
A CRÔNICA DA GRAVITAÇÃO. PARTE II: DA GRÉCIA ANTIGA À IDADE MÉDIA¹

José Maria Filardo Bassalo
Depto. de Física – UFPA
Belém – PA

Resumo

*Neste trabalho apresentamos a segunda parte da **Crônica da Gravitação**, no qual examinamos detalhadamente o modelo do epiciclo-deferente-equant de Ptolomeu e sua influência na Astronomia desenvolvida pelas civilizações que sucederam à Grega, principalmente a dos árabes e a dos chineses no primeiro e metade do segundo milênios de nossa era cristã. Concluímos este artigo examinando os trabalhos de astrônomos europeus que abriram caminho, no final do século XV, para a Astronomia Heliocêntrica que teve em Copérnico o seu principal formulador.*

I. Introdução

Na primeira parte desta **Crônica da Gravitação**⁽¹⁾ estudamos, principalmente, os modelos planetários formulados pelas primeiras civilizações até a Grécia Antiga, modelos esses que tentavam explicar os movimentos dos astros de nosso Universo. No entanto, tais modelos eram ora geocêntricos, ora heliocêntricos, ou uma mistura desses dois, isto é, geoheliocêntricos, sendo que alguns deles usavam o artifício dos epiciclos na tentativa de melhor descrever as complicadas “danças” dos astros no céu. Nesta segunda parte⁽²⁾, vamos estudar o modelo de Ptolomeu constituído de epiciclos e de deferentes, bem como os demais modelos desenvolvidos pelas civilizações que sucederam à Grega, destacando-se os trabalhos dos astrônomos árabes e europeus da Idade Média, precursores da Astronomia heliocêntrica copernicana.

¹ Essa crônica é dedicada ao Prof. da UFPA Miguel Ayan Gaia, o primeiro paraense Mestre em Astrofísica.

O modelo planetário constituído pelo sistema epiciclo-deferente de Hiparco-Apolônio foi retomado e sistematizado pelo astrônomo grego Cláudio Ptolomeu (85-165), que o apresentou em seu célebre **Megale Mathematike Syntaxis**. Essa **Grande Compilação Matemática**, como as gerações seguintes a chamaram, é composta de 13 livros, e foi traduzida, por volta do século IX, pelos árabes, recebendo então o nome de **Almagest**, que é uma corruptela do nome hispano-árabe **Al-Majisty (O Grande Tratado)**⁽³⁾. Ao construir o seu modelo planetário usando os epiciclos e os deferentes, Ptolomeu não se preocupou se havia “realmente” tais círculos, ou seja, ele não pretendia descrever a realidade e sim “salvar as aparências (fenômenos)”, já que este era o ideal grego⁽⁴⁾.

Assim, para explicar o movimento retrógrado dos planetas, Ptolomeu os fez deslocar sobre um pequeno círculo móvel, o **epiciclo**, cujo centro se deslocava em torno da Terra e sobre um grande círculo – o **deferente**. Para reproduzir as observações celestes que indicavam a não circularidade das órbitas dos planetas, admitiu, então, deferentes cujos centros se moviam num pequeno círculo, o **excêntrico móvel** de Hiparco, nas proximidades da Terra⁽⁵⁾. Por outro lado, para explicar porque os planetas Mercúrio e Vênus aparecem sempre juntos ao Sol, Ptolomeu admitiu que seus deferentes tinham o mesmo período do deferente do Sol. Por fim, para explicar as variações nas velocidades dos planetas, ele criou o artifício do **equant**; este era um ponto que não correspondia nem ao centro da Terra, nem ao centro do deferente, de tal modo que um objeto colocado nele veria o centro do epiciclo se deslocar com velocidade angular uniforme. Daí ser o sistema de Ptolomeu geostático e não geocêntrico. Vê-se, portanto, que Ptolomeu rompe com a Astronomia física e impõe a Astronomia matemática, através do artifício dos círculos puramente matemáticos⁽⁶⁾.

No **Almagest**⁽⁷⁾, Ptolomeu apresentou, além de seu sistema **epiciclo-deferente-excêntrico-equant**, uma tabela de cordas para cada 0,5° até 180° fazendo uso dos números sexagesimais⁽⁸⁾; incluiu ainda um catálogo de estrelas baseado nos trabalhos de Hiparco; listou 48 constelações cujos nomes dados às mesmas prevalecem até hoje; descreveu e aperfeiçoou os instrumentos usados pelos astrônomos, tendo, inclusive, no livro V, demonstrado como se constrói e usa um astrolábio; fez, também, uma descrição matemática detalhada dos movimentos do Sol e da Lua, o que lhe permitiu calcular com maior precisão as datas dos futuros eclipses solares e lunares.

Além do **Almagest**, que o tornou famoso, Ptolomeu escreveu sobre outros assuntos⁽⁹⁾. Por exemplo, em seus livros **Analemma** e **Planisphaerium**, estudou basicamente a Geometria Esférica, no que se relaciona com a projeção de pontos sobre a esfera celeste, e com a projeção estereográfica, isto é, projeção de sólidos em um plano. Em sua **Óptica**, obra composta de cinco livros, estudou os fenômenos ópticos, principalmente a refração da luz, quase chegando à sua lei⁽¹⁰⁾. Escreveu ainda sobre Mecânica (**Periropon**)

e um tratado de três livros sobre música intitulado **Harmônica**. Se não fosse o **Almagest**, Ptolomeu seria também consagrado com sua **Geographike Hyphegesis (Guia à Geografia)**, obra escrita em oito livros, baseada nas viagens das legiões romanas através do mundo conhecido, e que foi obra de grande consulta durante vários séculos. Nela, Ptolomeu relacionou mapas e tabelas esmeradas das latitudes e longitudes de vários lugares na Europa, Ásia e África⁽¹¹⁾. Ptolomeu escreveu também um livro sobre Astrologia, o **Apootelesmatika (Influências Astrológicas)**, no qual considerou a influência física dos corpos celestes como sendo algo puramente físico.

Em prosseguimento a essa segunda parte da **Crônica da Gravitação**, vamos ver o desenvolvimento da Astronomia pelas civilizações que sucederam à Grega, uma vez que esta começou seu declínio com as invasões de Alexandria, a primeira por Zenóbia (?-c.274 A.D.), rainha da colônia romana de Palmira em 269 A.D., e culminando com a invasão islâmica do Egito em 10 de dezembro de 641. A.D.⁽¹²⁾. Desde o trabalho de Ptolomeu, a Astronomia grega praticamente ficou estagnada; os poucos estudiosos (matemáticos, astrônomos, filósofos, etc.) de renome que surgiram naquela época apenas comentavam e/ou criticavam o **Almagest**, como os matemáticos gregos de Alexandria, Diofanto (f.c.250 A.D.), Papo (f.c.320 A.D.) e Hipácia (c.370-415), e, graças a tais comentários e críticas, Ptolomeu tornou-se popular por cerca de 15 séculos⁽¹³⁾.

No primeiro milênio de nossa era, a cultura astronômica dos gregos também foi comentada e criticada em outras partes do velho mundo. Por exemplo, o erudito espanhol Isidoro de Sevilha (c.560-636) e o erudito inglês Beda, o Venerável (673-735⁽¹⁴⁾), ensinavam e defendiam muitos conceitos daquela cultura, tais como a esfericidade da Terra, a rotação diurna da abóbada celeste, o movimento dos planetas para leste, o movimento anual do Sol, etc., conceitos esses adquiridos na obra do erudito romano Plínio, o Velho (23-79)⁽¹⁵⁾. Por seu lado, o astrônomo e matemático hindu Brahmagupta (c.598-660), por volta de 628 A.D., escreveu um livro em versos sobre Astronomia, com dois capítulos sobre as matemáticas⁽¹⁶⁾, livro esse que negava a rotação da Terra; esta opinião, contudo, era contrária a de antigos astrônomos hindu, como, por exemplo, Ariabata I (476-c.550) que dizia: "*A esfera das estrelas é estacionária e a Terra, realizando uma revolução, produz o nascimento e o ocaso diário das estrelas e planetas*"⁽¹⁷⁾.

Não havendo sido traduzido do grego para o latim, o **Almagest** foi paulatinamente deixado de ser consultado. Todavia, com a vinda do erudito inglês Alcuíno de York (735-804) a Paris para chefiar o sistema educacional do imperador franco-alemão Carlos Magno (742-814), a Europa medieval desenvolveu um modelo geoheliocêntrico do sistema planetário, nos moldes do que havia proposto Heraclides do Ponto, esquecendo, portanto, a teoria planetária dos epiciclos⁽¹⁸⁾. No entanto, por volta do século IX os árabes traduziram o **Almagest** (ocasião em que o livro de Ptolomeu recebeu esse nome, conforme já vimos), e a cultura grega astronômica voltou a ser comentada e criticada,

desta vez pelos islâmicos, que produziram, em conseqüência, excelentes astrônomos. Assim, o matemático e astrônomo árabe Abu Já'far Muhammad ibn Musa al-Khwarizmi (c.780-c.850)⁽¹⁹⁾, ao ser encarregado pelo califa al-Ma'mun (786-833), que havia fundado observatórios, preparou tabelas astronômicas (**zij**, em árabe) de futuras posições planetárias e estelares, assim como organizou uma geografia mundial, trabalhos esses baseados nos de Ptolomeu.

Um outro grande astrônomo árabe, do final do primeiro milênio da era cristã, foi Abu-'Abdullah Muhammad ibn Jabir al-Battani (Albatênio) (c.858-929) que, sendo filho de um construtor de instrumentos científicos, pôde melhorar e construir novos instrumentos astronômicos (relógio de sol, esfera armilar, quadrante mural, etc.) e com eles obter melhores resultados que os de Ptolomeu, como, por exemplo, a posição correta do afélio, valores mais precisos para o ano solar, para as estações e para a inclinação da eclíptica, bem como aventou a hipótese da possibilidade dos eclipses anelares do Sol. Melhorou também as tabelas astronômicas de Ptolomeu, substituindo métodos geométricos por trigonométricos, utilizando para isso, e de modo pioneiro, as tabelas de senos, tabelas essas que foram reunidas no livro **Kitab al-Zij (Livro das Tabelas Astronômicas)**, traduzido para o latim aproximadamente em 1116, e para o espanhol no século XIII, e citadas pelos gigantes da Astronomia da Renascença, como Copérnico, Tycho Brahe, Kepler e Galileu⁽²⁰⁾.

Outros astrônomos árabes do último século do primeiro milênio cristão também, basicamente, se preocuparam em corrigir o **Almagest** e preparar o seu próprio **zij**. Dentre esses astrônomos, destacam-se Abu'l-Husayn al-Sufi (903-936) que se notabilizou por suas observações e descrições das estrelas, estas registradas em seu livro **Das Constelações das Esferas Fixas**, cujos nomes árabes dados por ele a algumas delas ainda hoje permanecem: Aldebarã, Altair, Betelgueuse e Ritel. Um outro astrônomo igualmente notável desse século X foi o persa Abu al-Wafa'(al-Buzajani) (940-998), que trabalhou no Observatório de Bagdá e dedicou-se à teoria lunar. Utilizou na construção de suas tabelas astronômicas as funções tangente e cotangente, bem como as funções secante e cossecante, estas inventadas por ele. Ainda é interessante destacar, neste século X, o trabalho do astrônomo armeno Abu Ar-Rayan Muhammad ibn Ahmad al-Biruni (973-1048) sobre a teoria da rotação da Terra ao redor de seu próprio eixo, e sobre seus acurados cálculos de latitude e longitude⁽²¹⁾. É oportuno observar que a Astronomia árabe desse milênio caracterizou-se, principalmente, por representar as posições dos astros celestes por intermédio de duas coordenadas: altitude e azimute. Esta, era medida a partir do norte verdadeiro e ao longo do horizonte. Tal tipo de representação era especificamente árabe, já que a palavra "azimute" é de origem árabe⁽²²⁾.

A Astronomia dos gregos, representada principalmente pelo **Almagest**, que esteve sob o domínio islâmico nos dois últimos séculos do primeiro milênio de nossa era,

conforme vimos acima, iria ainda influenciar a Astronomia na Idade Média no segundo milênio dessa mesma era. Assim é que, nos séculos XI e XII, importantes astrônomos árabes contribuíram para o desenvolvimento da Astronomia medieval. Dentre eles, destacam-se o astrônomo, matemático e poeta Cheyas Umar ebn Ebrahim al-Khayyami (c.1048-c.1131), mais conhecido no mundo ocidental como Omar Kháyýám⁽²³⁾, cuja principal contribuição à Astronomia foi seu livro de tabelas astronômicas atualizadas, conhecidas como **Tabelas Malikshah**. A outra grande figura da Astronomia árabe dessa época foi o filósofo, nascido em Córdoba, Abu-al-Walid Muhammad ibn Rushd (Averróis) (1126-1198) que rejeitou o modelo de Ptolomeu, criticando principalmente o artifício do **equant**, por ser esse não natural, e voltou-se para o modelo de esferas concêntricas de Aristóteles-Calipo-Eudoxo, tendo, através de vários artifícios, reduzido as 55 esferas aristotélicas para apenas 47⁽²⁴⁾.

A cultura medieval árabe de um modo geral, e em particular a astronômica, expandiu-se por toda a Europa graças a dois fatos importantes que permitiram o acesso dos europeus aos trabalhos astronômicos islâmicos. O primeiro deles deveu-se ao erudito francês Gerbert de Aurillac (940-1003)⁽²⁵⁾ que, ensinando na escola monástica de Reims, na Espanha cristã, teve contacto com aqueles trabalhos, o que lhe permitiu construir relógios e instrumentos astronômicos, bem como ábacos, globos terrestres e celestes, e organizar uma valiosa biblioteca. O segundo fato foi a retomada de Toledo, no centro sul da Espanha, em 1085, pelo rei Alfonso VI de Castela e Leão (1040-1109), conhecido como **El Bravo**. Essa retomada permitiu, também, o acesso dos europeus à cultura islâmica.

Enquanto a cultura islâmica se expandia pela Europa nos primeiros séculos do segundo milênio da era cristã, ocasião em que foram fundadas as primeiras Universidades⁽²⁶⁾, no lado leste do mundo, astrônomos chineses continuaram a fazer importantes observações astronômicas, como as realizadas por seus antecessores em milênios anteriores. Por exemplo, desde 720 a.C. os chineses preocuparam-se em registrar os eclipses⁽²⁷⁾. No entanto, o feito mais espetacular dos astrônomos chineses foi o registro de acontecimentos celestes que indicavam a corruptibilidade dos céus e a imperfeição dos astros que neles habitam, registro esse que ia contra a crença aristotélica da incorruptibilidade dos céus e da perfeição dos astros, tão ardorosamente defendida pelos europeus⁽²⁸⁾. Assim é que os chineses registraram a aparição dos cometas desde 613 a.C., de novas e de supernovas⁽²⁹⁾, desde 352 a.C., das manchas solares desde 28 a.C., e registraram, também, chuvas periódicas de meteoros. Por volta do século VII de nossa era, os chineses foram os primeiros a estabelecer o princípio (**chang ze**) segundo o qual a cauda dos cometas está em direção oposta a do Sol⁽³⁰⁾.

Nos trabalhos dos astrônomos chineses, há dois fatos importantes para serem destacados. O primeiro deles relaciona-se com o registro preciso das supernovas, de 30

de abril de 1006 e de 4 de julho de 1054, nas constelações de Lobo e de Touro, respectivamente⁽³¹⁾. A de 1006 inicialmente brilhava como Vênus e permaneceu visível à noite por mais de um ano. Essa supernova, também vista pelos japoneses e árabes, foi ainda relatada no Ocidente, porém ela aí foi confundida com um cometa. A de 1054, também registrada pelos astrônomos japoneses, inicialmente muito mais brilhante que Vênus, pôde ser vista de dia por 23 dias. Ela deixou em Touro uma grande mancha brilhante, que se chama **remanescente óptico**, mancha essa observada pela primeira vez em 1731 pelo astrônomo inglês John Bevis (1693-1771). Em 1844, o astrônomo irlandês William Parsons (Lord Rosse) (1800-1867), ao examiná-la com um grande telescópio, percebeu que a mancha estava cheia de filamentos irregulares, que lhe lembravam as patas de um caranguejo; chamou-a então de **nebulosa de Caranguejo**⁽³²⁾. O outro fato relevante nos trabalhos dos astrônomos chineses diz respeito à maneira como localizavam um astro celeste. Eles usavam coordenadas equatoriais: **distância polar norte e ascensão reta**. Esta era medida a partir da intersecção da eclíptica com o equador celeste e ao longo deste. Aquela era marcada a partir do pólo norte celeste⁽³³⁾ e ao longo do meridiano do astro considerado. Com uma pequena diferença (**declinação** – distância do equador ao astro e ao longo de seu meridiano – em lugar da **distância polar norte**), as coordenadas equatoriais chinesas são usadas até hoje, desde que Tycho Brahe passou a utilizá-las⁽³⁴⁾.

Para concluirmos essa **Crônica da Gravitação**, em sua segunda parte, vejamos as contribuições mais importantes para o desenvolvimento da Astronomia ocorridas nos séculos XIII, XIV e XV, séculos esses que marcaram o final da Idade Média e o começo da Renascença. No século XIII, temos a destacar as tabelas astronômicas do rei espanhol Alfonso X de Castela e Leão (1221-1284), apresentadas em 1252, data de sua coroação, e que foram organizadas por um grupo de sábios cristãos e judeus que reunira em Toledo, sob sua coordenação. Essas tabelas, que ficaram conhecidas como **tabelas alfonsinas**, gozaram de alta reputação durante três séculos. Ao preparar os dados dessas tabelas, e tendo em vista o grande número de ciclos e epiciclos dos modelos planetários até então conhecidos, teria pronunciado a seguinte frase: “*Se Deus me tivesse consultado por ocasião da criação do Universo, lhe teria recomendado um esquema mais simples*”⁽³⁵⁾. Ainda no século XIII, há a ressaltar o livro **De Sphaera Mundi** do astrônomo e matemático inglês John de Holywood (Sacrobosco) (1190-1244). Nesse livro, o nascente e o poente helíacos dos astros, isto é, que ocorrem junto com o Sol, são explicados, assim como os signos zodiacais. Há, também, nesse livro, as demonstrações dos movimentos dos planetas e do Sol e as das causas dos eclipses lunares e solares, demonstrações essas feitas à base do geocentrismo⁽³⁶⁾.

O século XIII e uma parte do século XIV assinalaram, senão o declínio, pelo menos a estagnação do modelo Ptolomaico, pois as novas idéias que surgiram no sentido de modificá-lo eram mais estéticas do que propriamente científicas, como, por exemplo,

a do astrônomo islâmico al-Din ibn al-Chatir, observador do século XIV, de substituir o **equant** de Ptolomeu por epiciclos extras⁽³⁷⁾. Somente no século XV ocorreu um novo surto de renovação na Astronomia. Este surto inicia-se com o astrônomo mongol Ulugh Begh (1394-1449)⁽³⁸⁾, ao fundar em 1420 e em Samarcanda, na Ásia Central, uma **madrasa**, isto é, um instituto de altos estudos centrado em Astronomia; em 1424, foi nele construído um grande observatório, um prédio de três andares com um sextante girante, o maior instrumento astronômico, então, no mundo. Como era de se esperar, nesse observatório realizou novas observações que levaram a encontrar erros nas tabelas de Ptolomeu e, em consequência, preparar sua própria tabela (**zij**), que ficou conhecida como o **zij** de Ulugh Begh ou **zij-i gurgani**, já que **guragon** era um dos títulos usados pelo único cientista mongol da Idade Média. Nesse **zij** há um mapa celeste com 994 estrelas, que é o primeiro mapa original desde o de Hiparco⁽³⁹⁾.

Na conclusão desta **Crônica**, destacaremos os trabalhos de alguns astrônomos europeus do século XV que abriram caminho para o heliocentrismo copernicano, e que podem ser considerados como os pioneiros de uma Nova Astronomia. Assim é que o astrônomo, matemático e filósofo alemão Cardeal Nicolau de Cusa (1401-1464), em seu livro **De Docta Ignorantia (Douta Ignorância)**, publicado em 1440, afirmava que a Terra girava em torno de seu eixo e em torno do Sol, que o Universo era infinito, e que as estrelas eram outros sóis com planetas habitados⁽⁴⁰⁾. Apesar dessas idéias serem renovadoras, há, no entanto, nesse pensamento de Nicolau de Cusa, uma idéia revolucionária, qual seja, a do **princípio cosmológico** segundo o qual o observador verá o Universo girar em torno de si, em qualquer parte que ele esteja do mesmo: no Sol, na Terra, na Lua, em Marte, em uma estrela, etc.

Dois outros astrônomos e matemáticos, o austríaco George von Puerbach (1423-1461) e o alemão Johannes Müller von Königsberg (Regiomontano) (1436-1476), também abriram caminho para a revolução astronômica do século XVI, porém, muito menos por aceitarem o heliocentrismo⁽⁴¹⁾ de Nicolau de Cusa, e sim por corrigirem o **Almagest**. Puerbach, que conheceu Nicolau de Cusa na Itália, além de ter fabricado instrumentos astronômicos, recalculou efemérides para corrigir as **tabelas alfonsinas** (1252), usando para isso uma tabela de senos naturais⁽⁴²⁾, ao invés de cordas, senos esses calculados com diferença de dez minutos. Tais valores foram escritos em algarismos árabicos, estes difundidos na Europa pelo matemático italiano Leonardo Fibonacci (1170-1230).

Com a ajuda de um rico colecionador de manuscritos gregos, de Nice, Puerbach começa a traduzir do grego, aperfeiçoar e corrigir o **Almagest**. Essa tradução, que se denominou **Epitoma Almagesti Ptolomaei**, não foi acabada, por haver seu tradutor morrido prematuramente com 38 anos de idade. Porém, em seu leito de morte, Puerbach transferiu essa tarefa para seu discípulo Regiomontano. Este, ao transferir-se para Nuren-

berg, em 1471, montou em sua casa o seu próprio observatório, dotado de atelier e imprensa⁽⁴³⁾, graças ao auxílio financeiro recebido de seu aluno, o rico mercador alemão Barnhard Walther (1436-1504). Auxiliado por Walther, Regiomontano fez observações muito precisas de um brilhante cometa aparecido em janeiro de 1472, graças às quais ele foi identificado dois séculos mais tarde como o **cometa de Halley**. A grande fama adquirida por Regiomontano o levou a Roma, em 1475, ao aceitar o convite feito pelo Papa Sixto IV para trabalhar na reforma do calendário Juliano, projeto esse pendente há vários séculos. No entanto, sua morte prematura em 1476 adiou essa reforma por mais cem anos e deixou inacabado o **Epitoma**⁽⁴⁴⁾.

Conforme dissemos acima, os trabalhos de Nicolau de Cusa, Puerbach e Regiomontano abriram o caminho para a grande revolução na Astronomia, revolução essa que se iniciou com o modelo planetário do astrônomo polonês Nicolas Copérnico (1473-1543), apresentado em seu livro **De Revolutionibus Orbium Celestium (Da Revolução dos Corpos Celestes)**, editado em 1543. O trabalho de Copérnico, e a revolução por ele provocada, será objeto de estudo na terceira parte dessa **Crônica da Gravitação**.

Referências

1. BASSALO, J. M. F. A crônica da gravitação. Parte I: das primeiras civilizações à Grécia Antiga. **Cad. Cat. Ens. Fis.**, v. 7, n. esp., p. 70-81, jun. 1990.
2. Essa Crônica tem como base os seguintes textos:
ROY, J. R. **L'astronomie et son histoire**. Masson: Universidade de Quebec, 1982.
RONAN, C. A. **História ilustrada da ciência**. [s.1.]: Jorge Zahar, 1987. v. 1,2.
ASIMOV, I. **Os gênios da humanidade**. [s.1.]: Bloch Editores, 1974.
HOYLE, F. **Astronomia**. Barcelona: Ediciones Destino, 1967.
ÉVORA, F. R. R. **A revolução copernicana-galileana**. Campinas: Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, 1988. t. 1. (Coleção CLE, v. 3)
3. LUCIE, P. **A gênese do método científico**. Campus, 1977; ASIMOV, I. op. cit.
4. COHEN, I. B. **O nascimento de uma nova física**. São Paulo: Edart, 1967.
5. KOESTLER, A. **Os sonâmbulos**. Ibrasa, 1961; ÉVORA, F. R. R. op. cit.

6. KOYRÉ, A. **Estudos de história do pensamento científico**. Universidade de Brasília e Forense Universitária, 1982; LUCIE, P. op. cit.
7. PTOLOMEU, C. The almagest. In: **GREAT books of the western world**. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1971. v. 16.
8. A divisão sexagesimal era conhecida desde os sumerianos, que dividiam a circunferência em 360° e seu diâmetro em 120 partes. Cada uma das 60 partes do raio era dividida em 60 pequenas partes (no latim: partes **minutas** primae) e estas, por sua vez, em outras 60 partes menores ainda (partes minutae **secundae**).
9. RONAN, C. A. Ptolemy. In: ENCYCLOPAEDIA Britannica: macropaedia. Chicago, 1978. v. 15.
10. A lei da refração da luz só foi demonstrada em 1621 pelo físico holandês Willebrord van Roijen Snell (1591-1626), e pelo físico, matemático e filósofo francês René Descartes (1596-1650), em 1637. (BASSALO, J. M. F. A crônica da óptica clássica. Parte I: 800 a.C. - 1665 d.C.. **Cad. Cat. Ens. Fis.**, v. 3, n. 3, p. 138-159, 1986.)
11. Como era natural, a Geografia de Ptolomeu tinha alguns erros, principalmente porque ele usou o cálculo de Possidônio, ao invés do de Eratóstenes, para o raio terrestre. Em consequência desse erro, o grande cartógrafo italiano Paulo Toscanelli (1397-1482) preparou um mapa terrestre em que situava o Oceano Atlântico entre a Espanha, a leste, e a Ásia, a oeste, sendo a distância entre esses dois pontos de 5 a 6 mil quilômetros (valor real: 19.000 km). Acreditando nesses dados, o navegador Cristóvão Colombo (1451-1506) idealizou sua viagem às Índias pela rota do Ocidente. O rei de Portugal, D. João II, a quem Colombo pediu auxílio para realizar essa viagem, após consultar seus cartógrafos, negou-se a financiar Colombo; este recebeu, então, auxílio dos reis da Espanha, Fernando e Isabel. Todos sabemos a consequência importante desse duplo erro: a descoberta da América, em 1492.
12. KARLSON, P. **A magia dos números**. Globo, 1961.
13. ASIMOV, I. op. cit.; HOYLE, F. op. cit.
14. Foi Beda quem introduziu a expressão A.D. (Anno Domini) ao se referir à era cristã. Algumas línguas, como a portuguesa, usam a expressão d.C. (RONAN, A. C. op. cit.).

15. Plínio, o Velho, morreu por ocasião da célebre erupção do vulcão Vesúvio, que soterrou Pompéia e Herculano. Na ânsia de testemunhar a erupção, ele aproximou-se demais das lavas, que acabaram por matá-lo. (ASIMOV, I. op. cit.)
16. As matemáticas tratadas eram: progressão aritmética (para a qual encontrou a soma da série dos números naturais), equações do 2º grau, áreas de triângulos, quadriláteros e de círculos, volumes e superfícies de pirâmides e cones. Para Bramagupta, o valor de π era a raiz quadrada de 10. (SEDGWICK, W. T.; TYLER, H. W.; BIGELOW, R. P. **História da ciência**. Globo, 1950.)
17. ENCYCLOPAEDIA Britannica: macropaedia. Chicago, 1978. v. 1.
18. ROY, J. R. op. cit.; ÉVORA, F. R. R., op. cit.; HOYLE, F. op.cit.
19. Al-Khwarizmi imortalizou-se pela palavra **álgebra** que deriva da tradução latina da palavra árabe **al-Jabr** que faz parte do título de seu célebre trabalho **Ilm al-Jabr wa'l Muqabalah (A Ciência da Transposição e da Supressão)**. O próprio nome de Al-Khwarizmi foi distorcido para **algorismo** que significa **a arte de calcular**. (ASIMOV, I. op. cit.)
20. RONAN, C. A. op. cit.; ASIMOV, I. op. cit.
21. Al-Biruni foi quem formulou e demonstrou a lei dos senos nos triângulos planos. (KLINE, M. **Mathematical thought from ancient to modern times**. Oxford University, 1972.)
22. ENCYCLOPAEDIA Britannica: macropaedia. Chicago, 1978. v. 1, 2, 9; RONAN, C. A. op. cit..
23. Ornar Kháyyám adotou o seu sobrenome em homenagem a seu pai que era fabricante de tendas (significado da palavra **kháyyám** em persa). Sua grande popularidade no mundo ocidental é devido à tradução feita pelo escritor inglês Edward Fitzgerald (1809-1883), de seu famoso **Rubáiyát**, livro de versos escritos em **quartetos**, que é o significado em persa desse livro. Convém observar que Omar Kháyyám foi diretor do Observatório de Merv, fez a reforma do calendário muçulmano em 1074, e escreveu, por volta de 1079, o melhor livro de seu tempo sobre Álgebra. Manjava muito bem as equações do 2º grau, porém as do 3º grau ele acreditava que só poderiam ser resolvidas geometricamente usando secções cônicas. (KLINE, M. op. cit.; RONAN, C. A. op. cit.; ASIMOV, I. op. cit.)

24. Para maiores detalhes sobre a Astronomia Árabe da Idade Média, veja-se RONAN, C. A. op. cit.

25. Gerbert de Aurillac foi o primeiro Papa francês que pontificou sob o nome de Silvestre II, no período 999-1003. Foi ele o primeiro a expor os “números de ghubar” (algarismos hispano-árabicos), que constituem uma transição para os algarismos árabicos, estes introduzidos 200 anos depois, na Europa, pelo matemático Fibonacci. (SEDGWICK, W. T.; TYLER, H. W.; BIGELOW, R. P. op.cit.)

26. As primeiras Universidades fundadas na Idade Média foram: Bolonha (1088), Paris (1160), Oxford (1167), Cambridge (1209), Pádua (1222), Salamanca (1227), Praga (1347), Cracóvia (1364), Viena (1367) e St. Andrews (1410). (BERNAL, J. D. **História social de la ciência**. Ediciones Península, 1968.)

27. Os eclipses eram tidos pelos chineses como uma advertência dos céus contra os maus governos. (RONAN, C. A. op. cit.). (Se isso fosse verdade, há anos que os céus do Brasil estariam todos, e diariamente, cobertos de eclipses.)

28. Quem viu a excelente peça teatral **Galileu Galilei**, do teatrólogo alemão Bertold Brecht (1898-1956) dirigida por José Celso Martinez Correa e tendo Cláudio Correa e Castro no papel título, deve se lembrar como os aristotélicos se recusavam a olhar no telescópio de Galileu, para não verem a corruptibilidade dos céus na imagem das luas de Júpiter.

29. As **novas** são estrelas que explodem no céu, aumentando a sua luminosidade, criando extensas camadas de gás quente, e aparecendo em locais onde nunca haviam sido observadas. Para indicá-las, os chineses usavam o termo **ge xing**, que significa **estrela hóspede**. A denominação de **novas** para tais eventos deve-se ao livro **De Stella Nova** do astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601), que o escreveu para descrever uma nova estrela que vira na constelação de Cassiopéia, em 11 de novembro de 1572. As **supernovas** são **novas** de brilho excepcional. Foram os astrônomos, o alemão Walter Baade (1893-1960) e o suíço Fritz Zwicky (1898-1974), que introduziram o termo **supernova**, em 1934, ocasião em que inventaram o conceito de **estrela de nêutron (neutron star)**. (MISNER, C. W.; THORNE, K. S.; WHEELER, J. A. **Gravitation**. W. H. Freeman, 1973; ASIMOV, I. **O colapso do universo**. Círculo do Livro; RONAN, C. A. op. cit..)

30. NEEDHAN, J. **La science chinoise et l'occident**. Éditions du Seuil, 1973.

31. Os chineses e os coreanos também fizeram registro das supernovas de 1572, a chamada de Tycho Brahe, e a de 1604, observada pelo astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630) na constelação de Serpentário, e com brilho parecido com o de Júpiter. Em 1941, Baade encontrou o remanescente óptico da supernova de Kepler. Em 1952, R. H. Brown e C. Hazard e, independentemente, R. Minkowski, encontrariam o remanescente óptico da supernova de Tycho Brahe. (GORENSTEIN, P.; TUCKER, W. Supernova remnants. **Scientific American**, v. 74, jul. 1971.)

32. Nos anos da década de 1920, o astrônomo norte-americano Edwin Powell Hubble (1889-1953), comparando fotografias da nebulosa de Caranguejo, tiradas com intervalo de 14 anos, calculou a velocidade de expansão da mesma e concluiu que a sua explosão teria ocorrido cerca de 900 anos atrás, indicando tratar-se da supernova de 1054. Em 1942, e em trabalhos distintos, J. J. L. Duyvendak, N. U. Mayall e J. H. Oort, W. Baade e R. Minkowski confirmaram a conjectura de Hubble. (MISNER, C. W.; THORNE, K. S.; WHEELER, J. A. op. cit.)

33. Os chineses tomavam o pólo norte celeste, que era o ponto central do céu, pois o consideravam como representando o seu Imperador, que estava no centro do Governo. (RONAN, C. A. op. cit.)

34. NEEDHAN, J. op. cit.

35. ASIMOV, I. op. cit.

36. Sacrobosco, que é o nome latinizado de Holywood (**holy** = sagrado, **wood** = bosque) escreveu ainda dois outros livros: **De Algoristio**, no qual trabalha com números inteiros não negativos, e o **De Computo**, no qual mostra a grande diferença entre as estações e o calendário Juliano. Em consequência, ele sugere uma solução análoga a que seria mais tarde adotada por Gregório XIII. (ROY, J. R. op. cit.)

37. Na primeira metade do século XII, o **equant** também havia sido criticado pelo astrônomo de Sevilha, Jabir ibh Afflah. (RONAN, C. A. op. cit.)

38. Ulugh Begh era neto do grande guerreiro mongol Timur (Tamerlão) (1336-1405), último dos grandes conquistadores bárbaros. O próprio Ulugh Begh governou Maveramuakhr, a principal cidade de Samarcanda. Com a morte de seu pai Sháh Rokh, em 1447, assumiu o poder do império que seu avô e seu pai conquistaram, porém não soube mantê-lo, sendo assassinado pelo próprio filho, Abd al-Latif, dois anos depois. (ENCYCLOPAEDIA Britannica: macropaedia. Chicago, 1978. v. 9, 10.)

39. RONAN, C. A. op. cit.; ASIMOV, I. op. cit.

40. A idéia da pluralidade dos mundos habitados, bem como a de um infinito Universo de estrelas, foi retomada pelo astrônomo e filósofo Giordano Bruno (1548-1600), cuja defesa de tais idéias lhe valeu a morte na fogueira, decretada pela Santa Inquisição. (RONAN, C. A. op. cit..)

41. Tanto Puerbach quanto Regiomontano eram ptolomaicos. Puerbach era partidário das esferas cristalinas dos planetas e Regiomontano ridicularizava a hipótese do movimento da Terra. Dizia ele que, se a Terra girasse, os pássaros seriam jogados para longe, as nuvens deixadas para trás e os prédios ruiriam. (ASIMOV, I. op. cit.)

42. Muito embora os astrônomos trabalhassem com a Trigonometria, este termo só apareceu no livro de Bartholomeus Pitiscus (1561-1613), chamado **Thesaurus**, publicado em 1613. (KLINE, M. op. cit.)

43. É oportuno salientar que a **imprensa** já havia sido inventada pelo alemão Johannes Gutemberg (c.1398-c.1468), por volta de 1438. (ENCYCLOPAEDIA Britannica: macro-paedia. Chicago, 1978. v. 4.)

44. RONAN, C. A. op. cit.; ROY, J. R. op. cit.; ASIMOV, I. op. cit.; SEDGWICK, W. T.; TYLER, H. W. e BIGELOW, R. P. op. cit.