avanços decisivos no desenvolvimento do modelo heliocêntrico.

Uma destas contribuições veio com o astrônomo e matemático inglês Thomas Digges (1543-1595). Em seu principal trabalho, *Uma Descrição Perfeita das Órbitas Celestes* (1576), Digges comenta o sistema de Copérnico e apresenta uma inovação importante: remove a esfera exterior das estrelas fixas e as distribui numa região não limitada (Figura 8). Este trabalho teve diversas edições no final do século XVI.

Mais tarde, o monge e teólogo italiano Giordano Bruno (1548-1600) adotaria de forma entusiástica a idéia de Digges de um universo sem fronteira. Bruno deu especial atenção à conclusão “lógica” – já defendida por Nicolau de Cusa – de que o universo também não tem um centro, ao que escreveu: “no Universo não existe nem centro nem circunferência, mas o centro é em qualquer ponto...”.

Nas diversas viagens que efetuou por toda a Europa, assim como nos escritos que publicou, Bruno tentou dar maior difusão às idéias atomistas, conhecidas através do poeta romano Lucrécio, e segundo as quais o Universo é infinito, povoado uniformemente por um número incontável de estrelas que, como o Sol, podem ter muitos planetas a orbitar a sua volta, podendo estas servirem de abrigo a outras raças. Na verdade, Bruno não contribuiu com nada que já não fosse conhecido, e com os prematuros ataques às crenças religiosas só conseguiu, desnecessariamente, dar origem a mais hostilidades contra o pensamento de um universo heliocêntrico. Quando regressou à Itália, em 1592, foi detido pela Inquisição, passando os sete últimos anos da sua vida numa prisão eclesiástica. Mesmo torturado, ele recusou se retratar, e no ano de 1600 acabou condenado a morrer na fogueira, em Roma. Até onde se sabe, não há qualquer menção específica da defesa de Copérnico por Bruno como razão para a sua condenação.

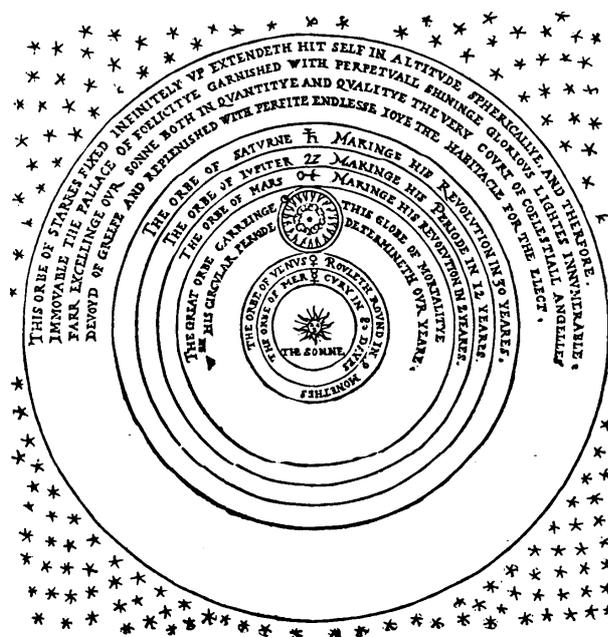


Figura 8: O universo infinito de Thomas Digges.

O universo da precisão de Tycho Brahe

A teoria copernicana foi um produto típico da especulação renascentista, e talvez seu ponto culminante. Demonstrou como tendo se preparado para derrubar idéias preconcebidas e doutrinas aceitas era possível chegar a uma nova síntese e formular uma visão totalmente nova da natureza. Agora chegamos ao período em que a ciência moderna foi finalmente lançada e estabelecida. No princípio do século XVII, o aspecto geral do mundo natural alterou-se de tal forma que Copérnico teria ficado pasmo.

Tycho Brahe (1546-1601) nasceu em Knudstrup (na então Dinamarca e hoje parte da Suécia), filho de um conselheiro privado. Graças a um acordo familiar, Tycho foi criado pelo tio paterno e com treze anos entrou para a Universidade Luterana de Copenhague, onde passou a se interessar pela ciência. Obrigado a cursar direito pelo tio, foi enviado a Leipzig para receber instrução jurídica, só ficando completamente livre para se dedicar à astronomia com a morte do tio, em 1565.

No entanto, foram algumas imprecisões encontradas nas melhores tabelas astronômicas da época (relativas à previsão de uma conjunção de Saturno e Júpiter em 17 de agosto de 1563) que marcaram a virada na sua carreira. A determinação de Tycho por medidas mais precisas aumentou em 1572, quando uma brilhante “estrela nova” (hoje uma supernova) apareceu repentinamente na constelação de Cassiopéia, na noite de 11 de novembro. Para esta observação Tycho utilizou um novo instrumento de sua concepção: um quadrante de 5,4 m de raio, construído em Augsburg, que permitia uma resolução superior a um minuto de arco. Ao comparar suas medidas com a de outros observadores europeus (inclusive Thomas Digges), descobriu que a estrela nova estava muito além da Lua. Esta era uma observação fundamental: significava um rompimento total com a tradição aristotélica, segundo a qual tal objeto devia estar na esfera sublunar, pois o céu era imutável.

Dois anos depois, quando o rei dinamarquês Frederico II lhe deu a ilha de Hven (hoje Ven), na costa dinamarquesa, Tycho começou a trabalhar para fundar um observatório dedicado a medidas de precisão, Uraniborg (“Castelo de Urânia”). Os instrumentos – na maioria sextantes e quadrantes de grandes dimensões – eram feitos de metal e com um grau de precisão até então desconhecido. Tycho também apresentou um procedimento inteiramente novo: comparar os instrumentos e anotar os erros inerentes a cada um deles (ele acreditava que nenhum instrumento de medição, por mais cuidadosamente que tivesse sido feito, seria perfeito – algum erro era inevitável).

Em 1577, quase 12 meses após o início das observações em Hven, um cometa grande e brilhante apareceu no céu ao anoitecer, com uma cauda muito longa (Figura 9). Segundo Aristóteles, os cometas eram vapores quentes e secos; assim, sua ação consistia em tirar a umidade do ar, gerando condições favoráveis para o desenvolvimento de doenças e epidemias. A concepção científica de Tycho ultrapassou essas considerações, e ele fez suas próprias observações (de 13/11/1577 até 26/01/1578), ao mesmo tempo em que reuniu as de vários outros astrônomos. Ele chegou à conclusão de que o cometa estava muito além da Lua, o que mostrava ser ele um verdadeiro objeto celeste e não um fenômeno meteorológico como um “vapor seco”. Tycho também observou que a extremidade da cauda sempre apontava em sentido oposto ao Sol (assim, a cauda não podia ser formada de “gordura seca”, como pensava Aristóteles). O mais importante é que as observações provaram que o cometa se deslocava através das supostas esferas celestes e, desse modo, elas não podiam existir fisicamente.

Portanto, em vários pontos fundamentais Tycho discordava de Aristóteles. Acima de tudo, o céu não era imutável – suas observações da supernova de 1572 e do cometa de 1577 provaram isso. Mas, se não era totalmente a favor do universo aristotélico, Tycho ainda não aceitava o ponto de vista de Copérnico sobre o cosmo, e assim formulou sua própria cosmologia. Nela, a Terra permanecia fixa no centro do universo, com a Lua e o Sol em sua órbita (Figura 10), embora Tycho admitisse que os planetas pudessem orbitar ao redor do Sol.

Quando o rei Frederico II morreu, em 1588, os fundos para a manutenção do observatório não estavam mais disponíveis. Assim, em meados de 1597, Tycho deixa Hven. Dois anos depois estabeleceu-se em Praga, sob o patrocínio do sacro imperador romano germânico Rodolfo II. O imperador concedeu-lhe uma pensão e o Castelo de Benatky, cerca de 35 km a nordeste de Praga, embora pareça que Tycho realmente viveu em Praga até sua morte, em 24 de outubro de 1601. Até então, os modelos utilizados para explicar o universo (Ptolomeu, Copérnico e o próprio Tycho) não se ocupavam das causas dinâmicas dos movimentos dos astros.



Figura 9: O cometa observado por Tycho em 1577.

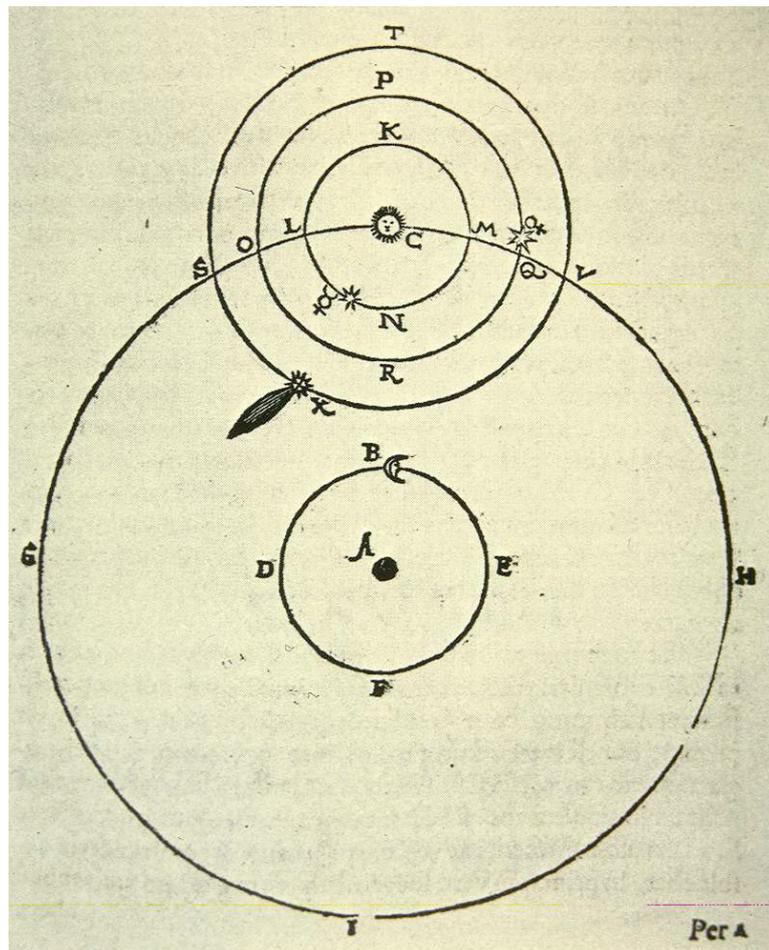


Figura 10: O modelo de Tycho para o sistema solar.

Kepler e as órbitas elípticas

No cortejo fúnebre de Tycho estava um de seus assistentes, Johannes Kepler (1571-1630). Filho de um mercenário e de uma praticante de magia, Kepler pretendia se tornar pastor luterano e fora para Tübingen a fim de estudar teologia. Nessa cidade, passou a se entusiasmar com a astronomia, “converteu-se” à teoria copernicana e mostrou uma habilidade matemática tão impressionante que, quando o posto de professor de matemática de uma conhecida escola luterana em Graz ficou vago, foi persuadido a deixar a teologia e ocupar o posto. Este foi o ponto decisivo em sua carreira.

Kepler praticou a astrologia tanto quanto a astronomia, apesar de sempre reconhecer e deixar claras as diferenças entre as duas. A inclinação teológica de Kepler deu-lhe uma crença firme nos desígnios divinos do universo, e isso, por sua vez, o conduziu ao que ele acreditou ser uma grande descoberta. Em *Mysterium Cosmographicum* (1596), usando o cosmo copernicano (com o Sol no centro), ele poderia colocar nos espaços entre as esferas que continham os seis planetas os cinco poliedros regulares da geometria euclidiana. Assim, um cubo cabia exatamente entre as esferas de Júpiter e Saturno, um tetraedro entre as esferas de Júpiter e Marte, e assim por diante. Uma vez que há cinco poliedros regulares, Kepler acreditava ter encontrado a chave do universo, a razão por que só havia seis planetas e estes estavam espaçados do modo pelo qual os astrônomos haviam determinado. Este era um argumento místico-matemático que enfatizava um aspecto íntimo da natureza de Kepler.

Tycho Brahe ficou impressionado com o livro de Kepler, mas não porque atribuisse ao astrônomo alemão a descoberta do segredo do universo; o que mais chamou a atenção de Tycho foi a habilidade matemática de Kepler. Ali estava um homem que poderia tomar suas observações planetárias e usá-las para extrair o verdadeiro movimento dos planetas. Nesse momento, a perseguição religiosa força Kepler e sua família a saírem de Graz e irem ao encontro de Tycho, em Praga. Kepler estabeleceu-se nessa cidade em 1600, mas já no ano seguinte Tycho faleceu; Kepler foi então designado “matemático imperial” em seu lugar.

Tycho mantivera em segredo suas observações planetárias, mas em seu leito de morte pediu a Kepler usá-las a fim de preparar um novo conjunto de tabelas de movimentos planetários – as *Tábuas Rodolfinas* – que ele acreditava iriam confirmar sua própria teoria e provar que o sistema de Copérnico era insustentável. Nessa época, Kepler dedicava-se ao estudo das observações de Marte, pois a órbita excêntrica do planeta – sobre a qual nem Tycho nem Kepler sabiam coisa alguma na época – era apropriada para revelar as diferenças

vitais entre as teorias. Tycho, além de observações precisas, deu continuidade às observações, em vez de adotar o processo habitual de observar apenas em condições significativas em termos astronômicos (conjunções e oposições).

O trabalho de Kepler em observações de Marte levou anos, a quantidade de cálculos envolvida foi imensa, sem haver qualquer meio mecânico para auxiliá-lo. Além disso, uma supernova apareceu no outono de 1604, e isso desviou seu interesse por algum tempo, resultando num livro, *A estrela nova no pé do Serpentário* (1606), que falaremos mais no capítulo seguinte. Entretanto, à medida que continuava seus cálculos, ficava claro que as teorias de Tycho e Copérnico não se ajustavam às suas observações. Kepler, apesar de suas idéias preconcebidas sobre harmonia celeste, seguia apenas as observações numa atitude totalmente científica.

O resultado de sua investigação foi publicado em *Astronomia Nova* (1609), onde Kepler quebrava a tradição grega e tudo aquilo que os astrônomos subsequentes tinham consagrado. Ele mostrou não só que Marte orbitava em torno do Sol, mas também que o fazia segundo uma elipse. A órbita circular grega e também a crença em um movimento planetário uniforme estavam encerradas, pois Marte variava sua velocidade orbital enquanto se deslocava ao longo de sua trajetória elíptica, acelerando sua velocidade à medida que se aproximava do Sol (periélio) e diminuindo-a ao se afastar dele (afélio).

As leis do movimento planetário tinham que ser revistas: em vez do movimento circular uniforme em torno da Terra, estava claro que os planetas se moviam em órbitas elípticas ao redor do Sol, a velocidades variáveis, e a mudança da velocidade determinava que uma linha traçada entre o Sol e o planeta sempre cobria uma mesma área dentro da elipse, em um mesmo período de tempo (Figura 11). O lado místico de Kepler ainda procurava alguma regularidade subjacente. Em *Harmonia do Mundo* (1619) ele descobre uma relação entre o tempo que cada planeta leva para completar uma órbita elíptica e sua distância média do Sol (o valor é o mesmo para todos eles). Sua importância especial reside no fato de que, se conhecermos os tempos orbitais dos planetas (relativamente fáceis de obter) e a distância média de apenas um deles em relação ao Sol, podemos calcular a distância de todos eles. Tamanha foi sua felicidade ao descobrir esta relação, hoje chamada 3ª Lei de Kepler, que escreveu: “[...] após prolongado trabalho, árduo e incessante, sobre as observações de Brahe, ao descobrir a verdadeira relação, as sombras do meu espírito foram tempestuosamente rasgadas, com uma tal perfeição [...] que julguei a princípio estar a sonhar.”

A estada de Kepler em Praga foi repleta de dificuldades. Seu salário estava sempre muito atrasado, mulher e filho mais velho morreram em 1611, seu patrocinador Rodolfo II abdicou, e sua mãe morreu em 1621. Em 1625 foi forçado a se mudar para Ulm, onde foram impressas as *Tábuas Rodolfinas* (1627), três anos antes de sua morte.

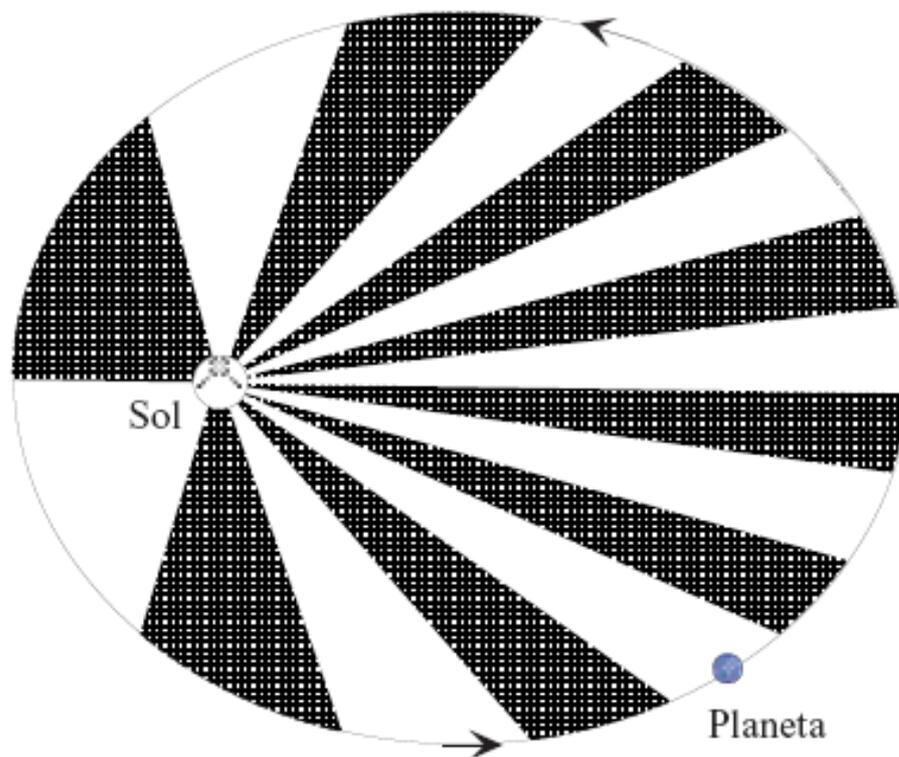


Figura 11: Diagrama onde são representadas as duas primeiras leis de Kepler.

Galileu e a matematização da natureza

Galileu Galilei (1564-1642) nasceu em Pisa. Filho do compositor Vincenzo Galilei, cresceu num ambiente familiar que valorizava as artes, e bem poderia ter escolhido uma carreira artística, como seu irmão Michelangelo, mas aos 17 anos foi estudar medicina na universidade de Pisa. Voltou sem diploma, e desde então dedicou-se ao estudo da matemática e da mecânica.

Aos 35 anos, Galileu assumiu a cadeira de matemática de Pisa. Crítico ferrenho de Aristóteles, acabou com a distinção entre os dois tipos de movimento – forçado e natural – da teoria aristotélica; para Galileu, ambos eram essencialmente o mesmo. Nessa época ele pesquisou o movimento da queda dos corpos, provando que, fossem leves ou pesados, demorariam o mesmo tempo para atingir o chão. Estudou o movimento dos corpos ao longo de uma superfície (inclusive as inclinadas), aproximando-se da primeira lei de Newton. Ao contrário de Kepler, que montou suas leis empíricas baseadas nas observações de Tycho, as contribuições de Galileu também foram importantes no aspecto teórico, já que usava técnicas matemáticas ao analisar os resultados. Essa abordagem foi tão poderosa que se tornou padrão de toda uma nova física desenvolvida nos séculos XVII e XVIII.

Em 1591, com a morte de seu pai e a péssima remuneração em Pisa, Galileu mudou-se para Pádua, onde reinava um espírito de liberdade de pensamento. Fez conferências sobre o movimento e explicou a trajetória curva (parabólica) de um projétil. Em Pádua, Galileu teve seu primeiro contato com o telescópio, na primavera de 1609, e usando seus conhecimentos de óptica, não tardou para que construísse seu próprio instrumento de ver à distância. Em pouco tempo construiu aparelhos com poder de ampliação de três, dez e até trinta vezes (Figura 12). Porém, o verdadeiro inventor ainda é assunto de debate. Pelo menos meio ano antes de Galileu, três pedidos de patente do instrumento para ver à distância (o termo “telescópio” foi criado em 1611, na Itália) foram recebidos pelo Parlamento dos Países Baixos, dois deles feitos por oculistas de Middelburg.

Embora a concepção de Thomas Digges de um universo infinito de estrelas possa ter sido baseada em observações através de um telescópio, foi Galileu que chamou a atenção da comunidade científica internacional para seu uso. Em março de 1610 publicou o *Mensageiro Sideral*, onde relata suas observações astronômicas. Galileu observou mais estrelas das que as visíveis a olho nu, contrariando o universo perfeito dos aristotélicos. Apontando o telescópio para a Lua, Galileu descreveu suas crateras e montanhas. A Via-Láctea apresentava uma

infinidade de estrelas distintas, e o planeta Júpiter revelava quatro pequenas luas orbitando ao seu redor (os “planetas medicianos”, homenagem a Cosme de Médici). A descoberta destes satélites foi um importante argumento a favor do heliocentrismo, e a Terra deixava de ser o único planeta a apresentar um satélite ao seu redor. Galileu também observou as fases de Vênus, as manchas solares e os anéis de Saturno.

Apesar das observações de Galileu confirmarem a teoria de Copérnico, ainda havia os que se recusavam a olhar através do telescópio; o conservadorismo acadêmico não admitia que um simples instrumento pudesse destruir toda a física e mecânica aristotélica. Em 1632, é publicado *Diálogo sobre os dois principais sistemas do mundo – o ptolomaico e o copernicano*, em que Galileu apresenta seus argumentos a favor do heliocentrismo através de uma discussão entre três homens cultos. Esta obra foi ovacionada em todo continente europeu, exceto na Itália, onde causou a ira da Igreja. Em 1633, Galileu foi processado pela Inquisição, forçado a se retratar e condenado à prisão domiciliar. Em seus últimos anos de vida, Galileu estava cego, mas lúcido o suficiente para ditar a seu discípulo, Vicenti Viviani, um estudo de como o pêndulo poderia ser aplicado à regulação de mecanismos. Galileu foi celebrado como o “pai da física matemática”, num mundo onde não havia mais espaço para a física e a cosmologia de Aristóteles e Ptolomeu. Seu método matemático-experimental tornou-se o fundamento da ciência moderna.

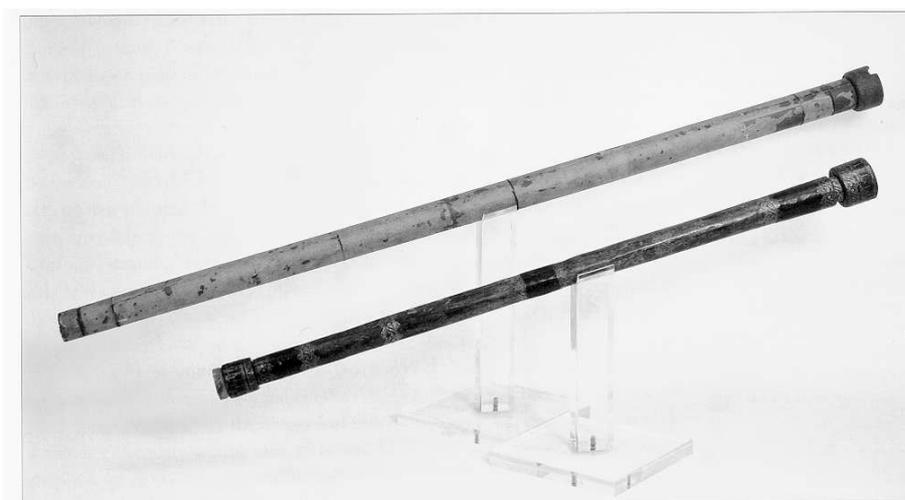


Figura 12: Duas das lunetas utilizadas por Galileu em suas observações.

Descartes, Hooke e Huygens

A divisão feita por Galileu entre ciência e religião fez com que a astronomia caminhasse de forma independente – e a passos largos. Seu trabalho marcou o fim de uma revolução não só na área científica, mas também na filosofia, religião, política, enfim, em toda sociedade. Essa concepção de mundo de Galileu, baseada na observação, experimentação e aplicação da matemática aos resultados não foi seguida por um contemporâneo seu, um jovem filósofo-matemático chamado René Descartes (1596-1650). Nascido em La Haye (França), filho de um advogado, recebeu aos 20 anos seu diploma de direito na Universidade de Poitiers. Envolveu-se na Guerra dos Trinta Anos, quando passou quase uma década estudando matemática. Para nosso estudo, vamos ver rapidamente os principais conceitos matemáticos e físicos abordados nas obras cartesianas.

Por mais que os filósofos da ciência achem inadmissível qualquer comentário a respeito do trabalho de Descartes sem mencionar o *Cogito, ergo sum* (“Penso, logo existo”), vamos focalizar nossa atenção nos seus *Princípios de Filosofia* (1644). Além de filosofia, Descartes expõe sua interpretação do cosmo, onde rejeita qualquer tentativa de impor limites ao espaço. Comparando matéria e espaço, conclui que as diferenças observadas entre distintas regiões do Universo só podem ser resultado de matéria em movimento.

Descartes negava a existência do átomo e do vácuo, embora considerasse o espaço um *plenum* (cheio de matéria). Argumentava que Deus conservava a mesma quantidade de matéria e de movimento (lei da conservação do *momentum*) e que um corpo em movimento que não sofre ação de nenhuma força se moverá sempre na mesma direção, com a mesma velocidade, para sempre; desta forma, estava enunciada a lei da inércia (conforme visto antes, Galileu chegou perto dessa lei, mas pecou ao não incluir nela os movimentos celestes, que ele ainda considerava circulares).

O universo cartesiano tinha um Deus que, no instante da criação, dividiu a matéria e a colocou em movimento. Sem vácuo, uma partícula sempre seria substituída por outra, levando a uma circulação de matéria que constituía o que Descartes chamou de vórtices (Figura 13). As partículas materiais, embora mudem de tamanho, são todas feitas do mesmo material; essas partículas são coletadas em vórtices. Nos centros dos vórtices estão as partículas que se movem mais depressa (as de fogo), então será formada uma estrela. À medida que gira, essa estrela empurra as demais. Dependendo dos movimentos adjacentes, essa estrela pode se transformar num planeta (e tornar-se membro de seu novo vórtice) ou num cometa (passando

para o vórtice seguinte). Embora engenhoso, Descartes não conseguia prever como as partículas materiais iriam se comportar num momento futuro. Sua teoria até explicava de forma aceitável os movimentos dos corpos celestes, mas ainda faltava o porquê dos movimentos observados.

Outra tentativa de explicar como o Sol exercia sua força de atração foi dada pelo famoso cientista experimental inglês Robert Hooke (1635-1703). Entre 1662 e 1664 ele foi Curador de Experiências da recém-criada Royal Society, onde tentou provar que a força exercida pela Terra sobre qualquer corpo variava com a altura. Suspenso na cúpula da abadia de Westminster School, Hooke achava que poderia registrar diferenças de pesos entre os corpos quando colocados a diferentes distâncias da superfície terrestre. Apesar dos esforços, Hooke não detectou nenhuma variação entre os valores medidos.

Sua tentativa de explicar o movimento da Terra era baseada em 3 pressupostos:

- 1- todos os corpos celestes têm uma espécie de atração em direção aos seus centros, através do qual atraem, além de si próprios, todos os outros corpos celestes que estão dentro de sua esfera de ação;
- 2- todos os corpos celestes em movimento retilíneo assim continuarão a se mover, até que sejam desviados por alguma outra força para um movimento circular, elipsoidal ou alguma outra curva composta;
- 3- estas forças atrativas agem com mais intensidade sobre um corpo quanto mais perto este corpo estiver do centro de atração.

Destas suposições podemos notar que Hooke suspeitava que as forças atrativas diminuía com a distância, mas não sabia como (lhe fugia a formulação matemática correta da força, que ele julgava magnética). Tornou-se mister descobrir a relação entre elas; seria a força inversamente proporcional à distância, ao seu quadrado ou alguma outra potência desconhecida?

Somente em 1673 o astrônomo holandês Christiaan Huygens (1629-1695), um dos fundadores da Academia Francesa de Ciências e que propôs anéis para resolver a aparente triplicidade de Saturno (Figura 14), demonstrou que a força exterior com que uma pedra “puxava” a corda à qual estava presa era proporcional a $1/r^2$, e que poderíamos fazer uma analogia se considerássemos os planetas se movendo em órbitas circulares com velocidade constante. Mas as leis de Kepler estabeleciam que os planetas se moviam em órbitas elípticas, e suas velocidades variavam de acordo com a distância do planeta ao Sol. Este impasse foi

contornado apenas quando Newton inventou o cálculo diferencial: poderosa ferramenta matemática capaz de lidar com quantidades mutáveis.

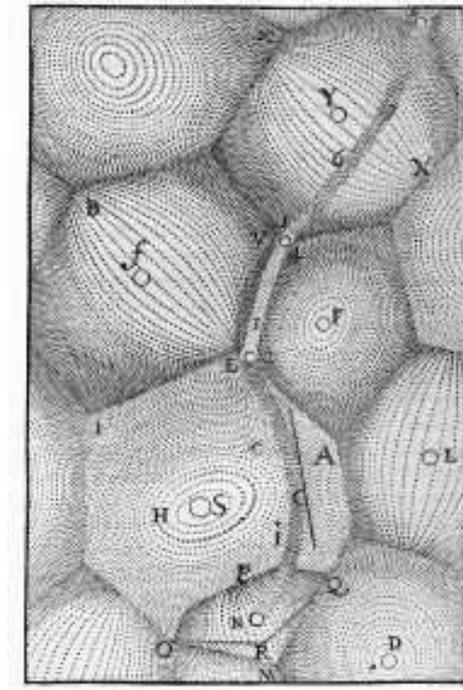


Figura 13: Representação de uma região do universo conforme imaginada por René Descartes, onde podem ser vistos os famosos vórtices de matéria (o vórtice solar está representado pela letra S).

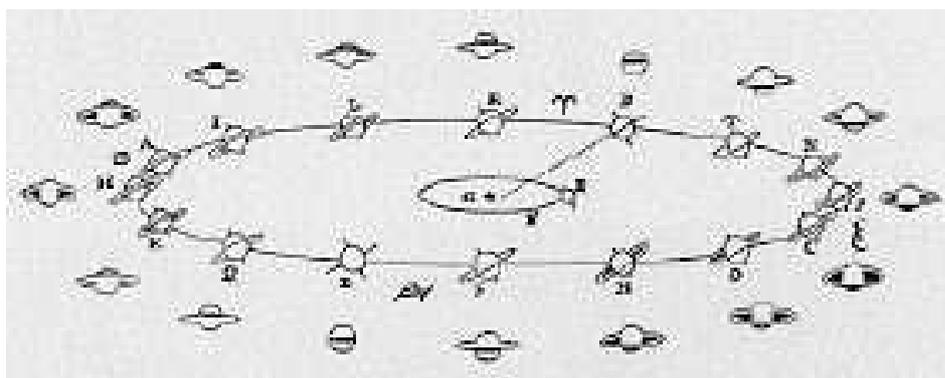


Figura 14: Diagrama de Huygens mostrando como as mudanças constantes na aparência dos “apêndices equatoriais” de Saturno poderiam ser explicadas supondo que o planeta se encontrava rodeado por um anel.

Newton e a gravitação universal

Isaac Newton (1643-1727) nasceu em Woolsthorpe (Inglaterra). Vindo de uma família de fazendeiros, Newton demonstrava excepcional aptidão para construir máquinas, e um grande interesse no mundo natural. Em 1661, a mãe de Newton foi convencida por um tio a deixá-lo estudar no Trinity College, em Cambridge. Mesmo interessado nas obras de Descartes e Galileu, Newton não demonstrava ser um aluno brilhante. Isaac Barrow foi seu professor e o encorajou em seus estudos; em 1665 Newton recebeu seu primeiro diploma. No mesmo ano, a universidade fechou por causa da peste bubônica, e Newton voltou para sua terra natal onde permaneceu até 1667.

Este período de reclusão em Woolsthorpe coincidiu com uma época em que ele realizou diversas experiências e produziu trabalhos de extrema relevância em áreas como óptica, gravitação, matemática e dinâmica. Newton obteve seu grau de mestre em 1668, e no ano seguinte substituiu Barrow como professor de matemática em Cambridge. Em 1671 Newton desenhou e construiu um telescópio refletor, modelo no qual o observador se posiciona lateralmente em relação ao eixo óptico do telescópio. Tendo a originalidade do projeto reconhecida pela Royal Society, esta montagem foi designada “newtoniana”.

Em 1684, quando perguntado por seu conterrâneo, o astrônomo Edmund Halley (1656-1742), qual seria a órbita de um corpo que se movesse sob a ação de uma força central (neste caso, o Sol) e que variasse com o inverso do quadrado da distância, Newton respondeu que essa órbita seria uma elipse. Assim, começou sua contribuição para a astronomia generalizando as duas primeiras leis de Kepler, e estabelecendo que os cometas também se moviam segundo a lei do inverso do quadrado da distância. Após ler atentamente a pequena obra de Newton, Halley pressionou-o a escrever mais sobre o assunto, prometendo-lhe que a Royal Society publicaria seu livro. Contratempos financeiros envolvendo esta instituição fizeram com que os laços entre Newton e Halley aumentassem: Halley não só pagou a publicação, como também acompanhou o trabalho de impressão. Então, em 1687, surge *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Princípios matemáticos da filosofia natural), mais conhecido como *Principia* (Figura 15).

Considerado por muitos o maior livro científico de todos os tempos, os *Principia* utilizavam a matemática para reescrever a mecânica. Suas três leis do movimento consolidavam todo o trabalho de seus antecessores. Além de mostrar como a lei do inverso do quadrado fazia com que os planetas obedecessem às leis de Kepler, Newton identificou que a

força de atração que mantinha os planetas ligados ao Sol não era o magnetismo, e sim a gravitação. Assim, propondo que todos os corpos no universo se atraem mutuamente, Newton unificou a física da Terra e do céu, tornando-a universal. Eleito presidente da Royal Society em 1703, Newton comandou a instituição até a sua morte.

Não explicar claramente como agia a gravidade (ação à distância era “metafísico” demais) foi o principal motivo das críticas sofridas por Newton, especialmente por parte dos franceses, ainda inebriados com o universo de Descartes. Mesmo assim, os *Principia* finalizaram um período magnífico na astronomia, e as realizações seguintes vieram confirmar toda a magnitude da obra de Newton. Halley, que descobriu o movimento próprio das estrelas, também notou que os cometas que apareceram em 1531, 1607 e 1682 pareciam ter alguma relação entre si. Supondo se tratar do mesmo objeto, Halley usou a lei da gravitação universal e previu seu retorno para dezembro de 1758. A perturbação causada por Júpiter atrasou em alguns dias a reaparição do cometa, mas isso não impediu que o “cometa de Halley” se tornasse o primeiro grande triunfo da teoria de Newton. Alguns matemáticos, como os suíços Leonhard Euler e Aléxis Clairaut, e os franceses Jean d’Alembert, Joseph Lagrange e Pierre Laplace, também aplicaram a “mecânica sintética” de Newton para analisar os efeitos das perturbações mútuas entre os planetas, inaugurando o que hoje chamamos de mecânica analítica.

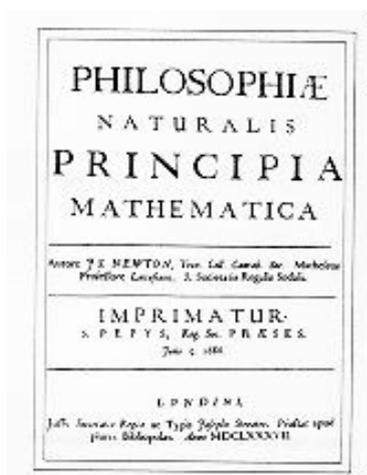


Figura 15: *Principia* (1687).

Herschel, Adams e Le Verrier

Na segunda metade do século XVIII o uso de telescópios na observação dos céus tornou-se comum não só por cientistas, mas também por astrônomos amadores. Um desses curiosos era William Herschel (1738-1822), nascido em Hanover (Alemanha). Com 15 anos entrou para a banda da Infantaria de Guarda da cidade, mas outras oportunidades de trabalho fizeram com que se mudasse para Bath (Inglaterra) no final de 1766. Depois de rápidas férias em Hanover, regressou a Bath acompanhado da irmã mais nova, Caroline, que se tornou sua ajudante em seus trabalhos sobre astronomia. O crescente interesse astronômico de Herschel esbarrava na fraca qualidade dos telescópios da época, fazendo com que ele resolvesse construir seus próprios instrumentos (Figura 16).

Dispondo de telescópios de qualidade superior, Herschel começou sua catalogação do céu. Na noite de 13 de março de 1781, enquanto apontava o telescópio para a região do céu entre as constelações de Touro e Gêmeos, o meticuloso observador notou um objeto de aspecto nebuloso, que julgava ser um cometa. Observando o mesmo objeto por quatro noites seguidas, notou que ele se movia em relação ao fundo de estrelas fixas, concluindo que deveria pertencer ao sistema solar. Análises posteriores de outros astrônomos provaram que o “cometa de Herschel” era na verdade um planeta, Urano, o primeiro descoberto na era do telescópio. Herschel tentou batizar o planeta de “Estrela de George”, em homenagem a George III da Inglaterra, mas a comunidade científica internacional não acolheu sua idéia (principalmente as ex-colônias inglesas da América do Norte, que preferiram chamar o planeta simplesmente de “Herschel”).

A fama de Herschel fez com que ele reivindicasse uma pensão real para se dedicar inteiramente à astronomia, e seu prestígio cresceu a ponto de convencer o rei a financiar a construção de um super telescópio, além de dar uma pensão à sua irmã, promovida a sua assistente. Herschel construiu o maior telescópio do mundo, o “40 pés”, fazendo bom uso da principal vantagem de um telescópio de grande abertura: a visualização de objetos menos brilhantes. Nessas observações, constatou que os sistemas binários formados por algumas estrelas obedeciam às leis newtonianas de atração. Seu mapeamento detalhado do céu também provou que o Sol se movia no espaço, e que as estrelas não estavam distribuídas uniformemente, mas seguiam um arranjo alongado, com o sistema solar próximo ao centro. Herschel fez mapas estelares bastante precisos, catalogando cerca de 2.500 “nebulosas” (nome genérico dado aos objetos de aparência não-estelar), e embora não tivesse nenhuma

conclusão a respeito de sua natureza, revelou que algumas dessas manchas difusas eram vistas como estrelas distintas, quando observadas com telescópios mais potentes.

Os esforços de Herschel na fabricação de telescópios cada vez maiores fizeram com que a astronomia do século XIX sofresse uma mudança radical: de ciência voltada para a dinâmica planetária passou a visar as profundezas estelares e as propriedades físicas dos corpos nelas existentes. A última grande empreitada no estudo dos planetas foi motivada por diferenças apresentadas na posição teórica e observada de Urano. Obedecendo a teoria da gravitação de Newton, a única explicação aceita para as discrepâncias no movimento de Urano seria a existência de um outro planeta mais distante.

O desafio foi enfrentado por muitos, porém apenas dois homens se destacaram: o inglês John Adams (1819-1892), matemático recém-formado em Cambridge, e o astrônomo e matemático francês Urbain Le Verrier (1811-1877), conhecido por trabalhos relacionados à determinação da órbita de Mercúrio e à identificação de cometas periódicos. Adams trabalhou por três anos à procura do planeta hipotético, mas quando apresentou seus resultados a George Airy, em setembro de 1845, o diretor do Observatório de Greenwich não tomou as providências necessárias para dar continuidade ao trabalho de Adams, dificultando a busca do planeta procurado.

Por outro lado, os trabalhos de Le Verrier impressionavam François Arago, diretor do Observatório de Paris, a ponto de Arago convidar Le Verrier a trabalhar no caso do planeta que desviava a órbita de Urano. Esta solução foi encontrada somente em setembro de 1846, mas a desconfiança francesa fez com que Le Verrier procurasse Johann Galle, diretor do Observatório de Berlim, que dispunha dos mapas celestes mais precisos de todo o continente europeu. Na mesma noite em que começaram as buscas descobriram no céu um objeto que não constava nos mapas, na região em que Le Verrier calculou que o planeta estaria (Figura 17). O novo planeta foi batizado de Netuno, celebrado como o segundo grande triunfo da mecânica newtoniana. Considerando que Le Verrier e Adams trabalharam em separado, e que os cálculos do último apontavam para a mesma área do céu que o primeiro, não há motivo para se discutir quem descobriu o novo planeta, e a notoriedade da façanha recai sobre ambos.



Figura 16: Telescópio de 7 pés (2,31m) com o qual William Herschel descobriu o planeta Urano em 1781.

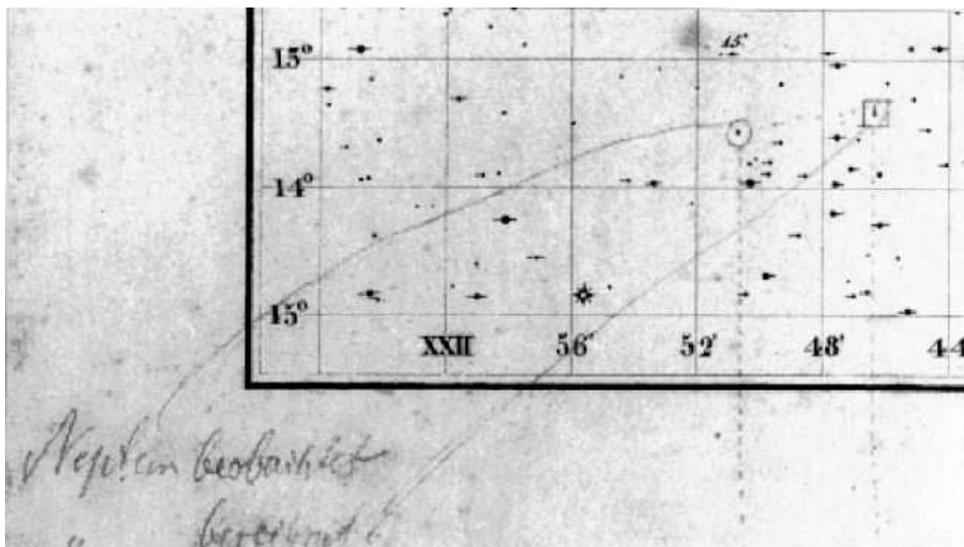


Figura 17: Comparação entre a posição de Netuno conforme observada por Galle (círculo) e a calculada por Le Verrier (quadrado). A existência do novo planeta foi prevista independentemente por Adams e Le Verrier em 1845 e observada por Galle em 1846, não havendo motivo para se discutir quem descobriu o novo planeta.

Evolução da cartografia celeste entre os séculos XV e XIX

Este capítulo será dedicado à evolução da cartografia celeste entre os séculos XV e XIX, e um simples confronto deste com o capítulo anterior traz à tona como esse progresso ocorreu paralelo à reforma astronômica, ou seja, a cartografia celeste desse período reproduziu as novidades (conceituais e empíricas) oriundas da ciência astronômica. Na impossibilidade de discutir todos os cartógrafos, foram analisadas obras de inquestionável relevância, escolhidas por seu pioneirismo, ou simplesmente pela influência exercida na cartografia vindoura.

Algumas pequenas convenções

Antes de começarmos a descrever a história da cartografia celeste é importante definir alguns parâmetros que acompanharão a análise dos mapas e atlas vistos no decorrer deste capítulo. Os nomes dos autores (sempre que possível) serão acompanhados de suas datas de nascimento e morte. Os nomes das obras aparecerão em *itálico*, seguidas do local e do ano da publicação (quando for o caso). Das informações relacionadas às obras, duas dizem muito sobre o autor e podem ser consideradas fundamentais: a primeira diz respeito ao sistema de coordenadas que cada cartógrafo utiliza, ou seja, o sistema usado para posicionar as estrelas nestas cartas, que podem ser as coordenadas equatoriais ou as eclípticas (mais informações sobre esses sistemas de coordenadas podem ser obtidas no Apêndice D); a segunda é a orientação desses mapas, ou seja, como a pessoa que utiliza as cartas vê retratadas as figuras das constelações. Estes mapas podem ter uma orientação geocêntrica, na qual o observador vê as figuras das constelações exatamente como elas aparecem no céu, ou uma orientação externa (também chamada “reversa”), como se estivéssemos observando as constelações de fora da esfera celeste (esta é a orientação convencionalmente usada nos globos celestes).

As fontes gregas

Por volta do século VIII a.C. surgem as primeiras referências gregas às constelações, nos trabalhos de Homero e Hesíodo. Homero tornou-se famoso por duas célebres obras: a *Ilíada* e a *Odisséia*, consideradas como fundamentos da cultura grega. Em suas epopéias, Homero faz referência às constelações da Ursa Maior e de Órion, além de mencionar estrelas (como Sírius e Arcturus) e asterismos (como as Plêiades e as Híades). Segundo ele, as estrelas eram uma dádiva de Zeus aos navegantes. De sua vida pouco sabemos, parecendo tratar-se de uma figura fictícia criada pelos gregos para juntar várias obras sob o nome de um mesmo autor. Seu contemporâneo Hesíodo referiu-se aos mesmos grupamentos estelares no poema didático *Os trabalhos e os dias*, na qual encontramos calendários voltados para a agricultura e a navegação, além de influenciar as cosmogonias posteriores com sua obra *Teogonia*, uma genealogia das divindades gregas.

Entretanto, as constelações clássicas só aparecem descritas detalhadamente pela primeira vez em *Fenômenos*, do poeta grego Arato de Soli (315-245 a.C.). Escrita a pedido do rei Antígono da Macedônia por volta de 275 a.C.. Esta obra foi baseada na homônima do astrônomo grego Eudoxo de Cnidos (406-355 a.C.), que esteve no Egito entre 380 e 370 a.C. (como não há relatos que nos remetam diretamente à sua obra, torna-se impossível descobrir que partes são de sua autoria e quais são devidas a Arato). Em *Fenômenos*, Arato identifica e descreve 45 constelações (inclusive as Plêiades), a localização das estrelas dentro da constelação e a mitologia associada a cada uma.

Embora já tenham sido citados no capítulo anterior, vale lembrar que Eratóstenes e Hiparco também tiveram trabalhos importantes relacionados às constelações. Em *Catasterismos*, Eratóstenes localiza as principais estrelas das 42 constelações que catalogou, explicando sua origem segundo a mitologia grega, e Hiparco apresentou uma obra com nascer e ocaso de 46 constelações, tornando-se o primeiro homem de que se tem notícia a catalogar estrelas de acordo com sua posição no céu, utilizando um sistema de latitude e longitude celeste com origem na eclíptica.

Mas a principal fonte de todo nosso conhecimento sobre as constelações clássicas gregas ainda é o *Almagesto* de Ptolomeu (Figura 18), escrito por volta do ano 150 d.C.. Esta obra constitui o mais valioso e completo resumo do conhecimento astronômico até aquela época, tornando-se a base para os catálogos medievais e renascentistas. Ptolomeu listou 1.028 estrelas, dividindo-as em 48 constelações (Quadro 1), sendo 12 zodiacais, 21 ao norte do

zodiaco e 15 ao sul. Embora não fossem realmente inovações (afinal, seu catálogo era baseado no de Hiparco), duas características diferenciavam o catálogo de estrelas fixas do *Almagesto* de seus antecessores: fornecer a magnitude das estrelas (que variava de 1 a 6) e a posição destas (e das constelações) em relação à eclíptica, ao invés de apenas descrever a localização das estrelas dentro da constelação.

Octava 36

Longitudo et Latitudo ac Magnitudo stellarum fixarum

Forme et Stelle natur. Jenze.	Imago Trigesima quinta	Longitudo			Latitudo			Magnitudo
		gr.	min.	sec.	gr.	min.	sec.	
Septentrionalis que est in capite sublimati sine audacis		1	27	0	M	18	50	4
Lucida que est in biceps dextre: et ipsa redit ad rapunam que appropinquat ad ter		2	2	0	M	17	0	1 .e.l.
Que est super humerum sinistrum	(ra in humero ozionis)	1	20	20	M	17	30	2 .e.m.
Sequens que est sub istis duabus		1	25	0	M	18	0	4 .e.l.
Que est super cubitum dextrum		2	4	20	M	14	30	4
Que est super brachium dextrum		2	6	20	M	11	50	6
Sequens duplex meridionalis quadrilateri quod est in palma dextra		2	6	30	M	10	40	4
Antecedens lateris meridionalis		2	6	0	M	9	45	4
Sequens lateris septentrionalis		2	7	20	M	8	15	6
Antecedens lateris septentrionalis		2	6	40	M	8	15	6
Antecedens ouarum que sunt in figura pineali		2	1	40	M	3	45	5
Sequens earum		2	4	20	M	3	15	5
Sequens quatuor que sunt quasi super lineam rectam super dorsum		1	27	30	M	19	40	4
Antecedens banc		1	26	20	M	20	0	6
Antecedens etiam banc		1	25	20	M	20	20	6
Reliqua et est antecedens quatuor		1	24	10	M	20	40	5
Longior nouem que sunt in dorso manus sinistre in septentrionem		1	20	30	M	8	0	4
Secunda post istam in septentrione		1	19	20	M	8	10	4
Tertia post eam in septentrione		1	18	0	M	10	15	4
Quarta post eam in septentrione		1	16	20	M	12	50	4
Quinta post eam in septentrione		1	15	10	M	14	15	4
Sexta post eam in septentrione		1	14	30	M	15	50	3
Septima post eam in septentrione		1	14	50	M	17	10	3
Octava post eam etiam in septentrione		1	15	20	M	20	20	3
Reliqua et nouem vltima a meridie		1	16	20	M	21	30	3
Antecedens trium que sunt super cingulum		1	25	20	M	24	10	2
Media earum		1	27	20	M	24	50	2
Sequens trium		1	28	10	M	25	40	2
Que est apud capulum ensis		1	23	50	M	25	50	3
Septentrionalis trium continctarum cum capite ensis		1	26	50	M	28	40	4 .e.l.
Media earum		1	26	40	M	29	40	3
Meridionalis trium		1	27	0	M	29	50	3
Sequens ouarum que sunt sub extremitate ensis		1	27	40	M	30	40	4
Antecedens earum		1	26	10	M	30	50	4
Lucida que est in pede sinistro: et est comunis ei et aque		1	19	10	M	31	30	1
Que est super declinose ea ad septentrione: et est super calcaneum		1	21	0	M	30	15	4 .e.m.
Que est super calcaneum sinistrum exterius		1	23	20	M	31	10	4
Que est super genu dextrum septentrionale		1	0	10	M	33	30	3
Illarum triginta octo stellarum in magnitudine prima sunt due. in secunda quatuor. in tertia octo. in quarta quindecim. in quinta tres. in sexta quing. et nebulosa vna.								
Stellatio Sicuti.		Imago Trigesima sexta						
Que est post illa que est in pede sublimati sine audacis super principium flumis		1	18	20	M	31	50	4
Que est declinose hac ad sept. et est in tortuositate apud sphenodete crus sub		1	18	50	M	28	15	4
Sequens duarum continnarum que sunt post banc	(limati sine audacis)	1	18	0	M	29	50	4
Antecedens earum		1	14	40	M	28	15	4
Sequens duarum continnarum etiam		1	13	10	M	29	15	4
Antecedens earum		1	20	10	M	25	20	4
Sequens trium que sunt post istam		1	6	20	M	26	0	4
Media earum		1	5	30	M	27	0	4
		1	2	50	M	27	50	4

Figura 18: Página de edição do *Almagesto* impressa em Veneza (1515).

Lista de Arato ⁽¹⁾	Lista de Ptolomeu	Constelação atual
Andromeda	Andromeda	Andrômeda
Aguadeiro	Aguadeiro	Aquário
Águia	Águia	Águia
Altar	Altar	Altar
Argô	Argô	Navio ⁽²⁾
Carneiro	Carneiro	Carneiro
Cocheiro	Cocheiro	Cocheiro
Lavrador	Lavrador	Boieiro
Caranguejo	Caranguejo	Caranguejo
Cão	Cão	Cão Maior
-----	Primeiro Cão	Cão Menor
Cabra	Capricórnio	Capricórnio
Kassiepeia	Kassiepeia	Cassiopeia
Centauro	Centauro	Centauro
Kêpheus	Kephêus	Cefeu
Monstro Marinho	Monstro Marinho	Baleia
----- ⁽³⁾	Coroa Austral	Coroa Austral
Coroa	Coroa Boreal	Coroa Boreal
Corvo	Corvo	Corvo
Vaso	Vaso	Taça
Pássaro	Pássaro	Cisne
Golfinho	Golfinho	Delfim
Serpente	Serpente	Dragão
-----	Pata Dianteira de um Cavalo	Cavalo Menor
Rio	Rio	Eridano
Gêmeos	Gêmeos	Gêmeos
Ajoelhado	Ajoelhado	Hércules
Cobra-d'água	Cobra-d'água	Hidra Fêmea
Leão	Leão	Leão
Lebre	Lebre	Lebre
Pinças	Pinças	Balança
-----	Besta	Lobo
Lira	Lira	Lira
Serpentário	Serpentário	Ofiúco
Orion	Orion	Órion
Cavalo	Cavalo	Pégaso
Perseus	Perseus	Perseu
Peixes	Peixes	Peixes
Peixe	Peixe Austral	Peixe Austral
Flecha	Flecha	Flecha
Arqueiro	Arqueiro	Sagitário
Escorpião	Escorpião	Escorpião
-----	Serpente do Serpentário	Serpente
Touro ⁽⁴⁾	Touro	Touro
Figura em forma de Delta	Triângulo	Triângulo
Ursa Maior	Ursa Maior	Ursa Maior
Ursa Menor	Ursa Menor	Ursa Menor
Virgem	Virgem	Virgem

Quadro 1 – Comparação entre os nomes das constelações catalogadas por Arato e por Ptolomeu.

⁽¹⁾ Baseada na de Eudoxo.

⁽²⁾ Agora dividido em Quilha, Popa e Vela.

⁽³⁾ Arato a menciona, mas não a nomeia.

⁽⁴⁾ As Plêiades aparecem como constelação separada.

Os catálogos medievais

Fenômenos e *Almagesto* foram traduzidos para o árabe em numerosas ocasiões entre os séculos X e XV, quando o Oriente se tornou o grande centro de ensino de astronomia. Alguns catálogos estelares elaborados durante este período tornaram-se célebres, mas nada que renovasse os desenhos das constelações. Embora os árabes tenham introduzido uma nomenclatura estelar que persiste ainda hoje, pode-se dizer que as constelações ptolomaicas permaneceram imaculadas durante toda a Idade Média.

No começo do século X tornou-se muito famoso o catálogo produzido pelo astrônomo árabe Abu Abdullāh Muhammad ibn Jādiral, mais conhecido como Al Battāni (858-929). Impresso pela primeira vez em 1537 na cidade alemã de Nuremberg, *De motu stellarum* corrigia pequenos erros de Ptolomeu e compilava novas tábuas com as posições do Sol e da Lua, e sua aceitação foi tamanha que muitos compararam sua importância ao próprio *Almagesto*, chamando seu autor de “Ptolomeu dos árabes”.

Mas o auge da astronomia islâmica foi atingido com o *Livro de Estrelas Fixas*, manuscrito de 419 páginas atribuído ao astrônomo persa Abd al-Rahaman, também conhecido como Al Sufi (903-986), elaborado no ano 964 e dedicado a seu amigo e aluno, o sultão Adudal-Dawlah, soberano do Iraque à época. Seguindo a estrutura do *Almagesto* na descrição das constelações e na listagem de 1.018 estrelas, Al Sufi utilizou suas próprias observações para corrigir algumas magnitudes e cores estelares listadas por Ptolomeu. As estrelas das constelações são desenhadas em vermelho, e estrelas pertencentes a outras constelações aparecem em preto, enquanto as mais brilhantes são identificadas pelo nome. As figuras de Al Sufi sofrem algumas modificações em relação à sua origem clássica (Figuras 19 e 20), devido à influência oriental e ao falho conhecimento da mitologia associada a elas. Nesse trabalho cada constelação é representada duas vezes: uma com visão geocêntrica e outra externa (Figura 21). Com relação aos objetos não estelares, este livro contém a primeira descrição da galáxia de Andrômeda (uma pequena nuvem próxima à boca do “Grande Peixe”, nossa constelação de Andrômeda), além de mencionar a Grande Nuvem de Magalhães (chamada de “Boi Branco”, na constelação de Dourado) e o aglomerado estelar da Colméia (ou Presépio, na constelação do Caranguejo).



Figura 19: Andrômeda, de Al Sufi.

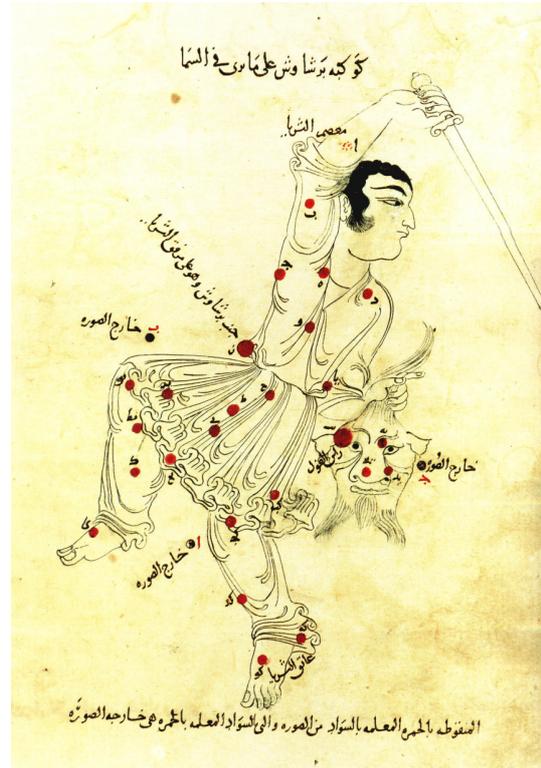


Figura 20: Perseu, de Al Sufi.

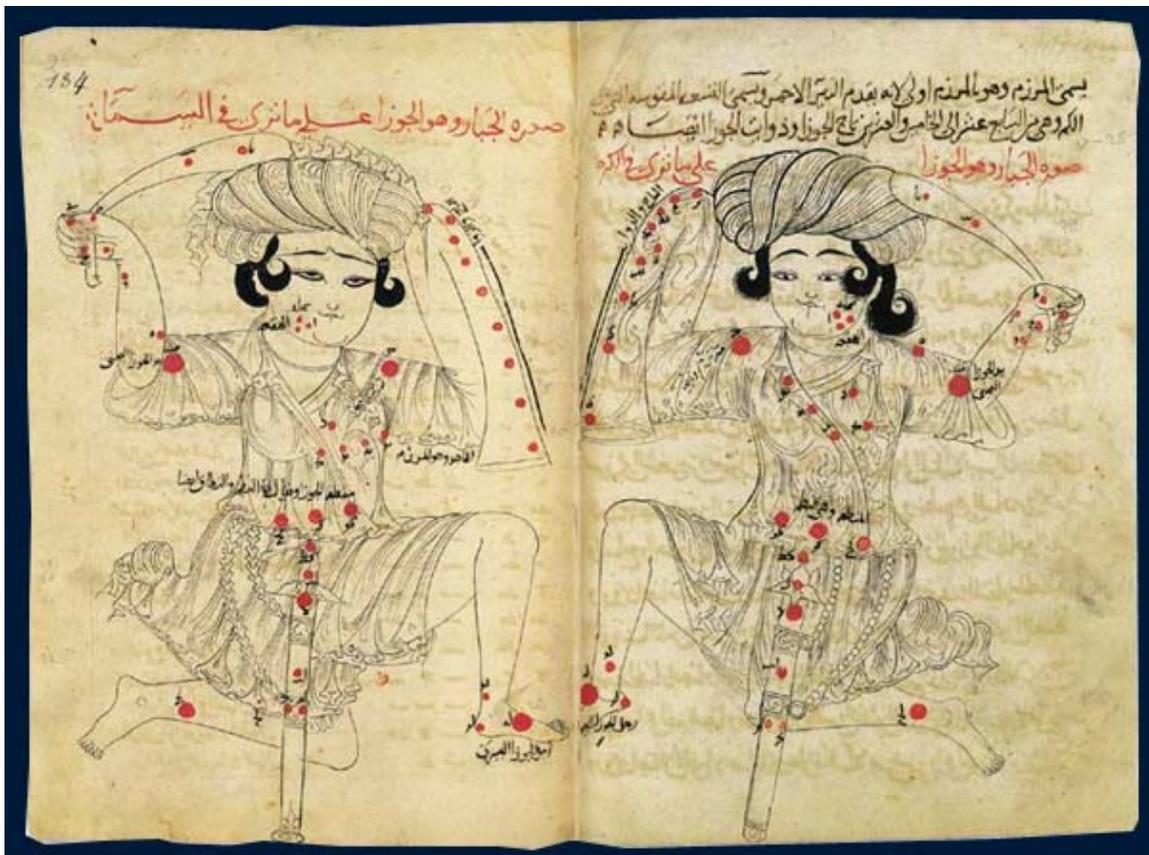


Figura 21: Órion, de Al Sufi (representações geocêntrica e externa).

Apesar do enorme trabalho empreendido pela civilização árabe na preservação e transmissão do conhecimento clássico, ainda são comuns os relatos de que a Idade Média não passou de uma época de obscurantismo intelectual, com pouco (ou nenhum) progresso no que diz respeito à criação do saber. Não poderiam ser mais injustos estes comentários, sem dúvida frutos de estudos superficiais ou até mesmo alguma espécie de animosidade em relação ao assunto. Mesmo que alguns ainda não acreditem numa contribuição relevante da astronomia muçulmana, não podemos de forma alguma descartar os desafios superados pelos astrônomos árabes:

- 1- elaboração e aperfeiçoamento de um calendário lunar, visto que o ano muçulmano tinha uma defasagem de 11 dias (Maomé não permitia a introdução de um mês intercalar no calendário);
- 2- estabelecimento de horários mais precisos para se realizar as orações obrigatórias dos muçulmanos, baseados em tabelas que relacionam as horas do dia com a altura do Sol e das estrelas mais brilhantes (assim, no século IX, são descobertas relações de trigonometria esférica que fornecem mais precisão a estas mesmas tabelas);
- 3- construção de mesquitas com uma orientação razoavelmente precisa em relação a mesquita sagrada de Meca, baseadas em tabelas que forneciam esta orientação para cada grau em latitude e longitude;
- 4- construção de observatórios permanentes que forneciam posições estelares mais precisas, com o intuito de corrigir alguns valores observados há séculos e ainda em uso nos modelos cosmológicos de Aristóteles e Ptolomeu.

Então, dependente da astronomia tanto quanto o Islã, a Europa se viu escrava dos movimentos celestes para saber a que horas seriam feitas as orações diárias ou quando seria a data da Páscoa (fundamental para a comunidade cristã). Como todo o conhecimento astronômico europeu estava perdido desde a queda do Império Romano, o Ocidente recorreu às traduções dos intelectuais árabes, e o avanço cristão na Península Ibérica fez com que estes manuscritos fossem rapidamente traduzidos para o latim. Então, foi assim que as *Tábuas Toledanas* (Toledo, 1050), do astrônomo judeu Arzaquiel (1028-1087), foram traduzidas e transformadas nas celebradas *Tábuas Alfonsinas* (Castela, 1252), pelo rei Alfonso X (1226-1284). O rigor e a precisão destes dados foram comparados aos dos grandes astrônomos da antigüidade e serviram de modelo para *Tabelas* (Samarcanda, 1437), catálogo estelar elaborado pelo príncipe mongol Ulug Beg (1394-1449), onde foram utilizados os dados de suas próprias observações e as descrições das constelações remontaram às de Al Sufi.

Renascimento

Na metade do século XV a invenção da imprensa fez com que as constelações começassem a ser representadas individualmente. Uma das primeiras fontes literárias em que se encontravam desenhos de constelações foi *Poeticon astronomicon* (Veneza, 1482), do gráfico alemão Erhard Ratdolt (1443-1528). Baseada na obra do historiador romano Julius Higinus (século I), essa coletânea de lendas estelares gregas era acompanhada de um conjunto de xilogravuras com os desenhos das constelações (Figuras 22 e 23). Exceto pela ausência da Pata Dianteira de um Cavalo, a descrição das constelações seguia o *Almagesto*, embora as imagens fossem grosseiras e as posições estelares pouco confiáveis. A orientação era geocêntrica e o tamanho das placas variava de 3,5 cm x 9 cm até 9 cm x 10 cm. Estas representações das constelações foram as primeiras a serem impressas, e o maior mérito destas ilustrações foi servir de inspiração às figuras utilizadas nos verdadeiros mapas celestes, surgidos apenas no século seguinte.



Figura 22: Aquário, de Ratdolt.



Figura 23: Órion, de Ratdolt.

No começo do século XVI o céu do hemisfério sul ainda era pouco conhecido, e as grandes navegações foram o fator determinante para o surgimento das primeiras constelações modernas. A serviço do rei Manoel de Portugal, os exploradores italianos Américo Vespúcio e Andréa Corsali fizeram viagens nas quais catalogaram diversas estrelas austrais. Vespúcio visitou o Caribe e a América do Sul, e em *Mundus Novus* (1504) descreve 16 estrelas, reivindicando para si ter sido o primeiro europeu a registrar o Cruzeiro do Sul. Realmente, em sua carta de 28 de julho de 1500, destinada a Lorenzo de Médici, Américo recorda o poeta italiano Dante Alighieri e menciona quatro estrelas com pouco movimento, mas diz que elas estão figuradas como uma mandola (um instrumento musical de corda), ou seja, não há nenhuma menção direta a uma cruz celeste. Corsali viajou para a China e para as Índias, e escreveu uma carta ao duque Juliano de Médici, datada de 06 de julho de 1515, onde descreve suas observações do céu do hemisfério sul, e inclui um mapa (Figura 24) com orientação geocêntrica de 7,5 cm x 4,5 cm mostrando 17 estrelas, o pólo antártico e as duas Nuvens de Magalhães. Embora não haja nenhuma constelação desenhada, está clara uma representação do Cruzeiro do Sul, descrita na carta como *croce maravigliosa*. Mas se foi sob o patrocínio de um rei português que esses italianos empreenderam suas viagens, quis o destino que a mais antiga descrição do Cruzeiro estivesse relacionada à maior das aventuras lusitanas no Novo Mundo.

São três os documentos relacionados com o descobrimento do Brasil escritos por integrantes da armada de Pedro Álvares Cabral: a *Carta de Pero Vaz de Caminha* (escrita a 1º de maio de 1500, redescoberta por Juan Batista Muñoz por volta de 1793), a *Relação do Piloto Anônimo* (publicado antes da morte de Cabral, por volta de 1520) e a *Carta de Mestre João* (escrita entre 28 de abril e 1º de maio de 1500).

A carta que Mestre João escreveu (Figura 25) é o primeiro e mais importante documento de natureza astronômica elaborado pela comitiva da frota cabralina. Segundo o historiador português Sousa Viterbo, Mestre João era Joam Faras, nascido na Galícia (Espanha), que assinava como “bacharel em artes e medicina, físico e cirurgião particular do mui alto rei dom Manoel”. Este polímata (astrólogo, cartógrafo e médico da frota) fora incumbido pelo próprio rei Manoel de descobrir, por meio da observação dos astros, em que latitude se encontrava a terra em que eles aportaram. Em Porto Seguro, na noite de 27 para 28 de abril de 1500, Mestre João forneceu a mais precisa descrição das adjacências do pólo celeste, e num esboço desta região deu sua maior contribuição à cartografia celeste: foi o primeiro a reproduzir graficamente a constelação do Cruzeiro do Sul. Além de determinar a

latitude local e batizar o Cruzeiro, sua carta também sugere que o Brasil era conhecido antes de 1500.

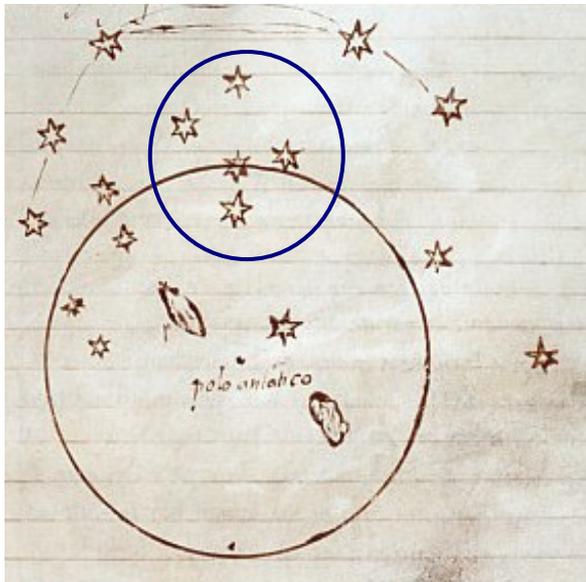


Figura 24: Carta em que Andrea Corsali fez um esboço da região próxima ao pólo sul celeste. As estrelas do Cruzeiro são facilmente reconhecidas, e durante muito tempo acreditou-se que esta era sua mais antiga representação.

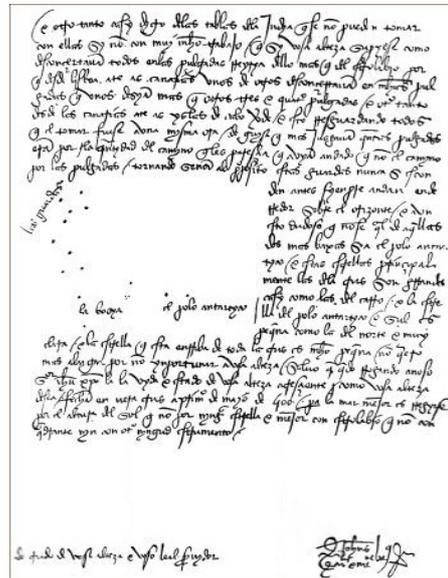


Figura 25: Fac-símile da carta escrita por Mestre João, entre 28 de abril e 1º de maio de 1500. O original está arquivado na Torre do Tombo, em Lisboa.

Embora as constelações tenham aparecido individualmente em 1482, as primeiras cartas celestes impressas em que aparecem representadas as estrelas e as figuras das constelações foram xilogravuras feitas pelo matemático, pintor e gravador alemão Albrecht Dürer (1471-1528). *Imagines coeli Septentrionales* e *Meridionales* (Nuremberg, 1515) são dois planisférios de 35 cm de diâmetro, dentro de um quadrado de 43 cm de lado, e cada canto desse quadrado homenageia alguém historicamente relacionado com a descrição das constelações (Figura 26): os gregos Ptolomeu (Ptolomeu Aegyptius) e Arato (Aratus Cilix), o árabe Al Sufi (Azophi Arabus) e o romano Marcus Manilius (M. Manilius Romanus). Dürer utilizou coordenadas eclípticas e orientação externa para posicionar mais de mil estrelas de acordo com o *Almagesto*, mas não indicou nenhuma magnitude estelar. O grande vazio deixado ao redor do pólo austral (Figura 27) prova a dificuldade encontrada por Dürer para obter informações precisas sobre estrelas não visíveis do continente europeu.



Figura 26: Hemisfério norte celeste, de Dürer.

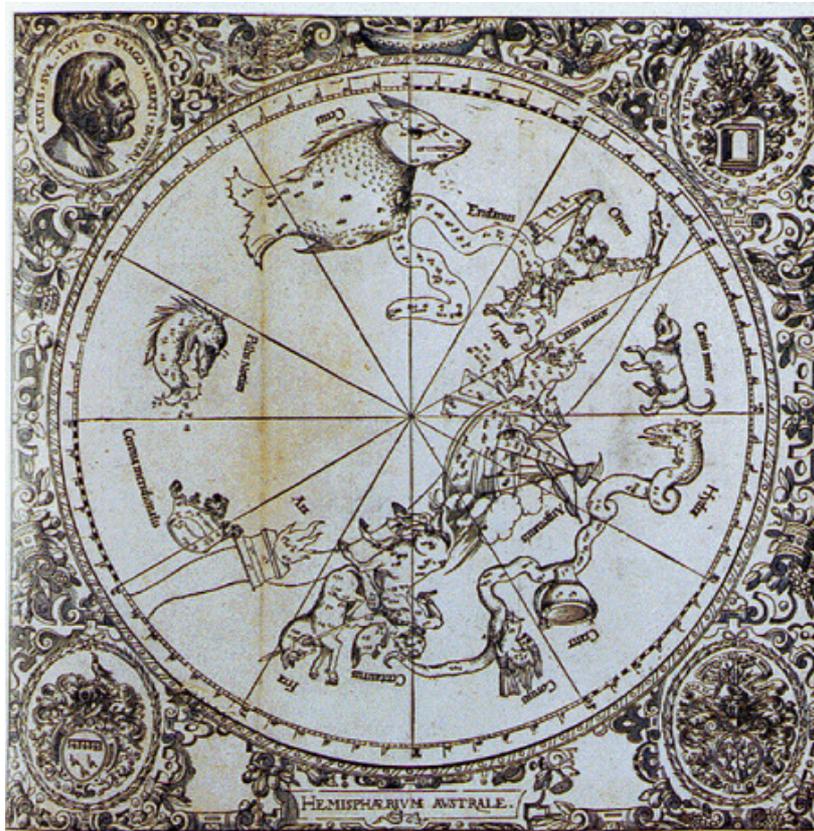


Figura 27: Hemisfério sul celeste, de Dürer.

Os planisférios de Dürer serviram de modelo para diversas publicações posteriores. Belos exemplos dessa influência são *Imagines Constellationum Borealium e Australium* (Basel, 1532), do cartógrafo alemão Johannes Honter (1498-1549). Estes dois planisférios de 25 cm de diâmetro (em placas de 26 cm x 27 cm) utilizam o sistema de coordenadas eclípticas (embora estejam defasadas 30° em longitude, devido à precessão) e têm cinco figuras masculinas de constelações desenhadas com roupas de inverno (Figuras 28 e 29). Mas estes planisférios apresentavam uma diferença fundamental em relação aos anteriores: abandonando a orientação externa, Honter torna-se o primeiro cartógrafo a utilizar a orientação geocêntrica em trabalhos impressos. Vale lembrar que mesmo geocentricamente orientadas, as ilustrações de Ratdolt de 1482 não ofereciam posições estelares com precisão, visto não serem acompanhadas de um sistema de coordenadas.



Figura 28: Ofiúco, de Honter.



Figura 29: Órion, de Honter.

O primeiro atlas celeste impresso foi publicado pelo astrônomo italiano Alessandro Piccolomini (1508-1578). *De le stelle fisse* (Veneza, 1540) compreendia 47 placas (todas as constelações clássicas, exceto Cavalo Menor – cujas estrelas eram muito fracas), todas em xilogravura. As placas tinham orientação geocêntrica e nelas as estrelas eram representadas por símbolos com tamanhos diferentes (de acordo com sua magnitude, que variava de 1 a 4). No catálogo que acompanhava as placas havia uma breve descrição da localização de cada estrela na constelação, e estas estavam identificadas por letras do alfabeto latino: “A” representava a de maior brilho, “B” a segunda, e assim por diante. Piccolomini omitiu objetos não-estelares e eliminou as figuras das constelações (Figuras 30 e 31), com o argumento de fornecer posições estelares com a maior precisão possível.

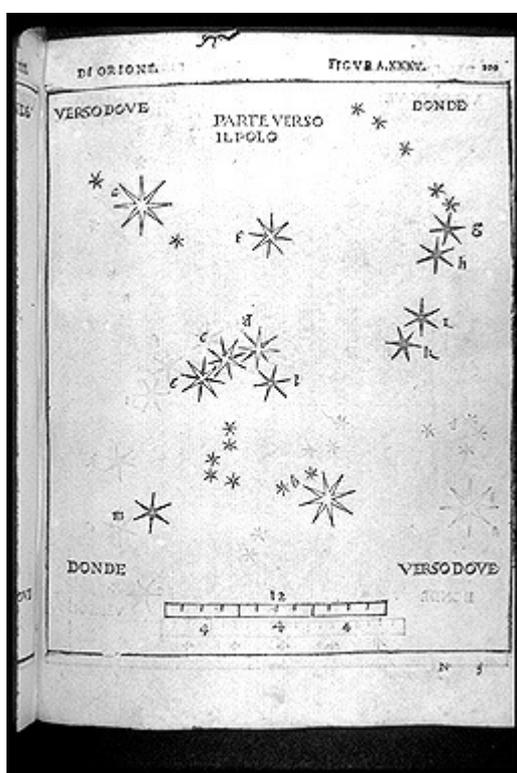


Figura 30: Órion, de Piccolomini.

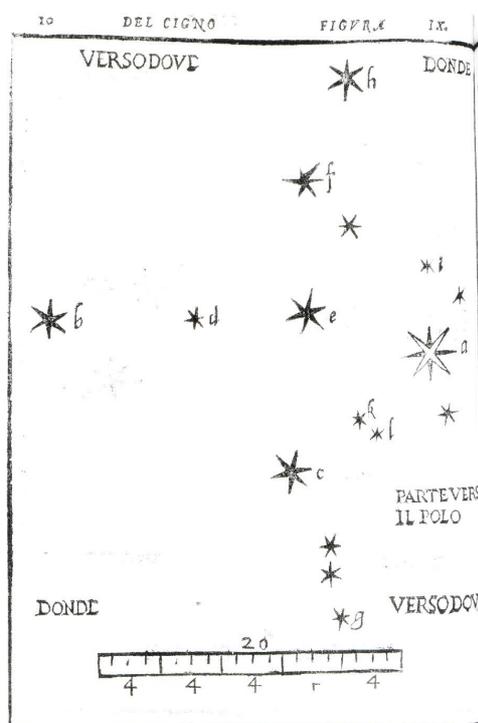


Figura 31: Cisne, de Piccolomini.

Em 1551, o cartógrafo holandês Gerhard Kramer, ou Gerardus Mercator (1512-1594), produziu um globo celeste com 41 cm de diâmetro, onde localizava 934 estrelas distribuídas em 51 constelações. Com o intuito de preencher algumas lacunas ainda existentes no céu boreal, Mercator agrupou algumas estrelas de pouco brilho vizinhas à constelação do Leão e introduziu a constelação de Cincinnus (atual Cabeleira de Berenice), embora esse grupo fosse conhecido desde a antigüidade (mesmo não catalogado como constelação por Ptolomeu). O

globo de Mercator também introduziu a nova constelação de Antinoüs, inovação não seguida pelos cartógrafos seguintes, que a representavam apenas como parte da constelação da Águia.

O primeiro atlas a usar um sistema de coordenadas onde a posição de uma estrela (latitude e longitude) podia ser lida diretamente na placa foi *Theatrum mundi, et temporis* (Veneza, 1588), do cartógrafo italiano Giovanni Paolo Gallucci (1538-1621). Esta obra consistia em xilogravuras das 48 constelações clássicas, utilizando coordenadas eclípticas e orientação externa. A magnitude das estrelas variava de 1 a 6, e as posições estelares foram tiradas do catálogo de Copérnico. Estas placas também incluem os 7 objetos não-estelares listados no *Almagesto*, e o sistema de projeção trapezoidal adotado por Gallucci (Figuras 32 e 33) minimizava as distorções oriundas da representação de objetos tridimensionais num plano. Além disso, o trabalho de Gallucci continha anexos que explicavam o movimento dos corpos do sistema solar, a natureza dos eclipses, a cosmologia de Aristóteles e até mesmo um cálculo da precessão.



Figura 32: Boieiro, de Gallucci.

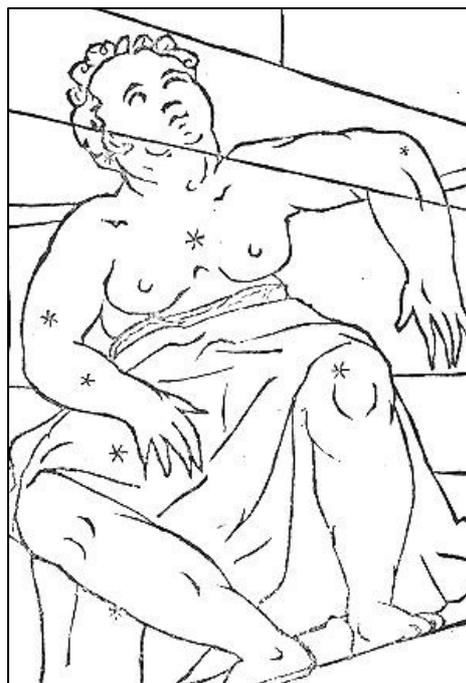


Figura 33: Cassiopéia, de Gallucci.

As contribuições holandesas para a cartografia celeste surgiram somente no final do século XVI. Nessa época, o cartógrafo holandês Jacob van Langren e seus filhos (Arnold e Hendrik) produziram *Globo Celeste* (Amsterdã, 1589) – tentativa pioneira na catalogação (e agrupamento em constelações) das estrelas próximas ao pólo sul celeste. Seu maior mérito foi

registrar a primeira aparição da constelação do Triângulo Austral (Figura 34, “Triangulus Antarcticus” na época), já que a maioria das novas estrelas desse globo já era conhecida dos navegantes, embora não fosse representada sob a forma de constelações (uma nota perto do pólo antártico explica que as informações relativas às estrelas e constelações deste hemisfério estão baseadas nas observações dos já mencionados Vespúcio e Corsali, além do historiador espanhol Pedro de Medina).

Um holandês considerado fundamental na exploração (e difusão) do céu austral foi o cartógrafo e geógrafo Petrus Plancius (1552-1622), responsável pelo setor de elaboração de mapas (Figura 35) da Companhia Holandesa das Índias Orientais, que produziu globos celestes nos quais introduziu diversas novas constelações, entre elas Pomba (1592), Ave do Paraíso, Camaleão, Dourado, Fênix, Grou, Hidra Macho, Índio, Mosca, Pavão, Peixe-Voador e Tucano (1598), Girafa e Unicórnio (1613) – todas essas constelações permanecem em uso ainda hoje. Reproduzido em seu globo de 1598 também está o Cruzeiro do Sul, pela primeira vez em sua forma e posição atuais. Seu conterrâneo, o cartógrafo e gravador Jodocus Hondius (1563-1612), também representou o Cruzeiro e as novidades de Plancius em seu globo celeste de 1600.

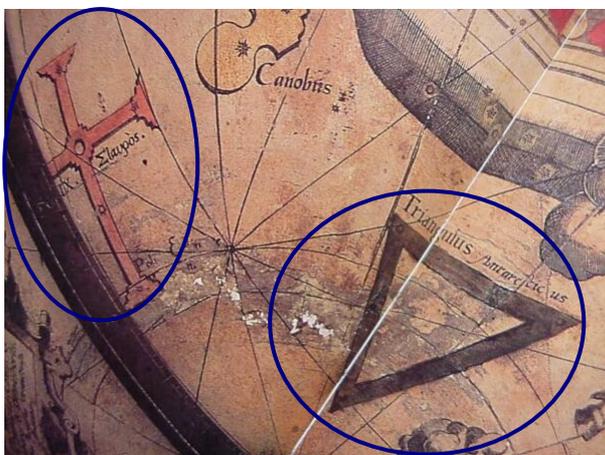


Figura 34: O Cruzeiro do Sul e a constelação do Triângulo Austral (aqui *Triangulus Antarcticus*) num globo celeste de 1589, de Jacob van Langren. Esta é a primeira aparição das duas constelações, embora não haja nenhuma relação com o tamanho e a localização atuais (aqui a Cruz está desenhada onde atualmente fica a constelação do Reticulo, e o Triângulo Austral nas regiões das constelações da Quilha e do Camaleão).

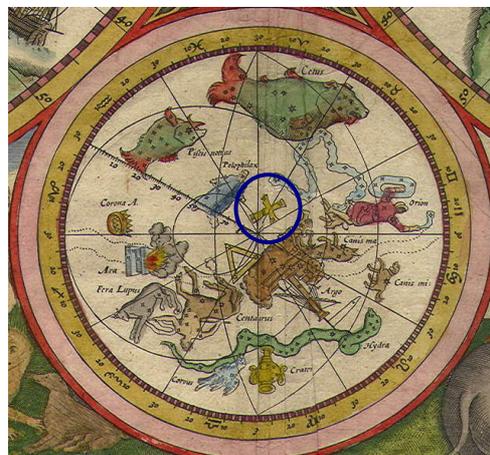


Figura 35: O cartógrafo holandês Petrus Plancius produziu globos e mapas celestes. Neste pequeno hemisfério sul celeste que decorava seu mapa mundi de 1594, Plancius desenha um Cruzeiro do Sul entre as constelações da Pomba (ao sul de Órion) e Polophilax (Guardião do Pólo), ambas introduzidas por ele na cartografia celeste.

As 12 novas constelações introduzidas por Plancius em seu globo de 1598 (as 11 citadas anteriormente mais o Triângulo Austral) foram baseadas nas observações realizadas por um de seus alunos, o navegante holandês Pieter Dirkszoon Keyser (?–1596), que havia deixado a Holanda em 1595 na esquadra comandada pelo também holandês Cornelis de Houtman. A esquadra tinha entre seus tripulantes o irmão mais novo de Cornelis, Frederick de Houtman (1540-1627), que aparentemente assistiu Keyser em suas observações. Após a morte de Keyser, a esquadra retornou à Holanda e Plancius publicou o catálogo de Keyser, no qual estavam listadas 135 novas estrelas. Numa segunda expedição iniciada em março de 1598, Cornelis foi assassinado e Frederick mantido prisioneiro por 2 anos em Sumatra (Indonésia), onde observou uma região mais extensa do céu austral. Ele incrementou 168 estrelas ao catálogo de Keyser, publicando seu próprio catálogo após retornar à Holanda em 1603. Embora não reconheça ter existido qualquer forma de contribuição para seu trabalho, Houtman registrou as mesmas constelações que Keyser, e ambos recebem o crédito pela criação destes 12 novos asterismos.

Na virada do século surge uma controvertida contribuição holandesa: o cartógrafo Hugo Grotius (1583-1645) produz *Syntagma Arataeorum* (Leiden, 1600), em que apresentava as melhores figuras de constelações jamais impressas. Apesar das belas imagens (Figura 36), algumas constelações foram representadas de costas, outras têm orientação externa, e não há um sistema de coordenadas que indique as posições das estrelas no céu, motivos suficientes para que alguns autores ignorem a importância dessa obra, comentando que tais ilustrações não seriam mais do que revisões das xilogravuras de Ratdolt de 1482. A relevância das placas de Grotius só apareceria 3 anos depois, quando Bayer deu início à Idade de Ouro dos atlas celestes.

As contribuições de Tycho Brahe para a astronomia já foram mencionadas no capítulo anterior, mas uma delas foi intencionalmente guardada para ser apresentada a seguir. Publicado postumamente por Kepler, *Astronomiae Instauratae Progymnasmata* (Praga, 1602), catálogo de 777 estrelas baseado nas observações do astrônomo dinamarquês, é um livro em dois volumes que vem acompanhado do modelo cosmológico de Tycho e de duas xilogravuras com orientação externa: uma da constelação de Cassiopéia e outra da nova de 1572 (Figura 37). Essa obra será de suma importância na continuação desse trabalho, e a precisão das medidas encontradas aqui será fundamental na reformulação dos mapas celestes nos dois séculos seguintes. A partir de agora consideramos finalizado o período da cartografia celeste que chamamos Renascimento, compreendido entre a metade do século XV e o começo do século XVII.



Figura 36: Aquário, de Grotius.

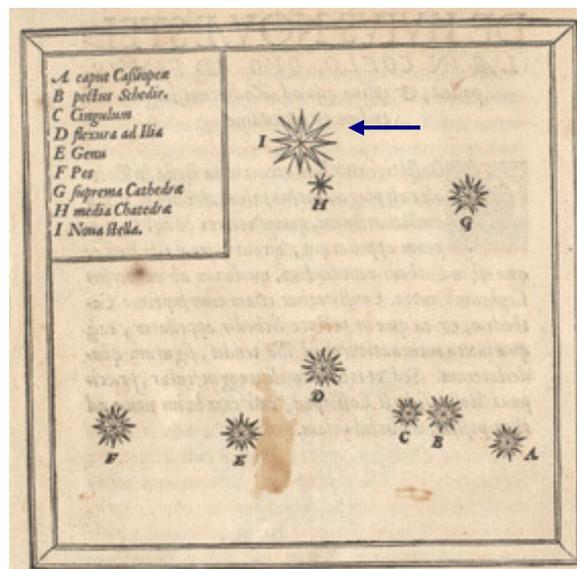


Figura 37: A nova de 1572, de Tycho.

A Idade de Ouro dos atlas celestes

Até o fim do século XVI a base para construção das cartas celestes ainda era o *Almagesto*, mas as novas constelações austrais e o catálogo de Tycho fizeram com que a cartografia celeste entrasse numa nova era: começava então a Idade de Ouro dos atlas celestes, compreendida entre 1603 e 1801, período no qual surgiram os chamados Grandes Atlas, importantes por suas inovações e influências nos atlas posteriores.

Considerado por muitos o mais belo atlas celeste de todos os tempos, *Uranometria* (Augsburgo, 1603), produzido pelo advogado e astrônomo alemão Johann Bayer (1572-1625), foi o primeiro dos Grandes Atlas. Artisticamente perfeito, parece que as figuras de Bayer foram inspiradas nas gravuras publicadas por Grotius em 1600. A edição original foi baseada no catálogo de Tycho (Figura 38), continha 1.706 estrelas distribuídas em 62 constelações, e compreendia 51 placas de cobre com coordenadas eclípticas: 48 com as constelações clássicas (de orientação geocêntrica), 2 planisférios (de orientação externa, onde não aparecem as figuras das constelações) e uma carta com os 12 novos asterismos austrais (que além de introduzir a denominação *Cruce* também mostra as Nuvens de Magalhães). Os nomes das constelações não aparecem nos mapas (apenas no catálogo que acompanha cada mapa) e o zodíaco é representado por uma faixa escura (Figura 39).

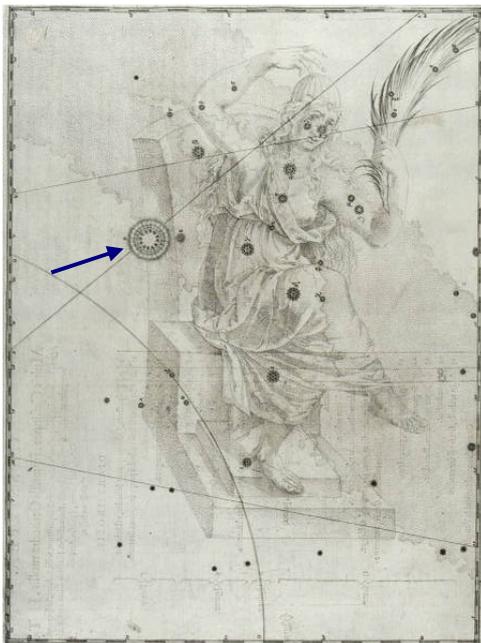


Figura 38: A nova de 1572, de Bayer.

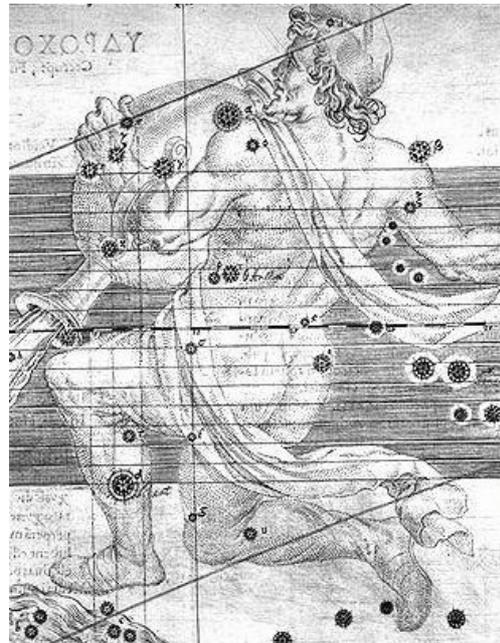


Figura 39: Aquário, de Bayer.

Uma das maiores novidades de *Uranometria* é que ele é verdadeiramente um atlas, ou seja, uma coleção de mapas e tabelas que contém nomenclatura, descrição e magnitude das estrelas, ao invés de apenas ilustrações. Outra importante contribuição foi a criação de uma nova nomenclatura (utilizada ainda hoje) na qual as estrelas de uma constelação são identificadas com uma letra grega, de acordo com seu brilho: a estrela mais brilhante passou a ser representada pela letra grega alfa (α), a segunda por beta (β), a terceira por gama (γ), e assim por diante. Apesar de adepto da orientação geocêntrica, Bayer retratou algumas figuras de constelações de costas (outra influência de Grotius), ao contrário da maneira tradicional (vistas de frente). Além disso, houve um problema com a edição original de *Uranometria*: no verso de cada placa havia um catálogo de estrelas, e ele podia ser visto através da placa (Figura 40), erro corrigido nas edições seguintes.

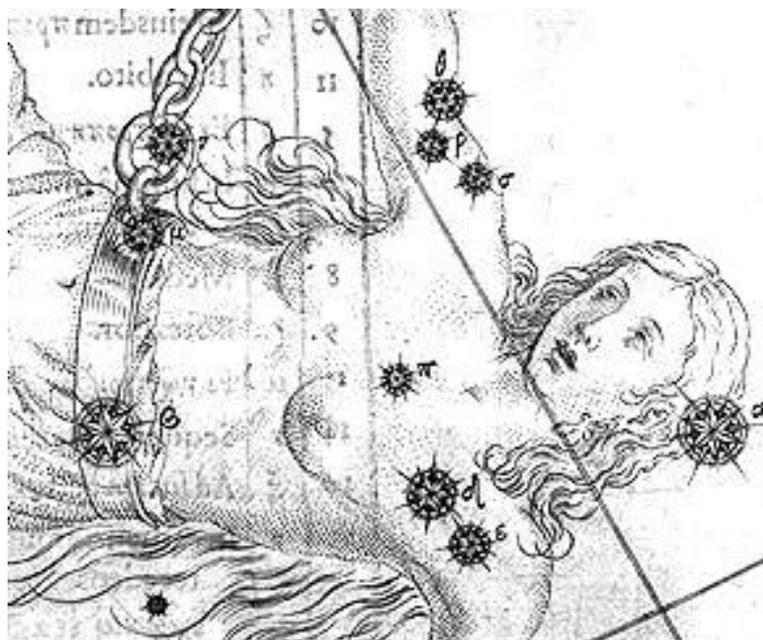


Figura 40: Andrômeda, de Bayer.

É na própria Alemanha que podemos começar a notar a influência de Bayer: em *De stella nova in pede serpentarii* (Praga, 1606) Kepler registra uma nova estrela que surgiu em 1604 na constelação de Ofiúco (Figura 42). As posições estelares foram tiradas do catálogo de Tycho e as figuras das constelações baseadas nas de Bayer (Figura 41), embora ele tenha criticado a decisão deste de mostrar a figura de costas (Kepler mostrou a figura de frente). A placa mede 17 cm x 23,5 cm, tem orientação geocêntrica e utiliza coordenadas eclípticas.



Figura 41: Ofiúco, de Bayer.

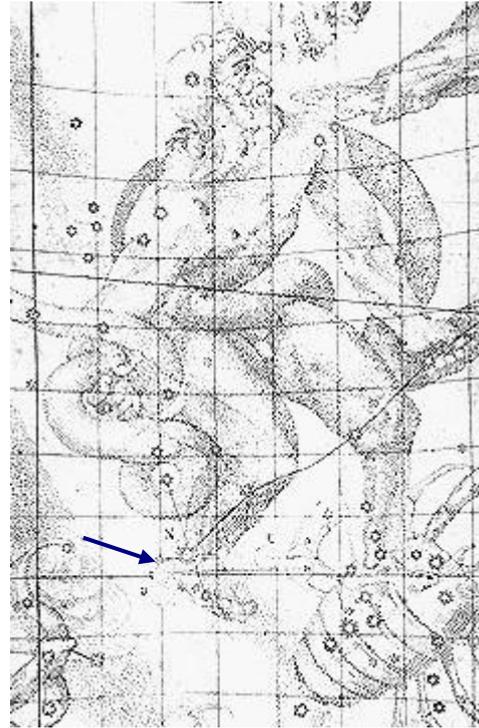


Figura 42: Ofiúco, de Kepler.

Três das inovações de Plancius para a cartografia celeste (Pomba, Girafa e Unicórnio) só se tornaram de uso universal depois que o astrônomo e matemático alemão Jacob Bartsch (1600-1633), publicou *Planisphaerium Stellatum* (Strasbourg, 1624), obra em que além das já citadas também introduziu a constelação de Rombo (renomeada para Retículo, na metade do século XVIII). Bartsch auxiliou Kepler na elaboração das *Tábuas Rodolfinas* e casou-se com a filha deste pouco antes de sua morte.

Bartsch ainda publicou *Coelum stellatum christianum* (Augsburgo, 1627), obra do monge alemão Julius Schiller, no ano da morte deste. Contrário à associação entre constelações e mitos clássicos, Schiller “cristianiza” o céu, substituindo todas as constelações pagãs por suas duplicatas cristãs: as constelações zodiacais tornaram-se os 12 apóstolos (Figura 43), o Navio foi transformado na Arca de Noé, Eridano no Mar Vermelho, e assim por diante. A regra era a seguinte: figuras do Novo Testamento para as constelações do hemisfério norte celeste e do Velho Testamento para as do sul.

As 51 placas de Schiller estão na mesma ordem que as de Bayer, porém com orientação externa. Oposta a cada placa há uma tabela na qual as estrelas são identificadas por algarismos arábicos. Schiller descreve cada estrela duas vezes: uma referente à constelação pagã e outra à substituta cristã. Como a visão geocêntrica de Bayer foi adotada pela maioria

dos astrônomos, Schiller decidiu produzir uma edição inteira de seu atlas utilizando as contraprovas das placas originais. Em *Coelum stellatum christianum concavum* (Augsburgo, 1627) as estrelas aparecem invertidas (ou seja, a orientação é geocêntrica), não sendo mais representadas as figuras das constelações. A obra de Schiller foi assistida pelo próprio Bayer, e inclui algumas novidades telescópicas, como a primeira aparição da galáxia de Andrômeda (Figura 44), não mencionada por Ptolomeu e Tycho nem representada por Bayer, e um mapa das Plêiades com 12 estrelas, 6 delas visíveis apenas através de telescópios (esta seria a mais detalhada visão deste aglomerado até 1782, embora sua mais antiga representação seja atribuída a Michael Maestlin, professor de astronomia de Kepler em Tübingen).

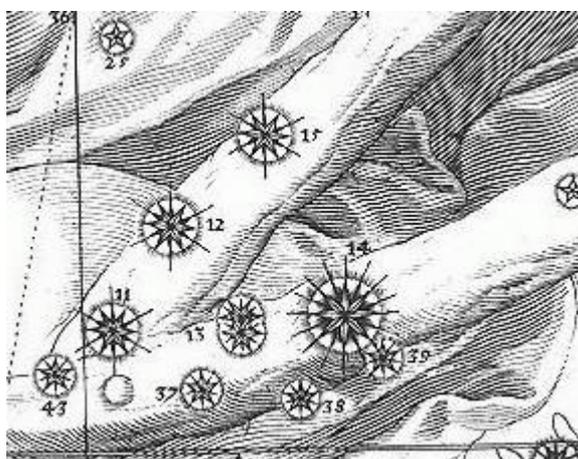


Figura 43: Touro (Santo André), de Schiller.

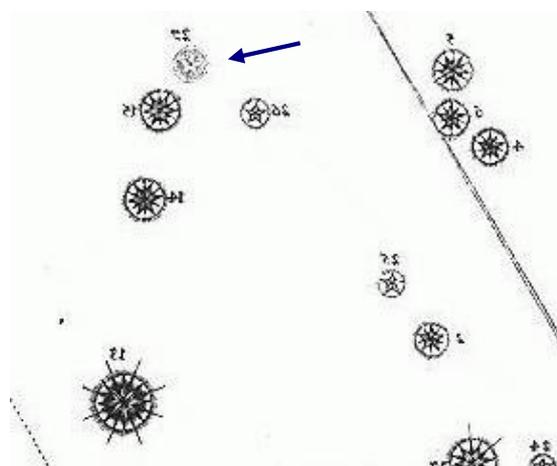


Figura 44: A galáxia de Andrômeda (nº 27).

Embora suas inovações não tenham sido aceitas, Schiller deixou um pequeno legado. Em *Harmonia macrocosmica* (Amsterdã, 1660), o matemático e cosmógrafo holandês Andreas Cellarius (1596-1665) apresenta 29 cartas de página dupla, sendo que 2 dos seus 8 planisférios são baseados nos de Schiller, mostrando as novas constelações cristãs. O estilo barroco (Figura 45) dos 6 planisférios restantes traz figuras das constelações inspiradas em Plancius. As 21 placas restantes traziam os diagramas das órbitas do Sol, da Lua e dos planetas, de acordo com os modelos cosmológicos de Ptolomeu, Copérnico e Tycho (é interessante notar que, meio século após sua enunciação, a elipse de Kepler ainda não havia ganhado a merecida notoriedade; os cantos dos atlas celestes ainda apresentavam modelos cosmológicos onde a órbita elíptica era um mero aperfeiçoamento do cosmo copernicano).



Figura 45: Hemisfério norte celeste, de Cellarius.

As trajetórias dos cometas foram o principal motivo para a elaboração de algumas cartas celestes ao longo do século XVII. Belíssimo exemplar deste tipo de trabalho é *Theatrum Cometicum* (Amsterdã, 1666-1668), obra em 3 volumes do astrônomo e teólogo polonês Stanislaw Lubieniecki (1623-1675), em que são mostradas as trajetórias de mais de 400 cometas (Figura 46), e contadas as histórias de como esses eventos influenciavam a vida em nosso planeta.



Figura 46: Trajetória de um cometa nas constelações do Carneiro e da Baleia, de Lubieniecki.

As trajetórias cometárias de Lubieniecki foram utilizadas anos depois pelo jesuíta francês Ignace-Gaston Pardies (1636-1673), misto de matemático e físico que trocava correspondências com Newton, Leibniz e Huygens. Publicado postumamente, o *Globi Coelestis* (Paris, 1674), de Pardies, apresentava as trajetórias de diversos cometas (Figura 47) em 6 mapas com orientação geocêntrica (4 centrados nos solstícios e equinócios mais 2 planisférios centrados nos pólos equatoriais) que formavam uma espécie de “cubo celeste”. Numa segunda edição (1690) foram acrescentadas as trajetórias de cometas descobertos (ou identificados) mais recentemente, como o cometa de Newton (também chamado Grande Cometa de 1680, utilizado nos *Principia* para ilustrar as órbitas elípticas desses astros) e o cometa de Halley (Figura 48), em sua passagem de 1682.

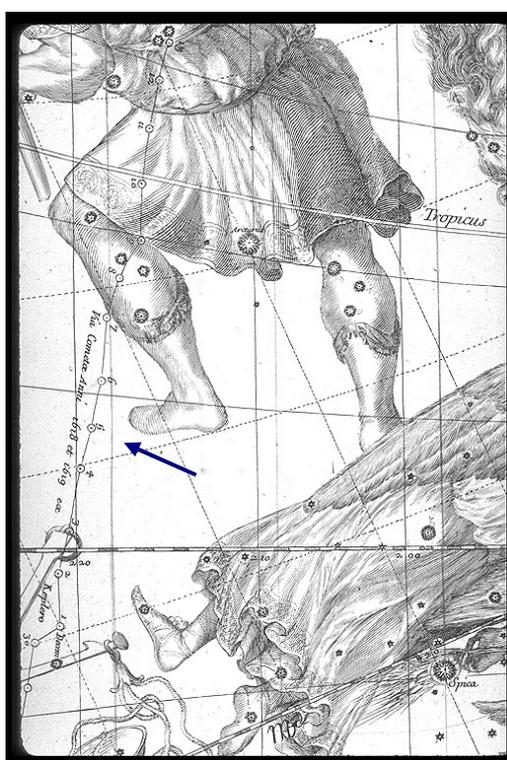


Figura 47: Trajetória do cometa de Kepler no Boieiro, em Pardies (1674).

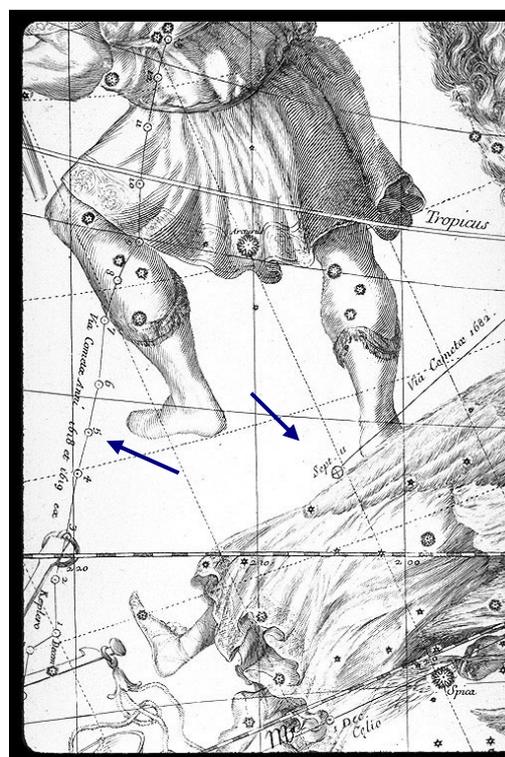


Figura 48: A versão 1690 da Figura 47, com o acréscimo da trajetória do cometa de Halley.

No capítulo anterior mencionamos que desavenças entre Hooke e Newton quase impediram a publicação dos *Principia*, e que somente Halley convenceu Newton a pegar novamente na pena. A língua ferina de Hooke também teria um efeito destruidor na cartografia celeste não fosse novamente a intervenção do pacificador Halley. Hooke fez duras críticas ao astrônomo polonês Johannes Hevelius (1611-1687) pela elaboração de um catálogo estelar sem a utilização de um telescópio, algo inimaginável no final do século XVII. Mas

uma visita de Halley foi suficiente para dar credibilidade às posições estelares medidas por Hevelius, e este esboço de incidente internacional ajudou ainda mais a promover sua grande obra, *Firmamentum Sobiescianum* (Gdansk, 1687), o segundo dos Grandes Atlas, e o primeiro a competir com *Uranometria* (Figura 49) em inovação e influência. Baseado em seu próprio catálogo (publicado pela primeira vez com o atlas) e nas observações feitas por Halley em 1679 da ilha de Santa Helena (o mais fiel retrato do céu austral até então, com 341 estrelas), este atlas continha 56 placas de página dupla (todas em cobre), utilizando coordenadas eclípticas e orientação externa (Figura 50). Das 74 constelações apresentadas, 11 são da autoria de Hevelius, das quais 7 permanecem em uso (Cães de Caça, Escudo, Lagarto, Leão Menor, Lince, Raposa e Sextante). Após sua morte, foi publicado *Prodomus Astronomiae* (1690), um catálogo contendo 1.564 estrelas, no qual já não aparecem as constelações de Cérbero, Monte Menalo, Mosca (Boreal) e Triângulo Menor. Ainda falando de cartografia, Hevelius também costuma ser lembrado por *Selenographia* (1647), o primeiro estudo sério sobre a superfície lunar.



Figura 49: Cocheiro, de Bayer.



Figura 50: Cocheiro, de Hevelius.

Embora os alemães tivessem revelado todo um talento e tradição em cartografia celeste, foi das ilhas britânicas que surgiu o terceiro na galeria dos Grandes Atlas. *Atlas coelestis* (Londres, 1729) foi produzido por John Flamsteed (1646-1719), desafeto declarado de Halley e primeiro inglês a receber o título de Astrônomo Real. O maior atlas celeste do mundo tinha 25 placas em cobre que mediam 60 cm x 50 cm, todas com orientação geocêntrica. Além disso, este foi o primeiro dos Grandes Atlas a utilizar como principais coordenadas as equatoriais, ao invés das tradicionais coordenadas eclípticas. Apresentava 2.919 estrelas visíveis de Greenwich, divididas em 54 constelações. Apesar do extenso uso do telescópio, o catálogo estelar desse atlas foi originalmente elaborado para auxiliar a navegação, e podemos ver o reflexo disso em cartas onde não aparecem objetos não-estelares nem a Via-Láctea, com o pretexto de melhor localizar as estrelas. Um dos maiores méritos desse atlas foi corrigir a forma como as constelações eram representadas em *Uranometria*: Bayer mostrava as figuras de costas (Figura 51), de modo que não correspondiam as suas posições tradicionais no céu (as descritas no *Almagesto*). Flamsteed retratou as figuras de frente (Figura 52), argumentando que o trabalho de Bayer, por ser muito utilizado, promovia certa confusão entre os cartógrafos.

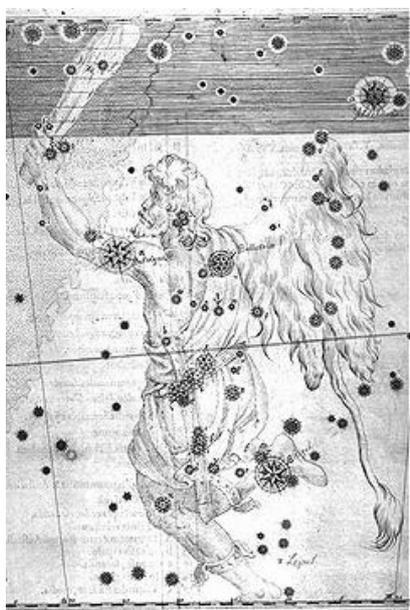


Figura 51: Órion, de Bayer.



Figura 52: Órion, de Flamsteed.

Nem todos os atlas posteriores foram baseados no de Flamsteed. Um bom exemplo é *Uranographia Britannica* (Londres, 1750), do astrônomo e médico inglês John Bevis (1695-1771), que seguiu o estilo de Bayer: as mesmas 51 placas, cobrindo as mesmas áreas do céu, com coordenadas eclípticas e orientação geocêntrica. As constelações inventadas por Hevelius

aparecem entre as 79 retratadas por Bevis, embora as figuras pareçam inspiradas nas encontradas em *Uranometria* (Figura 53). Este atlas contém mais de 3.500 estrelas, baseadas nos catálogos de Hevelius, Halley, Flamsteed e do próprio Bevis. Além de incluir diversas estrelas variáveis, a notoriedade dessa obra reside no fato de ter sido o primeiro atlas celeste em que aparece M1, a nebulosa do Caranguejo (Figuras 54 e 55), descoberta por Bevis em 1731 e nunca registrada antes.

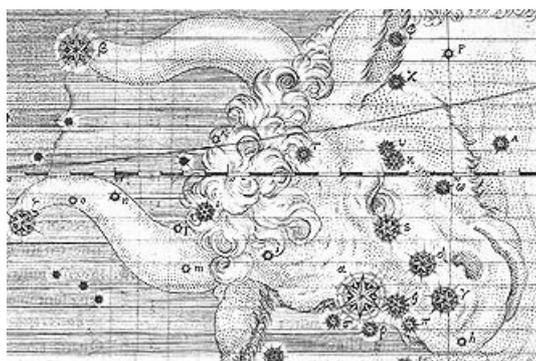


Figura 53: Touro, de Bayer.

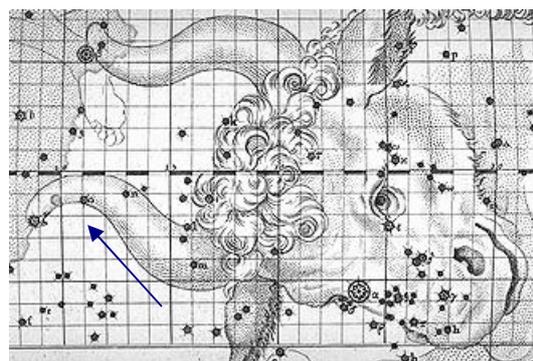


Figura 54: Touro, de Bevis.

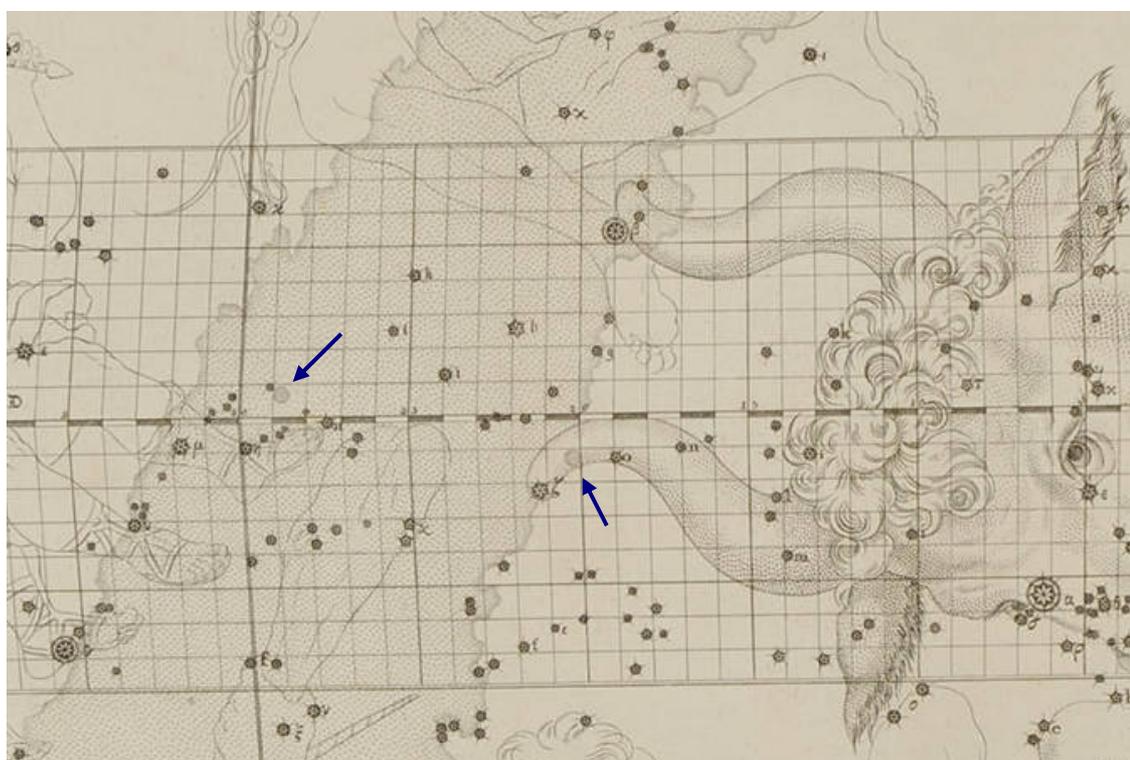


Figura 55: As nebulosas M1 (à direita) e M35 (à esquerda), em *Uranographia Britannica*, de Bevis.

Não é segredo a antipatia mútua que França e Inglaterra nutrem há séculos, mas nem isso impediu que os franceses buscassem a inspiração para suas cartas celestes do outro lado do canal da Mancha. Por ser muito grande, o atlas de Flamsteed (Figura 57) tornava-se um objeto de difícil manuseio, inconveniente superado nas edições seguintes, refeitas por ótimos artistas. A segunda edição foi chamada *Atlas celeste* (Paris, 1776), feita pelo engenheiro francês Jean Fortin (1750-1831), na qual foi representada a Via-Láctea (Figura 58) e as placas de Flamsteed reduzidas para 23 cm x 18 cm, mas mantidas as estrelas vistas de Greenwich e a orientação geocêntrica.



Figura 57: Região das constelações de Órion e Touro, de Flamsteed.

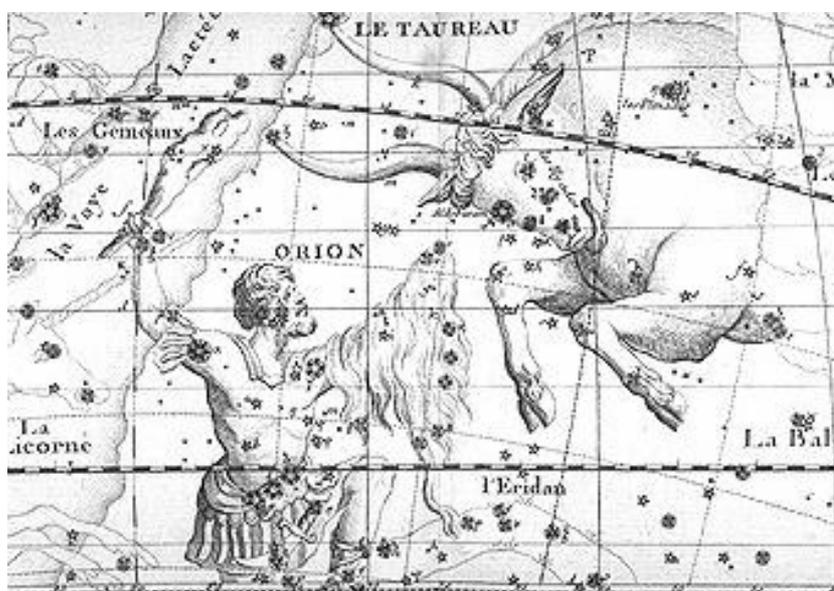


Figura 58: Região das constelações de Órion e Touro, de Fortin.

A terceira edição do *Atlas celeste* (Paris, 1795), feita pelo astrônomo francês Joseph Lalande (1732-1807), modifica a edição de Fortin, introduzindo mais constelações (Figura 59) e o “número de Flamsteed”, no qual as estrelas mais brilhantes de uma constelação eram ordenadas de acordo com sua ascensão reta, independente da classificação de Bayer. A edição de Lalande contém mais de 100 objetos não-estelares catalogados por seu conterrâneo, o astrônomo Charles Messier (1730-1817) em 1781. Messier também usou a edição de Fortin para ilustrar algumas trajetórias de cometas e a localização das “nebulosas” de seu catálogo (Figura 60).

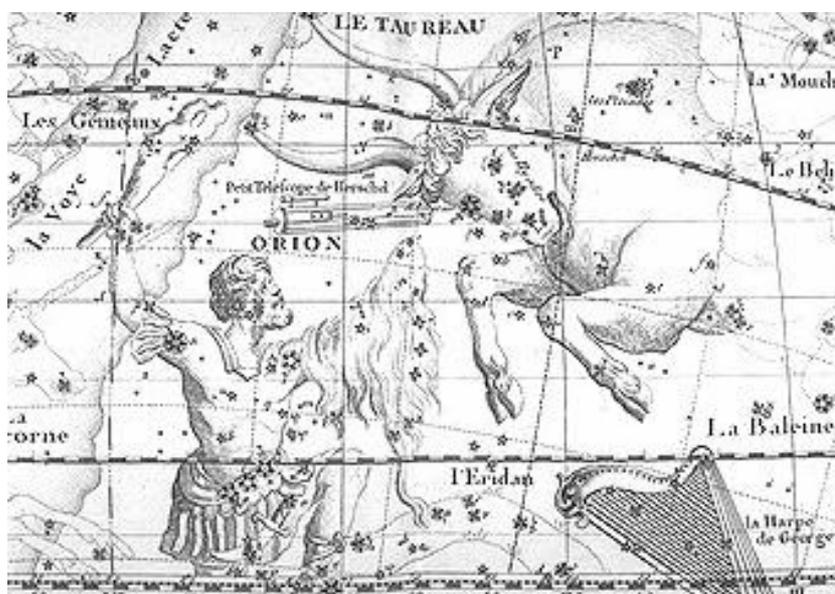


Figura 59: Região das constelações de Órion e Touro, de Lalande.

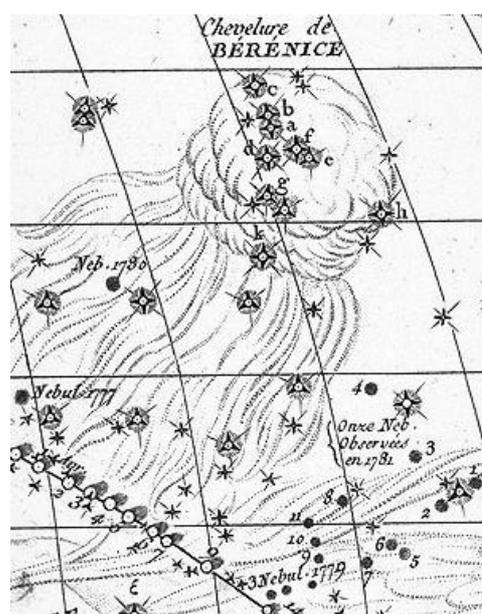


Figura 60: Nebulosas e a trajetória do cometa de 1779, em Messier.

Porém, a mais interessante versão do atlas de Flamsteed veio da Europa Central: *Vorstellung der Gestirne* (Berlim, 1782), produzido pelo astrônomo alemão Johann Elert Bode (1747-1826), apresentava mais estrelas que o de Flamsteed (e mais “nebulosas” que o de Fortin), mas apenas as visíveis de Berlim. Esta foi a primeira obra em que apareceram fronteiras para demarcar as constelações. Até então havia muitas regiões do céu que não se sabia a que constelações pertenciam, fazendo com que determinadas estrelas pertencessem a duas ou mais constelações ao mesmo tempo. Esta versão alemã do atlas de Flamsteed é conhecida como atlas de Bode/Flamsteed (Figura 61). Mas o pioneirismo de Bode começou em 1768, quando publicou uma série de mapas mostrando como o céu noturno mudava mensalmente; este livro também apresentava a “lei de Titius-Bode”, proposta pelo astrônomo alemão Johann Titius (1729-1796) em 1766, a qual consiste numa fórmula que descreve as distâncias relativas dos planetas conhecidos até o Sol. Bode também sugeriu o nome Urano para o planeta descoberto por Herschel em 1781.

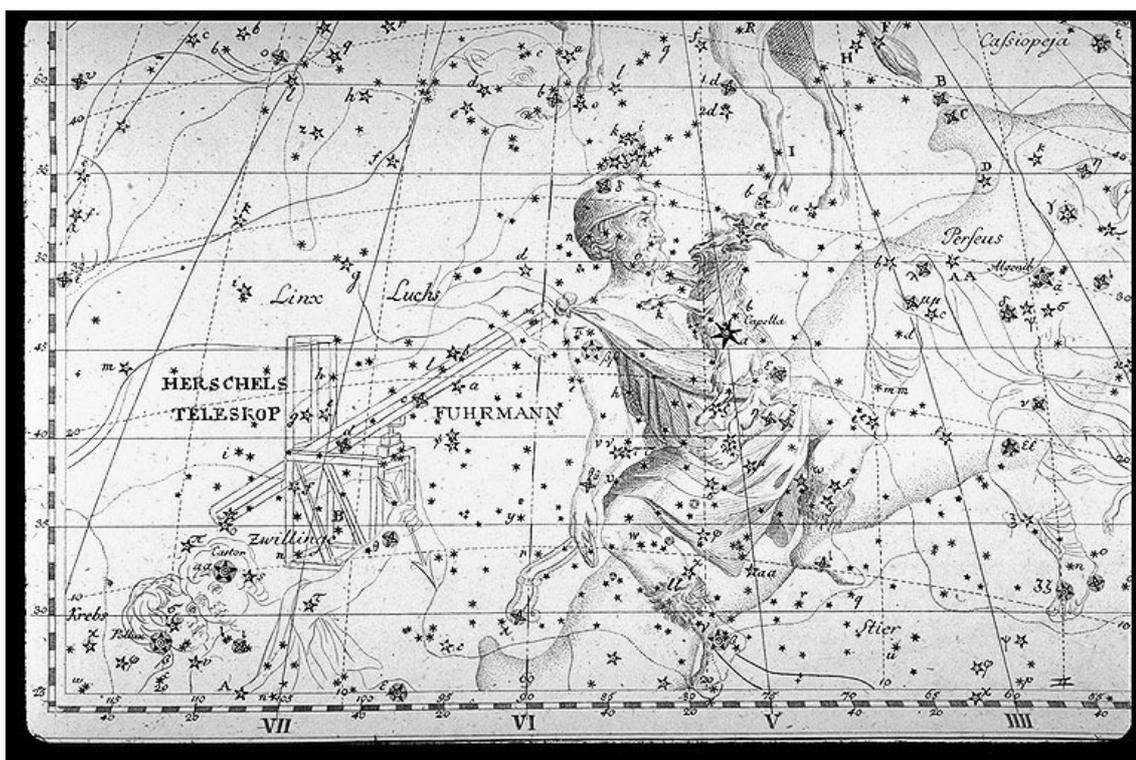


Figura 61: Região das constelações do Cocheiro e do Telescópio de Herschel, de Bode.

Mas a maior contribuição de Bode para a cartografia celeste surge no começo do século XIX, com o lançamento de *Uranographia* (Berlim, 1801), o quarto (e último) dos Grandes Atlas. Suas 20 cartas gravadas em cobre apresentavam 100 constelações, as consideradas mais importantes dos dois hemisférios. As coordenadas eram equatoriais e a

orientação geocêntrica. Ao todo eram 17.240 estrelas até a oitava magnitude, e mais de 2.500 objetos não-estelares catalogados por Herschel. Bode fez bom uso das grandes dimensões das placas, registrando diversas observações de Urano (Figuras 62 e 63). Do atlas anterior, Bode manteve as estrelas visíveis de Berlim e as fronteiras entre as constelações, além de representar a Via-Láctea. Este foi o último dos Grandes Atlas ilustrados com figuras mitológicas, finalizando a Idade de Ouro dos atlas celestes.



Figura 62: Em *Uranographia*, Bode registra que Urano foi observado por Herschel em 1781 (à esquerda) e por Flamsteed em 1690 (à direita).



Figura 63: Bode também registra que Tobias Mayer observou Urano em 1756.

A fase de transição

Depois de *Uranographia*, os atlas celestes começaram a se tornar mais técnicos. Com o advento de telescópios cada vez mais potentes, os astrônomos incrementaram mais estrelas aos seus catálogos, evitando as figuras das constelações e dando ênfase ao número cada vez maior de objetos celestes descobertos. Estes novos objetos, invisíveis a olho nu, não podiam dividir o espaço dos mapas com os traços coloridos das constelações. O desenvolvimento da astrofotografia e o preconceito relativo à mitologia e à astrologia dos mapas antigos também foram fatores determinantes durante essa fase de transição, verdadeira precursora da profissionalização dos atlas celestes.

O primeiro atlas celeste com alguma relevância depois de *Uranographia* foi *A portraiture of the heavens* (Londres, 1811), do astrônomo inglês Francis Wollaston (1731-1815). Seus 10 mapas eram muito simples: as figuras das constelações eram apenas esboços (Figura 64), nos quais a ênfase era dada nas estrelas e na precisão de suas posições. Wollaston também rejeitou as constelações inventadas por Bode.

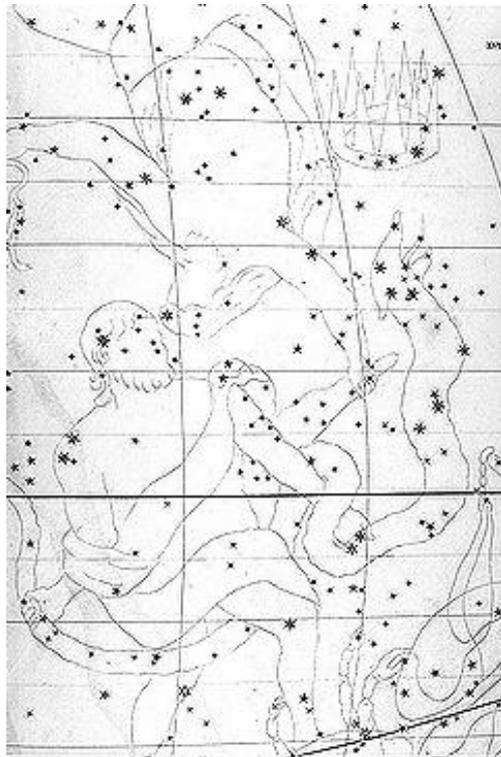


Figura 64: Região das constelações de Hércules e Ofiúco, de Wollaston.

Ainda na Inglaterra foi inventada uma nova forma de representar ao mesmo tempo as estrelas e as figuras das constelações – 32 cartões coloridos à mão, publicados por Samuel Leigh & Co e conhecidos coletivamente como *Urania's Mirror* (Londres, 1825). Os cartões apresentavam pequenos orifícios representando as estrelas, e se de um lado era simulado o céu noturno, do outro o observador se familiarizava com as figuras das constelações. Cada cartão representava uma constelação principal (Figura 65) e outras adjacentes, separadas por linhas (conforme Bode), num total de 80 constelações. Embora não houvesse um sistema de coordenadas, foram dados os nomes e brilhos das estrelas mais importantes. O nome do gravador, Sidney Hall, aparece no canto de cada cartão, embora se pense que uma mulher tenha sido a responsável e a verdadeira inventora dos cartões.



Figura 65: Virgem, em *Urania's Mirror*.

Antevendo as mudanças, o astrônomo francês Charles Dien (1809-1870), em *Uranographia* (Paris, 1831), representava as constelações sem figuras (Figura 66), apenas ligando as estrelas por linhas que (subjetivamente) produziam formas geométricas simples. Seu trabalho consistia de dois planisférios e um mapa equatorial, e pode ser considerado precursor do método atualmente utilizado por astrônomos amadores para localizar um objeto no céu.

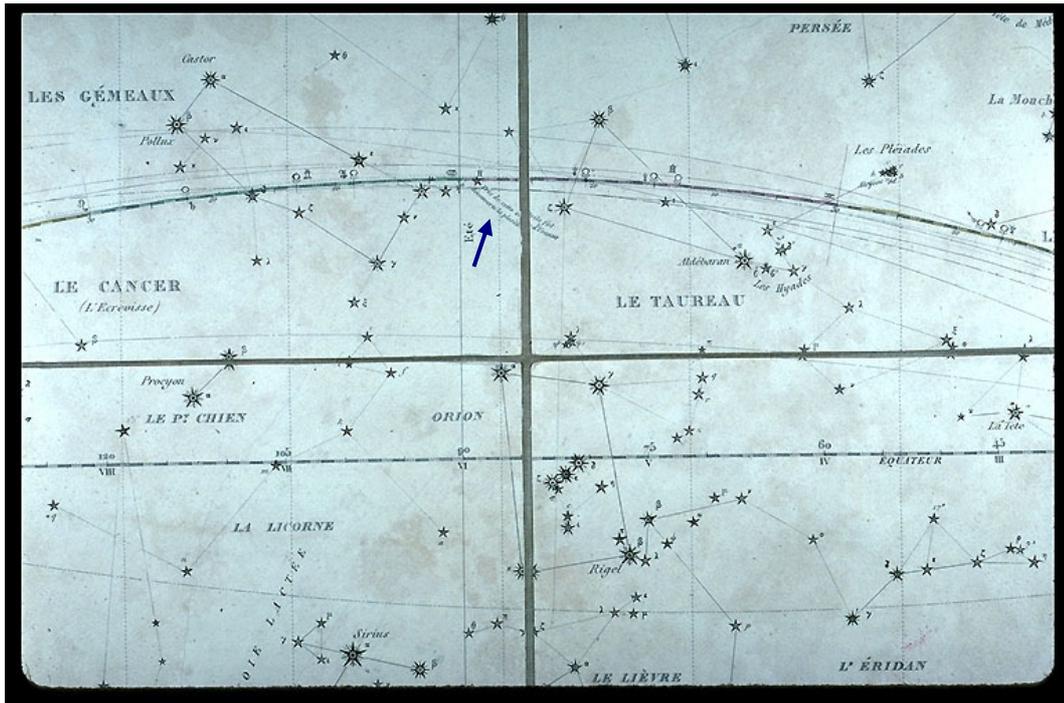


Figura 66: No detalhe, uma nota histórica registra, após 50 anos, a região do céu em que William Herschel descobriu o planeta Urano, entre as constelações de Touro e Gêmeos.

Em *Atlas of the Heavens* (Nova York, 1835), o astrônomo norte-americano Elijah Burritt (1794-1838) publica 6 cartas celestes gravadas em cobre, sendo dois planisférios com coordenadas equatoriais. O primeiro atlas celeste publicado nos Estados Unidos da América tinha todas as estrelas visíveis a olho nu distribuídas em 99 constelações, e foi idealizado para servir no ensino da astronomia, tanto que teve diversas edições até 1856 (só para se ter uma idéia, em 1876 existiam mais de 300.000 cópias desse atlas em circulação). Também foi uma das poucas obras no gênero a ter as constelações coloridas à mão logo na primeira edição. A obra de Burritt foi a última em que as figuras das constelações tinham alguma relevância artística (Figura 67), e serviu para dividir os atlas celestes em dois gêneros: os profissionais e os amadores, sendo ele próprio um exemplo típico da segunda categoria.

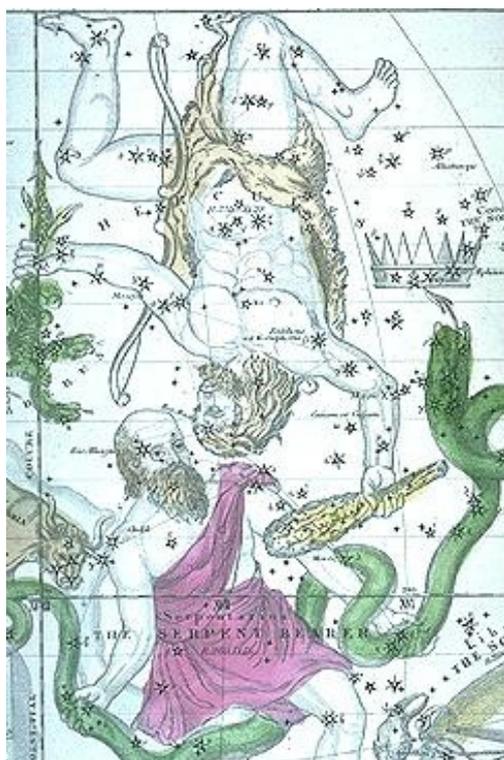


Figura 67: Região das constelações de Hércules e Ofiúco, de Burritt.

Um bom exemplo de atlas profissional foi *Atlas des gestirnten Himmels* (Stuttgart, 1839), do astrônomo e matemático austríaco Joseph Johann von Littrow (1781-1840), em que foram empregados traços bem leves para as figuras das constelações (Figura 68) e utilizada somente a nomenclatura de Bayer para as estrelas. Esta foi a última vez que as constelações criadas por Bode apareceram num atlas profissional.

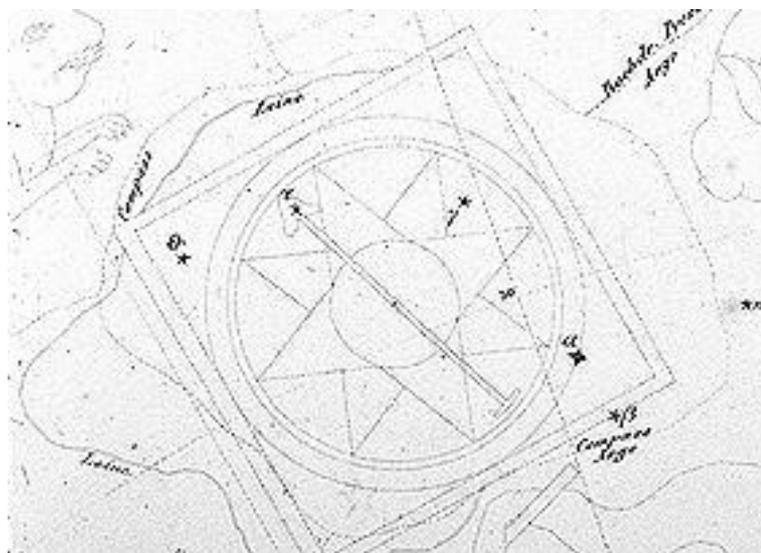


Figura 68: Bússola, de Littrow.

A cartografia celeste do século XIX teve seu expoente com o astrônomo alemão Friedrich Wilhelm August Argelander (1799-1875). *Neue Uranometrie* (Berlim, 1843) continha 17 placas com estrelas visíveis até a sexta magnitude. As placas apresentavam as constelações (inspiradas em Bayer) desenhadas bem suavemente (Figura 69), com o objetivo de fornecer posições e magnitudes estelares com o menor erro possível. Esta foi a última grande obra produzida inteiramente à mão. O atlas de Argelander também foi um dos últimos a apresentar as figuras das constelações, ao mesmo tempo em que inaugurava uma nova era em termos de precisão na localização dos astros. Por esse motivo ele será o divisor de águas desse capítulo, finalizando a fase de transição. Na segunda metade do século XIX, os atlas celestes evoluíram do estilo decorativo para um mais funcional, e os astrônomos concentraram-se mais na informação astronômica (magnitude e localização dos astros) do que na representação artística. Embora existam contribuições relevantes em diversos mapas confeccionados em períodos posteriores aos estudados nesse capítulo, elas estão limitadas aos aspectos técnicos desses mapas, e o desenvolvimento da cartografia celeste a partir desse período foge do escopo desse trabalho.

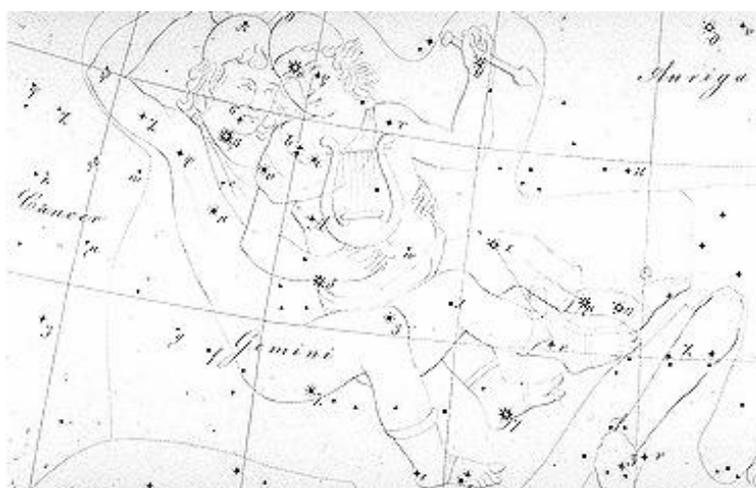


Figura 69: Gêmeos, de Argelander.

Considerações Finais

Com o surgimento de telescópios cada vez mais potentes, novos objetos foram descobertos e catalogados, e o crescente interesse pelas características físicas dos astros fez com que o sistema solar deixasse de ser o limite. Na segunda metade do século XIX a fotografia e a espectroscopia inauguraram uma nova era na astronomia, lançando as bases do que hoje conhecemos como astrofísica. As obsoletas imagens das constelações deixaram de ser essenciais e foram excluídas dos mapas. Desde 1928 a União Astronômica Internacional instituiu uma nova forma de visualizar as constelações: antes figuras formadas por um conjunto de estrelas, agora áreas do céu ocupadas por essas estrelas (alguns dados relativos às 88 constelações podem ser vistos no Apêndice III).

Conforme visto na Introdução, era nosso interesse que o leitor fizesse um paralelo entre os fatos abordados nos dois capítulos, comparando datas, personagens e fatos que não somente progrediram juntos nas duas histórias, mas que de alguma forma se correlacionaram. A partir de agora acreditamos tornar esse estudo mais enriquecedor mostrando nosso ponto de vista sobre alguns acontecimentos mencionados ao longo do trabalho. É provável que compartilhem das opiniões de alguns autores, ou simplesmente complementemos suas histórias. O verdadeiro valor dos próximos parágrafos não reside em imparcialidade ou isenção, mas na originalidade de nosso juízo. Estamos certos que este ensaio não estaria completo se negligenciássemos nossas convicções, sempre determinantes ao longo de todo o trabalho.

Observações e comentários sobre a astronomia grega

Do século VI a.C. até o século II, ou seja, de Tales de Mileto até Ptolomeu de Alexandria, a ciência grega teve seu auge. Os astrônomos gregos começaram como filósofos que quiseram dar sentido ao mundo físico em que viviam. Embora não tenham praticado a ciência matemático-experimental que usamos hoje, tentaram racionalizar o mundo da experimentação natural sem recorrer à intervenção divina.

Apesar da escassez de documentos tornar pouco conhecida a história da teoria dos planetas antes de Ptolomeu, não é segredo que Hiparco já conhecia os epiciclos, e deve-se a

Apolônio o teorema básico das retrogradações. Mas foi com Ptolomeu, a última das grandes figuras da ciência helenística, que chegamos ao fim de um desenvolvimento intelectual admirável. Mesmo com a queda do Império Romano no século V, o sistema geocêntrico ptolomaico ficou como um dos mais importantes empreendimentos intelectuais até o fim da Idade Média.

Ainda é comum encontrar historiadores e filósofos que se recusam a acreditar no milagre grego, defendendo que na Grécia não existia ciência, uma vez que não havia método. Esse ponto de vista pode ser facilmente refutado pelos catálogos estelares de Hiparco e Ptolomeu. Afinal, não haveria critério (mesmo que subjetivo) para se catalogar quase mil estrelas (como fez Hiparco) e distribuí-las em 46 constelações? E o que dizer de Ptolomeu, que agrupou 1.028 delas em 48 constelações, dividindo-as em relação à eclíptica (zodiacais, ao norte e ao sul do zodíaco)? Vale ressaltar que o *Almagesto* fornece as coordenadas dessas estrelas (latitude e longitude eclíptica), sua magnitude, e descreve sua localização na constelação. O próprio exercício mental de se associar uma figura a um grupo de estrelas revela a utilização de algum tipo de padrão: uma necessidade consciente de estabelecer ordem neste aparente caos que se configura o céu noturno. Se isso não puder ser considerado o começo do pensamento racionalista (no sentido moderno do termo), o que mais poderíamos entender por método científico?

Observações e comentários sobre o Renascimento e a Revolução Científica

Um século depois da morte de Copérnico não restava praticamente nada da física e da cosmologia de Aristóteles, nem da astronomia de Ptolomeu. Independente do movimento circular uniforme, a Terra assumira a posição de planeta, caminhando sem obstáculos ao redor do Sol. Se para Copérnico os movimentos dos astros eram controlados por leis divinas, sua obra deve ser encarada, antes de tudo, como uma forma de elevar a alma a Deus. Mesmo que o aparente pioneirismo da revolução que iniciara contraste com sua própria interpretação do cosmo, coube a Copérnico (e somente a ele) a glória de ter criado uma situação de desafio aberto ao sistema de Aristóteles e de Ptolomeu.

Tycho, embora não demonstrasse, esperava que Kepler traçasse uma nova estrutura para o universo baseado em suas observações. Se as convicções religiosas o impediram de

aceitar o modelo heliocêntrico, a arrogância foi o motivo pelo qual manteve a Terra imóvel no centro do cosmo (já que não conseguia observar a paralaxe estelar). Mas essa mesma arrogância estava à altura de sua competência: Tycho foi o primeiro a introduzir o efeito da refração nos cálculos astronômicos, e o rigor sem precedentes de suas observações suplantou o *Almagesto* do posto de livro mais importante da história da astronomia. Suas medidas precisas tornaram-se a base para todos os catálogos estelares utilizados nos dois séculos seguintes, época não por acaso conhecida como a Idade de Ouro dos atlas celestes.

E o que dizer de Kepler, um homem que passou a vida em busca de paz e serenidade em meio a tumultos religiosos e políticos, e nela teve inúmeras desgraças e doenças? Felizmente, essa mente brilhante transformou seus suplícios em trabalho, tornando-se o primeiro homem a unir a física à astronomia, buscando explicações físicas para os fenômenos celestes. Numa atitude científica característica da ciência moderna, Kepler se preocupava em explicar uma grande variedade de fenômenos por meio de uma lei simples, preferencialmente expressa na forma matemática. Acreditando numa força desconhecida que deveria agir semelhante à magnética, em alguns momentos de *frenesi* suspeita que ela é inversamente proporcional à distância, quase levando seu raciocínio à verdadeira lei. Se considerações preliminares sobre ação à distância não são suficientes para reivindicar a descoberta da atração universal, não há dúvida que a idéia de uma força controlando os movimentos celestes inspirou a elaboração desta lei, sendo justo que haja tal reconhecimento, mesmo que a história teime em proclamar a glória de uns em detrimento de outros.

As polêmicas envolvendo Galileu são as mais interessantes. As correspondências trocadas com Kepler não o persuadiram do movimento elíptico (embora difamador de Aristóteles, Galileu ainda acreditava que os planetas se moviam em círculos). Quando a corte de Toscana não aprovou o pedido de Tycho para realizar observações em latitudes italianas, este escreveu diretamente à Galileu, mas até hoje não se sabe nada acerca de uma resposta. É fato que Galileu reconhecia e admirava o trabalho de Tycho, mas não compartilhava de sua concepção do universo (basta lembrar que nos *Diálogo* Galileu coloca Tycho ao lado de Aristóteles e Ptolomeu). Reconhecer a importância do telescópio como instrumento científico foi a forma encontrada por Galileu para ser promovido de matemático a filósofo natural.

Galileu foi inflexível em sua defesa copernicana, mas suas maiores contribuições surgiram na física terrestre, mais especificamente no estudo da cinemática e da resistência dos materiais, exemplificando a utilidade e o sucesso da abordagem matemática à natureza. Se considerarmos a nova de 1572 tão revolucionária quanto os satélites de Júpiter, Galileu não foi muito diferente de Tycho. Não há dúvida que as façanhas do telescópio galileano levaram

a uma grande revisão da “velha” astronomia, mas há de se fazer uma ressalva: quando apontavam seus instrumentos para o céu ambos agiam essencialmente como técnicos, preocupados com a flor e não com os frutos. A verdadeira combinação perfeita entre teoria e prática surgiu no dia 4 de fevereiro de 1600, quando a pequena Benatky foi o palco do mais extraordinário e proveitoso encontro da história da astronomia. Tycho e Kepler conviveram pouco, mas o suficiente para trazer ao mundo o verdadeiro embrião da ciência moderna.

Descartes era um reformador que não disse direito a que veio: sua ciência era vaga, sua doutrina nada previa. Apoiadas somente na autoridade de seu criador, as idéias cartesianas não conseguiram explicar qual a utilidade de um filósofo no mundo das ciências naturais. Ao contrário dos vórtices cartesianos, as leis do movimento de Newton demonstraram como a matemática pode ser usada para validar as leis de Kepler. O raciocínio e o rigor encontrado nos *Principia* não deixa nada ao acaso, e Newton efetiva o sonho de Galileu, equiparando o matemático ao filósofo natural.

Hooke teve um currículo brilhante (inventou o microscópio composto, construiu o primeiro telescópio refletor gregoriano, descobriu a lei da elasticidade que leva o seu nome), mas será lembrado como um homem frustrado, um cientista genial que não conseguia dar continuidade às suas idéias. Até para seus defensores parece injusto que reivindique contribuição nas obras de Newton, apesar das trocas de carta entre ambos. Huygens, precursor da lei do inverso do quadrado da distância, pode ser considerado o maior representante da física-matemática holandesa de seu século. Desenvolveu o conceito de força centrífuga, descobriu Titã (a maior lua de Saturno) e resolveu o problema que Galileu deixou sem solução: a aplicação do pêndulo para regular relógios.

Como vimos, as histórias de Halley e Herschel se entrelaçaram com as de Hevelius, Flamsteed e Bode, o que torna ainda mais importante suas contribuições para a evolução da cartografia celeste. Enquanto o primeiro costuma ser lembrado apenas pelo cometa que leva seu nome (injustamente, já que também contornou as desavenças entre Hooke e Newton que quase impediram a publicação dos *Principia*), o segundo será celebrado como o mais perspicaz dos observadores celestes, diretamente responsável pelas descobertas que tornaram a cartografia celeste uma atividade puramente científica.

Observações e comentários sobre a evolução da cartografia celeste entre os séculos XV e XIX

A divisão da representação das constelações em três períodos (Renascimento, Idade de Ouro e fase de transição) não foi ao acaso: ela contempla diversos outros acontecimentos que não foram diretamente mencionados no texto, mas que de alguma forma nos remetem a fatos da história moderna dos quais já ouvimos falar. Por exemplo, durante o Renascimento ficou clara a relação entre as grandes navegações e a invenção de novas constelações, ou seja, a necessidade de uma orientação mais precisa pelos mares do sul fez com que os europeus criassem novas constelações, todas baseadas na fauna recém-descoberta pelos exploradores austrais. Só há uma exceção: o Cruzeiro do Sul, até onde sabemos a primeira constelação pós-*Almagesto*, cuja origem ainda é duvidosa e portanto digna de comentários adicionais.

O termo “Cruz”, utilizado pela primeira vez por Mestre João, tornou-se universal apenas com Bayer, que em *Uranometria* desenhou o Cruzeiro sobre as patas traseiras do Centauro. Então, por mais de um século depois de batizado, sabia-se que o Cruzeiro era do sul, mas sua localização exata ainda deixava a desejar. Se o importante era encontrar o sul (independente de quais estrelas fossem utilizadas para formar a cruz), sua posição no céu não era fixa, variando conforme o relato dos navegantes. Mas por que uma cruz no céu? Ora, se atravessar a linha do Equador era uma tarefa arriscada, que os monarcas católicos da Europa quinhentista só se atreveriam com a benção da igreja, nada melhor que o símbolo do cristianismo para guiá-los pelos mares do sul. Seria falta de imaginação chamar outro grupo de estrelas de Falsa Cruz, ou um cuidado a mais a se tomar na hora de escolher corretamente a direção sul? Será que o Cruzeiro realmente foi a primeira cruz celeste? Será que Mestre João, ao batizar o Cruzeiro, já não trazia uma idéia preconcebida por outros exploradores europeus?

No começo do século XVII o catálogo de Tycho inicia uma nova era de precisão nas medidas de posições estelares. A Idade de Ouro da cartografia celeste, contemporânea da Revolução Científica e do Iluminismo, implementou as descobertas do telescópio galileano e os modelos cosmológicos de Copérnico e Tycho. As constelações criadas nesse período homenageavam monarcas ou celebravam o progresso das artes e das ciências, e o surgimento de telescópios cada vez mais potentes fez com que os astrônomos registrassem estas novas informações em seus catálogos. Mas quando o advento do telescópio realmente se tornou um fator determinante para a evolução dos atlas celestes? Podemos tentar responder a essa questão comparando as principais características dos quatro Grandes Atlas (Quadro 2), e

partindo do pressuposto que sua influência seria suficiente para traçar um panorama fiel de todo este período.

	Bayer	Hevelius	Flamsteed	Bode
ano publicação	1603	1687	1729	1801
representa constelações	sim	sim	sim	sim
número de constelações	62	74	54	100
número de estrelas	1.706	1.564	2.919	17.240
tipo de orientação	geocêntrica	externa	geocêntrica	geocêntrica
coordenadas	eclípticas	eclípticas	equatoriais	equatoriais
magnitude limite	6	6	6	8
utilizou telescópio	não	não	sim	sim
representa a Via-Láctea	sim	sim	não	sim
representa objetos não-estelares	sim	sim	não	sim

Quadro 2 – Comparação entre as principais características dos Grandes Atlas.

Não é difícil fazer algumas boas observações baseadas nos dados do Quadro 2. Chama a atenção o fato dos Grandes Atlas do século XVII (Bayer e Hevelius) não utilizarem o telescópio, diferente do uso em larga escala feito por Flamsteed e Bode, ou seja, Bayer e Hevelius não necessitaram do telescópio para entrarem para a galeria dos Grandes Atlas. O caso de Bayer é perfeitamente compreensível (o telescópio ainda não havia sido inventado), mas Hevelius já poderia ter se beneficiado de quase oito décadas de utilização do instrumento. Hevelius tinha personalidade: se as estrelas listadas por Bayer vinham basicamente dos catálogos de Tycho e da dupla Keyser-Houtman, as suas tinham origem em seu próprio catálogo e no de Halley. Além disso, foi o único dos Grandes a boicotar a orientação geocêntrica, além de introduzir 11 constelações de sua autoria.

Mesmo que o número de estrelas tenha crescido em Flamsteed, apenas em Bode podemos dizer que o telescópio foi utilizado extensamente, já que de Bayer para Flamsteed o número de estrelas nem sequer dobrou, ao passo que deste último para Bode aumentou em quase seis vezes. A busca por precisão fez com que Flamsteed e Bode escolhessem as coordenadas equatoriais como principal sistema de referência, em prevalência às tradicionais

coordenadas eclípticas utilizadas por Bayer e Hevelius. Retratar a Via-Láctea e objetos não-estelares não foi uma unanimidade entre os Grandes porque Flamsteed acreditava que apenas estrelas deveriam estar registradas em seu *Atlas coelestis* (vale lembrar que seu catálogo foi elaborado para auxiliar a navegação, e que sua utilização do telescópio tinha por finalidade obter posições estelares mais precisas). Com isso em mente, era esperado que Flamsteed omitisse as figuras das constelações (como fez Piccolomini), o que não aconteceu.

Dentre os Grandes Atlas, notamos que somente *Uranographia* incorpora todas as inovações surgidas desde a invenção do telescópio, não somente em termos de precisão mas principalmente o aumento considerável no número de objetos (estelares e não-estelares) retratados. O atlas de Bode tinha mais estrelas e constelações que seus antecessores, tornando-se o maior exemplo do caos em que se transformou a cartografia celeste no final do século XVIII: de um lado um apego excessivo às tradicionais figuras das constelações (em número sempre crescente), do outro a necessidade de se atualizar as cartas celestes com as informações das observações mais recentes (que disputavam espaço com estas próprias figuras). É verdade que Bode se beneficiou dos trabalhos de Messier e Herschel, mas somente sua competência conseguiu harmonizar conhecimento científico e perfeição dos traços. Somente nele a utilização do telescópio foi realmente determinante para a evolução dos atlas seguintes, já que intimou os cartógrafos a escolherem entre a elegância da concepção artística e a relevância da informação científica, uma mudança de paradigma que representou, ao mesmo tempo, o apogeu e o declínio de toda uma era.

Referências Bibliográficas

Fontes Primárias

ALLEN, R.H. *Star names: their lore and meaning*. New York: Dover, 1963.

BERTRAND, J. *Os fundadores da astronomia moderna*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2008.

COPÉRNICO, N. *As revoluções dos orbes celestes*. Lisboa: Fundação Calouste Gubbenkian, 1984.

JESUS, J. C. S. *Estranhas observações celestes nos séculos XVI e XVII: cometas ou supernovas?* Lisboa: Biblioteca Nacional de Lisboa, 2004.

PEREIRA, P. R. *Os três únicos testemunhos do descobrimento do Brasil*. Rio de Janeiro: Lacerda Editores, 1999.

ROCHA, J.M. *Sistema físico-matemático dos cometas*. Rio de Janeiro: MAST, 2000.

Fontes Secundárias

ABETTI, G. *Historia de la astronomia*. Cidade do México: Tezontle, 1992.

ABRANTES, P. C. *Imagens de Natureza, imagens de ciência*. Campinas: Papirus, 1998.

ALBUQUERQUE, L. *A náutica e a ciência em Portugal: notas sobre as navegações*. Lisboa: Gradiva, 1989.

ARRUDA, J. J. A. *História moderna e contemporânea*. São Paulo: Editora Ática, 1980.

ASHWORTH, W.B. *Out of this World: the golden age of the celestial atlas*. Kansas City: Linda Hall Library, 1997.

AVENI, A. *Conversando com os planetas: como a ciência e o mito inventaram o cosmo*. São Paulo: Mercury, 1993.

AVILÉS, J. A. B. *Las leyes del cielo: astronomia y civilizaciones antiguas*. Madrid: Temas de Hoy, 1999.

BAKICH, M.E. *The Cambridge guide to the constellations*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

BARROSO, G. *O Brasil na lenda e na cartografia antiga*. São Paulo: Editora Nacional, 1941.

BAUER, B.; DEARBORN, D. *Astronomy and Empire in the Ancient Andes*. Austin: University of Texas, 1995.

BERRY, A. *A short history of astronomy*. New York: Dover, 1961.

BLAAUW, A. *History of the IAU: the birth and the first half-century of the International Astronomical Union*. Dordrecht: Kluwer, 1994.

BOCZKO, R. *Conceitos de astronomia*. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.

BROWN, B. *Astronomical atlases, maps and charts*. Londres: Search Publishing, 1932.

BRUSH, S.G. *A history of modern planetary physics – fruitful encounters: the origin of the solar system and of the moon from Chamberlin to Apollo*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

BUENO, E. *A viagem do descobrimento*. Rio de Janeiro: Objetiva, 1998.

CALMON, P. *História do Brasil*. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1963.

CARVALHO, J. P. M. *Uma odisséia no tempo: introdução à história da astronomia*. Porto: Universidade do Porto, 2000.

CARVALHO, R. *A astronomia em Portugal no século XVIII*. Lisboa: Instituto de Cultura e Língua Portuguesa, 1985.

CHERMAN, A.; VIEIRA, F. *O tempo que o tempo tem*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2008.

CHRISTIANSON, J. R. *On Tycho's island: Tycho Brahe and his assistants, 1570-1601*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

CORNELIUS G. *The starlore handbook: an essential guide to the night sky*. São Francisco: Chronicle Books, 1997.

CORNELIUS, G.; DEVEREUX, P. *The secret language of the stars and planets*. São Francisco: Chronicle Books, 1996.

CROSSEN, C.; TIRION, W. *Binocular astronomy*. Virginia: Willmann-Bell Inc., 1992.

ÉVORA, F.R.R. *A revolução copernicana-galileana: origem, significado e inserção na história do pensamento científico-filosófico antigo e medieval*. 1987. Dissertação (Mestrado) – UNI-RIO, Rio de Janeiro, 1987.

_____. *A revolução copernicana-galileana*. Campinas: UNICAMP, 1988.

GINGERICH, O. *The eye of heaven: Ptolemy, Copernicus, Kepler*. New York: American Institute of Physics, 1993.

GOLDFARB, A. M. A. *O que é história da ciência*. São Paulo: Brasiliense, 2004.

HANKINS, T. L. *Science and the enlightenment*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.

HARLEY, J.B.; WOODWARD, D. *Cartography in the traditional islamic and south asian societies*. Chicago: University of Chicago Press, 1992.

_____. *Cartography in the traditional east and southeast asian societies*. Chicago: University of Chicago Press, 1994.

HARMAN, P. M. *La revolucion científica*. Barcelona: Editora Critica, 1987.

HARTNER, W. The earliest history of the constellations in the near east and the motif of the lion-bull combat. *Journal of Near Eastern Studies*, n. 24, p. 1-16, 1965.

HENRY, J. *A Revolução Científica e as origens da ciência moderna*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1998.

HOLLANDA, S. B. *História da civilização*. São Paulo: Nacional, 1974.

HOSKIN, M. *The Cambridge illustrated history of astronomy*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

HOYLE, F. *De Stonehenge a la cosmologia contemporânea: Nicolas Copérnico – un ensayo sobre su vida y su obra*. Madrid: Alianza Editorial, 1982.

JARDINE, N. *The birth of history and philosophy of science: Kepler's a defence of Tycho against Ursus with essays on its provenance and significance*. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

JOHNSTON, P. A. *Celestial Images: astronomical charts from 1500 to 1900*. Boston: Boston University Art Gallery, 1985.

KANAS, N. *Star maps: history, artistry, and cartography*. Chichester: Springer Praxis Books, 2007.

KRAGH, H. *An introduction to the historiography of science*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

KUHN, T. S. *La revolución copernicana: la astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental*. Barcelona: Ariel, 1985.

_____. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 2007.

MINHAN, J. *Constelações e nebulosas*. São Paulo: Logos, 1961.

MOURÃO, R. R. F. *Atlas celeste*. Rio de Janeiro: Vozes, 1981.

_____. A leitura do céu. *Superinteressante*: Especial Cursos, n. 1, p. 10-16, 1989.

_____. *Explicando a astronomia e o poder religioso*. Rio de Janeiro: Ed. Tecnoprint, 1987.

_____. *Dicionário enciclopédico de astronomia e astronáutica*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

_____. *A astronomia na época dos descobrimentos*. Rio de Janeiro: Lacerda, 2000.

_____. *Kepler: a descoberta das Leis do Movimento Planetário*. São Paulo: Odysseus Editora, 2003.

_____. *Copérnico: pioneiro da revolução astronômica*. São Paulo: Odysseus Editora, 2004.

NESTLEHNER, W. O céu que a gente não vê. *Superinteressante*, n. 11, p. 84-87, 1999.

POPPER, K. R. *Conjecturas e refutações: o progresso do conhecimento científico*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1982.

RAYMOND, P. *A história e as ciências*. Porto: Res Editora, 1979.

REIS, A. E. Primórdios da navegação astronômica no Atlântico. In: MAIA, C. A.; GOLDFARB, A. M. A. *História da ciência: o mapa do conhecimento*. Rio de Janeiro: Expressão e Cultura, 1995.

RESENDE, M. E. L.; MORAES, A. M. *História fundamental da civilização*. Belo Horizonte: Vigília, 1981.

RIDPATH, I. *Star Tales*. New York: Universe Books, 1988.

RIDPATH, I.; TIRION, W. *Guía de las estrellas y los planetas de los hemisferios Norte y Sur*. Barcelona: Ediciones Omega, 1986.

RONAN, C. A. *História ilustrada da ciência*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1987.

ROSA, L. P. *Tecnociências e humanidades: novos paradigmas, velhas questões – o determinismo newtoniano na visão do mundo moderno*. São Paulo: Paz e Terra, 2005.

ROSSI, P. *A ciência e a filosofia dos tempos modernos: aspectos da revolução científica*. São Paulo: UNESP, 1992.

_____. *O nascimento da ciência moderna na Europa*. Bauru: EDUSC, 2001.

SCHAEFER, B.E. A origem das constelações gregas. *Scientific American Brasil: Edição Especial Etnoastronomia*, n. 14, p. 14-23, 2006.

SILVA, G. A. A evolução da cartografia celeste entre os séculos XV e XIX. *In: CONGRESSO EM HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS E DAS TÉCNICAS E EPISTEMOLOGIA – SCIENTIARUM HISTORIA*, 1, 2008, Rio de Janeiro. Anais do 1º Congresso em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, Rio de Janeiro, 2008.

SOARES, L. C. O novo mundo e a revolução científica nos séculos XVI e XVII. *In: MAIA, C. A.; GOLDFARB, A. M. A. História da ciência: o mapa do conhecimento*. Rio de Janeiro: Expressão e Cultura, 1995.

_____. *Do novo mundo ao universo heliocêntrico: os descobrimentos e a revolução copernicana*. São Paulo: Hucitec, 1999.

SOUSTELLE, J. *Os astecas na véspera da conquista espanhola*. São Paulo: Cia. das Letras, 1990.

SOUZA, T. O. M. *Amerigo Vespucci e suas viagens*. São Paulo: Instituto Cultural Ítalo-Brasileiro, 1954.

STAAL, J. *The New patterns in the sky: myths and legends of the stars*. Virginia: McDonald & Woodward Publishing, 1988.

STOTT, C. *Cartas celestes: antigos mapas do céu*. Lisboa: Dinalivro, 1991.

TÁRSIA, R. D. *Astronomia fundamental*. Belo Horizonte: UFMG, 1993.

THOREN, V. E. *The lord of uraniborg: a biography of Ticho Brahe*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

TIRION, W. *Cambridge Star Atlas 2000.0*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

VARGAS, M. A ciência no Renascimento. *Revista Ciência e Filosofia*, n. 2, p. 66-80, 1980.

_____. A imagem do mundo e as navegações ibéricas. *Revista da SBHC*, n. 14, p. 81-96, 1995.

VERDET, J. P. *Uma história da astronomia*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1991.

VIEIRA, F. *Identificação do céu*. Rio de Janeiro: Fundação Planetário, 1999.

WARNER, D. J. *The sky explored: celestial cartography 1500-1800*. Amsterdam: Theatrum Orbis Terrarum, 1979.

WHYTE, C. *The constellations and their history*. Londres: Charles Griffin, 1928.

ZANETIC, J. *A eclipse de Kepler e a parábola de Galileu*. São Paulo: IFUSP, 1989.

_____. *A revolução copernicana: antes, durante e depois*. São Paulo: IFUSP, 1989.

Obras Gerais de Referência:

GILLISPIE, C. C. *Dictionary of scientific biography*. New York: Charles Scribner's Sons, 1970-1980. 16 vols.

Sites consultados:

Antique Maps and Atlases: selection of highlights – Leen Helmink. Disponível em: <http://www.helmink.com/Antique_Maps_Highlights.php>. Acesso em: 22 jun. 2008.

Astronomiae instauratae mechanica – The Royal Library. Disponível em: <http://www.kb.dk/en/nb/tema/webudstillinger/brahe_mechanica/introduktion.html>. Acesso em: 9 out. 2008.

Atlas Coelestis. Disponível em: <<http://www.atlascoelestis.com/>>. Acesso em: 10 mai. 2008.

Biblioteca Nacional Digital: Brasil. Disponível em: <<http://www.bn.br/bndigital/bibliotecasdigitais.htm>>. Acesso em: 29 ago. 2008.

Brasil azul. Disponível em: <<http://www.brasilazul.com.br/cartografia.asp>>. Acesso em: 21 out. 2007.

Camões: revista de letras e culturas lusófonas. Disponível em: <www.instituto-camoes.pt/revista/bandnavegant.htm>. Acesso em: 21 out. 2007.

Centro de História das Ciências: Universidade de Lisboa. Disponível em: <<http://chcul.fc.ul.pt/>>. Acesso em: 7 jun. 2008.

Ciencia Hoy 40. Siguiendo el rastro del Choike, v. 7, n. 40, 1997. Disponível em: <<http://www.cienciahoy.org.ar/hoy40/choike.htm>>. Acesso em: 18 jul. 2008.

Crux Austrails: o Cruzeiro do Sul – por Renato Silva Oliveira. Disponível em: <http://www.asterdomus.com.br/Artigo_crux_australis.htm>. Acesso em: 18 jul. 2008.

Departement Natuur – en Sterrenkunde – Universiteit Utrecht. Disponível em: <<http://www.phys.uu.nl/>>. Acesso em: 10 mai. 2008.

Diretoria de Hidrografia e Navegação. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/dhn/hist_origens.html>. Acesso em: 21 out. 2007.

History of Science: introduction. Disponível em: <<http://hsci.cas.ou.edu/exhibits/>>. Acesso em: 10 mai. 2008.

HubbleSite: out of the ordinary... out of this world. Disponível em: <<http://hubblesite.org/>>. Acesso em: 7 mai. 2008.

Ian Ridpath's Star Tales: constellation mythology. Disponível em: <<http://www.ianridpath.com/startales/contents.htm>>. Acesso em: 10 mai. 2008.

International Astronomical Union. Disponível em: <http://www.iau.org/public_press/themes/constellations/>. Acesso em: 7 jun. 2008.

Jonathan Potter: mapmaking techniques. Disponível em: <<http://www.jpmaps.co.uk/techniques>>. Acesso em: 27 jul. 2008.

Linda Hall Library: science, engineering and technology information for the world. Disponível em: <<http://www.lhl.lib.mo.us/>>. Acesso em: 27 jun. 2007.

National Library of Australia. Disponível em: <<http://www.nla.gov.au/>>. Acesso em: 10 mai. 2008.

Pro Brasil. Disponível em: <<http://www.probrasil.com.br/b-historia.php3>>. Acesso em: 21 out. 2007.

Star Charts. Disponível em: <http://www.geocities.com/bcaas_99/starcharts.htm>. Acesso em: 2 out. 2008.

Thayer and Gazetteer Topics. Disponível em:
<<http://penelope.uchicago.edu/Thayer/E/Gazetteer/Topics/>>. Acesso em: 31 mai. 2008.

The Observatory Museum. Disponível em:
<<http://www.observatoriet.kva.se/engelska/lankar/index.html>>. Acesso em: 9 out. 2008.

The Wandering Cross: The invention of the southern cross – by Eduardo Vila-Echagüe.
Disponível em: <<http://www.geocities.com/edovila/astro/SouthernCross.html>>. Acesso em:
18 jul. 2008.

Wikipedia: la enciclopedia libre – Américo Vespucio. Disponível em:
<http://es.wikipedia.org/wiki/Am%C3%A9rico_Vespucio>. Acesso em: 18 jul. 2008.

Glossário

asterismo: pequeno grupo de estrelas (as Plêiades e a Falsa Cruz, por exemplo). Em alguns casos também é usado como sinônimo de constelação.

atlas celeste: coleção de mapas que indicam a posição das estrelas na esfera celeste através de projeções planas. O termo é oportuno, pois um atlas reúne várias cartas celestes e, acompanhado de um catálogo, fornece outras informações sobre essas estrelas. O nome atlas deve-se ao fato de, em 1595, na folha de ante-rostro da coleção de mapas de Gerardus Mercator (publicado postumamente por seu filho Rumold) aparecer como ilustração de abertura o titã Atlas.

carta celeste: representação sobre uma superfície plana, de uma região da esfera celeste.

catálogo estelar: publicação que contém as coordenadas astronômicas de um grande número de estrelas, calculadas para uma determinada época, e que pode fornecer outras informações adicionais (magnitude, por exemplo) dessas estrelas.

catálogo Messier: lista de 103 objetos extensos (galáxias, nebulosas, aglomerados abertos e globulares) compilados pelo astrônomo francês Charles Messier em 1781 (atualmente, a maioria dos astrônomos considera um total de 110 objetos Messier).

ciclo de Saros: período de 18 anos e 11,3 dias no qual os eclipses ocorrem todos numa mesma seqüência. Em cada Saros ocorrem 70 eclipses, sendo 41 solares e 29 lunares.

círculo horário: círculo máximo da esfera celeste, que passa pelos pólos celestes e cujo plano é perpendicular ao plano do equador celeste.

conjunção: configuração apresentada por dois ou mais astros no instante em que suas ascensões retas atingem um mesmo valor.

constelações clássicas: também chamadas constelações ptolomaicas, são as constelações descritas por Ptolomeu no *Almagesto*.

deferente: círculo que conduz o epíclito.

eclíptica: plano orbital terrestre projetado na esfera celeste (esse mesmo termo designa a trajetória aparente do Sol na esfera celeste).

efemérides astronômicas: livro que contém previsões de fenômenos astronômicos como eclipses, fases da Lua, conjunções e oposições, entre outras informações. Também fornece as posições e outros parâmetros astronômicos do Sol, Lua, planetas, cometas, asteróides e estrelas.

epíclito: pequeno círculo cujo centro gira ao redor de um outro círculo maior chamado deferente.

equador celeste: projeção, na esfera celeste, do equador terrestre.

equante: ponto ao redor do qual o movimento de um planeta é uniforme. No sistema geocêntrico de Ptolomeu esse é o centro do círculo denominado excêntrico, descrito pelo Sol ou pelo centro de um epiciclo.

equinócio: qualquer uma das duas interseções da eclíptica com o equador celeste. Trata-se de cada uma das duas épocas em que o Sol, seguindo a eclíptica, corta o equador, provocando a igualdade entre o dia e a noite sobre toda a Terra.

esfera armilar: instrumento utilizado pelos astrônomos para tentar explicar os movimentos dos astros. Era constituído de um globo central e diversas esferas concêntricas que simbolizavam os principais círculos e corpos celestes.

excêntrico: no sistema geocêntrico de Ptolomeu é o círculo cujo centro, um pouco afastado do centro da Terra, era descrito com movimento uniforme pelo Sol, ou pelo centro de um epiciclo. Seu centro era denominado equante.

Falsa Cruz: asterismo formado pelas estrelas kapa e delta Velorum, junto com iota e epsilon Carinae, que confundia os navegantes europeus no começo do século XVI.

Grandes Atlas: quatro atlas de grande importância na cartografia celeste, quer seja pela inovação, quer pela influência que tiveram nos atlas posteriores. Estes atlas (na ordem cronológica) são: *Uranometria* (1603), de Johann Bayer; *Firmamentum Sobiescianum* (1687), de Johannes Hevelius; *Atlas coelestis* (1729), de John Flamsteed e *Uranographia* (1801), de Johann Bode.

IAU (International Astronomical Union): União Astronômica Internacional; associação internacional de astrônomos profissionais, fundada em 1922.

magnitude: vocábulo usado para caracterizar o brilho de um astro, podendo ser um número positivo ou negativo, que é tanto maior quanto menor é o brilho do astro.

meridiano eclíptico: círculo máximo da esfera celeste que passa pelos pólos eclípticos.

movimento diurno: movimento aparente que todos os astros parecem descrever sobre a esfera celeste, de leste para oeste, causado pela rotação da Terra em torno de seu eixo.

nascer: aparecimento de um astro no horizonte leste, em virtude do movimento diurno.

nodo: se um corpo celeste está em movimento ao redor de outro, nodo é cada uma das interseções da órbita com um plano de referência (no caso dos planetas, é a eclíptica). Se o plano de referência já tiver um pólo norte definido, denomina-se nodo ascendente quando o astro passa do hemisfério sul para o norte, e descendente o caso oposto.

Nuvens de Magalhães: galáxias satélites da Via Láctea, visíveis a olho nu e próximas ao pólo sul celeste. A maior das duas chama-se Grande Nuvem de Magalhães e a menor Pequena Nuvem de Magalhães.

ocaso: desaparecimento de um astro no horizonte oeste, em virtude do movimento diurno.

oposição: configuração apresentada por dois astros no instante em que suas ascensões retas diferem de 180°.

passagem meridiana: posição de um astro quando, em seu movimento diurno, cruza o meridiano local.

planisfério: carta onde um hemisfério é representado num plano.

plano meridiano: plano que contém o eixo de rotação terrestre e a vertical de um lugar.

Ponto Vernal: ponto da esfera celeste situado na interseção da eclíptica com o equador celeste no qual o Sol, em seu movimento aparente anual, passa do hemisfério sul para o norte.

quadratura: configuração de dois astros tal que a diferença entre suas longitudes celestes é de 90° .

refração astronômica: variação da trajetória da luz ao atravessar a atmosfera. O resultado é que a posição observada do astro tem uma distância zenital menor que a real, ou seja, o astro parece sempre estar mais alto (em relação ao horizonte) do que realmente está.

retrogradação: fase do movimento aparente geocêntrico de um planeta no qual sua longitude diminui. Fenômeno resultante do fato da Terra e do planeta considerado se deslocarem ao redor do Sol com velocidades diferentes, a observação regular do planeta permite constatar que ele descreve uma série de laços no céu entre as constelações.

solstício: época em que o Sol, em seu movimento aparente na esfera celeste, atinge seu máximo afastamento do equador celeste.

zênite: interseção da vertical superior do lugar com a esfera celeste (é o ponto diametralmente oposto ao nadir).

zodíaco: faixa de 8° de um lado a outro da eclíptica.

APÊNDICES

Apêndice I – Sistemas de Coordenadas Astronômicas

Apêndice II – Precessão dos equinócios

Apêndice III – Tabela com as 88 constelações adotadas pela IAU desde 1922

Apêndice I

Sistemas de Coordenadas Astronômicas

A Astrometria é a área da Astronomia que se ocupa do estudo das posições e movimentos relativos dos astros, sem levar em conta as propriedades físicas dos mesmos. O conceito fundamental usado nesse estudo é o de esfera celeste, que consiste em considerarmos todos os astros situados sobre a superfície de uma esfera, com o observador ocupando seu centro. Desta forma, é necessário usar um sistema de coordenadas para definir a posição de um astro na superfície dessa esfera. A escolha de um sistema adequado a um dado problema astronômico é fundamental para a solução rápida e fácil do mesmo.

Sistema de coordenadas equatoriais gerais

Esse sistema de referências utiliza como planos fundamentais, o plano do equador celeste e um plano meridiano, passando pelo Ponto Vernal (também chamado ponto γ), que não é fixo em relação ao observador, participando do movimento da esfera celeste. A posição de um astro nesse sistema é dada pelas coordenadas:

- Ascensão Reta (α): é o ângulo, medido sobre o equador celeste, entre o meridiano que passa pelo ponto γ e o círculo horário que passa pelo astro. A contagem é efetuada no sentido anti-horário quando vista desde o pólo norte. Assim, teremos:

$$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$$

É mais comum, no entanto, a utilização da medida angular em horas:

$$0 \leq \alpha \leq 24\text{h}$$

- Declinação (δ): é o ângulo, medido sobre um círculo horário, entre o equador celeste e o paralelo que passa pelo astro. Por convenção, a declinação é positiva para astros do hemisfério norte celeste e negativa para os do sul. Assim:

$$-90^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$$

Sistema de coordenadas eclípticas

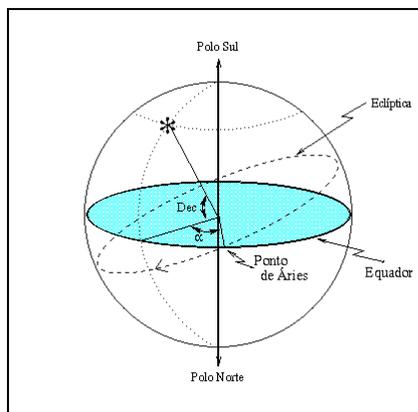
Utiliza como plano fundamental o plano da eclíptica, a partir do ponto γ . As coordenadas de um astro nesse sistema são:

- Longitude Eclíptica (λ): é o ângulo, medido sobre a eclíptica, a partir do ponto γ , no sentido do movimento aparente anual do Sol, até o meridiano eclíptico que passa pelo astro considerado. Assim:

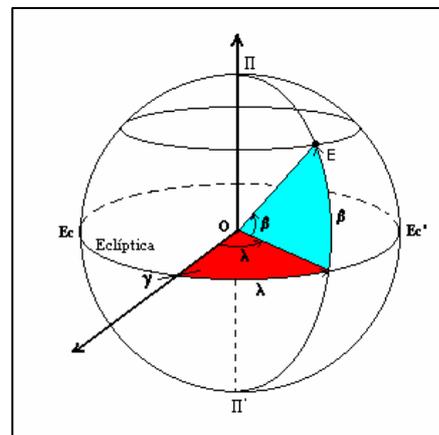
$$0^\circ \leq \lambda \leq 360^\circ$$

- Latitude Eclíptica (β): é o ângulo, medido sobre o meridiano eclíptico, entre a eclíptica e o paralelo que passa pelo astro. É considerada positiva para astros do hemisfério norte eclíptico, e negativa para os do sul. Logo:

$$-90^\circ \leq \beta \leq +90^\circ$$



Coordenadas equatoriais gerais.



Coordenadas eclípticas.

Apêndice II

Precessão dos equinócios

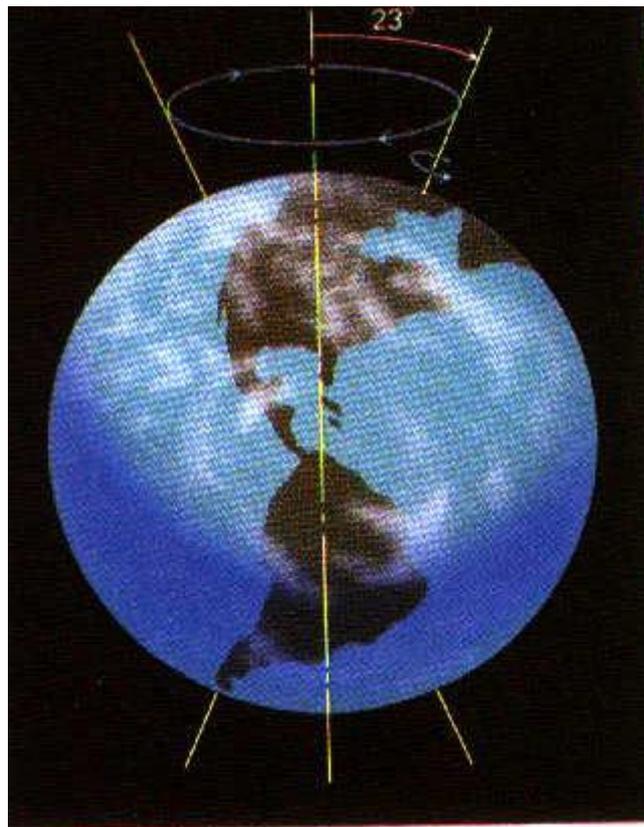
A perturbação nos movimentos de rotação e revolução da Terra (devido às forças gravitacionais do Sol e da Lua) gera uma variação no plano fundamental (equador celeste). Em consequência do movimento desse plano, as coordenadas (equatoriais e eclípticas) das estrelas variam com o tempo e devem ser corrigidas quando desejamos descrever fenômenos cuja escala de tempo é superior a meses ou anos.

A variação secular das longitudes eclípticas foi descoberta por Hiparco em 129 a.C., ao comparar a longitude da estrela Spica (α Virginis) medida por ele ($\lambda=174^\circ$) com a de outro astrônomo grego, Timócaris ($\lambda=172^\circ$), obtida em 273 a.C. durante um eclipse lunar. Hiparco interpretou a variação de 2° em λ (ocorrida num intervalo de 144 anos) como um movimento retrógrado do Ponto Vernal em relação às estrelas, ou seja, como uma rotação da esfera celeste (no sentido direto) em torno do pólo norte eclíptico.

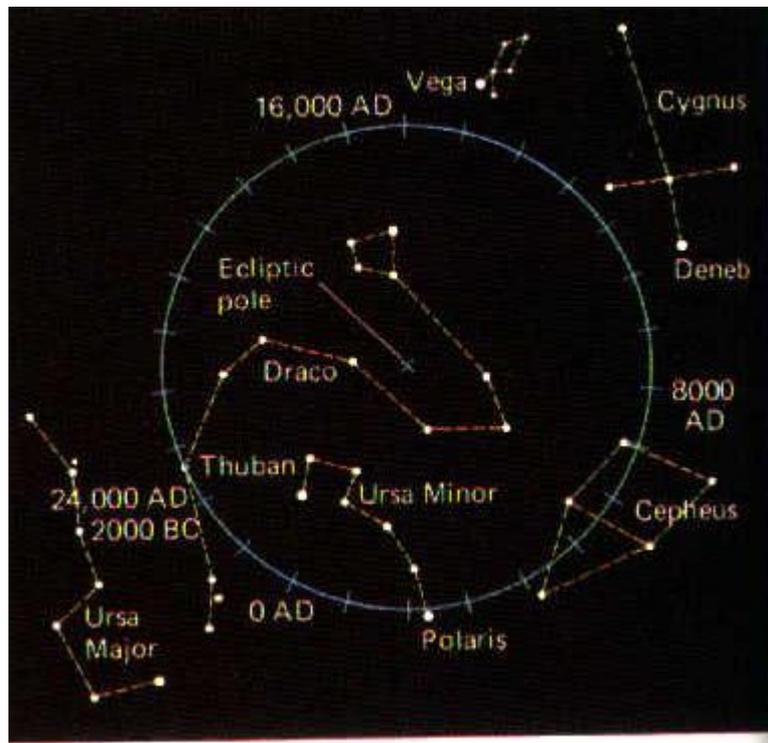
Com a teoria de Copérnico e a gravitação universal, surgiu a interpretação admitida hoje como mais provável: a direção do eixo de rotação da Terra varia com o tempo; o eixo descreve um cone de revolução em torno dos pólos da eclíptica, num período de cerca de 25.868 anos.

Assim, os equinócios e solstícios passam de uma constelação para a imediatamente posterior, no sentido oposto ao do movimento anual aparente do Sol, a cada 2.160 anos aproximadamente (na verdade, o Ponto Vernal percorre as constelações em intervalos de tempo bem diferentes, devido a forma como a IAU dividiu o céu: demorou 2.600 anos em Touro e “apenas” 1.800 em Carneiro). Se em 144 anos o Ponto Vernal retrogradou 2° , isto significa que, em média, ele se desloca sobre a eclíptica cerca de $50,2''$ por ano. Ao fenômeno de retrogradação do Ponto Vernal dá-se o nome de precessão dos equinócios (do latim *precedere*, “chegar antes”).

Atualmente, a estrela Polar (α Ursae Minoris) fica muito próxima do pólo norte celeste, o ponto do céu observável do hemisfério norte em torno do qual parece girar o firmamento. Há 4.500 anos este ponto era marcado pela estrela Thuban (α Draconis). Devido ao contínuo efeito da precessão, a Polar será substituída pela quinta estrela mais brilhante do céu, Vega (α Lyrae), por volta do ano 14000.



Precessão dos equinócios.



Efeito da precessão no polo norte celeste.

Apêndice III

Tabela com as 88 constelações adotadas pela IAU desde 1922

Embora a lista oficial das 88 constelações adotadas pela União Astronômica Internacional tenha sido elaborada em 1922, apenas em *Delimitation Scientifique des Constellations* (Bruxelas, 1928) o astrônomo belga Eugène Delporte (1882-1955) estabeleceu limites entre as constelações, dividindo a esfera celeste em 89 regiões (a constelação da Serpente é composta de dois pedaços distintos: Cabeça e Cauda).

Latim	Português	Abrev	Genitivo	Área⁽⁵⁾	Posição⁽⁶⁾
Andromeda	Andrômeda	And	Andromedae	722.28	19
Antlia	Máquina Pneumática	Ant	Antliae	238.90	62
Apus	Ave do Paraíso	Aps	Apodis	206.32	67
Aquarius	Aquário	Aqr	Aquarii	979.85	10
Aquila	Águia	Aql	Aquilae	652.47	22
Ara	Altar	Ara	Arae	237.06	63
Aries	Carneiro	Ari	Arietis	441.39	39
Auriga	Cocheiro	Aur	Aurigae	657.44	21
Boötes	Boieiro	Boo	Boötis	906.83	13
Caelum	Buril	Cae	Caeli	124.86	81
Camelopardalis	Girafa	Cam	Camelopardalis	756.83	18
Cancer	Caranguejo	Cnc	Cancris	505.87	31
Canes Venatici	Cães de Caça	CVn	Canum Venaticorum	465.19	38
Canis Major	Cão Maior	CMA	Canis Majoris	380.11	43
Canis Minor	Cão Menor	CMi	Canis Minoris	183.37	71
Capricornus	Capricórnio	Cap	Capricorni	413.95	40
Carina	Quilha	Car	Carinae	494.18	34
Cassiopeia	Cassiopeia	Cas	Cassiopeiae	598.41	25
Centaurus	Centauro	Cen	Centauri	1060.42	9

<i>Latim</i>	<i>Português</i>	<i>Abrev</i>	<i>Genitivo</i>	<i>Área</i>⁽⁵⁾	<i>Posição</i>⁽⁶⁾
Cepheus	Cefeu	Cep	Cephei	587.79	27
Cetus	Baleia	Cet	Ceti	1231.41	4
Chamaeleon	Camaleão	Cha	Chamaeleontis	131.59	79
Circinus	Compasso	Cir	Circini	93.35	85
Columba	Pomba	Col	Columbae	270.18	54
Coma Berenices	Cabeleira de Berenice	Com	Comae Berenices	386.47	42
Corona Australis	Coroa Austral	CrA	Coronae Australis	127.69	80
Corona Borealis	Coroa Boreal	CrB	Coronae Borealis	178.71	73
Corvus	Corvo	Crv	Corvi	183.80	70
Crater	Taça	Crt	Crateris	282.40	53
CruX	Cruzeiro do Sul	Cru	Crucis	68.45	88
Cygnus	Cisne	Cyg	Cygni	803.98	16
Delphinus	Delfim	Del	Delphini	188.54	69
Dorado	Dourado	Dor	Doradus	179.17	72
Draco	Dragão	Dra	Draconis	1082.95	8
Equuleus	Cavalo Menor	Equ	Equulei	71.64	87
Eridanus	Erídano	Eri	Eridani	1137.92	6
Fornax	Forno	For	Fornacis	397.50	41
Gemini	Gêmeos	Gem	Geminorum	513.76	30
Grus	Grou	Gru	Grusis	365.51	45
Hercules	Hércules	Her	Herculis	1225.15	5
Horologium	Relógio	Hor	Horologii	248.88	58
Hydra	Hidra Fêmea	Hya	Hydrae	1302.84	1
Hydrus	Hidra Macho	Hyi	Hydri	243.04	61
Indus	Índio	Ind	Indi	294.01	49
Lacerta	Lagarto	Lac	Lacertae	200.69	68
Leo	Leão	Leo	Leonis	946.96	12
Leo Minor	Leão Menor	LMi	Leonis Minoris	231.96	64
Lepus	Lebre	Lep	Leporis	290.29	51

Latim	Português	Abrev	Genitivo	Área⁽⁵⁾	Posição⁽⁶⁾
Libra	Balança	Lib	Librae	538.05	29
Lupus	Lobo	Lup	Lupi	333.68	46
Lynx	Lince	Lyn	Lyncis	545.39	28
Lyra	Lira	Lyr	Lyrae	286.48	52
Mensa	Mesa	Men	Mensae	153.48	75
Microscopium	Microscópio	Mic	Microscopii	219.51	66
Monoceros	Unicórnio	Mon	Monocerotis	481.57	35
Musca	Mosca	Mus	Muscae	138.36	77
Norma	Esquadro	Nor	Normae	165.29	74
Octans	Oitante	Oct	Octantis	291.05	50
Ophiuchus	Ofiúco	Oph	Ophiuchi	948.34	11
Orion	Órion	Ori	Orionis	594.12	26
Pavo	Pavão	Pav	Pavonis	377.67	44
Pegasus	Pégaso	Peg	Pegasi	1120.79	7
Perseus	Perseu	Per	Persei	615.00	24
Phoenix	Fênix	Phe	Phoenicis	469.32	37
Pictor	Pintor	Pic	Pictoris	246.73	59
Pisces	Peixes	Psc	Piscium	889.42	14
Piscis Austrinus	Peixe Austral	PsA	Piscis Austrini	245.37	60
Puppis	Popa	Pup	Puppis	673.43	20
Pyxis	Bússola	Pyx	Pyxidis	220.83	65
Reticulum	Retículo	Ret	Reticuli	113.94	82
Sagitta	Flecha	Sge	Sagittae	79.93	86
Sagittarius	Sagitário	Sgr	Sagittarii	867.43	15
Scorpius	Escorpião	Sco	Scorpii	496.78	33
Sculptor	Escultor	Scl	Sculptoris	474.76	36
Scutum	Escudo	Sct	Scuti	109.11	84
Serpens	Serpente	Ser	Serpentis	636.92	23

Latim	Português	Abrev	Genitivo	Área⁽⁵⁾	Posição⁽⁶⁾
Sextans	Sextante	Sex	Sextantis	313.51	47
Taurus	Touro	Tau	Tauri	797.25	17
Telescopium	Telescópio	Tel	Telescopii	251.51	57
Triangulum	Triângulo	Tri	Trianguli	131.85	78
Triangulum Australe	Triângulo Austral	TrA	Trianguli Australis	119.98	83
Tucana	Tucano	Tuc	Tucanae	294.56	48
Ursa Major	Ursa Maior	UMa	Ursae Majoris	1279.66	3
Ursa Minor	Ursa Menor	UMi	Ursae Minoris	255.86	56
Vela	Vela	Vel	Velorum	499.65	32
Virgo	Virgem	Vir	Virginis	1294.43	2
Volans	Peixe Voador	Vol	Volantis	141.35	76
Vulpecula	Raposa	Vul	Vulpeculae	268.17	55

⁽⁵⁾ Em graus quadrados.

⁽⁶⁾ Em relação à área.

Créditos das imagens

As Figuras 1 a 17 (capítulo sobre História da astronomia) foram retiradas de: CARVALHO, J. P. M. *Uma odisséia no tempo: introdução à história da astronomia*. Porto: Universidade do Porto, 2000.

Todas as figuras do capítulo sobre **Evolução da cartografia celeste** foram tiradas do site disponível em: <http://www.lindahall.org/events_exhib/exhibit/exhibits/stars/index.html>, exceto:

- Figuras 19, 20 e 31, retiradas de: STOTT, C. *Cartas Celestes: antigos mapas do céu*. Lisboa: Dinalivro, 1991.
- Figuras 26 e 27, retiradas do site disponível em: <<http://www.atlascoelestis.com/durer.htm>>.
- Figuras 21 e 35, retiradas do site disponível em: <<http://www.ianridpath.com/startales>>.
- Figura 24, retirada do site disponível em: <<http://www.nla.gov.au/apps/cdview?pi=nla.ms-ms7860-2-s10-v>>.
- Figura 25, retirada do site disponível em: <<http://jangadabrasil.com.br>>.
- Figura 34, retirada do site disponível em: <<http://www.geocities.com/edovila/astro/SouthernCross.html>>.
- Figura 37, retirada do site disponível em: <www.seds.org/~spider/Spider/Vars/sn1572.html>.
- Figura 65, retirada do site disponível em: <<http://www.constellationsofwords.com/Constellations/Virgo.html>>.
- As figuras do Apêndice I foram retiradas do site disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/coord.htm>>.
- As figuras do Apêndice II foram retiradas do site disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/teaching/astron/preces>>.

Todas as figuras utilizadas apenas com fins didáticos.