

16

NAVEGAÇÃO ASTRONÔMICA: DEFINIÇÃO, IMPORTÂNCIA E RESENHA HISTÓRICA

16.1 NAVEGAÇÃO ASTRONÔMICA: DEFINIÇÃO E IMPORTÂNCIA

Conforme mencionado no Capítulo 1 (Volume I), para efeitos deste Manual, que aborda, basicamente, a navegação de superfície, pode ser adotada a seguinte definição para **NAVEGAÇÃO**:

“NAVEGAÇÃO É A CIÊNCIA E A ARTE DE CONDUZIR, COM SEGURANÇA, UM NAVIO (OU EMBARCAÇÃO) DE UM PONTO A OUTRO DA SUPERFÍCIE DA TERRA”

A **Navegação Astronômica** é um **método de navegação** em que o navegante determina sua posição, ou obtém outras informações úteis para a **segurança da navegação**, através de observações dos astros.

A **Navegação Astronômica** está, normalmente, associada à **Navegação Oceânica**, que, como explicado no Capítulo 1 (Volume I), é o tipo de navegação praticada ao largo, em alto-mar, em geral com o navio a mais de 50 milhas da costa ou do perigo mais próximo. Entretanto, alguns procedimentos e técnicas da **Navegação Astronômica** (como, por exemplo, a observação do azimute de astros para determinação do desvio da agulha) podem, também, ser utilizados na **Navegação Costeira** e, até mesmo, na **Navegação em Águas Restritas**.

Os processos de determinação da posição do navio e de obtenção de outras informações necessárias à segurança da navegação através da observação dos astros são, hoje, embora muitos pensem o contrário, simples e fáceis, não demandando qualquer matemática complicada, exigindo apenas o domínio das quatro operações.

Os métodos de **Navegação Astronômica** usados atualmente são suficientemente simples para serem aprendidos por qualquer um com tirocínio e conhecimento bastantes para interpretar uma Carta Náutica ou as leituras de um instrumento de navegação.

Este Manual não tratará de métodos complexos, fixando-se apenas nos utilizados no dia-a-dia da navegação. Não haverá regras a decorar, pois as etapas do processo serão explicadas passo a passo, de forma que você saiba o que está fazendo, e saiba que sabe. Assim nasce a auto-confiança.

Alguns podem perguntar se, nestes dias de maravilhas eletrônicas, ainda vale a pena aprender **Navegação Astronômica**. A resposta é afirmativa. Sim, há muitas vantagens neste método de navegação. Equipamentos eletrônicos de navegação são, ainda, relativamente caros, complexos e sujeitos a avarias difíceis de serem reparadas a bordo. Além disso, normalmente exigem energia elétrica estabilizada para sua operação, o que pode constituir uma fonte de problemas, sem contar os custos de manutenção.

Por outro lado, a simplicidade da **Navegação Astronômica** é admirável. Bastam um sextante confiável, que, normalmente, dispensa manutenção complicada, um bom cronômetro e um conjunto de Tábuas para determinar sua posição em qualquer ponto da Terra. Energia elétrica não é necessária. Você pode navegar num pequeno veleiro, ou no maior dos navios.

Ademais, em situações de emergência, como avaria nos sensores e sistemas de energia do navio, ou quando em balsas salva-vidas ou outras embarcações de salvamento, a **Navegação Astronômica** permitirá que você determine sua posição e mantenha um acompanhamento adequado da navegação.

Junto com estas vantagens práticas, vem uma profunda satisfação. Você faz as pazes com o céu, com o mar e consigo próprio, livre de todas as engenhocas eletrônicas. Com o seu conhecimento, seus simples instrumentos e o eterno céu, você está pronto para navegar para onde quiser.

16.2 RESENHA HISTÓRICA

16.2.1 INTRODUÇÃO

A navegação começou com os homens primitivos. Um de seus primeiros atos conscientes foi, provavelmente, regressar para sua caverna, depois de uma expedição de caça ou coleta de alimentos, tomando como referência algum objeto ou acidente natural notável, situado nas proximidades. Assim nasceu a **navegação terrestre**, que foi, sem dúvida, a forma original de navegação.

A história das jornadas do homem através do mar é, também, muito antiga. A primeira viagem marítima da qual se tem registro ocorreu cerca de 4800 anos atrás, e é apenas a primeira que conhecemos, porque o homem, só então, tinha aprendido a escrever. Certamente, ele já vinha viajando pelos mares muito antes disso. Quando o homem tentou dirigir os movimentos da sua embarcação, ou do objeto sobre o qual flutuava, nasceu a **navegação marítima**.

Entretanto, a **Navegação Astronômica**, na forma em que é hoje conhecida, surgiu somente muito mais tarde, após o homem ter adquirido o conhecimento dos movimentos dos corpos celestes, embora os astros tenham sido usados como referência para rumos quase desde o início das aventuras do homem no mar.

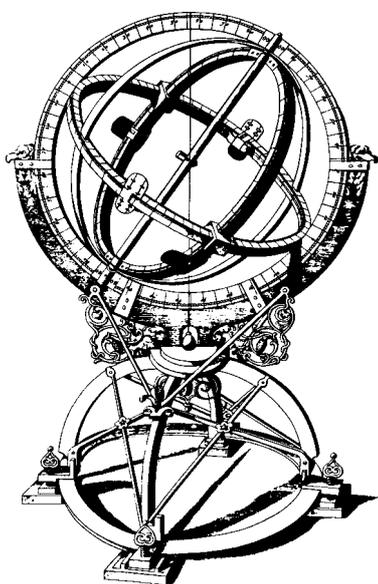
16.2.2 ASTRONOMIA

a. OS PRIMEIROS CONHECIMENTOS

A Astronomia é considerada, por diversos autores, como a mais antiga das ciências. Os movimentos do Sol, da Lua, das estrelas e dos planetas foram usados desde os albores da humanidade, como guias para caça, pesca e agricultura.

Sacerdotes da Babilônia já estudavam mecânica celeste em uma época muito remota, possivelmente tão cedo como 3800 AC, mais provavelmente cerca de 1500 anos depois. Estes antigos astrônomos previam eclipses solares e lunares, construíram tábuas de ângulo horário da Lua e são considerados os criadores do conceito de zodíaco. A semana e o mês, conforme conhecidos atualmente, originaram-se de seu calendário. Eles grupavam as estrelas em constelações, tendo proposto, cerca do ano 2000 AC, um arranjo essencialmente igual ao vigente hoje em dia. Os cinco planetas facilmente identificáveis a olho nu eram conhecidos dos babilônios, que, provavelmente, foram os primeiros a dividir o movimento diurno aparente do Sol em torno da Terra em 24 partes iguais. Eles publicaram estes e outros dados astronômicos em efemérides.

Figura 16.1 - Esfera Armilar



UM DOS MAIS IMPORTANTES INSTRUMENTOS PARA OS ANTIGOS ASTRÔNOMOS

Os chineses também fizeram importantes contribuições à **Astronomia**. É provável que tenham determinado os solstícios e equinócios antes de 2000 AC. Os antigos chineses usavam quadrantes, esferas armilares (figura 16.1) e relógios de água, além de observarem a passagem meridiana de astros. Os chineses determinaram que o Sol completa sua translação anual aparente em torno da Terra em 365 dias e $\frac{1}{4}$, e dividiram o círculo neste número de partes, em vez de em 360. Cerca de 1100 AC, o astrônomo Chou Kung determinou a Declinação máxima do Sol com uma precisão de 15'.

A **Astronomia** era usada pelos egípcios para fixar a data de seus festivais religiosos, quase tão cedo quanto os estudos babilônicos. Cerca de 2000 AC, ou antes, o ano novo egípcio começava com o nascer helíaco de Sirius, isto é, o primeiro reaparecimento desta estrela sobre o horizonte, no céu a Leste, durante o crepúsculo matutino, depois de ter sido vista pela última vez logo depois do pôr-do-Sol, no céu a Oeste. O nascer helíaco de Sirius coincidia com o término da cheia anual do Nilo e o início da canícula, isto é, o período das secas.

Os gregos aprenderam **Astronomia Náutica** com os fenícios. O astrônomo grego mais antigo, Thales, era de origem fenícia. A ele se atribui ter dividido, no Ocidente, o ano em 365

dias. Além disso, descobriu que o Sol não se move com velocidade uniforme entre os solstícios. Thales é mais conhecido, porém, por ter previsto o eclipse solar de 585 AC, que terminou uma batalha entre medas e lídios. Ele foi o primeiro de uma série de grandes homens, cujo trabalho, durante os 700 anos que se seguiram, constituiu a força dominante na **Navegação, Astronomia e Cartografia**, desde a antigüidade, por toda a Idade Média, até o Renascimento.

b. A FORMA DA TERRA E A MEDIDA DA SUA CIRCUNFERÊNCIA

Apesar de avançados em **Astronomia**, os babilônios, aparentemente, consideravam a Terra plana. No entanto, quando Thales inventou a projeção gnomônica, cerca de 600 AC, é provável que já acreditasse que a Terra fosse esférica. Dois séculos depois, Aristóteles escreveu que a sombra da Terra projetada na Lua durante um eclipse era sempre circular. Além disso, observou que, quando os navios afastavam-se do porto, desapareciam primeiro os seus cascos e, por último, os mastros, qualquer que fosse a direção do horizonte em que rumavam; se a Terra fosse plana, argumentava Aristóteles, um navio, ao afastar-se, ficaria cada vez menor, por igual, até tornar-se um ponto e desaparecer. Aristóteles também notou que, ao viajar para o norte ou para o sul, novas estrelas apareciam acima do horizonte adiante, enquanto outras desapareciam abaixo do horizonte atrás. O céu assumia configurações diferentes em Latitudes diferentes. Isto sugeriu a Aristóteles que a Terra era esférica e de dimensões não muito grandes, pois, de outra forma, iria requerer jornadas muito mais longas que entre o Egito e Atenas, para observar estas diferenças na configuração do céu.

Arquimedes (287–212 AC) usava uma esfera celeste de vidro, com um pequeno globo terrestre no centro. Assim, embora o homem comum somente tenha compreendido a natureza esférica da Terra em um passado relativamente recente, os astrônomos já aceitavam esse fato há mais de 25 séculos. A próxima pergunta foi: qual o tamanho dessa esfera?

A primeira medição científica da Terra foi um trabalho de Eratóstenes de Cirene (276–196 AC), bibliotecário-chefe da Biblioteca de Alexandria, em um tempo em que esta cidade, assim como o restante do Egito, era governada pelos Ptolomeus e se destacava acima de todas as outras do mundo helênico.

Entre as histórias de viajantes que circulavam em Alexandria na época, havia uma sobre um poço, em Siena, Nilo acima, na altura da primeira catarata, onde o Sol brilhava verticalmente sobre suas águas profundas, ao meio dia verdadeiro do dia mais longo do ano no Hemisfério Norte, 21 de junho. Neste instante, diziam, os objetos em Siena não projetavam sombras. Eratóstenes concluiu, então, que Siena (a palavra grega para Assuan) deveria estar sobre o Trópico de Câncer, por ter o Sol no seu Zênite no solstício de junho. Eratóstenes descobriu outra circunstância favorável ao seu trabalho quando soube, pelos viajantes, que Siena estava exatamente ao Sul de Alexandria, isto é, as duas cidades situavam-se sobre o mesmo meridiano.

Com isto em mente, Eratóstenes sentiu que tinha tudo o que necessitava para medir a circunferência da Terra. Ele sabia que os raios do Sol são, para todos os efeitos, paralelos quando alcançam a Terra. Assim, sendo o nosso planeta uma esfera, os raios solares devem atingir partes diferentes da Terra com diferentes ângulos de incidência, em virtude da curvatura da superfície terrestre. Imaginou, então, que, se ao meio dia verdadeiro (passagem meridiana do Sol), do dia 21 de junho, ele pudesse medir o ângulo de uma sombra em Alexandria, poderia determinar a circunferência da Terra.

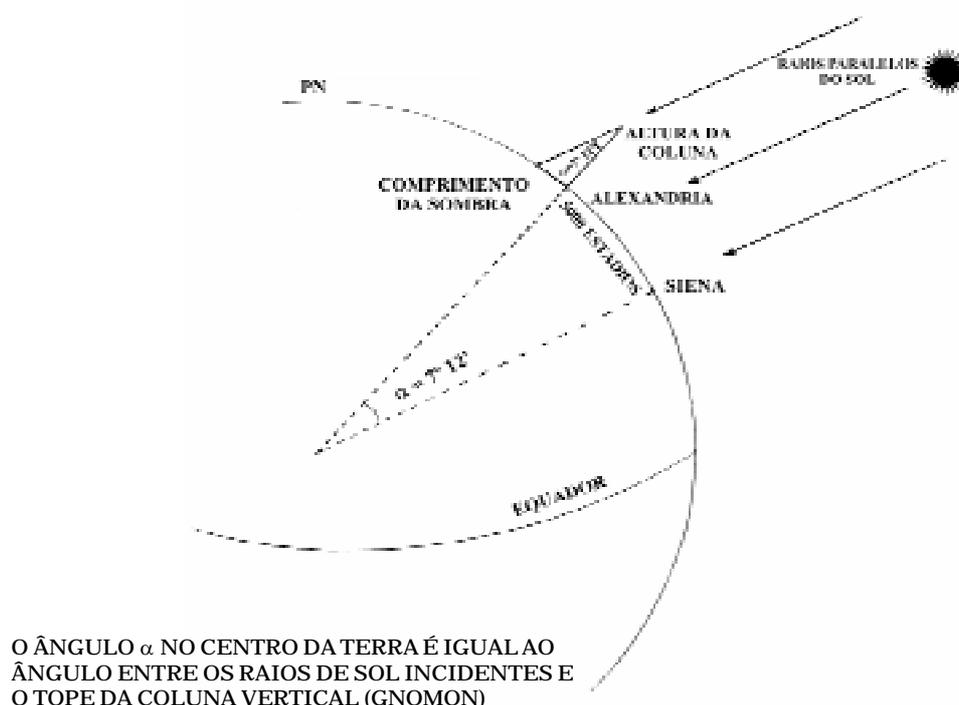
Estando Siena e Alexandria sobre o mesmo meridiano, e conhecida a distância entre as duas cidades, Eratóstenes teria o comprimento de um arco de meridiano, isto é, de

uma parte da circunferência da Terra. O trajeto Alexandria-Siena era percorrido por uma caravana de camelos em 50 dias. Eratóstenes, ademais, sabia que os camelos normalmente viajavam 100 estádios por dia. Desta forma, calculou a distância entre Alexandria e Siena como sendo 5.000 estádios.

Seu próximo passo foi um engenhoso exercício de geometria elementar, para determinar qual a fração da circunferência da Terra que correspondia ao arco de meridiano de 5.000 estádios entre Siena e Alexandria. Para isso, no dia 21 de junho, ao meio dia verdadeiro, quando o Sol estava no Zênite de Siena, Eratóstenes mediu o comprimento da sombra de uma coluna vertical em Alexandria. Com o comprimento da sombra e a altura da coluna vertical (na realidade um “gnomon”, ou indicador, de um relógio de Sol), Eratóstenes obteve dois lados de um triângulo retângulo. Pôde, então, resolver o triângulo e calcular o ângulo entre o topo da coluna vertical e os raios de Sol incidentes, tendo determinado o valor de $07^{\circ} 12'$, ou $1/50$ de uma circunferência.

Assim, concluiu que a distância Siena–Alexandria era $1/50$ da circunferência da Terra, cujo valor seria de $50 \times 5.000 = 250.000$ estádios, ou 46.250 km (ver a figura 16.2). A circunferência da Terra (considerando-a esférica) é, de fato, cerca de 40.003 km, o que torna a medição de Eratóstenes apenas 15,6% maior e dá idéia da importância do seu trabalho, considerando que não dispunha de qualquer instrumento moderno de medição. Na realidade, uma certa dose de sorte favoreceu Eratóstenes que, sem saber, cometeu vários erros. Seu único erro teórico, o de assumir a perfeita esfericidade da Terra, fez pouca diferença. Mais importante, entretanto, foi o fato de que Siena não está exatamente sobre o Trópico de Câncer, mas cerca de 60 km para o norte. Além disso, Siena e Alexandria não estão precisamente sobre o mesmo meridiano, situando-se Siena $03^{\circ} 03'$ para Leste, e, como era esperado, a distância Siena–Alexandria obtida pelo percurso da caravana de camelos estava incorreta, sendo de cerca de 4.530 estádios (725 km), em vez dos 5.000 estádios (800 km) considerados por Eratóstenes. Contudo, os vários erros devem ter-se parcialmente compensado, resultando num valor final bastante preciso para a circunferência da Terra.

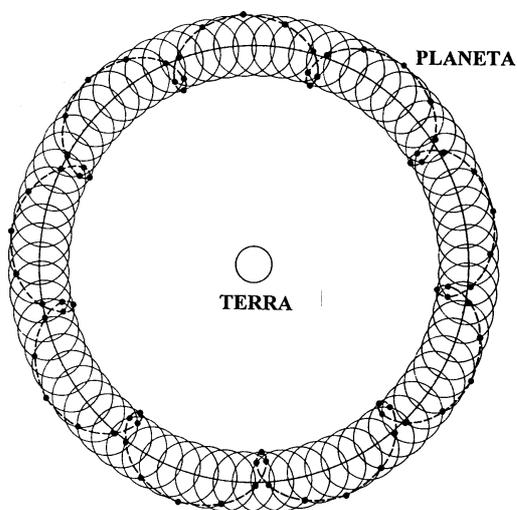
Figura 16.2 - Medição da Circunferência da Terra por Eratóstenes



c. TEORIA GEOCÊNTRICA E TEORIA HELIOCÊNTRICA DO UNIVERSO

A principal questão entre os astrônomos, então, não era mais a forma da Terra, já amplamente aceita como esférica, mas se a Terra ou o Sol era o centro do Universo. Para os antigos gregos, uma Terra estacionária parecia lógico, pois argumentavam que a rotação diária da Terra produziria um vento com a velocidade de centenas de milhas por hora no Equador. Como desconheciam que a atmosfera da Terra gira com ela, consideravam que a ausência de tal vento era uma prova de que o nosso planeta era estacionário.

Figura 16.3 - Epiciclos dos Planetas



Desta forma, os antigos acreditavam na Teoria Geocêntrica, pela qual todos os corpos celestes moviam-se em órbitas circulares em torno da Terra. Contudo, os planetas, denominados “estrelas errantes”, contrariavam essa teoria, em virtude do seu movimento irregular. No século III AC, Apolonio de Perga propôs uma teoria dos **epiciclos**, aceita e ampliada posteriormente por Claudio Ptolomeu de Alexandria, que a explica em seus famosos livros, **Almagesto** e **Cosmografia**. De acordo com Ptolomeu, os planetas moviam-se com velocidades uniformes, percorrendo pequenos círculos, cujos centros também se moviam com velocidades uniformes em torno da Terra

(figura 16.3).

Entretanto, ainda no mundo grego, Aristarco de Samos (310–230 AC) propôs uma genuína Teoria Heliocêntrica, que, contudo, não conquistou maior aceitação, tendo sido rejeitada por Ptolomeu, cuja Teoria Geocêntrica tornou-se uma premissa do seu principal livro, o **Almagesto**.

Merece também menção, como outro marco importante do progresso da **astronomia** na antigüidade, a descoberta da **precessão dos equinócios** (ver o Capítulo 17), mais de um século antes de Cristo, por Hiparco, que comparou suas próprias observações de estrelas com as registradas por Timocáris e Aristilo cerca do ano 300 AC. Hiparco catalogou mais de 1.000 estrelas e construiu uma carta celeste e uma esfera celeste. Seus instrumentos, porém, não permitiam medidas com precisão suficiente para detectar a paralaxe estelar e, conseqüentemente, Hiparco advogava a Teoria Geocêntrica do Universo.

Voltando a Ptolomeu, cujos anos intelectualmente mais ativos estendem-se de 127 a 151 DC e cujas contribuições para a **Astronomia** e para a **Cartografia** da antigüidade foram fundamentais, seus trabalhos examinaram e confirmaram a **precessão** dos equinócios, três séculos depois da descoberta de Hiparco. Ptolomeu publicou um catálogo no qual agrupava as estrelas em constelações e fornecia a grandeza, Declinação e Ascensão Reta Versa de cada uma. Seguindo os passos de Hiparco, Ptolomeu determinou Longitudes

por eclipses. Ademais, incluiu no **Almagesto** as tábuas de trigonometria plana e esférica que Hiparco havia desenvolvido, além de outras tabelas matemáticas e uma explicação das circunstâncias de que depende a **Equação do Tempo**.

d. ASTRONOMIA NA IDADE MÉDIA

Os mil anos que se seguem viram pouco progresso científico na **Astronomia**. Alexandria continuou a ser um centro de excelência por vários séculos após Ptolomeu, tendo sido capturada e destruída pelos árabes em 640 DC, quando o longo crepúsculo da Idade Média já havia começado. Nos 500 anos subseqüentes, os muçulmanos exerceram a principal influência na **Astronomia**, tendo erguido observatórios em Bagdá e Damasco no século IX DC. Na Espanha sob domínio mouro, escolas de Astronomia foram estabelecidas em Córdoba e Toledo. Próximo do Cairo, o astrônomo Ibn-Younis (979–1008 DC) compilou os dados para a Tábua Hakémite, grande tábua astronômica, considerada pelos árabes como a mais importante obra astronômica em sua língua.

Neste período, a Teoria Geocêntrica de Ptolomeu continuava geralmente aceita, até que sua incapacidade de prever as posições futuras dos planetas demonstrou a sua inadequabilidade. Quando as **Tábuas Afonsinas** foram publicadas, no século XIII DC, um número crescente de astrônomos já considerava essa doutrina inaceitável. Sua substituição pela Teoria Heliocêntrica é creditada, principalmente, a Nicolau Copérnico (ou Koppernigk).

e. ASTRONOMIA MODERNA

Copérnico testou sua teoria por observações contínuas, até o ano de sua morte, tendo publicado nesse ano (1543) a obra “**De Revolutionibus Orbium Coelestium**”, na qual afirma que a Terra gira em torno do seu eixo diariamente e percorre uma órbita circular anual em torno do Sol. Além disso, Copérnico também colocou outros planetas em órbitas circulares em torno do Sol, informando que Mercúrio e Vênus estavam mais próximos do Sol que a Terra, e os demais planetas mais afastados. Afirmava, ainda, que as estrelas eram fixas no espaço e que a Lua movia-se em órbita circular em torno da Terra. Suas conclusões só se tornaram amplamente conhecidas cerca de um século depois, quando Galileu as publicou. Com Copérnico nasceu a **moderna Astronomia**, embora medições precisas das posições e movimentos dos astros só tenham se tornado possível com a invenção do **telescópio**, cerca do ano de 1608.

Galileu Galilei (1564–1642) trouxe importantes contribuições à **Astronomia**, que serviram como base para o trabalho de cientistas posteriores, em particular Isaac Newton. Galileu descobriu os satélites de Júpiter, proporcionando novas oportunidades para determinação da Longitude em terra. Ademais, seu apoio à Teoria Heliocêntrica (apesar de ter que renegá-la, sob ameaça da Inquisição), seu emprego e aperfeiçoamento do telescópio e, principalmente, a clareza e abrangência dos seus estudos e registros, pavimentaram o caminho para os astrônomos que o sucederam.

No início do século XVII, antes da invenção do telescópio, o dinamarquês Tycho Brahe (1546–1601) descobriu que o planeta Marte estava em uma posição 8' afastada daquela requerida pela Teoria Geocêntrica. Quando o telescópio tornou-se disponível, astrônomos determinaram que o diâmetro aparente do Sol variava durante o ano, indicando que a distância da Terra ao Sol varia e que, portanto, sua órbita não é circular.

Johannes Kepler (1571–1630), astrônomo alemão membro da equipe e sucessor de Tycho Brahe, publicou, em 1609, dois dos mais importantes princípios astronômicos, a Lei das Áreas Iguais e a Lei das Órbitas Elípticas. Nove anos depois, anunciou sua terceira lei, que relaciona os períodos de revolução de quaisquer dois planetas com as suas respectivas distâncias do Sol (Lei da Proporcionalidade dos Quadrados das Revoluções e dos Cubos das Distâncias). As descobertas de Kepler proporcionaram uma base matemática pela qual tábuas de dados astronômicos mais precisos foram computadas para os exploradores marítimos da época.

Isaac Newton (1642–1727) consolidou as conclusões de Kepler na Lei da Gravitação Universal, quando publicou suas três leis dos movimentos, em 1687. Como os planetas exercem forças de atração uns sobre os outros, suas órbitas não concordam exatamente com as Leis de Kepler. Os trabalhos de Newton levaram isto em consideração e, como resultado, os astrônomos foram capazes de prever com maior precisão as posições dos corpos celestes, beneficiando os navegantes com tábuas mais exatas de dados astronômicos.

Em 1718, Edmond Halley detectou um movimento nas estrelas diferente do causado pela precessão, o que levou-o a concluir que elas tinham um movimento próprio. Pelo estudo dos trabalhos de astrônomos de Alexandria, Halley descobriu que algumas das principais estrelas tinham alterado suas posições de até 32'. Poucos anos depois, Jacques Cassini proporcionou maior amparo à descoberta de Halley, quando determinou que a Declinação de Arcturus tinha variado de 5' nos 100 anos decorridos desde que Brahe havia feito suas observações. Este **movimento próprio** das estrelas constitui um deslocamento adicional ao causado pela **precessão, nutação e aberração**. A **aberração**, responsável pelo deslocamento aparente das posições das estrelas ao longo do ano, em virtude da combinação da velocidade orbital da Terra e da velocidade da luz, e a **nutação** (ver o Capítulo 17) foram descobertas pelo astrônomo inglês James Bradley (1693–1762), na primeira metade do século XVIII.

Entre 1764 e 1784, os franceses Lagrange e Laplace provaram a estabilidade mecânica do Sistema Solar. Antes de seus trabalhos, essa estabilidade tinha sido questionada, devido às inconsistências aparentes nos movimentos de alguns planetas. Depois de suas demonstrações e da obra **Mécanique Céleste**, de Laplace, os Almanques Astronômicos para os navegantes puderam ser refinados e aperfeiçoados.

Nossa resenha se encerra com a Teoria Geral da Relatividade de Einstein (1879–1955), apresentada em 1916 e que causou o maior impacto na ciência do século XX. Sua teoria foi de grande significado para a evolução da astronomia e da cosmologia, permitindo, por exemplo, resolver o problema do avanço do periélio de Mercúrio, da curvatura da luz e do deslocamento para o vermelho das linhas espectrais por um campo gravitacional.

16.2.3 NAVEGAÇÃO ASTRONÔMICA

a. OS PRIMÓRDIOS

Antes do desenvolvimento da **agulha magnética**, os navegantes, conforme mencionado, usavam os astros principalmente como referências para rumos. Muito cedo na história da navegação, os homens notaram que a **estrela polar** (deve ter sido α **Draconis**, naquela época, e não **Polaris**) permanecia próxima de um ponto no céu ao Norte. Isto servia como sua referência. Quando a **estrela polar** não estava visível, os navegantes usavam outras estrelas,

o Sol ou a Lua. A agulha, entretanto, permitiu ao homem aventurar-se com maior segurança em viagens mais longas, no mar aberto, fora do alcance de terra, daí derivando a necessidade de instrumentos e técnicas para determinar a posição do navio.

A **agulha magnética** é um dos mais antigos instrumentos de navegação. Sua origem não é conhecida com certeza. Em 203 AC, quando Aníbal navegou da Itália de regresso a Cartago, diz-se que seu piloto era **Pelorus** (nome hoje dado ao pedestal em que é montada uma **agulha magnética**, uma **agulha giroscópica** ou suas **repetidoras**). Talvez a **agulha magnética** já estivesse em uso, então. Há, também, pouca evidência para consubstanciar a teoria de que os chineses a inventaram. Algumas vezes se afirma que os árabes trouxeram-na para a Europa, mas isto, também, não pode ser provado.

O desenvolvimento da agulha magnética provavelmente ocorreu há cerca de 1.000 anos. A bússola mais antiga conhecida consistia de uma agulha imantada dentro de um canudo de palha (para lhe dar flutuabilidade), boiando na água, em uma cuba estanque. Daí sua denominação inicial de **calamita**, derivada da palavra grega para caniço, **kalamites**. Embora parem muitas dúvidas sobre a sua invenção, o aperfeiçoamento da **agulha magnética** para propósitos de navegação tem sido freqüentemente atribuído a Flavio Gioia (ou Gioja), navegante italiano de Amalfi, nascido nos fins do século XIII. Em 1302, teria aperfeiçoado a bússola marítima, dotando-a de caixa conveniente e carta-compasso (rosa de rumos). Entretanto, cerca de 100 anos antes, em 1200 DC, uma agulha usada por navegantes quando a estrela polar estava escondida já era descrita por um poeta francês, Guyot de Provins. Além disso, o escritor Hugo de Bercy, em 1248, mencionou a construção de um novo tipo de bússola marítima, na qual a agulha imantada era suportada por dois flutuadores. O Peregrino Pedro de Maricourt, na sua **Epístola de Magnete**, de 1269, cita uma bússola líquida, cuja agulha imantada pivotava sobre um eixo vertical, com linha-de-fé e equipada com um dispositivo para a medida de marcações. Quando se acrescentou a rosa graduada (**rosa dos ventos**), a **agulha magnética** assumiu a forma com a qual estamos familiarizados.

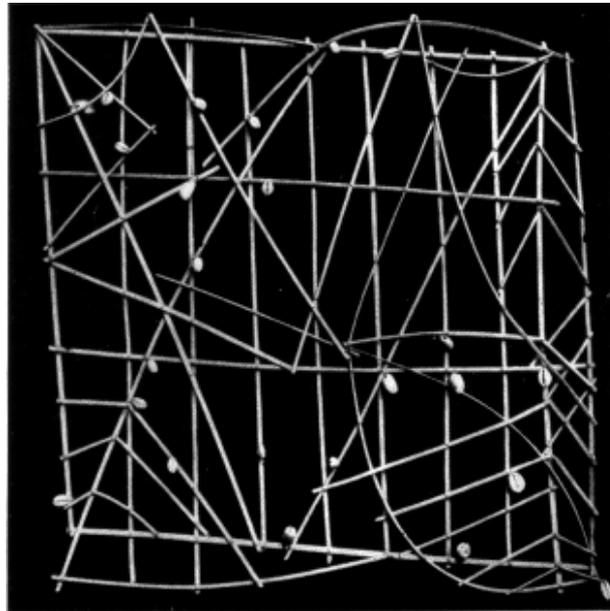
Os navegantes nórdicos do século XI já conheciam a **agulha magnética**. Além deste detalhe, pouco mais se sabe sobre os métodos de navegação usados pelos vikings. A extensão de suas viagens pressupõe o emprego de métodos mais avançados do que os indicados nos escassos registros existentes, que, ademais, são conflitantes. Uma explicação pode ser que os vikings deixaram muito poucos testemunhos escritos, de qualquer espécie. Outra explicação possível relaciona-se com a barreira de segredo com a qual os antigos navegantes cercavam e protegiam sua profissão e seus conhecimentos.

Os antigos polinésios também foram grandes navegadores. Segundo uma tradição oral, esses povos da Idade da Pedra conheciam os “caminhos do céu”. Embora não haja registros, é certo que navegavam pelo Sol, durante o dia, e pelas estrelas, à noite. Seu conhecimento dos corpos celestes era impressionante. Eles sabiam que a Terra era redonda e tinham nomes para conceitos complexos, como o Equador e os Trópicos. Os polinésios conheciam cinco planetas, que chamavam de **estrelas errantes**, distinguindo-os das demais estrelas fixas, para as quais tinham quase duzentos nomes.

Além disso, preparavam cartas de navegação, que mantinham secretas, tendo-as escondido dos espanhóis (primeiros homens brancos que singraram suas águas) e, até mesmo, do grande Capitão Cook. Quem revelasse os seus segredos, era punido com a morte. Tais cartas só chegaram ao conhecimento do Ocidente há cerca de 200 anos. Nas cartas dos polinésios (figura 16.4), as posições das ilhas de coral dos arquipélagos do Pacífico eram representadas por conchas, as direções entre elas por varetas de palmeiras ou tendões de folhas de coqueiro. As conchas eram atadas às varetas por fibras de coqueiro. Além das

posições das ilhas, essas cartas também indicavam, da melhor maneira que podiam, várias outras informações úteis aos navegantes, como, por exemplo, a direção predominante dos vagalhões e marulho. Certas varetas curvas mostravam as distâncias nas quais as diversas ilhas eram normalmente visíveis, do largo.

Figura 16.4 – Carta Náutica dos Polinésios (Arquipélago Marshall)



As cartas micronésias das Ilhas Marshall eram de três tipos: “**mathang**”, “**medo**” e “**rebbelib**”. As cartas “**mathang**” eram apenas meios esquemáticos simplificados de instrução, nas quais os jovens filhos dos chefes aprendiam os elementos da arte da navegação, as distâncias entre as ilhas e suas posições em relação às outras. Era possível, inclusive, determinar-se o Norte por elas. As cartas “**medo**” eram representações mais detalhadas de partes do arquipélago, correspondendo às nossas cartas para navegação costeira e cartas de aproximação. O terceiro tipo, as cartas “**rebbelib**”, eram representações de todo ou de metade do arquipélago, em pequena escala, correspondendo às nossas atuais cartas gerais ou de grandes trechos.

Os polinésios competem, e talvez ultrapassem, os navegantes nórdicos, na ousadia de suas viagens através das vastidões oceânicas. Nosso conhecimento das aventuras dos polinésios no mar é obtido de fontes semelhantes àquelas que nos contam o que sabemos dos vikings, isto é, de suas sagas ou tradições orais. Talvez estes povos tenham desenvolvido seus poderes de percepção numa intensidade tal que a navegação tenha se tornado para eles uma **arte** altamente avançada, prescindindo de uma base científica mais complexa. Nesse respeito, a navegação que praticavam pode não diferir muito da que algumas aves, peixes e mamíferos executam.

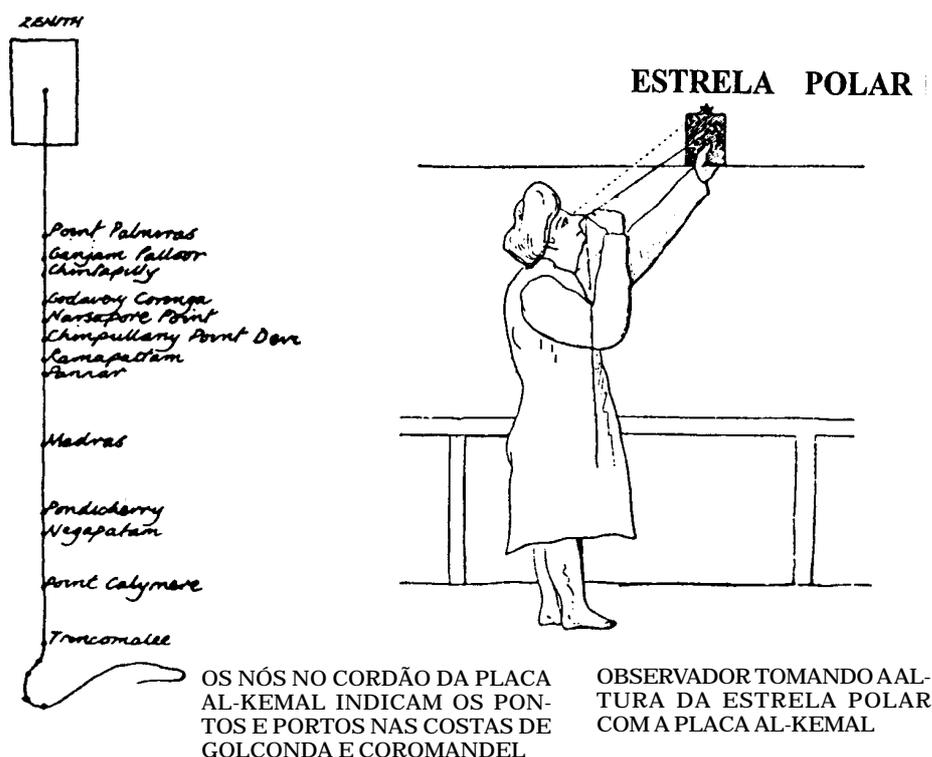
b. SAGRES E A ERA DOS DESCOBRIMENTOS

No Ocidente, as viagens mais longas possibilitadas pela utilização da **agulha magnética** trouxeram a necessidade do emprego de instrumentos para medida de ângulo vertical, que pudessem ser usados no mar para determinação de alturas dos astros, de modo que fosse possível calcular a latitude.

Provavelmente, o primeiro dispositivo deste tipo usado no mar foi o **quadrante comum**, a forma mais simples dos instrumentos para medida de ângulo vertical. Feito de madeira, consistia de $\frac{1}{4}$ de círculo, isto é, um arco de 90° (de onde deriva o nome **quadrante**), mantido vertical por meio de um prumo de chumbo. Uma observação feita com esse instrumento no mar demandava dois ou três homens. O **quadrante comum** foi, com certeza, usado em terra por séculos, antes de ser empregado no mar, sendo desconhecida a época em que começou a ser utilizado na navegação.

No Oriente, Vasco da Gama, na viagem de descoberta do caminho marítimo para as Índias, encontrou na mão de pilotos asiáticos (e trouxe pelo menos um exemplar no seu regresso a Lisboa) um instrumento rudimentar para medida de altura dos astros, a **placa Al-Kemal** (ou “**Kamal**”), a que denominou **Tábua da Índia**. O instrumento consistia de uma pequena placa retangular, normalmente feita de chifre (figura 16.4a), com um cordão fixado ao centro, tendo uma série de nós, indicando determinados locais, cujas latitudes haviam sido previamente determinadas. Para o uso da placa Al-Kemal (que significa, em árabe, a “linha guia”), o observador elevava o instrumento, com o lado maior na vertical, na direção da estrela polar, e o movia, afastando ou aproximando do seu olho, até que sua altura ocupasse exatamente o espaço entre a **estrela polar** e o **horizonte**.

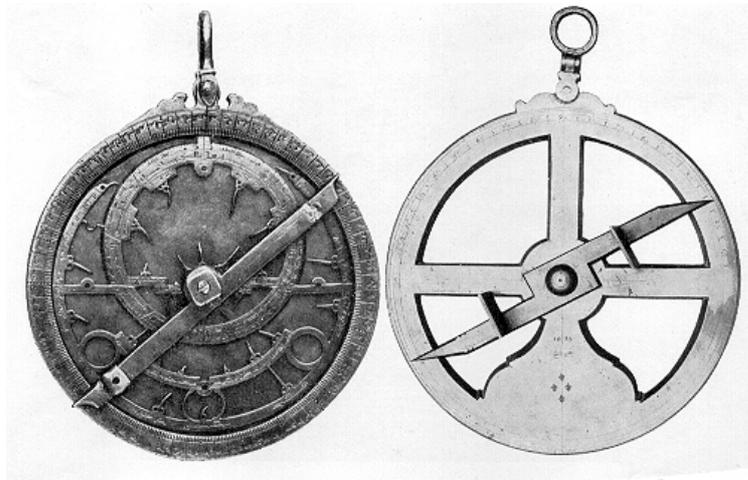
Figura 16.4a - Placa Al-Kemal (Tábua da Índia)



Então, com a outra mão, distendia o cordão preso ao seu centro e verificava qual o nó que ficava junto ao seu nariz. Como a cada nó correspondia um determinado local, o navegante descobria que estava, ao largo, na Latitude de um lugar conhecido.

Inventado, possivelmente, por Apolonio de Perga, no século III AC, ou por Hiparco, no século II AC, o **astrolábio** foi tornado portátil pelos árabes, cerca do ano 700 DC. Já era usado por pilotos cristãos no fim do Século XIII, muitas vezes como um instrumento bastante elaborado, feito de metais preciosos. Alguns **astrolábios náuticos** podiam ser usados, também, como identificadores de estrelas, pela fixação ao instrumento de uma placa gravada com uma carta celeste e tabelas estelares (figura 16.5).

Figura 16.5 – Astrolábios



ASTROLÁBIO DO SÉCULO XIV,
DOTADO DE CARTA CELESTE
E TABELAS PARA IDENTIFICAÇÃO
DE ASTROS

ASTROLÁBIO NÁUTICO, MAIS
FÁCIL DE SER USADO A BORDO,
ALÉM DE SER MAIS BARATO

O princípio do **astrolábio** era semelhante ao do **quadrante comum**, mas o **astrolábio** consistia de um disco de metal, graduado em graus (a que chamavam a roda do astrolábio), aparelhado com um dispositivo móvel de visada (alidade de pínulas). No uso do **astrolábio**, os navegantes ajustavam o dispositivo de visada até alinhá-lo com o astro e, então, liam a sua **distância zenital**, na escala graduada. Tal como com o **quadrante comum**, a vertical era estabelecida por um prumo de chumbo. Três homens eram necessários para fazer uma observação com o **astrolábio** (um segurava o instrumento pelo anel existente no seu tope, outro alinhava o dispositivo de visada com o astro-alvo e o terceiro fazia a leitura da sua distância zenital). Além disso, o menor balanço ou caturro do navio causava grandes erros de observação. Por esta razão, os navegantes foram forçados a abandonar o prumo de chumbo e tornar o horizonte sua referência para as medidas dos ângulos verticais.

Assim, as técnicas e os instrumentos disponíveis para navegação no final da Idade Média não eram adequados para as grandes aventuras do homem nos oceanos incógnitos, que passaram à História com o nome de Era dos Descobrimentos.

O Infante D. Henrique, “O Navegador”, constitui o melhor exemplo do início desta época, quando a Europa era, ainda, parte moderna e parte medieval. Nascido em 1394, terceiro filho de D. João I de Portugal e da princesa inglesa Philippa de Lencastre, D. Henrique, depois de destacar-se no combate aos infiéis em Ceuta, estabeleceu-se no Algarve, em 1419, no Promontório de Sagres, próximo do Cabo São Vicente, “onde a terra acaba e o mar começa”. O Infante, segundo um de seus biógrafos, Gomes Eanes de Zurara, mostrava, para aqueles que o viam pela primeira vez, um aspecto severo. Ademais, tinha força de vontade, uma aguda inteligência e um desejo férreo de realizar grandes feitos, além de quaisquer comparações.

Em Sagres, D. Henrique reuniu cartógrafos, matemáticos, cosmógrafos, mestres em construção naval e na fabricação de instrumentos náuticos; judeus, árabes e especialistas

de todas as partes da Europa, para os estudos de navegação e das demais ciências náuticas, que abriram o caminho para os grandes descobrimentos.

Depois de 15 anos de esforços do Infante, seus Comandantes dobraram o temido Cabo Bojador (Gil Eanes; 1434). Quando D. Henrique morreu, em 1460, centenas de milhas da costa africana haviam sido acrescentadas ao mapa do mundo.

Ademais, com os portugueses, pela primeira vez na história das viagens dos povos ocidentais, navios permaneceram isolados no mar por várias semanas, ou, até mesmo, por meses, fora do alcance visual de terra. É oportuno lembrar que, no regresso das expedições à costa oeste da África, os navios do Infante, para aproveitar o regime de ventos, executavam um grande semicírculo, afastando-se da costa com os alísios de nordeste e a corrente de rumo Sul, encurvando a derrota depois para Noroeste, até entrar na região de ventos de Oeste, quando, então, guinavam para Leste, buscando a Latitude do seu destino, em Portugal, com ventos favoráveis.

Esta inteligente manobra náutica é denominada por modernos historiadores de **volta do largo**. Na Época dos Descobrimentos, era chamada de **volta da Guiné**, ou **volta da Mina**, porque era da costa da Guiné ou da fortaleza de São Jorge da Mina (na atual Ghana) que os navegantes partiam da costa para executar sua singradura em arco. Na execução desta derrota, os portugueses descobriram o arquipélago da Madeira, as ilhas Selvagens, os Açores e, finalmente, o arquipélago de Cabo Verde.

Em 1488, Bartolomeu Dias ultrapassou o Cabo da Boa Esperança. Em 1498, Vasco da Gama descobriu o caminho marítimo para as Índias. Eles, juntamente com Colombo e Fernão de Magalhães, foram produtos da escola de Sagres. Após o Infante, escreveu um autor contemporâneo, “havia melhores navios, melhores cartas e melhores instrumentos de navegação”. Abandonando a Corte em Lisboa e retirando-se para o Algarve, onde dedicou-se a Sagres pelo restante de sua vida, o Infante D. Henrique pautou-se pela famosa máxima de Pompeu, **“navigare necesse est , vivere non est necesse”**.

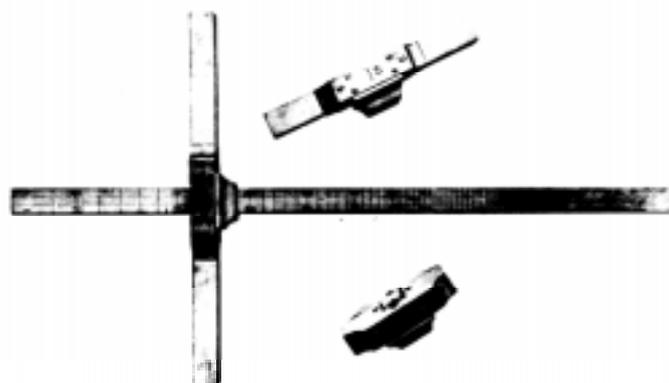
Alcançado o Equador, os portugueses não podiam mais usar a **estrela polar** para determinar suas Latitudes. Assim, em 1472, Abraham Zacuto preparou seu **“Almanach Perpetuum”**, que continha tabelas da Declinação do Sol na forma mais útil jamais apresentada para os navegantes (Zacuto denominou-as **“Tabula declinationis planetarum & Solis ab equinoctiali”**). Da mesma forma, o astrônomo alemão Martin Behaim, a serviço de Portugal, também calculou uma tabela anual de Declinações do Sol, de modo que fosse possível observar o astro-rei, em vez da estrela polar, para determinação da Latitude.

Em 1505–1508, Duarte Pacheco Pereira escreveu sua obra **“Esmeraldo de Situ Orbis”**, que, embora não tenha sido publicada de maneira formal até o final do século XIX, circulou amplamente em forma manuscrita no século XVI, sendo muito bem considerada pelos navegantes. Apesar de essencialmente um Roteiro, o livro contém um adendo do autor sobre Cosmografia, Astronomia Náutica e Navegação Astronômica, Antropologia e Geografia.

Em 1509, é publicado em Lisboa o **“Regimento do estrolábio e do quadrante”** (grafia original), explicando o método de determinação da Latitude pela observação meridiana do Sol e pela estrela polar, apresentando uma tabela para obtenção da Longitude pela navegação estimada e relacionando a Longitude de um determinado

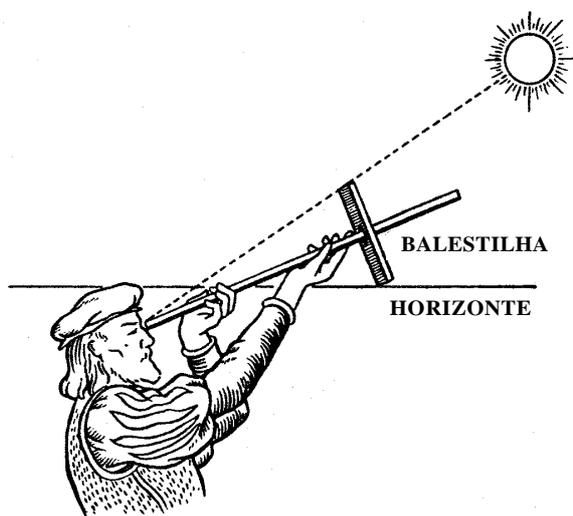
das alturas, o navegante montava a peça cruzada adequada na haste e, mantendo uma de suas extremidades junto ao olho, ajustava o travessão até que sua extremidade inferior estivesse alinhada com o horizonte e a extremidade superior com o astro visado (figura 16.8). A haste era graduada para indicar a altura do astro observado. Para usar a **balestilha**, o navegante era forçado a olhar para o horizonte e para o astro visado, ao mesmo tempo.

Figura 16.7 - Balestilha



PRIMEIRO INSTRUMENTO A UTILIZAR O HORIZONTE VISUAL COMO REFERÊNCIA PARA OBSERVAÇÕES DE ALTURAS DE ASTROS

Figura 16.8 - Observação da Altura do Sol com a Balestilha



Em 1590, John Davis inventou o **quadrante náutico** ou **quadrante de Davis** (figura 16.9). Além de inventor de instrumentos náuticos, John Davis foi autor de um importante livro prático de navegação (“The Seaman’s Secrets”– 1594) e um navegante ilustre, que tentou descobrir a Passagem Noroeste, entre o Atlântico e o Pacífico. O **quadrante náutico**, ou **quadrante de Davis**, marcou um grande avanço. Para o uso desse instrumento, o navegante dava as costas para o Sol e alinhava sua sombra com o horizonte (figura 16.10). O **quadrante de Davis** tinha dois arcos; a soma das leituras mostradas em cada um era a **distância zenital** do Sol. Posteriormente, esse instrumento recebeu um espelho, para permitir observações de outros astros, além do Sol (figura 16.11).

Figura 16.9 - Quadrante de Davis (ou Quadrante Náutico)

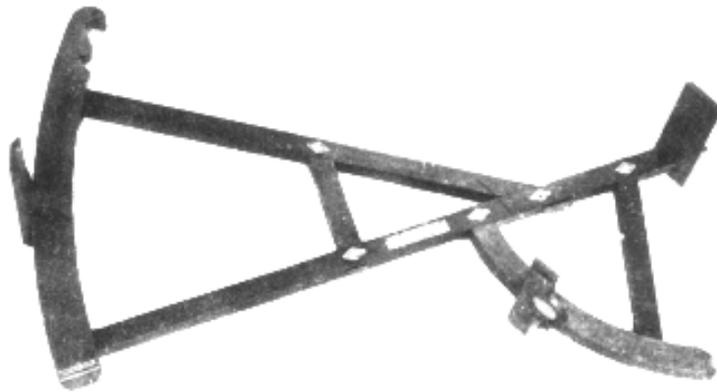


Figura 16.10 - Uso do Quadrante de Davis

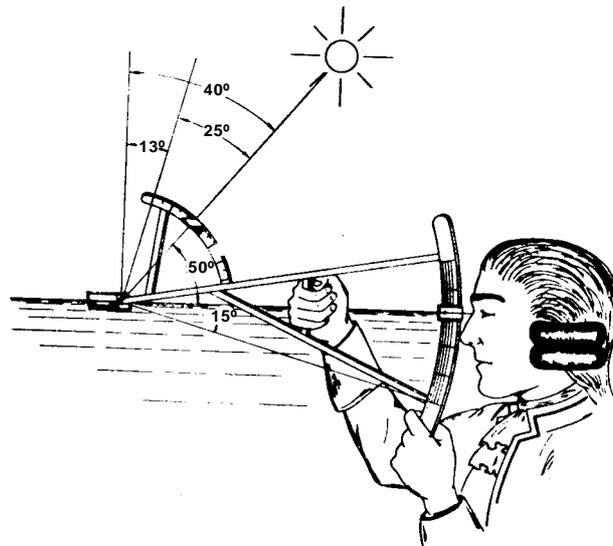
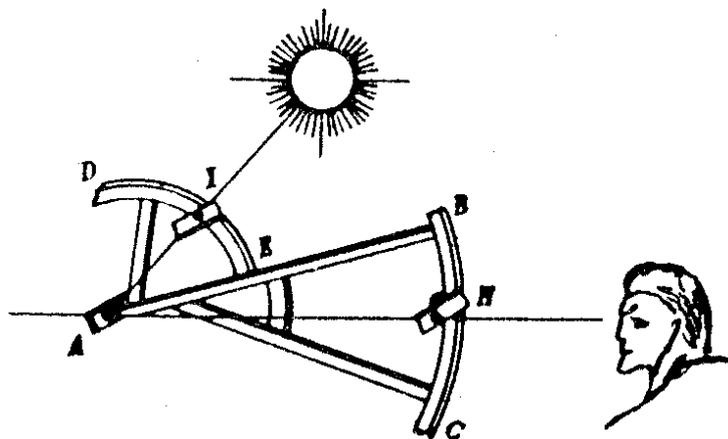


Figura 16.11 - Aperfeiçoamento do Quadrante de Davis



Outro instrumento desenvolvido aproximadamente na mesma época foi o **noturnal** ou **noturlábio** (figura 16.12), cujo propósito era prover ao navegante a correção apropriada a ser aplicada à altura da estrela Polar para obter a Latitude. Visando **Polaris** pelo orifício existente no centro do instrumento e ajustando o braço móvel de forma a apontar para **Kochab** (figura 16.13), o navegante podia ler no instrumento a correção acima citada. A maioria dos **noturlábios** tinha um disco adicional externo, graduado para os dias e meses do ano; ajustando esse disco, o navegante podia, também, determinar a hora pela observação de estrelas.

Figura 16.12 - Noturnal ou Noturlábio (Instrumento usado para determinar a latitude pela observação da estrela Polar)

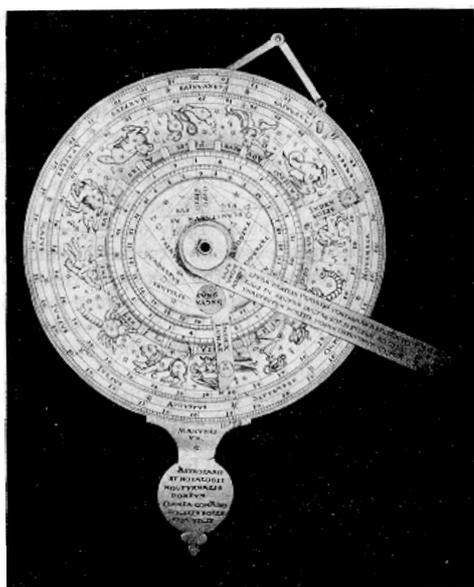
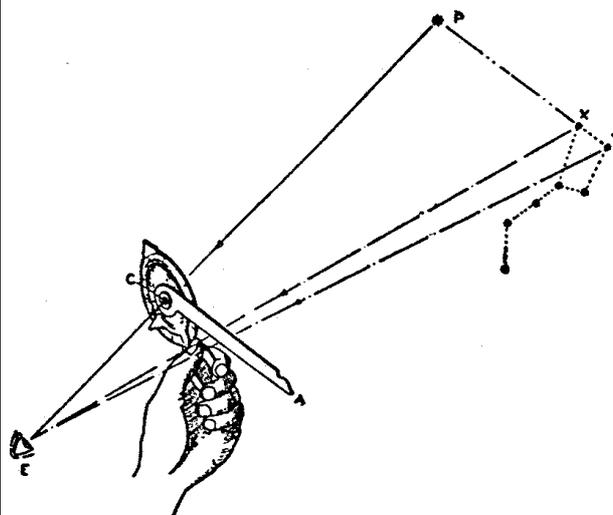


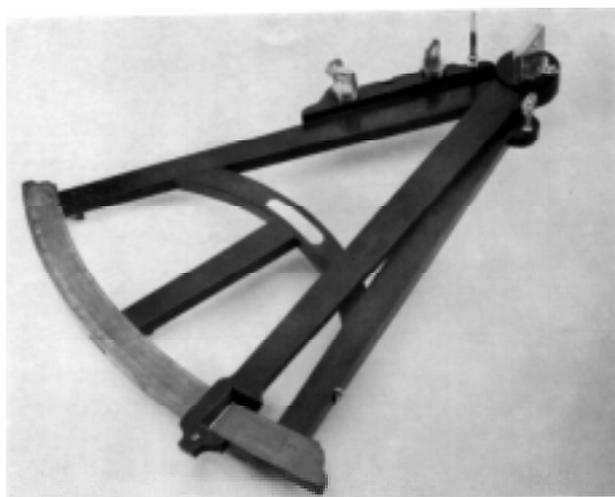
Figura 16.13 - Uso do Noturnal



Tycho Brahe havia projetado diversos instrumentos com arcos de 60° , dotados de uma mira fixa e outra móvel, a que chamou de **sextantes**, denominação que, posteriormente, foi estendida a todos os instrumentos de medida de alturas de astros usados pelos navegantes.

Em 1700, Isaac Newton remeteu a Edmond Halley, então Astrônomo Real, a descrição de um instrumento para medida de alturas dotado de espelhos de dupla-reflexão, princípio ótico dos modernos **sextantes náuticos**.

Figura 16.14 - Octante de Hadley



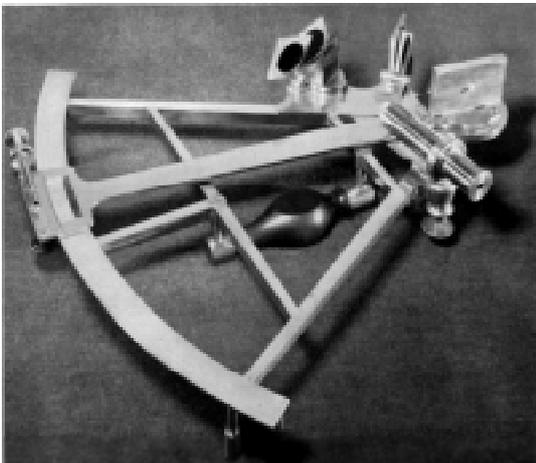
Em 1730, o inglês John Hadley e o americano Thomas Godfrey construíram instrumentos que consagravam definitivamente o projeto de Newton. O instrumento original construído por Hadley era, de fato, um **octante** (arco de 45°), mostrado na figura 16.14, mas, devido ao princípio de **dupla-reflexão**, media ângulos até $\frac{1}{4}$ da circunferência, ou 90° . Quanto ao instrumento de Godfrey, há registros de que o mesmo era um quadrante e, assim, usando o princípio da **dupla-reflexão**, capaz de medir ângulos

de até 180°. Os dois inventores receberam prêmios da Sociedade Real Inglesa, tendo seus trabalhos sido considerados um caso de invenções independentes simultâneas, embora Hadley provavelmente tenha precedido Godfrey por alguns meses.

Em poucos anos, ambos os instrumentos foram testados com sucesso no mar, mas foram ainda necessárias mais de duas décadas para que os navegantes substituíssem suas **balestilhas e quadrantes de Davis** pelo novo **sextante**.

Em 1733, Hadley adaptou um **nível de bolha** ao **sextante**, tornando-o capaz de medir alturas independentemente do horizonte do mar. Alguns anos depois, o primeiro **sextante de bolha** foi desenvolvido.

Figura 16.15 – Sextante de Vernier (c. 1770–1780)



Posteriormente, o dispositivo adaptado por Pierre Vernier, em 1631, ao limbo do quadrante, constituído por um pequeno arco graduado que permitia a medida de ângulos com maior precisão, foi incorporado ao sextante, dando origem ao denominado **sextante de vernier** (figura 16.15).

Desde então, por mais de dois séculos, o **sextante** tem permanecido praticamente o mesmo. Os únicos aperfeiçoamentos notáveis foram, já durante o Século XX, a adaptação do parafuso sem fim e do tambor micrométrico

d. TÁBUAS ASTRONÔMICAS, ALMANAQUES E MANUAIS

Quanto aos **almanaques** e **tábuas astronômicas**, tão indispensáveis aos navegantes quanto os instrumentos náuticos, os trabalhos de Tycho Brahe e de Kepler no Observatório de Uraniburgum forneceram a base para publicação das “**Tábuas Rudolfinas**”, em 1627. O primeiro almanaque oficial, “**Connaissances des Temps**”, foi publicado pelo Observatório Nacional da França, em 1679.

O **Almanaque Náutico** inglês passou a ser anualmente publicado a partir de 1767, contendo tábuas de Declinação do **Sol** e correções às alturas observadas da **estrela polar**, para possibilitar a determinação da **Latitude**, além das posições da Lua em relação ao Sol, planetas e algumas estrelas e das **distâncias lunares** a certos astros, para uso do **método das distâncias lunares** para determinação da Longitude, adiante descrito. A partir de 1855, os norte-americanos passaram a dispor de seu próprio almanaque (“**American Ephemeris and Nautical Almanac**”).

No que se refere a Manuais de Navegação, o norte-americano Nathaniel Bowditch (1773-1838) publicou, em 1802, a primeira edição da sua obra “**The New American Practical Navigator**”. Entre outros méritos, o livro de Bowditch simplificou o método de determinação de Longitudes por distâncias lunares, eliminando muito do mistério que o cercava e tornando-o inteligível para o navegante médio. Posteriormente, Bowditch publicou diversas edições revistas do seu trabalho. Em 1868, após a morte de Bowditch e

depois de 35 edições do livro, o U.S. Navy Hydrographic Office, então recentemente organizado, comprou os direitos autorais e passou a publicar a obra com o título de “**American Practical Navigator (Bowditch)**”, ainda hoje, após inúmeras edições, o manual oficial de navegação dos Estados Unidos.

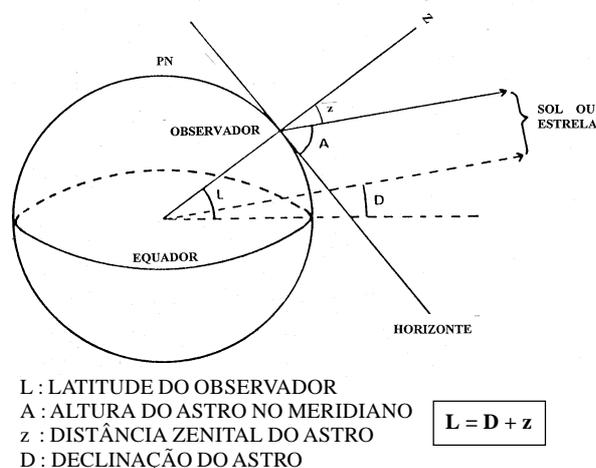
Em 1803, Norie, na Inglaterra, publicou o seu “**Epítome da Navegação**”, que, tal como o Bowditch, permitia ao navegante médio, de pouca educação formal, aprender o essencial sobre sua profissão. O livro de Norie também tornou-se um sucesso, passando por 22 edições, antes de começar a perder popularidade para o famoso manual do Comandante Lecky “**Técnicas para a Prática de Navegação**”, de 1881.

e. DETERMINAÇÃO DA LONGITUDE NO MAR

No século XVIII, restava, ainda, um problema fundamental a ser resolvido na **Navegação Astronômica**: a **determinação da Longitude no mar**.

Como vimos, a **Navegação Astronômica** foi desenvolvida pelos portugueses, a partir da metade do Século XV, de modo a tornar possível a **Navegação Oceânica**, envolvendo longas viagens, fora do alcance visual de terra. Em Sagres desenvolveram-se métodos para determinação da **Latitude** com razoável precisão (cerca de 30'), pela observação da **altura meridiana** do Sol ou de certas estrelas, como a **estrela polar** (figura 16.16). Já no Século XVI, instrumentos, cartas, tábuas astronômicas e métodos de cálculo e plotagem da **Latitude** estavam disponíveis para o navegante.

Figura 16.16 - Latitude Meridiana



Posteriormente, para atender à possibilidade de o céu estar nublado por ocasião da passagem meridiana do Sol, foram desenvolvidos métodos para determinação da **Latitude** por **observações extra-meridianas**. De uma forma geral, eram usados dois métodos para solução de observações extra-meridianas. O processo direto era mais preciso, embora exigisse uma solução trigonométrica. Na última parte do século XIX, entretanto, foram preparadas tábuas que tornaram mais prático o processo de redução ao meridiano, fazendo com que este passasse a ser o método normalmente utilizado, quando se necessitava recorrer às observações extra-meridianas.

A **Longitude**, entretanto, desde os tempos de Vasco da Gama, Colombo e Fernão de Magalhães, era geralmente determinada pela **navegação estimada**, considerando os vários **rumos e distâncias** navegadas. Como se sabe, a **navegação estimada** é, até

hoje, muito mais uma **arte** do que uma **ciência**. Quando o navegante, levando em conta os diversos rumos e distâncias navegadas (até pouco tempo medidas por instrumentos de pouca precisão), as correntes, o efeito do vento e as demais causas que afetam o movimento do navio, indica na carta a sua **posição estimada**, está exercitando uma grande dose de arte, onde coloca toda sua experiência e conhecimento. Ademais, os erros da **navegação estimada** aumentam rapidamente com a duração da viagem, a partir da última posição conhecida. Assim, no passado, uma afirmação muito comum na navegação era: “o navegante sempre conhece sua Latitude”. Mais correto, contudo, teria sido dizer: “o navegante nunca conhece sua Longitude”.

Sem conhecer com precisão sua **Longitude**, o navegante muitas vezes adotava a **navegação por paralelo**, ou **navegação por Latitude**, singrando para o Norte ou para o Sul, até atingir a Latitude do ponto de destino e, então, seguindo por este **paralelo de Latitude** até alcançar o referido local, embora isto pudesse significar um trajeto muito maior do que o percurso direto. Além disso, no tempo da navegação à vela, o regime de ventos vigente podia impedir ou dificultar demasiadamente este tipo de navegação.

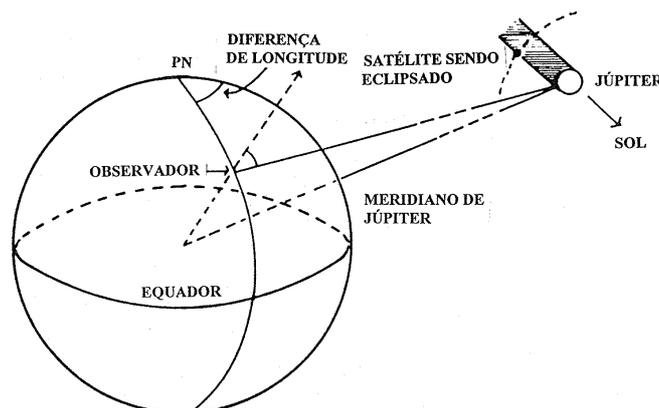
Portanto, o que se requeria, do final do século XV em diante, era um método preciso de **determinação da Longitude** no mar.

Quase que desde a época em que o movimento de rotação da Terra foi descoberto, os astrônomos reconheciam que a **Longitude** poderia ser determinada pela comparação da hora local com a hora em um meridiano de referência. De fato, a determinação da Longitude está inseparavelmente associada com a rotação da Terra em torno do seu eixo e, assim, com a medida do tempo. O problema era a determinação da hora no meridiano de referência.

Embora o uso de um relógio para esse fim tivesse sido sugerido desde 1530, por Gemma Frisius, seu emprego permaneceu impraticável por mais de dois séculos, até que um cronômetro suficientemente preciso pudesse ser levado a bordo.

Um dos primeiros métodos propostos para **determinação da Longitude** foi pela observação dos eclipses dos satélites de Júpiter, periodicamente encobertos por seu planeta (figura 16.17). Este método, originalmente proposto por Galileu para utilização em terra, requeria a capacidade de observar e identificar os satélites pelo emprego de um potente telescópio, o conhecimento dos instantes nos quais ocorreriam os eclipses e muita prática para manter o instrumento direcionado para o satélite enquanto a bordo de um pequeno navio, em mar agitado. Embora utilizado em casos isolados por muitos anos, o método não era satisfatório no mar, principalmente devido às dificuldades de observação dos satélites de Júpiter a bordo de um navio em movimento, usando os longos telescópios então necessários (alguns astrônomos recomendavam o emprego de telescópios de 5,5 a 6 metros de comprimento), e, também, em virtude da falta de previsões suficientemente precisas.

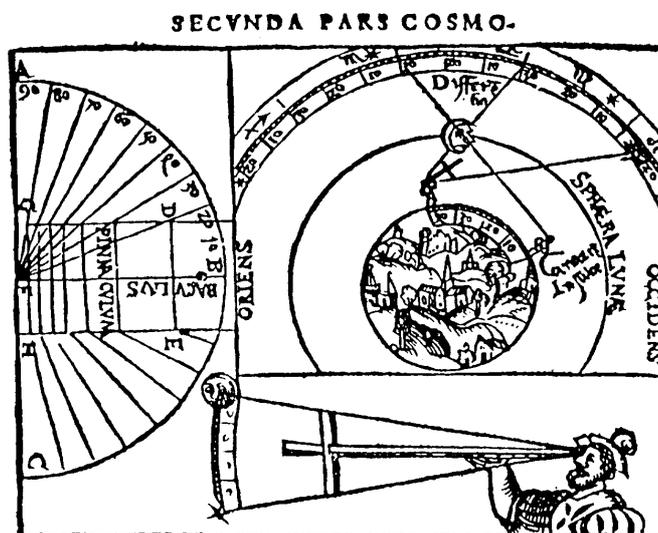
Figura 16.17 - Método do Eclipse dos Satélites de Júpiter



A **declinação magnética** também foi seriamente considerada como um método de determinação de Longitude, por mais de 200 anos. Rui Faleiro, cosmógrafo e conselheiro de Fernão de Magalhães, acreditava que a **declinação magnética** pudesse ser utilizada para esse fim e, até o desenvolvimento do cronômetro, diversos trabalhos foram realizados, na tentativa de aperfeiçoar esta teoria falaciosa. A sua origem provavelmente está relacionada ao fato de Ptolomeu ter traçado o seu **meridiano de referência** para contagem das Longitudes (que ele numerava apenas para leste) através das Ilhas Canárias (ou melhor, através do arquipélago atlântico que, posteriormente, veio a ser identificado como as Ilhas Canárias), então no limite do mundo conhecido. Quando o fenômeno da **declinação magnética** foi descoberto, verificou-se (ou, simplesmente, assumiu-se a suposição) que seu valor era zero nesse arquipélago. Assim, o meridiano ptolomaico de referência foi imediatamente aceito pelos defensores da teoria como uma **linha agônica** (de **declinação magnética** nula), inferindo-se que os lugares a Leste teriam declinação magnética E e que os lugares a Oeste teriam declinação magnética W, e que o valor da declinação seria proporcional à Longitude. Esta idéia, na realidade absolutamente fantástica, teve muitos advogados ilustres, só perdendo o interesse e prestígio com o aperfeiçoamento do método de distâncias lunares e a invenção do cronômetro.

O primeiro método amplamente usado no mar para determinação da Longitude com alguma precisão foi o **método de distâncias lunares**, pelo qual o navegante determinava a hora no meridiano de referência pela observação da Lua entre as estrelas. Regiomontanus, em 1472, e John Werner, em 1514, foram os primeiros a propor o uso do método de **distância lunar** para determinar a Longitude. Também no século XVI, Petrus Apianus, Gemma Frisius (figura 16.18) e Pedro Nunes consideraram o emprego deste método. No entanto, cerca de 250 anos iriam se passar antes que se tornasse praticável prever os movimentos da Lua e observar sua posição entre as estrelas com suficiente precisão. Uma das principais razões para o estabelecimento do Observatório Real de Greenwich foi a realização das observações necessárias para proporcionar previsões mais precisas das posições futuras da Lua. Vários astrônomos favoreciam este método, que, meio século depois da invenção do cronômetro, ainda estava sendo aperfeiçoado. Mesmo quando, a partir de 1790, os cronômetros começaram a tornar-se disponíveis, eram ainda caros e, em comparação com o número de usuários potenciais, relativamente escassos. Assim, muito depois de sua invenção, o **método de distâncias lunares**, tornado amplamente disponível com a primeira edição do Almanaque Náutico inglês, em 1767 (figura 16.19), permaneceu em uso.

Figura 16.18 - Ilustração mais Antiga Conhecida do Método de Distâncias Lunares



(COSMOGRAPHIA PETRI APIAN PER GEMMA FRISIUM, 1524)

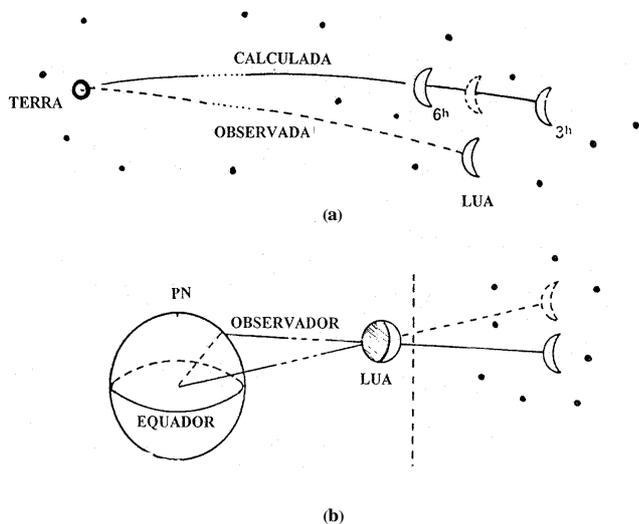
Figura 16.19 – 1ª Edição do Almanaque Náutico Inglês (1767)

THE NAUTICAL ALMANAC 1767

[36] M A R C H 1767.				
Stars Names.	Distances of \odot 's Center from \odot , and from Stars west of her.			
	12 Hours.	15 Hours.	18 Hours.	21 Hours.
	o' / ' / "	o' / ' / "	o' / ' / "	o' / ' / "
3 The Sun.	47. 35. 32	49. 14. 7	50. 52. 15	52. 29. 58
4	60. 31. 52	62. 6. 53	63. 41. 28	65. 15. 37
5	72. 59. 57	74. 31. 33	76. 2. 45	77. 33. 33
6	85. 1. 42	86. 30. 12	87. 58. 22	89. 26. 11
7	96. 40. 30	98. 6. 26	99. 32. 5	100. 57. 27
8	108. 0. 35	109. 24. 27	110. 48. 7	112. 11. 34
9	119. 6. 21			
6 α Arietis.	36. 56. 52	38. 32. 5	40. 7. 2	41. 41. 42
7	49. 30. 50	51. 3. 51	52. 36. 36	54. 9. 5
8 Aldebaran.	30. 50. 33	32. 16. 45	33. 43. 9	35. 9. 45
9	42. 24. 35	43. 51. 40	45. 18. 45	46. 45. 51
10	54. 1. 29	55. 28. 35	56. 55. 42	58. 22. 48
11	65. 38. 23	67. 5. 29	68. 32. 35	69. 59. 42
12 Pollux.	34. 42. 35	36. 10. 18	37. 38. 5	39. 5. 57
13	46. 26. 22	47. 54. 39	49. 23. 0	50. 51. 26
14 Regulus.	21. 13. 28	22. 42. 27	24. 11. 34	25. 40. 48
15	33. 8. 32	34. 38. 25	36. 8. 24	37. 38. 30
16	45. 10. 46	46. 41. 36	48. 12. 32	49. 43. 36
17	57. 20. 54	58. 52. 45	60. 24. 45	61. 56. 54
18 Spica μ .	15. 48. 39	17. 20. 33	18. 52. 46	20. 25. 17
19	28. 12. 30	29. 46. 44	31. 21. 15	32. 56. 1
20	40. 53. 41	42. 30. 0	44. 6. 34	45. 43. 27
21	53. 51. 55	55. 30. 27	57. 9. 17	58. 48. 25
22	67. 8. 48	68. 49. 50	70. 31. 11	72. 12. 52
23 Antares.	34. 55. 40	36. 39. 31	38. 23. 42	40. 8. 14
24	48. 56. 5	50. 42. 38	52. 29. 31	54. 16. 45
25	63. 17. 49	65. 6. 58	66. 56. 24	68. 46. 7
26 β Capricorni.	23. 43. 43	25. 32. 9	27. 21. 11	29. 10. 44
27 α Aquile.	46. 57. 42	48. 20. 33	49. 44. 53	51. 10. 35
28	58. 36. 8	60. 7. 55	61. 40. 21	63. 13. 19

Figura 16.20 – Método de Distâncias Lunares

ESTRELAS E PLANETAS



- (a) MOSTRA O MOVIMENTO DA LUA ENTRE OS OUTROS ASTROS, TENDO COMO PONTO DE VISTA O CENTRO DA TERRA. QUALQUER POSIÇÃO OBSERVADA DA LUA DEVE SER CORRIGIDA (PARA PARALAXE E REFRAÇÃO). A DISTÂNCIA LUNAR CORRIGIDA (AO SOL OU OUTRO ASTRO) CORRESPONDE A UMA DETERMINADA HORA, NO MERIDIANO DE REFERÊNCIA, QUE ERA FORNECIDA PELO ALMANAQUE NÁUTICO
- (b) ILUSTRA A CORREÇÃO PARA PARALAXE

O princípio do **método de distâncias lunares** é que a Lua, no seu movimento em torno da Terra, pode ser usada como um relógio. A Lua funciona como o ponteiro do relógio, enquanto o Sol, os planetas e as estrelas são os indicadores da hora (figura 16.20a). Na prática, o método é de extrema complexidade, porque a posição da Lua entre os outros astros (e, assim, o tempo por ela indicado) depende da posição do observador, devido à paralaxe horizontal da Lua, além de ser afetada pela refração atmosférica. Por causa da proximidade da Lua ao nosso planeta, a direção aparente na qual o satélite é visto por um observador na superfície da Terra difere da direção com relação ao centro da Terra (figura 16.20b), sendo este efeito conhecido como paralaxe horizontal. O Almanaque Náutico, cuja história está diretamente associada com o método das distâncias lunares, fornecia os dados básicos para as correções de paralaxe e refração e para o cálculo da Longitude.

Para solução do problema, era necessário resolver um **triângulo esférico**, sendo esta a primeira vez que o triângulo esférico foi usado na Navegação Astronômica. Eram feitas observações simultâneas, ou quase simultâneas, da altura da Lua e do Sol, ou de uma estrela próxima da Eclítica, e da distância angular entre a Lua e o outro astro observado. Obtinha-se, então, um triângulo esférico, cujos vértices eram o Zênite do observador, a Lua e o outro astro, e cujos lados eram as duas distâncias zenitais e a distância angular entre os astros observados. Por meio de cálculos matemáticos, o navegante reduzia essa distância angular dos efeitos da refração e paralaxe aplicáveis a cada altura e de outros erros. O valor correto da **distância lunar** era, então, usado como argumento para entrada no Almanaque Náutico, que tabulava a distância lunar verdadeira para o Sol e várias estrelas, a intervalos de 3 horas. Com isto, obtinha-se a hora no meridiano de referência (Greenwich).

Previamente, o navegante tinha que ajustar o seu relógio, confiável somente por curtos períodos (ampulheta ou o novo relógio mecânico, inventado no final do Século XVII, por Christian Huyghens, capaz de manter a hora com precisão de 1 minuto no intervalo de 6 horas), para a hora local, determinada por observações astronômicas. A hora média local, adequadamente corrigida para o instante da observação, aplicada à hora no meridiano de referência (Greenwich), obtida da observação da distância lunar, fornecia, finalmente, a **Longitude**.

A matemática envolvida era formidável e poucos navegantes eram capazes de resolver o problema. O método jamais seria considerado aceitável por um navegante moderno. Além disso, embora o **sextante** tenha proporcionado maior precisão na medida das alturas dos astros e na distância angular entre a Lua e o outro astro observado, um erro de 1' na distância lunar (devido a um erro na observação, nas tábuas ou nos cálculos) resultava num erro de cerca de 30', isto é, meio grau, na Longitude. Assim, o **método de distâncias lunares** estava longe de ser satisfatório e a **determinação da Longitude** continuava problemática. Perdiam-se navios, cargas e vidas humanas em virtude de Longitudes imprecisamente determinadas.

f. O CRONÔMETRO E A DETERMINAÇÃO DE LONGITUDE

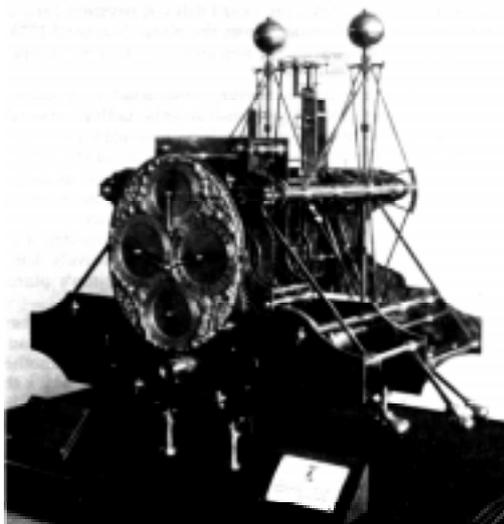
Na Época dos Descobrimentos, Espanha e Holanda haviam oferecido recompensas para a solução do problema da determinação da Longitude, mas em vão. Quando 2.000 homens perderam a vida, no encalhe, seguido de naufrágio, de um esquadrão de navios de guerra ingleses, numa noite de cerração, em 1707, como resultado, principalmente, de conhecimento insuficiente da sua Longitude, oficiais da Marinha Real e da Marinha Mercante inglesa apelaram ao Parlamento. Como consequência, em 1714 foi estabelecido o **Comitê de Longitude**, com poderes para recompensar quem solucionasse o problema de determinação da Longitude no mar. O teste seria uma viagem de 6 semanas de duração, na qual os métodos propostos deveriam mostrar o seu valor. Ao final da viagem, o sistema capaz de determinar a Longitude com precisão de 60 milhas, receberia 10.000 libras; com a precisão de 40 milhas, 15.000 libras e com a precisão de 30 milhas, 20.000 libras esterlinas. Estas seriam belas recompensas hoje. No século XVIII, significavam fortunas.

Christian Huyghens (1629–1695), matemático e cientista holandês, construiu seu primeiro cronômetro em 1660, utilizando um pêndulo cicloidal, atuado por uma mola. Para compensar o balanço e o caturro do navio, montou-o numa suspensão Cardan. Dois anos depois, o instrumento foi testado no mar, com resultados promissores. Entretanto, experiências posteriores mostraram que os instrumentos de Huyghens não eram suficientemente precisos para a determinação da Longitude no mar. Os principais problemas

eram a perda de tensão na mola, conforme ela se distendia, e os erros causados por mudanças de temperatura.

O inglês John Harrison (1693–1776), filho de um carpinteiro, construiu o seu primeiro relógio aos 20 anos. Logo começou a investigar a construção de pêndulos que mantivessem seu comprimento a despeito de mudanças de temperatura, buscando eliminar esta fonte de erros nos cronômetros.

Figura 16.21 – Cronômetro Nº 1 de Harrison–1735 (peso: cerca de 30 kg)



Em 1728, Harrison sentiu-se pronto para levar seu pêndulo e os planos para construção de um cronômetro náutico à avaliação do Comitê de Longitude, que, entretanto, recomendou que ele primeiro construísse o cronômetro. Em 1735, Harrison submeteu o seu cronômetro Nº1 (figura 16.21) ao Comitê, que autorizou um teste no mar, a bordo do navio de guerra HMS “Centurion”.

No ano seguinte, o navio partiu para Lisboa com o cronômetro de Harrison a bordo e, no seu retorno, apresentou um erro de apenas 3' de Longitude, um desempenho que surpreendeu os membros do Comitê de

Longitude. Contudo, o cronômetro era pesado e desajeitado, sendo montado sobre molas, em uma grande caixa de madeira com suspensão Cardan e pesando cerca de 30 kg. O Comitê, entre 1736 e 1760, adiantou a Harrison 1250 libras, para o desenvolvimento dos cronômetros Nº 2 e Nº 3.

Figura 16.21a – Cronômetro Nº 4 de Harrison–1761 (recebeu o prêmio de 20.000 libras)



Nos anos seguintes, Harrison construiu esses dois cronômetros, que eram mais resistentes e menos complicados que o Nº 1, embora não haja registros de que tenham sido testados pelo Comitê de Longitude. Harrison continuou a dedicar sua vida à construção de um cronômetro preciso para ser usado na determinação da Longitude no mar, tendo, finalmente, já aproximando-se da velhice, desenvolvido o cronômetro Nº 4 (figura 16.21a).

Voltou, então, ao Comitê de Longitude, que autorizou novo teste. Em novembro de 1761, o cronômetro Nº4 de Harrison, sob a custódia de seu filho, partiu para a Jamaica, a bordo de um navio de guerra inglês. Na che-

gada, após uma travessia de 2 meses, estava somente 9 segundos atrasado (o que corresponde a um erro de 2,25 minutos de Longitude). Em janeiro de 1762, foi transferido para outro navio, para a viagem de regresso à Inglaterra. Ao chegar, em abril desse ano, o erro total do

cronômetro era de 1 minuto e 54,5 segundos (o que correspondia a 28' de Longitude), após cerca de 5 meses de viagem. Tal erro era, ainda, menor que o erro mínimo estabelecido pelo Comitê de Longitude (30' de Longitude, ou 2 minutos de tempo, após 6 semanas de funcionamento). Harrison, então, solicitou o prêmio máximo de 20.000 libras a que tinha direito.

O Comitê, entretanto, concedeu-lhe apenas 2.500 libras e insistiu em outro teste. Em 1764, Harrison, aos 71 anos, viajou para Barbados com o seu cronômetro N^o 4. Após uma travessia de quase 4 meses, o cronômetro apresentou um erro de somente 54 segundos, ou 13,5 minutos de Longitude.

Assim, o Comitê, embora relutantemente, foi obrigado a emitir uma declaração unânime de que o cronômetro de Harrison superava todas as expectativas. Contudo, pagaram-lhe apenas 7.500 libras, em 1765. Sem estar inicialmente previsto, o Comitê exigiu que Harrison lhe entregasse todos os 4 cronômetros. Quando isto foi cumprido, o Comitê continuou retardando o pagamento, decidindo que um de seus membros deveria construir um cronômetro, a partir dos planos apresentados por Harrison. Somente no seu 80^o ano de vida, em 1773, Harrison recebeu o restante da recompensa, assim mesmo por causa da intervenção direta do Rei da Inglaterra.

Na França, Pierre Le Roi construiu um cronômetro, em 1766, que tornou-se a base para esses instrumentos até a introdução da eletrônica. Seu cronômetro foi descrito como uma obra-prima de simplicidade, combinada com eficiência. Finalmente, Thomas Earnshaw construiu o primeiro cronômetro confiável a um preço relativamente baixo. O cronômetro que o Comitê de Longitude construiu a partir dos planos de Harrison custou 450 libras; o cronômetro de Earnshaw, 45 libras. Estava, por fim, estabelecido um método simples e confiável de determinação da Longitude no mar.

g. ESTABELEECIMENTO DO MERIDIANO DE ORIGEM

Até o final do século XVIII, havia muito pouca uniformidade entre os cartógrafos quanto ao **meridiano de referência (primeiro meridiano)**, origem de contagem das Longitudes. Tal fato não preocupava particularmente os navegantes de então, que, como vimos, não podiam determinar sua longitude com precisão.

Ptolomeu, no século II DC, utilizou como referência para contagem das Longitudes (que media apenas na direção Leste) um meridiano 2^o a Oeste das Ilhas Canárias, que se situavam no limite do mundo conhecido na antiguidade. O Meridiano de Tordesilhas, que dividia o mundo entre Espanha e Portugal, foi, por muitos anos, usado como **meridiano de referência** por cartógrafos desses dois países. Em 1570, Ortelius, cartógrafo holandês, empregou como referência o meridiano da ilha mais a Leste do Arquipélago de Cabo Verde. John Davis, na obra "The Seaman's Secrets" (1594), argumentava que o meridiano da Ilha de Fez, nas Canárias, deveria ser usado como referência, por que lá a **declinação magnética** era zero. Os navegantes, entretanto, pouca atenção davam a este assunto, muitas vezes estimando sua Longitude tomando como origem portos ou acidentes geográficos proeminentes.

O meridiano de Londres também era usado, desde 1676, e, ao longo dos anos, sua popularidade cresceu, na medida em que cresciam os interesses marítimos da Inglaterra. O sistema de medir Longitudes para Leste e para Oeste de um meridiano de referência, de 000^o a 180^o, surgiu pela primeira vez, provavelmente, em meados do século XVIII. No final desse século, conforme o Observatório Real de Greenwich aumentava sua proeminência, cartógrafos ingleses começaram a usar o seu meridiano como origem para contagem das Longitudes. A

publicação, iniciada em 1767, do **Almanaque Náutico** inglês reforçou Greenwich como meridiano de referência. Finalmente, numa conferência internacional realizada em Washington, em 1884, o **meridiano de Greenwich** foi oficialmente estabelecido como meridiano de origem (primeiro meridiano) para contagem das Longitudes, medidas de 000° a 180°, para Leste e para Oeste do referido meridiano.

h. A LINHA DE POSIÇÃO ASTRONÔMICA. A RETA DE SUMNER

Após o desenvolvimento do cronômetro náutico, os navegantes passaram a fazer observações baseadas na **hora** e resolver o **triângulo de posição** para determinar sua **Longitude**.

A **distância polar** (co-declinação) do astro no instante da observação podia ser determinada pelo Almanaque Náutico. A **distância zenital** (co-altitude) era determinada pela observação. Conhecendo-se a Latitude em que se estava, a **colatitude** podia ser obtida e, assim, os três lados do triângulo esférico eram conhecidos. Então, calculava-se o **Ângulo no Pólo (t)**, que era convertido para **Ângulo Horário Local (AHL)**. O **Ângulo Horário em Greenwich (AHG)** do astro no instante da observação era, também, fornecido pelo Almanaque Náutico. A diferença entre os dois constituía a **Longitude** do observador.

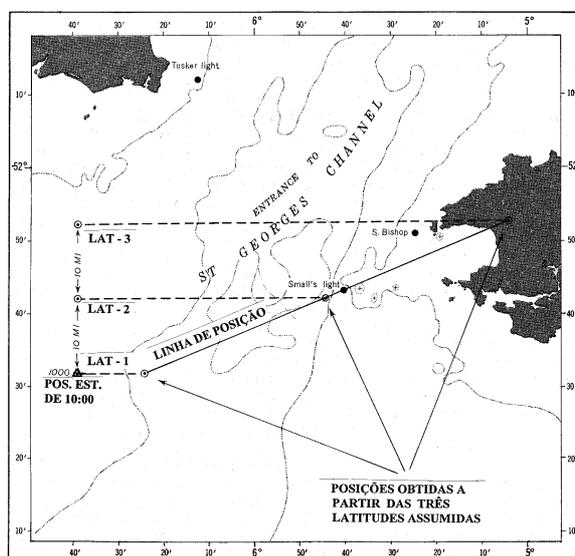
O cálculo era matematicamente correto, mas o navegante nem sempre estava ciente que a precisão da **Longitude** determinada era função da precisão com que conhecia sua latitude no instante da observação, e que a **Latitude** e a **Longitude** juntas constituíam apenas um ponto do que é hoje conhecido como **linha de posição**. Se o astro observado estivesse no **primeiro vertical** (círculo vertical perpendicular ao meridiano do lugar), ou próximo dele, tal linha de posição teria a direção Norte-Sul e um pequeno erro em Latitude traria pouco efeito sobre a Longitude calculada. Contudo, quando o astro estava próximo do meridiano, um pequeno erro em Latitude produzia um grande erro na Longitude.

A **linha de posição astronômica** era desconhecida até ser descoberta em 1837 pelo Comandante Thomas H. Sumner, da marinha mercante norte-americana, então com 30 anos, graduado em Harvard e filho de um congressista do estado de Massachusetts. Essa descoberta foi considerada por Matthew Fontaine Maury, um dos pais da oceanografia, como “o início de uma nova era na prática da navegação”. Nas palavras do próprio Sumner, a descoberta ocorreu da seguinte maneira:

“Tendo partido de Charleston, na Carolina do Sul, em 25 de novembro de 1837, com destino a Greenock, na Escócia, ventos fortes de Oeste prometiam uma rápida travessia; após passar pelos Açores, o vento rondou para o Sul, com mar grosso; depois de ultrapassar a Longitude de 021°W, não foi possível realizar qualquer observação astronômica, até aproximar-se de terra, mas as sondagens não nos colocavam distantes da borda do banco que se projeta do extremo SW da Inglaterra. O vento tornara-se mais furioso e violento, soprando ainda do Sul; pela navegação estimada, chegamos, cerca de meia-noite de 17 de dezembro, a aproximadamente 40 milhas do Farol Tusker, na entrada do Canal São Jorge (figura 16.22); o vento, então, rondou para SE, colocando a costa da Irlanda a sotavento (situação perigosa na época da navegação a vela); começamos, então, a orçar, executando diversas manobras, para preservar ao máximo a posição do navio, até o amanhecer; quando verificou-se que nada havia no visual, manteve-se o rumo ENE, com velas rizadas, sob ventos muito fortes; cerca de 1000 horas, observou-se uma altura do Sol, anotando-se a hora do cronômetro; entretanto, tendo navegado por um longo período (cerca de 700’)

sem qualquer observação, era evidente que a Latitude pela navegação estimada estava sujeita a erros, não merecendo confiança.

Figura 16.22 – Reta Histórica de Sumner (1ª Linha de Posição Astronômica-1837)



Usando, contudo, esta Latitude para calcular a Longitude em função da hora do cronômetro, o navio foi posicionado 15' de Longitude a Leste de sua posição estimada; na Latitude de 52° N, 15' de Longitude correspondem a 9 milhas, o que foi considerado coerente com a navegação estimada; mas, em virtude da dúvida na Latitude, o cálculo da Longitude foi refeito, com uma Latitude 10' mais ao Norte; isto colocou o navio a 27 milhas náuticas a ENE da posição anterior; foi, então, adotada uma nova Latitude, 20' ao norte da Latitude estimada inicial e feito novo cálculo da Longitude, o que colocou o navio ainda mais para ENE, a 27 milhas náuticas da segunda posição (e sobre terra, como ilustrado na figura 16.22). Plotadas na carta, as três posições mostraram-se alinhadas, na direção do Farol Small (figura 16.22). Tornou-se, assim, aparente que a altura observada do Sol poderia ter ocorrido em qualquer das três posições e até no Farol Small, no mesmo instante; como conseqüência, concluí que o navio deveria estar sobre a linha de posição resultante e a marcação do Farol Small deveria ser ENE, se o cronômetro estivesse correto.

Convencido disso, o navio foi mantido no rumo ENE, com o vento ainda soprando de SE. Em menos de uma hora, o Farol Small foi avistado pela proa, ligeiramente por BE, a curta distância”.

Estava descoberta a **linha de posição astronômica** (lugar geométrico de todas as posições possíveis de serem ocupadas pelo navio, tendo sido feita a observação da altura de um astro, em um determinado instante).

Em 1843, Sumner publicou seu livro, denominado “**Um Método Novo e Preciso de Determinar a Posição de um Navio no Mar por Projeção sobre uma Carta de Mercator**”, recebido com grande entusiasmo e aplausos. Na obra, propunha que a observação de um astro em função da hora fosse resolvida duas vezes, como ele tinha feito, usando uma Latitude um pouco maior e outra um pouco menor que a **Latitude estimada** e, após a plotagem das duas posições calculadas na carta, a **linha de posição** fosse obtida

pela junção das mesmas. É oportuno notar que Sumner foi capaz de introduzir seu princípio revolucionário sem modificar seriamente o método pelo qual se vinha navegando há muitos anos. Talvez tenha raciocinado que os navegantes não iriam aceitar tão rapidamente a **linha de posição**, se tivessem que abandonar completamente o método com o qual estavam acostumados (os navegantes são, quase sempre, muito conservadores).

O método de Sumner requeria a solução de duas observações em função da hora para obtenção de cada **linha de posição**. Muitos navegantes de então preferiam, em vez do traçado das linhas em suas cartas, obter sua posição matematicamente, por um método que Sumner tinha, também, esquematizado e incluído em seu livro. Este era um processo tedioso, maçante, mas que tornou-se popular, estando em uso ainda no início do século XX.

A alternativa para os dois cálculos requeridos no **método de Sumner** para cada **linha de posição**, era determinar o **Azimute** do astro e traçar a **linha de posição** perpendicular ao **Azimute**, através do ponto obtido pelo cálculo de uma única observação em função da hora. Algumas décadas após o livro de Sumner, este método tornou-se disponível para os navegantes, pela publicação de tábuas precisas de azimutes. Tal processo, então, passou a ser bastante utilizado, até tempos comparativamente recentes.

i. O MÉTODO MARCQ SAINT-HILAIRE

O **método de Sumner**, exigindo dois cálculos para cada **linha de posição** e o método acima descrito (adoção de uma Latitude estimada; cálculo da Longitude em função da hora; determinação do azimute do astro por consulta à tábua e traçado da linha de posição pelo ponto, numa direção perpendicular à direção azimutal) eram, ainda, complexos. Além destes, havia o **método do meridiano estimado**, no qual adotava-se uma Longitude estimada e, então calculava-se a Latitude (pela resolução do triângulo esférico) e determinava-se o azimute do astro, por consulta a uma tábua destinada a este fim. Em seguida, traçava-se a linha de posição pelo ponto, numa direção perpendicular ao azimute do astro. Tal método, também, não era satisfatório.

Em 1875, o Comandante Marcq Saint-Hilaire, na França, introduziu o conceito de **circunferências de alturas iguais**, no qual é baseado o **método das alturas**, que, por esta razão, é denominado **método Marcq Saint-Hilaire**. O **método das alturas** utiliza, como ponto determinativo da linha de posição (denominada **reta de altura**), um ponto marcado sobre o azimute do astro, traçado a partir da posição estimada (ou assumida), a uma distância igual à **diferença de alturas** entre a **altura calculada** e a **altura observada** do astro.

O **método Marcq Saint-Hilaire** substituiu o método de Latitude (método de Sumner) e o método de Longitude (método do meridiano estimado). Sua principal vantagem é que proporciona uma solução universal, que é igualmente confiável em todas as latitudes, com todos os valores de Declinação e de Ângulo no Pólo. O método é aplicável até mesmo para observações de astros próximo do Zênite, embora neste caso seja traçado um arco da circunferência de altura observada, em vez de usar a diferença de alturas.

Nos anos que se seguiram à sua introdução, o **método Marcq Saint-Hilaire** foi denominado de "**nova navegação**", tal o seu impacto. No devido tempo, surgiram vários métodos de solução do **triângulo de posição** para uso com o **método Marcq Saint-Hilaire**. Alguns desses métodos não dividiam o triângulo de posição, enquanto outros o dividiam, baixando uma perpendicular de um de seus três vértices. Tais métodos, finalmente, evoluíram até as modernas **tábuas de inspeção direta**, que consistem em soluções pré-computadas do triângulo de posição, para todas as combinações possíveis de Latitude, Declinação e Ângulo Horário.

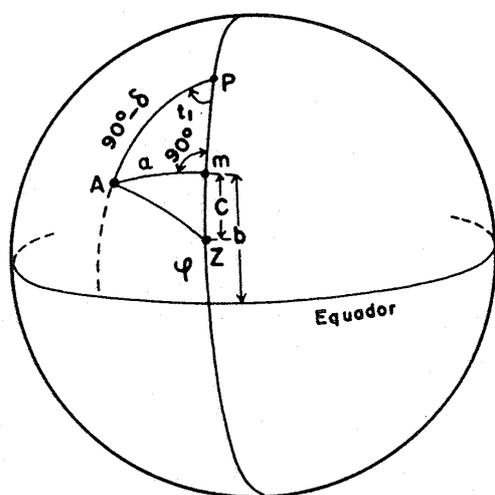
j. DESENVOLVIMENTOS MODERNOS NA NAVEGAÇÃO ASTRONÔMICA

Os **sinais horários**, que permitem ao navegante no mar determinar o erro (**Estado Absoluto**) do seu **cronômetro**, são, essencialmente, um desenvolvimento do século XX. Em 1904, iniciou-se a primeira transmissão de **sinais horários** via rádio, pela estação-rádio da Marinha Americana em Navesink, New Jersey. Eram sinais de baixa potência, podendo ser captados apenas até uma distância de cerca de 50 milhas. Depois de cinco anos, tal alcance já tinha sido dobrado. Conforme outras nações iniciaram a transmissão de **sinais horários**, o navegante tornou-se capaz de verificar o erro de seu **cronômetro** em qualquer ponto da superfície da Terra. Estava, afinal, definitivamente encerrada a busca pela **Longitude**.

Ademais, foram desenvolvidos vários métodos para solução do **triângulo de posição**, para uso com o então novo **método Marcq Saint-Hilaire** de obtenção do ponto determinativo da linha de posição e traçado da **reta de altura**.

Muitos desses métodos dividiam o **triângulo de posição** em dois **triângulos esféricos retângulos**, baixando uma perpendicular ao lado oposto, de um dos três vértices do triângulo. Entre os introdutores de tais métodos, destaca-se um brasileiro, o Comandante Radler de Aquino.

Figura 16.23 – Tábua Radler para Navegação Astronômica. Fundamentos Teóricos



Radler de Aquino baixou uma perpendicular do **astro** para o **meridiano celeste**, dividindo o **triângulo de posição** em dois **triângulos esféricos retângulos** (figura 16.23). Os fundamentos teóricos do método do Comandante Radler de Aquino serão explicados no Capítulo 28.

As Tábuas Radler de Aquino constituíram um enorme avanço na solução do **triângulo de posição**, permitindo consolidar em um só volume as soluções para todas as combinações possíveis de Latitude, Declinação e Ângulo no Pólo.

Publicadas inicialmente com o título de **Tábuas de Altura e Azimute**, as Tábuas Radler receberam, posteriormente, o título de **Tábuas Náuticas e Aeronáuticas**. Sua 1ª edição foi publicada no Rio de Janeiro em 1903. A primeira edição inglesa foi publicada em Londres, em 1910. A segunda edição inglesa foi publicada em 1912, com novas tiragens em 1917 e 1918. A terceira edição inglesa foi publicada em 1924. A primeira edição norte-americana foi publicada em Annapolis em 1927, tendo sido adotada por vários anos na U.S. Naval Academy e na U. S. Navy. A edição “Universal” norte-americana foi publicada em Annapolis, em 1938. A segunda edição brasileira foi publicada em 1943 e a terceira em 1973, ambas no Rio de Janeiro.

Com respeito às Tábuas do Comandante Radler de Aquino, cabe ressaltar que sua existência transcende técnicas de navegação, para representar uma conquista intelectual digna da tradição naval do Brasil e uma contribuição importante à “arte da navegação”, não obstante o atual desenvolvimento tecnológico.

Em 1924, eram publicadas, em Paris, as **Tábuas de Alturas**, de Romeo Braga, outro brasileiro. Eram tábuas de semi-seno verso naturais, para determinação da **altura calculada** do astro, para uso com o **método Marcq Saint-Hilaire** (método das diferenças de alturas). As Tábuas de Braga não proporcionavam os **azimutes** dos astros, devendo ser usadas em conjunto com as Tábuas de Azimute então existentes. Ademais, as fórmulas utilizadas por Braga prescindiam da divisão do **triângulo de posição** para sua solução.

As **Tábuas para Navegação Astronômica** afinal evoluíram para as modernas **tábuas de inspeção direta**, contendo soluções pré-computadas do **triângulo de posição** para todas as combinações possíveis de Latitude, Declinação e Ângulo Horário. A primeira das modernas **tábuas de inspeção direta** foi a H.O. 214 “**Tables of Computed Altitude and Azimuth**”, publicada pelo U.S. Navy Hydrographic Office, em 1936, em nove volumes. Outras edições da H.O. 214 foram publicadas até 1946. Entre 1951 e 1953, o Almirantado Britânico publicou tábuas idênticas à H.O. 214 (Tábuas H.D. 486), em 6 volumes.

Posteriormente, foram publicadas as Tábuas H.O. 249 “**Sight Reduction Tables for Air Navigation**”, especialmente destinadas à navegação aérea, mas, por sua simplicidade e facilidade de emprego, também usadas na navegação marítima.

As Tábuas H.O. 214 foram substituídas pela H.O. 229 “**Sight Reduction Tables for Marine Navigation**”, que são as **tábuas de inspeção direta** mais usadas hoje na **Navegação Astronômica**, tendo, também, sido especialmente projetadas para uso com o **método Marcq Saint-Hilaire**.

Em 1933, os norte-americanos publicaram um **Almanaque Aéreo** (“**Air Almanac**”), que, posteriormente, foi descontinuado, tendo suas informações sido incluídas no **Almanaque Náutico**. A partir de 1953, entretanto, os norte-americanos e os ingleses passaram a editar, em conjunto, um **Almanaque Aéreo** (“**Air Almanac**”), cuja publicação continua até o presente. Além disso, a partir de 1958, os **Almanaques Náuticos** inglês e americano foram combinados em uma única publicação, editada em conjunto pelos dois países.

O **Almanaque Náutico Brasileiro** (publicação DN 5), editado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação desde 1944, a partir de 1957 adotou um formato idêntico ao Almanaque Náutico inglês/americano.

Esta resenha procurou mostrar, em rápidas palavras, que foi longo o caminho percorrido pelos navegantes, no desenvolvimento de métodos, técnicas e instrumentos para **Navegação Astronômica**, capazes de proporcionar simplicidade e precisão na determinação de sua posição no mar, além de outras informações essenciais à segurança da navegação, a partir da observação de astros. Ademais, ficou evidente o proeminente papel representado pelos nossos ancestrais portugueses e por ilustres brasileiros do passado, nesse importante campo do conhecimento humano.

“NAVIGARE NECESSE EST, VIVERE NON EST NECESSE”