

Ptolomeu? No Ano Internacional da Astronomia? — Parte II

Maria José Costa

3. Ptolomeu astrónomo

3.1. Rebatendo acusações...

3.1.1.

Um leitor mais atento conclui que enquanto Hiparco usava coordenadas baseadas no equador, ou seja, recorria à ascensão recta (medida em graus, ao longo do equador, desde o ponto vernal [um dos pontos de intersecção da eclíptica com o equador; o outro é o ponto outonal. Estes pontos estão dia-

metralmente opostos e o primeiro marca o início da Primavera] e à declinação (também em graus, mas norte sul desde o equador), Ptolomeu usava o sistema de coordenadas já utilizado pelos astrónomos babilónicos, os primeiros a introduzir as coordenadas celestes, baseado na eclíptica [linha que o Sol parece descrever no seu movimento ao longo do ano]: longitude (também desde o ponto vernal e em graus, mas ao longo da eclíptica) e a latitude (em graus, norte sul desde a eclíptica). Só por isto se veria que não há apenas repetição dos textos de Hiparco mas que há trabalho pessoal.

3.1.2.

Quando Ptolomeu retoma trabalhos precedentes, de Hiparco em particular, seja para corrigir resultados, esclarecer procedimentos, por vezes fazendo demonstração, ou apenas coligir elementos por eles recolhidos, não omite o nome do autor, antes pelo contrário, fá-lo de uma forma clara. Vejamos um exemplo.

O título do capítulo X do livro IV, em linguagem actual, pode ser: *A diferença entre os resultados encontrados por Hiparco e por nós próprios para a anomalia da Lua, não provem da diferença das hipóteses mas dos seus cálculos* [recorde-se que por *anomalia verdadeira da Lua* se entende o ângulo do eixo maior da sua órbita com o raio vector, contado desde o periélio e no sentido do movimento do planeta; a diferença desta para a anomalia média está em esta supor constante a velocidade do movimento].

Em capítulos anteriores a este, Ptolomeu repete os cálculos necessários e obtém resultados diferentes dos de Hiparco, confiando mais nos que acabou de determinar do que nos recolhidos: analisando os eclipses que Hiparco considerou e as deduções que deles fez sobre os tempos decorridos, Ptolomeu conclui que há erros e que a diferença de resultados não provém da escolha de hipóteses mas desses erros de cálculo que Hiparco terá cometido. *Depois [d]estas demonstrações, pode haver quem questione a razão dos eclipses empregues por Hiparco para o cálculo da anomalia não darem os mesmos resultados que encontramos (...)* Ora, Hiparco refez os cálculos em ambas as hipóteses mas usando pares de eclipses diferentes em ambas as hipóteses, o que Ptolomeu contesta: mudando a hipótese facilitaria a comparação dos resultados manter os eclipses!

Ora se Ptolomeu reescreveu textos de astrónomos precedentes, refazendo cálculos, corrigindo resultados, esclarecendo conceitos por vezes com demonstrações, então fê-lo de um modo construtivo e esclarecedor, com olhar de revisor atento ao conteúdo e não como um mero escriba ...

3.1.3.

No próprio *Almagesto* pode-se ler: *Fomos conduzidos a conjecturar e nos assegurar, tanto pelas observações de Hiparco ao movimento da Lua, e pelas descrições que ele deu, como pelas nossas próprias observações com a ajuda de um instrumento (...)*. Ora esta frase é uma declaração da sua actividade de observador!

Numa listagem com 94 entradas sobre as datas julianas das observações mencionadas no *Almagesto*, há registos de 35 observações efectuadas por Ptolomeu, a primeira das quais no ano de 127 e a última no de 141 (uma delas, realizada em 138, não indica o observador e uma outra, em 125 deixa a dúvida quanto ao observador).

Algumas destas observações terão sido feitas com instrumentos: 21 com o astrolábio, uma com a *dioptra* (em 139) e outra com o *instrumento paraláctico* (em 135).

3.1.4.

(...) construímos um instrumento com ajuda do qual podemos observar o mais exactamente possível, de quanto é a paralaxe da Lua (...).

Trata-se, provavelmente, do *instrumento paraláctico* já citado. E a seguir descreve-o:

- tomar duas régua com quatro faces [provavelmente com a forma de paralelepípedos rectângulos, as populares barras ou ripas, consoante a relação entre as dimensões da secção], cada uma com pelo menos quatro côvados de comprimento [unidade correspondente a 66 cm] e que sejam suficientemente proporcionadas na espessura para não encurvar em nenhuma das suas faces.
- traçar a mediana da face mais larga.
- fixar em cada extremidade de uma das barras, perpendicularmente a esta e sobre a mediana, pequenas pínulas prismáticas rectas e iguais, cada uma delas perfuradas no centro mas com orifícios de tamanhos diferentes.
- perfurar também cada uma das régua segundo a mediana numa das extremidades; na que tem as pínulas, este orifício fica perto da pínula que tem o maior furo.
- colocar a régua com as pínulas sobre a outra e adaptar uma cavilha que as fixe segundo o eixo, de modo que a primeira possa rodar sobre a outra com centro na cavilha.
- fixar invariavelmente a régua sem pínulas de pé sobre uma base.
- dividir a mediana da régua fixa em 60 partes iguais, cada uma destas a ser subdividida.
- em cada uma das extremidades da vara fixa prender dois prismas de faces paralelas, centrados na mediana e de modo que cada um fique com um par de faces paralelas ao do outro.
- passar um fio com um chumbo por esses prismas, para garantir a perpendicular ao plano do horizonte [isto confere-lhe o papel de fio de prumo].
- adaptar a estas duas uma outra régua, fina, disposta de maneira que rodando por uma cavilha colocada perto da extremidade inferior da linha graduada dê a distância desta à extremidade da outra até à abertura máxima.

Entre a descrição surge uma figura que é, provavelmente, o instrumento em questão e que o astrónomo está a utilizar na figura 1.

Ptolomeu expõe como determinar a distância zenital [ângulo entre a vertical da Lua com este instrumento].

Sugere, justificando, que a observação seja feita na passagem no meridiano e perto de um solstício sobre a eclíptica:

- escolher um lugar sem sombra.
- desenhar no chão uma linha meridiana paralela ao plano horizontal.
- apontar as faces das régua unidas pela cavilha para o meio dia, de modo que fiquem paralelas e horizontais.
- fixar perpendicularmente a régua graduada numa base segura, de modo que se possa rodar a outra régua sem que a primeira se altere.
- rodar a outra régua, a que tem as pínulas, paralelamente ao horizonte, em volta da cavilha.

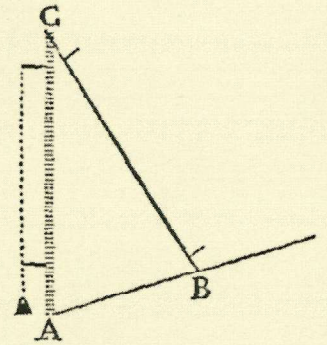
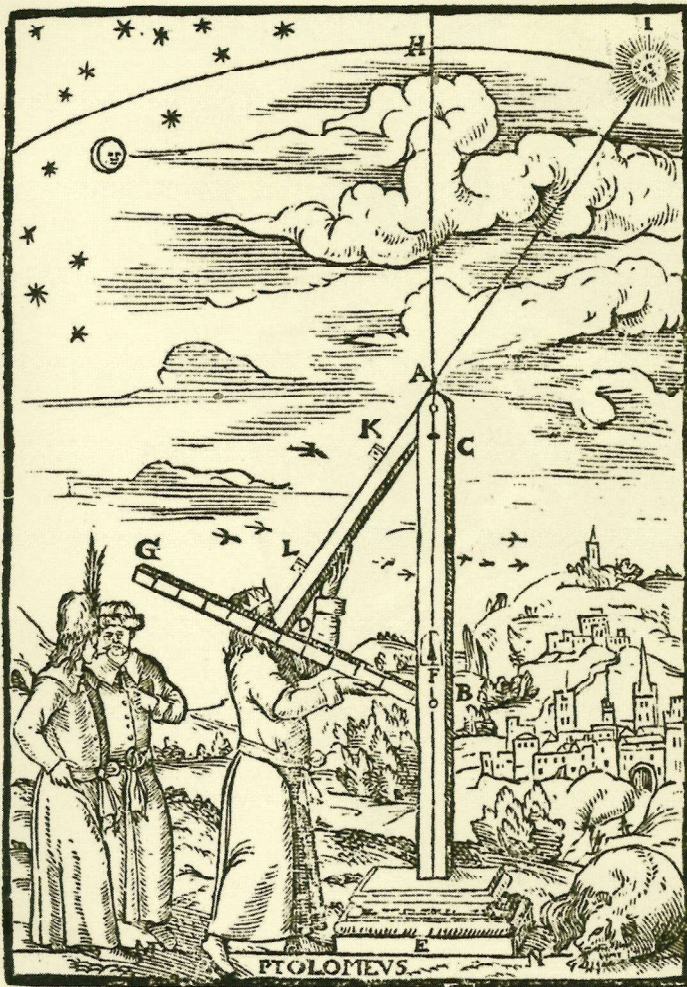


Figura 1. [Ao lado] Triqueto de Ptolomeu ou régua paraláctica [in William Cunningham: *The Cosmological Glasse, conteynng the Pleasant Principles of Cosmographie, Geographie, Hydrographie, or Navigation* [1559]].

[Em cima] Esquema do Triqueto tal como surge numa edição do *Almagesto*.

- espreitar pelo orifício mais pequeno, procurando ver a Lua pelo maior [ou seja: o mais pequeno vai funcionar como ocular e o outro como objectiva].
- ler a distância entre os extremos das duas barras na barra fina.

Ora esta distância agora lida, é o comprimento de uma das cordas do círculo descrito com centro na cavilha e raio igual às 60 partes marcadas na régua fixa. A «sua» tábua de cordas permitirá determinar a amplitude do ângulo entre as duas régua, que não é mais do que a declinação pretendida.

Adiante explica como o utilizou em Alexandria para observar a paralaxe da Lua, como relaciona os valores lidos e as razões que o levaram a optar pelo solstício de Inverno.

Ao que parece, também conhecido como régua paraláctica, era o instrumento astronómico de precisão mais simples usado na antiguidade e que se manteve em utilização durante a idade média: Copérnico também o usou. Também é referido como o *triqueto paraláctico*.

3.1.5.

No capítulo intitulado *grandezas dos diâmetros aparentes do Sol, da Lua e da sombra nas sízias* [conjunção ou oposição do

Sol e um planeta; lua cheia ou lua nova] e para avaliar correctamente o diâmetro da Lua, Ptolomeu diz: *Construímos um instrumento especial descrito por Hiparco (com pínulas)*.

Descreve-o apenas como composto por uma régua com quatro côvados de comprimento, obviamente com duas pínulas.

É designada por *Dioptra*. Trata-se de um aparelho muito simples, como se vê na figura 2.

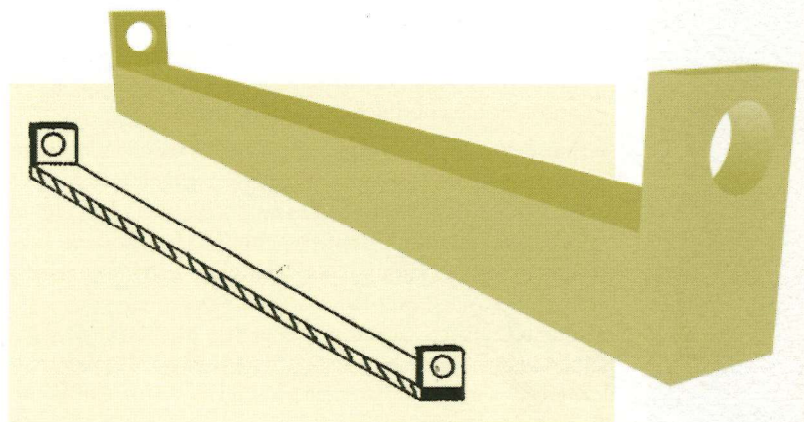
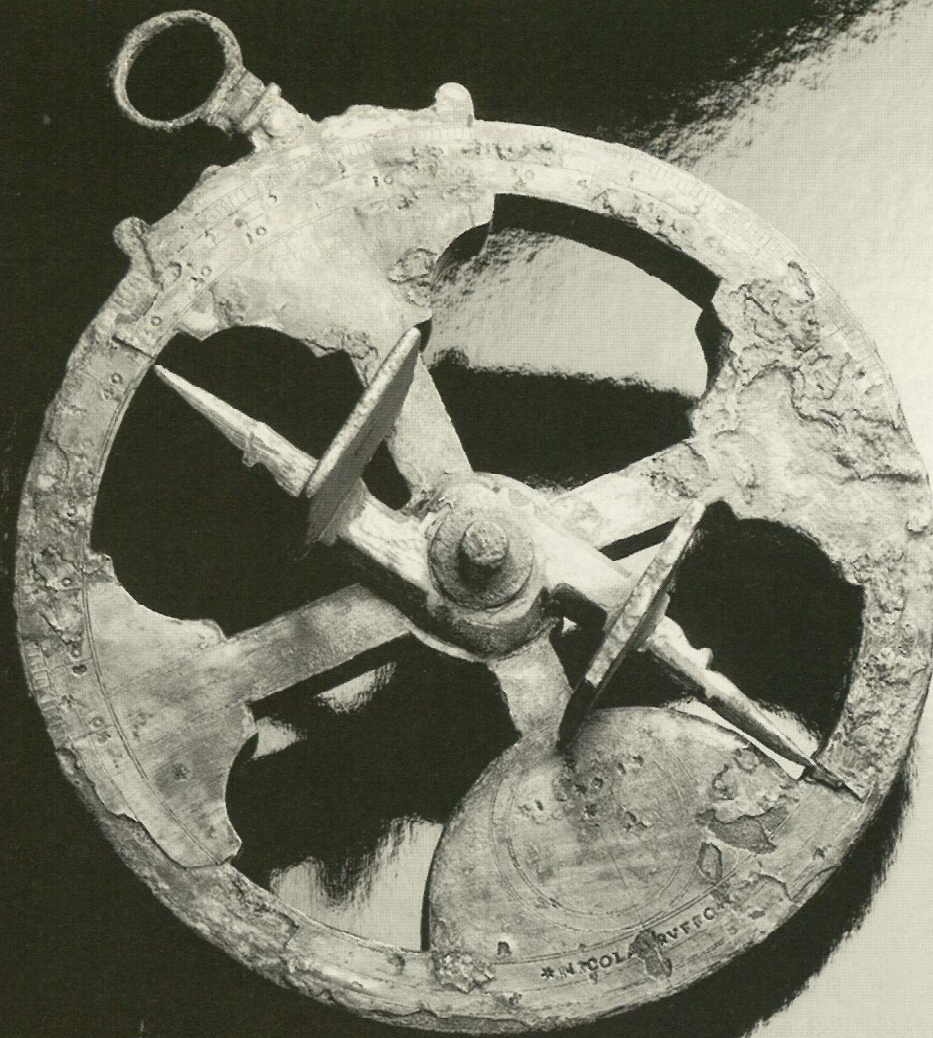


Figura 2. Dioptra: original do *Almagesto* e reprodução moderna em 3D



O mesmo nome é atribuído a um instrumento geodésico descrito por Heron de Alexandria talvez utilizado para construir edifícios gregos (por exemplo, o túnel de Samos). Neste sentido poderá ser o antepassado do actual teodolito.

3.1.6.

À pergunta «o que é um astrolábio?», provavelmente a maioria das respostas cairiam em um destes dois grupos:

- um disco graduado vazado com um ponteiro (referência à alidade), uma clara alusão aos astrolábios náuticos muito falados a propósito das comemorações dos 500 anos dos Descobrimentos Portugueses.
- um disco graduado e gravado de ambos os lados, com várias peças móveis, girando todas em volta do mesmo centro, umas na face, outras no dorso, uma clara alusão aos astrolábios astronómicos, como o que existe no Observatório de Coimbra, por exemplo.

Esta grande diferença tem a ver com a finalidade de cada um: enquanto o primeiro se destina a usar no alto mar, tem de oferecer a menor resistência possível ao vento, é utilizado

apenas para determinar a altura do Sol ou medir a distância zenital do Sol, o que só exige a existência da roda graduada (o tal disco) e da mediclina (o ponteiro, de pontas afiadas para facilitar a leitura sobre a roda e com duas pínulas perpendicularmente à mediclina; uma delas tem ainda um orifício circular para permitir obter na outra uma imagem do Sol). Apresenta dois quadrantes opostos graduados de 0 a 90. O zero começou por ser considerado no extremo do diâmetro horizontal e a leitura conduzia directamente à altura do Sol: o ângulo da inclinação da linha de enfiamento das duas pínulas com o horizonte. Mais tarde, nos astrolábios portugueses o zero mudou para o extremo do diâmetro vertical; assim, o instrumento dá um valor complementar do anterior, que é a distância zenital do Sol, ângulo formado pela vertical do lugar, dada pelo fio de prumo, com a linha de fé do astrolábio (linha definida pela luz ao atravessar ambas as pínulas ou por uma até à outra) a principal vantagem situa-se ao nível da determinação da latitude do local da observação.

As medições eram feitas com algum rigor à custa da chamada escala diagonal (conjunto de cinco círculos concên-

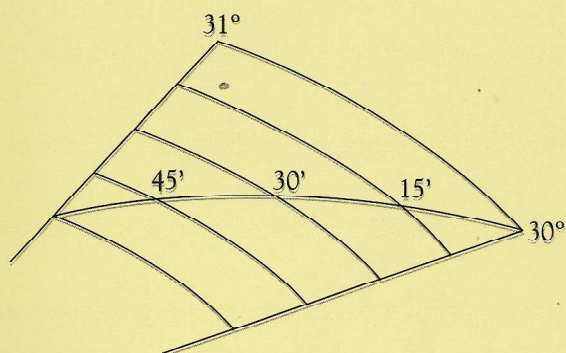


Figura 3.

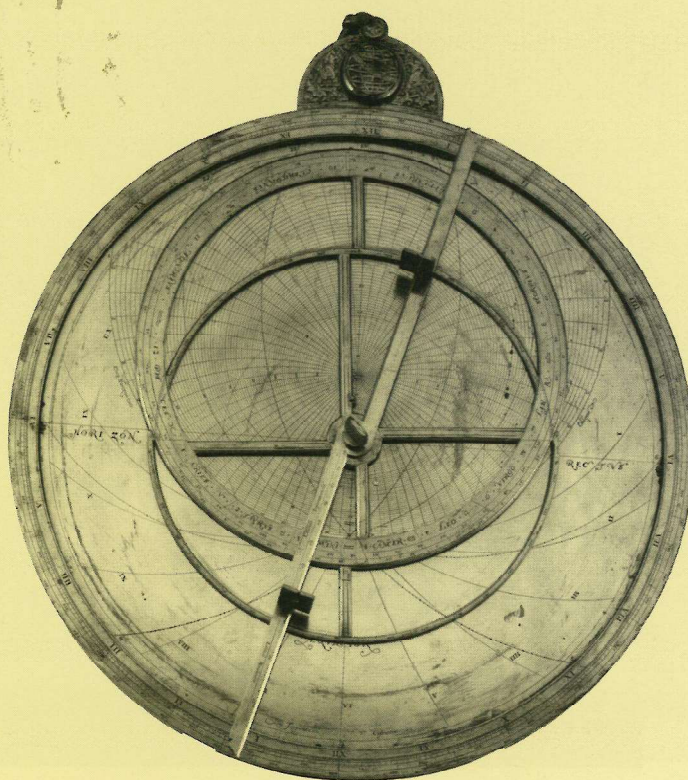


Figura 4.

tricos e equidistantes e uma curva diagonal) existente na face anterior do astrolábio e que permitia dividir o ângulo *um grau*; esta escala, garantia, portanto, uma leitura do número inteiro de graus e uma fracção de 15, 30 ou 45 minutos (figura 3).

É o astrolábio náutico, descendente do astrolábio planisférico do qual mantém a roda, dois diâmetros perpendiculares e a mediclina, aparece em data incerta mas provavelmente durante o primeiro quartel do séc. XVI, e da autoria de portugueses (figura 4).

O astrolábio se inventou em Portugal em tempo del-Rei Dom João o segundo por Mestre Rodrigo, e mestre José, seus médicos, e por Martim de Boémia, discípulo do grande João de Monte Régio (...); ora, uma nota no fim da frase esclarece que esta afirmação deve provir de uma interpretação errada de um passo das *Décadas* de João de Barros (Pimentel, p. 69). Haverá aqui alguma confusão: D. João II foi rei entre 1481 e o ano em que faleceu 1495, muito antes do primeiro quartel

do séc. XVI; nesta época reinaria D. Manuel I (1495–1521) ou D. João III (1521–1557).

Para fazer determinações o astrolábio era seguro com uma mão, suspenso livremente numa cábrea ou dependurado ao nível da cintura do observador como se fosse uma balança de pratos; talvez por esta última posição, esta operação tenha ficado conhecida como «pesar» o Sol.

Já o segundo permite outras determinações como a hora, quer diurna quer nocturna, além da determinação da latitude, tal como com o anterior e ainda o lugar do Sol no Zodíaco por meio das coordenadas, longitude celeste e declinação, e outros astros. Para tudo isso apresenta, distribuídos por ambos os lados, instrumentos de medição de ângulos, tabelas e funções.

Também era usado para resolver problemas geométricos como determinar a altura de um edifício ou a profundidade de um poço. O processo de utilização é o mesmo!



Figura 5. Astrolábio esférico.

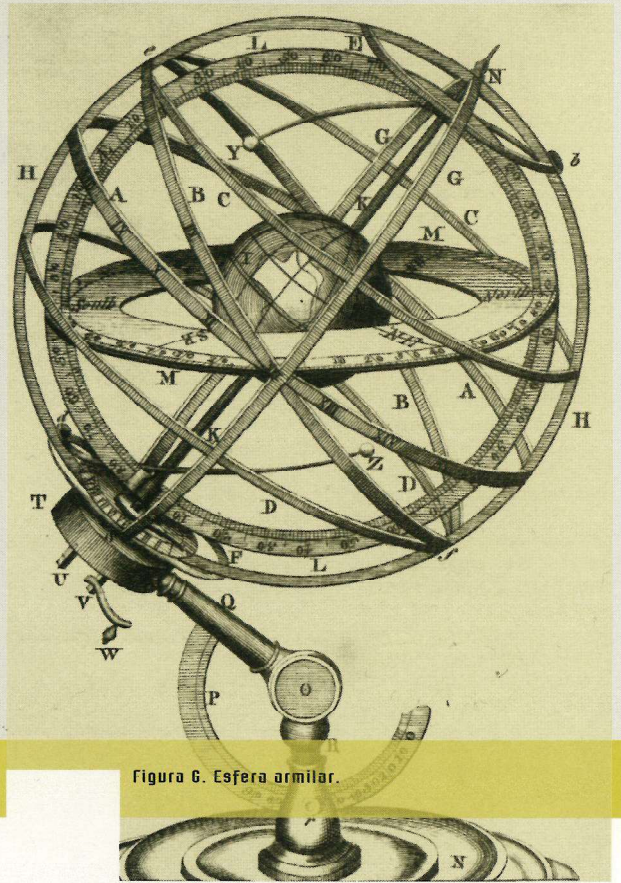


Figura 6. Esfera armilar.

Além destes objectos, que apesar de distintos pela forma e pela função têm o mesmo nome, há ainda outros bem mais distantes dos referidos. Tiveram a sua época os astrolábios esféricos (figura 5). O globo representa a terra, e por meio de um eixo, que já não existe neste modelo, podia ser utilizado em qualquer latitude.

E os astrolábios circulares, que mais não eram do que listas de estrelas, gravadas numa placa de forma circular como as que existiram cerca de 650 a.C. na Babilónia

E se a pergunta fosse «O que é uma esfera armilar?», provavelmente ouviríamos referência à nossa bandeira, mas também podíamos ouvir que é um instrumento de astronomia aplicado em navegação, como um modelo reduzido da esfera celeste, mecanismos de articulação para reproduzir os movimentos da mecânica celeste para fins didácticos, esfera vazada feita de círculos (anéis) graduados, concêntricos articulados nos pólos e outros perpendiculares representando o equador, a eclíptica os meridianos e os paralelos.

As esferas armilares eram utilizadas para diversos fins; a título de exemplo mostramos dois.

- Relógios de Sol formados de anéis: modelo do século XVI, com quatro anéis, um deles com as constelações do Zodíaco e outro dividido em 12 partes de ambos os lados.
- Modelo de sistemas solares (figura 6).

Ou seja: as esferas armilares podem contribuir para formar modelos representativos ou modelos que permitam efectuar leituras.

Nos tempos que correm, menos expectável seria que alguém respondesse à última pergunta «é um astrolábio», apesar de numa enciclopédia e num dicionário, ambos da responsabilidade da editora Lello & Irmão, aparecer desenhada uma esfera armilar na entrada correspondente a astrolábio...

Mesmo correndo o risco de parecer uma contradição, a verdade é que também já eram conhecidas na Antiguidade as esferas armilares ou astrolábios. (...).

Talvez as navegações marítimas sejam responsáveis por termos esquecido isto: o mais importante era o astrolábio náutico e, por isso, talvez seja este ou quando muito o astrolábio planisférico o mais presente nas nossas memórias.

3.1.7. O Astrolábio de Ptolomeu

Ptolomeu (140 d.C.) também construiu um astrolábio esférico similar a uma esfera armilar mas não terá sido o primeiro a observar com o astrolábio: Apolónio de Perga (ca. 225 a.C.) e Hiparco de Nicea (180 a.C.) também se dedicaram ao assunto, embora só o astrolábio planisférico tenha merecido a sua atenção; vestígios da cultura Suméria mostram que os astrólogos o utilizavam desde 5.000 a.C. para elaborar os horóscopos. A sua descrição consta do Capítulo I do Livro V do *Almagesto*, com a intenção de o ensinar a construir e a usar.

Dispensamo-nos de a apresentar pela extensão e complexidade, mesmo em tradução livre do registo seguido deixado e sem qualquer figura de apoio. Mas depois de uma leitura meditada, conclui-se que a figura que consta na folha de rosto de edição do *Almagesto* diz respeito ao astrolábio concebido (figura 7).

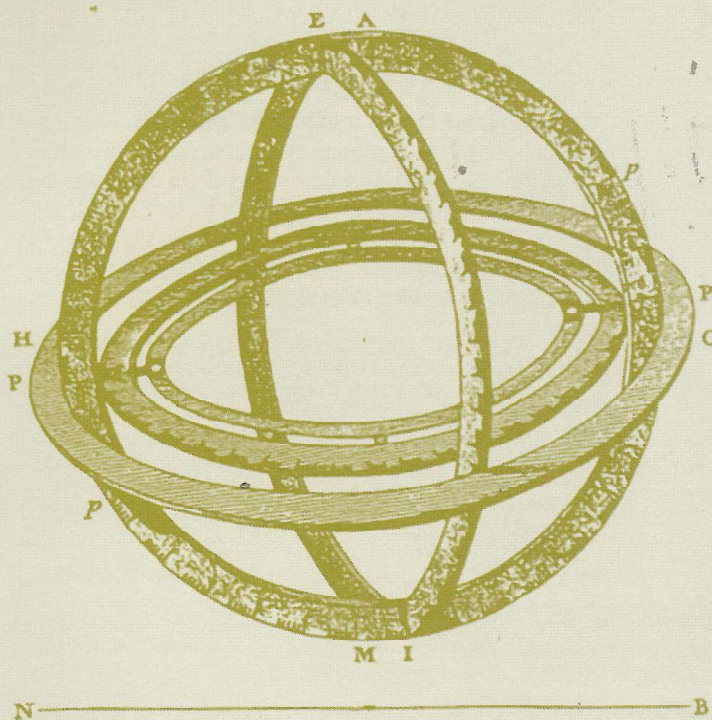


Figura 7.

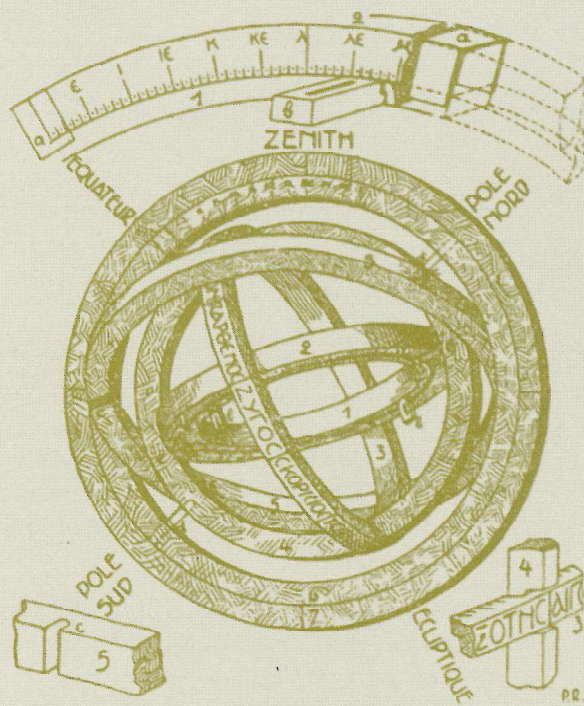


Figura 8.

Numa feliz consulta deparamo-nos com uma imagem inequívoca: trata-se de uma reconstrução deste instrumento, elaborada em 1927, presentemente na Biblioteca da Universidade de Cincinnati (figura 8).

Na reconstrução da *esfera armilar* de Ptolomeu, como por vezes é referido o astrolábio deste astrónomo,

- *dd'* e *ee* são eixos de rotação da figura.
- o anel 7 é fixo e é colocado no plano do meridiano.
- o anel 6 roda dentro do anel 7 para ajustar o instrumento à latitude geográfica.
- os anéis de 1 a 5 podem rodar como um todo em volta do eixo *dd'* simulando a rotação diurna.
- o anel 1 roda dentro do anel 2 e está equipado com visores [antes referidos como pínulas]; é usado para medir a latitude das estrelas.
- os anéis 2 e 5 podem rodar independentemente um do outro em torno do eixo *ee*, atravessando o anel 4, o coluro solsticial [o meridiano dos solstícios].
- o anel 4 está rigidamente ligado ao anel 3, o anel da eclíptica.
- o anel 5 é usado para medir a longitude das estrelas.

Uma outra preocupação de Ptolomeu é como medir a longitude da Lua com este instrumento.

Fá-lo em duas hipóteses.

1.^a. O sol e a lua estão ambos acima do horizonte.

Colocar o instrumento ao longo do meridiano e ajustado à latitude local:

- rodar o anel 5 para o valor da longitude do Sol marcado no anel da eclíptica 3, lida por observação (e explica como) ou calculada teoricamente.
- rodar o anel 2, sem alterar a posição de qualquer um dos outros anéis, até que a Lua toque o seu limbo.
- colocar o olho perto do anel 2 até se ver a Lua perto de ambos os arcos opostos do mesmo anel.

Então, o anel 2 indica a longitude da Lua na escala do anel 3.

2.^a. Depois do pôr-do-sol, seleccionar uma estrela e proceder como anteriormente, com os anéis 2 e 5, para medir a distância longitudinal entre a Lua e essa estrela.

3.1.8. Catálogo de estrelas

Tal como o índice sugere, Ptolomeu agrupou em capítulos diferentes as estrelas fixas visíveis por hemisfério; no total catalogou 1022 estrelas, dando para cada uma delas a Longitude, a Latitude, a grandeza e a designação.

Além disso, dá informações sobre as constelações, num total de 48.

Analisando os registos deixados por Hiparco, declara que não se fez qualquer alteração na posição das estrelas fixas entre elas, nem foram alteradas as configurações das constelações, frisando que se está a referir quer às estrelas e às constelações zodiacais quer às não zodiacais, apesar de admitir que os 260 anos passados possam ter provocado alguma desordem. E pensando no futuro, vai indicando mais algumas relações entre as estrelas. Constata que as estrelas se desviaram para oriente dos pontos onde estavam, à razão de cerca de 1° em cada 100 anos, o que atribui ao «movimento da esfera das estrelas fixas».

O catálogo de Ptolomeu apresenta as coordenadas de 47 constelações:

Hemisfério	fora do Zodíaco	no Zodíaco
Boreal	21	6
Austral	15	6

Este catálogo é uma das mais notáveis aquisições da astronomia antiga como um todo (...).

As designações actuais das constelações provêm maioritariamente do tempo dos gregos; há algumas que os antecederam e outras são adaptações das designações árabes. Já o Zodíaco, não seu todo, parece ter origem pelo século V, com os gregos, embora as 12 constelações tenham emergido depois de 900 a.C. e a amplitude de 30° de cada símbolo já fosse usada na Babilónia, no séc. VI a.C.. As estrelas que compunham a constelação ou o modo como a sua figura era definida variavam de autor para autor: Ptolomeu fixou as designações e as figuras das 48 constelações.

Apesar deste trabalho ter por base o catálogo de Hiparco, existem constelações que figuram como autónomas num e não no outro. E não é possível confundir-lo com uma mera cópia do de Hiparco: de facto, e se ele existiu, no total apresentaria no máximo 850 estrelas, muito menos do que Ptolomeu catalogou.

Faz uso sistemático de coordenadas, enquanto que Hiparco não usava pares de coordenadas ortogonais: por vezes dava declinações e ascensões rectas, outras vezes a longitude do ponto da eclíptica que nasce simultaneamente com a estrela ou que com ela atinge o zénite.

Foi também Ptolomeu a fixar o Carneiro, o signo que começa no equinócio vernal, como o primeiro dos símbolos do Zodíaco: por vezes era o Caranguejo que aparecia em primeiro lugar.

A partir do catálogo de Ptolomeu, que se manteve inalterado até à Renascença, ainda hoje se consegue identificar a maioria dessas estrelas. No Ocidente só foi substituído pelo de Tycho Brahe (1546–1601): apoiou-se nos registos anteriores, nomeadamente no de Ptolomeu, além das suas próprias medições; tomou como razão média da precessão 51 por ano, valor aceite do séc. IX até ao séc. XVI. Seguiu a tradição de Ptolomeu no que respeita a observações e instrumentos.

Epílogo

Poder-se-ia escrever muito mais sobre o trabalho de Ptolomeu na Astronomia: no *Almagesto* Ptolomeu escreveu sobre outros assuntos, construiu outras tabelas, fez mais verificações críticas.

O rigor que põe nas demonstrações, o grau de precisão que põe nos cálculos, a elegância da exposição, são exemplos a seguir, mesmo nos tempos actuais. Por isso, nos dias de hoje é recomendável a leitura do *Almagesto* e não só pela sua teoria planetária!

Depois, há que avaliar a influência desse mesmo trabalho nas épocas que se seguiram. Num artigo específico, talvez os astrónomos pudessem dar a verdadeira dimensão do trabalho por Ptolomeu...

Referências bibliográficas

- Costa, M.J., *A Trigonometria Plana do Almagesto*, tese de mestrado, APM, Lisboa, 1995.
- Evans, J., *The History and Practice of Ancient Astronomy*, Oxford University Press, New York, 1998.
- Eves, H., *An introduction to the History of Mathematics*, USA, 1992.
- Fonseca, L.A., *D. João II*, Círculo de Leitores e Centro de Estudos dos Povos e Culturas de Expressão Portuguesa, Rio de Moura, 2005.
- Garrido, A, et alli, *A Saga dos Astrolábios*, Museu Marítimo de Ílhavo, Ancora Editora, 2006.
- Katz, Victor J., *A History of Mathematics, an introduction*, Harper-Collins College Publishers, 1993.
- Koenraad van Cleempoel, *Astrolabes at Greenwich: A Catalogue of the Astrolabes in the National Maritime Museum*, Oxford University Press, 2005.
- Neugebauer, O., *The exact Sciences in antiquity*, Dover, New York, 1969.
- Pedersen, O., *A survey of Almagest*, Odense University Press, 1974.
- Pimentel, M., *Arte de navegar*, Comentada e anotada por Luís de Albuquerque et alli, Junta de Investigação do Ultramar, Lisboa, 1969.
- Ptolomeu, *Composition Mathematiques*, traduzido do grego por M.Halma. Reimpressão da edição publicada em 1813. Blanchard, Paris, 1988.
- Ptolomeu, *Composition Mathematiques*, traduzido do grego por M.Halma. Reimpressão da edição publicada em 1816. Blanchard, Paris, 1988.
- Reis, A. Estácio dos, *Medir Estrelas*, Edição do Clube do Coleccionador, CTT Correios de Portugal S.A., 1997.
- Silva, L. Pereira da, *Astronomia de «Os Lusíadas»*, Junta de Investigação do Ultramar, 1972.
- Stumpff, K., *Astronomia*, Enciclopédia Meridiano//Ficher, Editora Meridiano, Lisboa, Abril, 1965.
- Toomer, G.J., *Ptolomey's Almagest*, Princeton University Press, New Jersey, 1998.
- Van der Waerden, B. L., *Scien Awakening I*, P. Noordhoff LTD, Groningen Holand.

Referências on-line

- <http://astrolabes.org/history.htm>
- <http://www.ima.mat.br/mat/astrolabio.htm>
- <http://brunelleschi.imss.fi.it/museum/index.html>
- <http://www.mat.uc.pt/~helios/Mestre/Guia/G01astro.htm>
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Esfera_armilar
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Astrolabio>
- http://penta.ufrgs.br/edu/telelab/mundo_mat/malice3/astrol.htm

Maria José Costa