ESCOLA NAVAL

Talant de bien faire

Gonçalo Luís Ferreira

Estudos de Navegação na obra de José Maria Dantas Pereira

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Navais, na especialidade de Marinha

Alfeite
2020

ESCOLA NAVAL

talant de bien faire

Gonçalo Luís Ferreira

Estudos de Navegação na obra de José Maria Dantas Pereira

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Ciências Navais, na especialidade de Marinha

Orientação de: CMG M RES Costa Canas

O Aluno Mestrando	O Orientador
______________________________	___________________________________
ASPOF M Gonçalo Luís Ferreira	CMG M RES Costa Canas

A Coorientadora

____

PROF AUX Teresa Maria Sousa

Alfeite

2020

"Proporcionar os meios aos fins he o primeiro dever de todo aquelle que compõe, ou propõe, com verdadeira intenção de ser útil;"

(José Maria Dantas Pereira)

Dedicatória

Dedico esta dissertação de mestrado a todos aqueles que contribuíram para a minha formação militar, académica e pessoal, e em especial aos meus pais, por serem os meus pilares, a minha fonte de inspiração, ensinarem-me a lutar pelos meus objetivos e nunca desistir perante os obstáculos.

Agradecimentos

Quero começar por agradecer ao meu orientador Capitão-de-mar-e-guerra Costa Canas, por todo o apoio académico, que me deu ao longo da elaboração da dissertação.

À professora AUX Teresa Maria Sousa, pelo apoio dado na interpretação das fórmulas utlizadas por Dantas Pereira nas suas obras, assim como pela disponibilidade e paciência que teve comigo nas dúvidas que ocorreram durante o processo.

Aos professores, militares e civis da Escola Naval que foram figuras importantes no meu percurso académico e pessoal, tanto nos ensinamentos dados como nas memórias que levarei comigo.

À guarnição do NRP *Figueira da Foz* pelos conhecimentos que me passaram durante o estágio. Deram-me um vislumbre daquilo que será representar Portugal no mar.

A todos os meus camaradas do Curso João Baptista Lavanha, que se tornaram a minha família durante os 5 anos de Escola Naval e que contribuíram para o meu crescimento pessoal.

E claro, à minha família e amigos que me motivaram a seguir aos meus sonhos, com um agradecimento especial à Vanessa que esteve sempre ao meu lado.

Resumo

Não há dúvida de que quando se fala da história da Marinha Portuguesa e no desenvolvimento da Navegação em geral, José Maria Dantas Pereira é um nome incontornável no processo. Como uma das grandes mentes do século XIX, muitas foram as suas contribuições para o estabelecimento de novas linhas de pensamento no que diz respeito a métodos e técnicas de cálculo para a resolução dos mais variados problemas e temáticas em que trabalhou.

Fruto da sua perspetiva e posição perante a difusão do conhecimento científico, o seu lema era providenciar aos Pilotos Portugueses os meios necessários para a condução dos navios em segurança. Dedicou-se sempre à simplificação e modernização dos trabalhos dos seus contemporâneos que na maioria das vezes não estava ao alcance dos homens do mar devido à complexidade e à extensividade dos cálculos. Desta forma abordamos as suas obras de maneira a responder a algumas questões centrais tais como: Que métodos já existiam? Por que razão se dedicou Dantas Pereira ao seu estudo? De que forma conseguiu resolver o problema em questão?

Estudámos com maior profundidade as suas obras relacionadas com a Navegação, nomeadamente os seus contributos para a resolução e simplificação de um dos maiores obstáculos enfrentados pela humanidade desde o século XV: saber a posição de um navio em alto-mar. No âmbito do cálculo da Latitude, publicou memórias nas *Ephemerides Nauticas,* nas quais estava encarregue da organização, nos anos 1796 e 1797. Fez um levantamento dos instrumentos de reflexão utilizados na altura, incidindo na modernização e aperfeiçoamento dos mesmos. Escreveu uma memória dedicada a este tema. inserta no tomo II das *Memórias da Academia Real das Ciências de Lisboa.*

Sendo a Longitude um dos maiores obstáculos para a Navegação, estudámos com uma maior generalidade os métodos propostos para a sua resolução durante o século XVIII na Europa e, com maior particularidade, os contributos de Dantas Pereira.

Palavras-chave: Latitude; Longitude; Efemérides Náuticas; Trigonometria Esférica; Cálculos matemáticos

Abstract

There’s no doubt that when it comes to the Portuguese Navy history and the general development of navigation, José Maria Dantas Pereira is an essential name in the process. As one of the greatest minds of the 19th century, many were his contributions to the establishment of new lines of thought with regard to methods and calculation techniques for solving the most varied problems and themes in which he worked.

As a result of his perspective and position regarding the dissemination of scientific knowledge, his motto was to provide Portuguese Pilots with the necessary means to conduct ships safely. He has always dedicated himself to simplifying and modernizing the work of his contemporaries, which most of the times was not available to seafarers due to the complexity and extensiveness of the calculations. In this way, we approached his works in order to answer some central questions: What methods already existed? Why did Dantas Pereira dedicated himself to their study? How did he managed to solve the problem in question?

We studied with greater depth his works related to navigation, namely his contributions to the resolution and simplification of one of the greatest obstacles faced by humanity since the 15th century: knowing the position of a ship on the high seas. As part of calculating Latitude, he published memoirs in the Nautical Ephemerides, which he was in charge of organizing, in the years 1796 and 1797. He made a survey of the instruments of reflection used at the time, focusing on their modernization and improvement. He wrote a memoir dedicated to this theme, inserted in volume II of the Memories of the Royal Academy of Sciences in Lisbon.

Since Longitude is one of the biggest obstacles to navigation, we studied the methods proposed for its resolution during the 18th century in Europe with greater generality and, with greater particularity the contributions of Dantas Pereira.

Keywords: Latitude; Longitude; Nautical Ephemeris; Spherical Trigonometry; Mathematical calculations

Índice

Índice de Figuras

Índice de Tabelas

Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

ARGM – *Academia Real dos Guardas-Marinhas*

Introdução

Propomo-nos a desvendar as mais significantes obras de um dos mais ilustres pensadores portugueses dos séculos XVIII e XIX: José Maria Dantas Pereira.

Nasceu durante um dos períodos mais marcantes da história das ciências, altura em que grandes descobertas estavam a ser feitas e a comunidade científica europeia sofria grandes reformas em termos de pensamento e desenvolvimento.

Portugal não foi exceção à regra, criou várias academias que se dedicavam à ciência e jornais para ajudar na difusão do conhecimento e manter a população a par dos desenvolvimentos científicos que se davam na altura, um exemplo destes jornais é o *Jornal de Coimbra*.

Como Oficial de Marinha, todo o seu percurso académico é brilhante, desde que começou a sua formação na Academia Real de Marinha em 1786, até ao seu exílio em 1834 devido ao resultado da guerra civil portuguesa. Vários foram os campos científicos a que se dedicou durante toda a sua vida, desde Navegação, à Tática naval e à Política durante o reinado de D. Miguel I.

A presente dissertação tem como objetivo estudar os contributos de Dantas Pereira no que concerne a temática da Navegação devido à importância que teve em Portugal durante o final do século XVIII e no início do século XIX. Por forma a identificar quais as suas obras mais marcantes, realizou-se uma pesquisa tendo em conta quais delas se enquadravam dentro da temática que iríamos desenvolver.

Posto isto, encontrámos obras sobre a Latitude, a Longitude e uma sobre os instrumentos de reflexão utilizados na altura, das quais se tomou como tema central o problema das Longitudes. Este obstáculo testou durante vários séculos o pensamento humano.

Desde o início dos Descobrimentos em 1415 que o navegador se viria a debater na tentativa de arranjar uma solução para esta matéria. No princípio, com navegações perto de costa e no sentido Norte-Sul principalmente, a Longitude não era a incógnita prioritária, mas sim a Latitude. Descobrir métodos para calcular esta coordenada remonta aos antigos marinheiros do século XV que começaram a olhar para as estrelas para corrigir as suas posições no mar.

Neste sentido decidimos dedicar um capítulo sobre as contribuições que Dantas Pereira fez na temática da Latitude e os contributos que fez no desenvolvimento e modernização dos instrumentos de reflexão até então utilizados. A nossa pesquisa baseou-se em memórias publicadas nas *Efemérides Náuticas*, nas *Memorias de*

Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa e ainda em vários artigos publicados no *Jornal de Coimbra*. Começamos por estudar a dissertação de mestrado do GMAR M Manuel de Almeida[1] de onde retirámos algumas referências às obras relacionadas com a Navegação escritas por Dantas Pereira.

Ficou responsável pela organização e publicação das *Efemérides Náuticas*, tarefa que recebeu de Custodio Gomes de Villas-Boas que foi responsável pela 1ª edição em 1788. Dantas Pereira aproveita este facto para introduzir nesse almanaque textos relativos a métodos para calcular a Latitude das quais se destacam a *Memoria sobre o calculo da latitude, por duas alturas de hum mesmo astro tomadas fóra do meridiano* , lida numa sessão particular da ARGM a 9 de novembro de 1791; e uma *II Memoria sobre o calculo da latitude* que constam nas efemérides de 1796 e 1797, respetivamente.

Em 1799, presente no tomo II das *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa*, encontramos uma *Memoria sobre os instrumentos de reflexão* que curiosamente, tal como a sua primeira memória sobre a Latitude – apesar de ter sido publicada em 1799 – já tinha sido apresentada numa sessão pública da Academia a 18 de abril de 1792. Trata-se de uma impressionante obra no sentido em que compara e analisa os instrumentos utilizados para as observações naquela época. Faz um levantamento dos tipos que existem e chega à conclusão de que entre o quadrante, o octante de John Hadley, etc., o circular seria aquele que melhor se adaptaria às suas necessidades.

O circular foi inicialmente construído por Tobias Mayer para completar as tabelas lunares que tinha construído, mais tarde Bordá aperfeiçoou o dispositivo resolvendo alguns problemas inerentes ao circular. Será neste instrumento melhorado por Bordá, que Dantas Pereira irá encontrar ideias para construir um circular de sua autoria.

Publicou em 1819 no *Jornal de Coimbra*, novamente uma "Memória sobre a Latitude", na qual tentámos perceber o porquê de Dantas Pereira estar a publicar uma memória relacionada com a Latitude, 20 anos depois daquelas publicadas nas efemérides.

O segundo capítulo é dedicado à exposição do que foi o Problema das Longitudes e o modo como evoluíram as tentativas para o resolver. Desta forma,

[1] Tiago Manuel de Almeida, *Biografia de José Maria Dantas Pereira*, Dissertação em Ciências Militares Navais, na especialidade de Marinha, Lisboa, 2018.

começamos a pesquisa de maneira a tentar delimitar quais as soluções encontradas e de que forma contribuíram para a solução. No meio de várias soluções, tais como: os satélites de Júpiter; os eclipses lunares; o método da agulha; o método do cronómetro e o das Distâncias Lunares, aqueles que efetivamente contribuíram de maneira útil e prática foram os dois últimos e foi neles que concentrámos a nossa pesquisa.

Assim, dedicámos dois subcapítulos para falar especificamente sobre a evolução de cada método, a sua história, as pessoas que trabalharam à volta do assunto e de que maneira estes métodos foram testados no mar. Destacamos aqui dois nomes que no decorrer do nosso estudo tiveram um papel fulcral no desenvolvimento destes métodos: John Harrison e Tobias Mayer.

Considerámos de extrema importância referir também os prémios oferecidos a quem conseguisse descobrir a Longitude no mar, estas recompensas eram oferecidas pelos Parlamentos e tinham como objetivo motivar as pessoas para se dedicarem à resolução do problema, visto que não se tratava de um mero problema académico, mas sim de um grande obstáculo que ameaçava a segurança dos navegadores.

Espanha e França começaram no século XVII a oferecer estes prémios, no entanto, aquele que foi mais célebre, não só pela quantidade de artigos que foram escritos, mas também pela quantidade de dinheiro oferecido, foi o prémio proporcionada pelo Parlamento Britânico que oferecia 20000£ a quem encontrasse uma solução prática e útil no mar. Esta recompensa proclamada através do Ato 14 da Rainha Anne em 1714, criou também uma comissão que estava responsável pela averiguação dos métodos propostos e, dessa maneira, estava incumbida também de dar os prémios. Esta ficou conhecida como *Board of Longitude*.

No final deste capítulo, analisámos de que maneira o método das Distâncias Lunares se desenvolveu em Portugal, desde Pedro Nunes a Monteiro da Rocha. Elaborámos um esboço histórico sobre a evolução do método e que pessoas se debruçaram sobre o estudo do mesmo e não há dúvida de que Monteiro da Rocha foi o grande impulsionador do método em Portugal. Assim estudámos o seu contributo nas diferentes obras que deixou.

Ao falar da evolução do método em território nacional, conseguimos construir uma ponte de ligação entre o segundo e o último capítulo da nossa dissertação. Este será dedicado aos contributos que Dantas Pereira fez nos cálculos da Longitude que, tal como a Latitude, foram sempre em prol do navegador e com o objetivo de simplificar os cálculos em alto-mar.

Começámos por estudar uma *Memoria Relativa ao Calculo dos Eclipses das Estrellas, Sol, e mais Planetas Pela Lua*, presentes nas *Ephemerides* de 1798 onde Dantas Pereira propõe simplificar o cálculo da Longitude através dos eclipses das estrelas, planetas ou outros fenómenos astronómicos e publica ainda *Cálculo da longitude pelo Methode de Mr. De Bordá*.

Um dos contributos mais importantes desta obra foi precisamente a explicação do problema das Longitudes. Na introdução deste problema, faz uma apresentação histórica ao mesmo, explicando as causas que tornaram este problema tão célebre e traduz para português as várias soluções que autores ingleses e franceses apresentaram para a resolução em diferentes épocas.

Na demonstração e cálculo prático, Dantas Pereira explica pela primeira vez em português o método de Jean Bordá[2], por ser o método preferido dos pilotos e por ser mais prático. Não obstante, Dantas Pereira inclui ainda uma análise realizada por si próprio, por forma a dar a conhecer o grau de confiança que este método acarreta, deixando assim aos leitores as ferramentas para a sua própria análise crítica[3].

Iremos fazer também uma análise às fórmulas utilizadas por Dantas Pereira no método de Bordá, assim como explicar a matemática por detrás do *Calculo Pratico* que o matemático deixa no final desta memória.

[2] Jean-Charles de Borda (1733 – 1799), foi um oficial da Marinha francesa que à semelhança de Dantas Pereira, destacou-se em vários campos científicos, como a matemática e a física; tendo inclusive sido eleito para Academia das Ciências francesa.
[3] Tiago Manuel de Almeida, *Biografia de José Maria Dantas Pereira*, …, pp. 46-47

1. Dantas Pereira e os seus contributos para a Navegação

O objetivo principal deste capítulo é dar a conhecer algumas das principais contribuições de José Maria Dantas Pereira para a comunidade científica e principalmente para o desenvolvimento e modernização das formas de Navegação, pois para além de ser um excelente matemático, era também era oficial de Marinha dedicando a maior parte da sua vida ao aprimoramento e progresso desta instituição.

Tentou-se fazer um apanhado de todas as obras escritas por Dantas Pereira, mas rapidamente se chegou à conclusão que tal era inexequível devido à extensa e variada bibliografia elaborada por ele. Escreveu várias obras sobre os mais variados temas tais como matemática, física, tática naval, etc, mas iremos apenas abordar o seu trabalho sobre a Navegação – que será o tema central desta dissertação – e percorrer estas obras na ótica de Dantas Pereira. Para esse fim, compilaram-se as suas mais importantes e conhecidas memórias sobre o problema do cálculo da Latitude e ainda uma memória na qual ele analisa os instrumentos de Navegação existentes na altura.

Estas memórias sobre os problemas do cálculo da Latitude foram publicadas nas *Efemérides Náuticas* de 1796 e 1797 das quais Dantas Pereira era responsável pela organização e ainda numa outra obra em 1819 no *Jornal de Coimbra*, estas memórias sobre a Latitude serão abordadas no primeiro, segundo e último subcapítulo onde tentaremos explicar os motivos que o levaram a trabalhar à volta deste assunto, os problemas que havia na altura com o cálculo da Latitude e as propostas que Dantas Pereira apresenta para os resolver.

No terceiro subcapítulo analisaremos uma obra publicada no segundo tomo das *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa*, intitulada *Memoria sobre os instrumentos de reflexão*, onde ele se dedica a apresentar um novo aparelho de reflexão utilizado maioritariamente para a medição da distância de astros à Lua encaixando noutro tema que iremos abordar num outro capítulo que é o problema das Longitudes. Aqui, explicaremos os problemas existentes nos instrumentos que já existiam na altura; analisaremos o novo aparelho por ele inventado e a maneira como resolve as inconveniências e imperfeições dos outros instrumentos; as vantagens que trouxe para as observações e ainda onde se vai basear para a construção deste novo dispositivo.

1.1. Memória sobre o cálculo da Latitude por duas alturas de um astro tomadas fora do meridiano

Dantas Pereira começa por referir na sua memória que a observação da altura meridiana dos astros é o método mais exato para calcular a Latitude, especificando que o Sol é o melhor astro para efetuar este cálculo. Contudo este método torna-se impossível de utilizar se existirem obstáculos no instante da observação (por ex.: o céu estar nublado) o que levou vários autores a procurarem outra forma de calcular a Latitude, sendo que a maior parte dos métodos apresentados assentavam em tomar duas alturas do Sol e o tempo decorrido entre as observações. No entanto, apesar de se terem descoberto vários métodos, muitos deles eram demasiado rigorosos, longos e de difícil cálculo para os homens do mar.

> Os mais escrupulosos como Mr. Bezout[4] e outros, deraõ hum methodo independente da latitude estimada. e suppondo a declinaçaõ do Sol variável no intervallo das observações: este porem he sujeito a demaziado escrupulo, e aliás bastantemente extenso para se praticar no mar; por isso naõ teve todo o efeito. Mr. Rome, com outros, suppoem a declinaçaõ constante no intervalo das observações; e debaixo desta hypotheze tira as suas formulas, todas calculáveis por logarithmos, e na verdade as mais símplices, segundo me parece, para o seu caso. O cavalheiro de Bordá, suppoem a declinaçaõ variável e introduz dua hypothezes de latitudes estimadas, vindo assim a fazer hum calculo assaz longo.[5]

Como podemos verificar, Dantas Pereira escreve sobre os métodos de Bezout, Rome e Bordá, criticando-os por serem cálculos longos e demasiado rigorosos. Analisa então o método de Douwes[6] que no entender dele facilitou bastante as operações para determinar a Latitude, construindo ainda umas tábuas para auxiliar este processo, tornando assim mais célere o processo do cálculo da Latitude por um homem no mar.

[4] Étienne Bezout (1730 – 1783), foi um célebre matemático francês, reconhecido pelos seus trabalhos na álgebra e aritmética.

[5] José Maria Dantas Pereira, "Memoria sobre o Calculo da Latitude por duas alturas de hum mesmo astro tomadas fora do meridiano", *Ephemerides Nauticas ou Diario Astronomico para o anno de 1796*, Lisboa, 1795, p.127-128

[6] John Douwes professor de Matemática, e examinador dos Cadetes de Marinha em Amsterdão inventou um método para calcular a Latitude publicado pela primeira vez entre as *Memorias da Sociedade de Harlem* em 1754.

Estas tábuas elaboradas em 1779 apareceram pela primeira vez em Portugal no *Guide du Navigateur*[7], onde Lévêque[8], seu autor, explica numa pequena porção deste guia como estas tábuas eram utilizadas, mas pelo facto de muitos navegadores portugueses não saberem francês, em 1781 Joseph Melitão da Mata traduz para português, com pequenas alterações, esta pequena porção do *Guide du Navigateur*, intitulando-o de *Destro Observador*[9]. É um método bastante simples pois apenas requer conhecimentos da Esfera celeste[10], Trigonometria, e equações básicas de 1º grau, no entanto, Dantas Pereira encontra três falhas no método de Douwes:

> […] e vem a ser, entrarem no calculo senos naturaes, e dever-se passar delles para os logarithmos; naõ podendo por consequencia ser todo feito pelos mesmos logarithmos. En segundo lugar saõ as taboas do Destro Observador calculadas só com cinco letras de dizima; aproximaçaõ nem por isso a mais sufficiente para a exacçaõ dos calculos: em terceiro, as taboas solares do mesmo Destro Observador daõ os seus logarithmos de 30” em 30” de tempo, ou de 7’ e 30” em 7’ e 30” de gráo, espaço assaz grande, e que obriga a fazer algumas proporções, querendo o calculo exacto quanto póde ser.[11]

Apesar da sua simplicidade, Dantas Pereira refere que utilizar senos e logaritmos pode complicar o cálculo. As tábuas do *Destro Observador*, com apenas cinco casas decimais, não são suficientemente precisas; as tábuas solares apresentam valores de tempo e de graus muito desfasados, provavelmente consequência de utilizar apenas cinco casas decimais, o que obrigava a fazer interpolações no meio do cálculo. Critica também as tabuas logarítmicas dos números naturais de Douwes pois estas contêm várias limitações porque para além de só terem, como as outras tábuas, apenas cinco casas decimais, “se estendem taõ sómente até 10000”[12].

[7] Coletânea de tábuas, explicações e correções necessárias para os cálculos e as observações dos navegadores.

[8] Pierre Lévêque (1746-1814), consorciado da Academia Real da Marinha Francesa e Professor de Hidrografia e Matemática em Nantes.

[9] Publicação dividida em 4 partes que consistia num conjunto de várias tábuas, tais como as tabuas solares, uma tabua da declinação do Sol calculada ao meridiano de Lisboa entre os anos 1781 e 1784, tábuas de senos naturais, entre outras.

[10] Em astronomia a esfera celeste pode ser considerada como um globo fictício de raio indefinido, cujo centro radial é o olho do observador onde todos os objetos visíveis no céu podem ser representados como projeções na esfera.

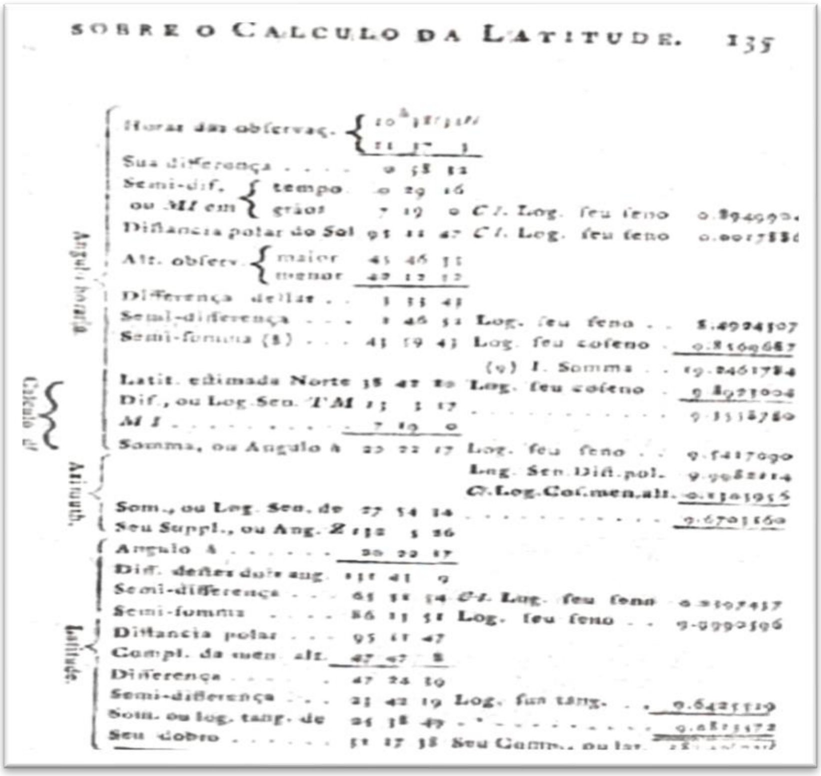
[11] José Maria Dantas Pereira, “Memoria sobre o Calculo da Latitude por duas alturas de hum mesmo astro tomadas fora do meridiano”, *Ephemerides Nauticas ou Diario Astronomico para o anno de 1796*, Lisboa, 1795, p.129.

[12] *Ibidem*, p 129.

Em suma, para podermos aplicar o método de Douwes no cálculo da Latitude seria preciso saber utilizar várias tábuas, o que complicava ainda mais o cálculo da Latitude.

Para contrariar a utilização de várias tábuas e colmatar algumas falhas presentes nos outros métodos, Dantas Pereira apresenta um método[13] por ele criado que vem resolver os problemas dos seus contemporâneos tais como a facilidade e a rapidez no cálculo, maior exatidão nos resultados obtidos e ainda conseguiu calcular através do seu método mais duas componentes indispensáveis para a Navegação: a hora de bordo e o erro do relógio e a variação da agulha.

Conseguiu este feito descobrindo treze logaritmos que através da sua utilização conseguem fazer a totalidade do cálculo, não havendo a necessidade de recorrer a livros e tábuas. Torna-se uma memória interessante pois Dantas Pereira para além de demonstrar como chega a estes logaritmos, põe em prática o seu método utilizando duas alturas do Sol do dia 6 de outubro de 1791, com observações efetuadas às dez e às onze horas da manhã, como podemos verificar na imagem seguinte:



SOBRE O CALCULO DA LATITUDE. 135

Horas das observaç.	10h 18′ 51″ / 11 17 3		
Sua differença	0 58 12		
Semi-dif. tempo	0 29 16		
ou MI em grãos	7 19 0	C. Log. seu seno	0.894990
Distancia polar do Sol	95 11 47	C. Log. seu seno	0.001788
Alt. observ. maior	45 46 51		
menor	42 12 12		
Differença dellas	3 33 41		
Semi-differença	1 46 51	Log. seu seno	8.4924507
Semi-somma (S)	43 59 41	Log. seu coseno	9.8569687
		(9) I. Somma	19.2461784
Latit. estimada Norte	38 47 20	Log. seu coseno	9.8921004
Dif., ou Log. Sen. TM	13 3 17		9.3538780
MI	7 19 0		
Somma, ou Angulo A	20 22 17	Log. seu seno	9.5417090
		Log. Sen. Dist. pol.	9.9982114
		C. Log. Cos. men. alt.	0.1303955
Som., ou Log. Sen. de	27 54 14		9.6703160
Seu Suppl., ou Ang. Z	152 5 46		
Angulo A	20 22 17		
Dif. destes dois ang.	131 41 9		
Semi-differença	65 51 34	C. L. Log. seu seno	0.0397437
Semi-somma	86 13 51	Log. seu seno	9.9990596
Distancia polar	95 11 47		
Compl. da men. alt.	47 47 8		
Differença	47 24 39		
Semi-differença	23 42 19	Log. sua tang.	9.6425119
Som. ou log. tang. de	25 38 49		9.6813172
Seu dobro	51 17 38	Seu Comp., ou lat.	[illegible]

Figura 1 - Método de Dantas Pereira para o cálculo da Latitude a partir do método de Douwes

[13] *Ibidem*, pp. 129-136

Depois de uma observação cuidadosa da imagem, conseguimos verificar os treze logaritmos de que ele fala e utiliza para chegar à Latitude. Com um erro reduzido de 12", Dantas Pereira dá-nos aqui uma prova da funcionalidade e praticabilidade do seu método.

1.2. II memória sobre o cálculo da Latitude

"No fim das Ephemerides de 1796, além de fazer a historia, […]"[14] começa assim Dantas Pereira a sua segunda memória sobre o cálculo da Latitude referindo-se à sua memória anterior publicada nas efemérides para o ano de 1796, demonstrando um lado mais orgulhoso no seu trabalho, no entanto totalmente justificado, pois conseguiu de certa forma revolucionar o trabalho de muitos dos seus contemporâneos que dedicaram grande parte da sua vida e estudos a este problema que é o cálculo da Latitude. Ainda assim, nunca conseguiram tornar os seus métodos alcançáveis aos homens do mar. Apelo pois aqui ao brilhantismo de Dantas Pereira que conseguiu desvendar este segredo e torná-lo assaz simples.

"[…], agora passarei a publicar várias maneiras de calcular a Latitude quando se observaõ mais de duas alturas."[15] será este o objeto a que Dantas Pereira irá dedicar toda a sua memória onde, como o próprio indica, irá tratar de outras formas para achar a Latitude a partir da observação de mais de duas alturas de um astro. Esta memória, publicada nas Efemérides náuticas para o ano de 1797, irá consistir numa melhoria ao método proposto na memória anterior.

Dividida em duas partes, sendo cada uma um método para calcular a Latitude. O primeiro, "Applicaçaõ das projecções Orthograficas à determinação da Latitude"[16], começa com uma proposição que nos dá os dados necessários para praticar o método, tais como a distância polar[17] e três alturas de um astro com os tempos que decorreram entre cada observação. Para o método ser eficaz é imperativo que se suponha uma distância polar constante e que o lugar das observações seja o mesmo.

[14] José Maria Dantas Pereira, "II Memoria sobre o Calculo da Latitude", Lida na sessão particular na Academia Real das Ciências a 28 de Outubro de 1795, Lisboa, p.3.
[15] *Ibidem*, p.3
[16] *Ibidem*, p.4
[17] O Sistema Equatorial Celeste utiliza como plano fundamental o Equador celeste. Uma das suas coordenadas é a distância polar. Esta coordenada é definida como 90° ± declinação do astro. A declinação tem sinal positivo quando for do mesmo nome da Latitude e negativo quando a declinação tem nome contrário à Latitude. A declinação varia entre -90° e +90° e a distância polar varia entre 0° e 180°.

Após a proposição, apresenta uma solução detalhada, passo a passo, variável a variável, explicando cada fórmula como se estivesse a dar uma aula de matemática, conseguindo passar claramente a mensagem que pretende transmitir: que as suas memórias perdurem no tempo. Com esta frase pretendo dizer que apesar de os seus textos serem em português antigo e as fórmulas por ele utilizadas abrangerem técnicas de cálculo que já não são utilizadas atualmente, como o cálculo logarítmico, ao estudarmos a sua obra, facilmente se compreende os métodos que ele tão detalhadamente descreve.

A sua solução passa por construir um triângulo na esfera celeste com as três alturas observadas e utilizando a distância polar projetar esse triângulo no globo. Acabamos então com dois triângulos semelhantes e "[...], pela theoria das projeções orthograficas, as ditas áreas devem estar entre si na razaõ do raio para o coseno do angulo formado pelos planos onde existem, o angulo dos parallelos com o horizonte he o complemento da latitude, [...]"[18]. Nesta passagem da sua memória, Dantas Pereira indica-nos a fórmula para calcular a Latitude, onde o raio mencionado é o raio do círculo circunscrito ao triângulo projetado no globo. Todavia, torna-se um método muito dependente da distância polar e para funcionar é necessário suporem-se a distância e o lugar das observações constantes, o que nem sempre é exequível.

No segundo método que apresenta, a que ele chama, "Applicaçaõ dos dous methodos combinados; a saber, o de interpolar de Mayer[19], e o dos máximos e mínimos, à determinação da latitude."[20], expõe-no da mesma forma que apresentou o método falado em cima, começa com a proposição e resolve-a com uma solução.

A proposição é achar a altura e a hora da passagem meridiana de um astro, sendo que são dadas mais de duas alturas e os intervalos de tempo decorridos entre cada observação. A solução passa por achar uma função com as alturas observadas, achando o máximo desta função, descobre-se a altura meridiana do astro observado e consequentemente a Latitude.

[18] *Ibidem*, p.5
[19] Tobias Mayer (1723-1762), foi um astrônomo, geógrafo, cartógrafo, matemático e físico alemão. Tornou-se famoso principalmente pelas suas tabelas lunares, publicadas a primeira vez em 1752.
[20] *Ibidem*, p.7

Ao contrário do primeiro método, onde Dantas Pereira não tece muitos comentários, pelos factos já enunciados, neste dedica um extenso parágrafo de observações ao método. Refere que para este ser mais exato necessita de três condições:

> 1.º Quanto maior for o número das alturas observadas.
>
> 2.º Quanto mais próximas forem entre si, e ao meridiano
>
> 3.º Quanto menos, mais uniformemente, e pelo mesmo rumo, tiver andado o navio no tempo das observações.[21]

Escreve ainda sobre as vantagens deste método que passam pela precisão dos resultados obtidos, claro que quanto melhor forem cumpridas as condições anteriormente mencionadas, maior será a exação dos resultados; comparativamente ao outro método e por isso é que Dantas Pereira prefere este método, não depende da declinação nem é necessário supô-la constante.

Apresenta dois exemplos práticos utilizando o seu método preferencial para quando se observam três e quatro alturas, onde podemos observar facilmente a utilidade deste método. No meio dos seus cálculos e interpolações faz uma adição ao texto, do género de uma nota onde apresenta uma nova maneira de a interpolar e comparar à de Mayer dizendo:

> Julgo naõ ser fóra de proposito indicar agora huma nova maneira de interpolar, que em alguns casos he superior á de Mayer, pela maior simplicidade do seu calculo, […]: por isso continuarei ainda, a fim de pôr os meus leitores em estado de empregarem aquella que tiverem por melhor.[22]

Após ter utilizado as interpolações de Mayer nos cálculos anteriores, termina o seu trabalho apresentando os mesmos exemplos, mas interpolando à sua maneira, o que nos leva a concluir após analisar os resultados, que o seu método é de facto melhor, como ele próprio tinha indicado na transcrição em cima: são necessários menos cálculos para os mesmos resultados.

No final da sua memória escreve uma série de emendas e notas que devem acompanhar a sua "I Memória sobre o Calculo da Latitude"com o intuito de melhorar

[21] *Ibidem*, p.8
[22] *Ibidem*, p.12

o trabalho apresentado na sua memória anterior, contendo aqui várias alterações a fórmulas e expressões.

1.3. Memoria sobre os instrumentos de Reflexão

> Ninguem duvida, que os instrumentos de reflexaõ saõ os mais proprios para as observações maritimas: he também claro, que a maior exacçaõ d'estas depende da maior precisaõ, e simplicidade dos instrumentos, com os quaes se praticaõ: […][23].

É intrínseco às observações astronómicas que quanto mais precisas forem as escalas destes aparelhos, melhor serão os resultados. Claro que estes instrumentos são operados manualmente e suportados pela força dos braços pelo que devem ter tamanho e peso adequados à sua utilização.

Motivado por estas características e pelos instrumentos de reflexão já existentes na altura, viu que: entre o octante de Hadley – mais tarde aperfeiçoado por Smith e Fouchy - ; o quadrante, Newton seu primeiro inventor, e o circular de Mayer – posteriormente melhorado por Borda pela sua simplicidade mas grande utilidade – este último seria objeto de estudo e análise podendo mesmo dizer que era o seu aparelho predileto para as observações astronómicas no qual se baseou para construir um novo e melhorado circular.

O objetivo do circular de Mayer, para além de medir as distâncias entre a Lua e outros astros, era eliminar os erros que podem resultar da falta de concentricidade da escala de leitura das alturas dos astros e do eixo central do próprio instrumento, além de imprecisões na graduação da escala[24]. A proposta inicial de Mayer foi completar o limbo do sextante fazendo um círculo inteiro, com uma alidade adicional onde se encontrava o vidro do horizonte, móvel ao redor do centro. Como podemos observar na figura seguinte:

[23] José Maria Dantas Pereira, "Memória sobre os instrumentos de reflexão", *Memórias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa,* Lisboa, Typografia da Academia Real das Sciencias de Lisboa,Tomo II, Lisboa, 1799, p. 159.

[24] Saul Moskowitz, "The World's First Sextants", *Journal Of The Institute Of Navigation,* Vol. 34, Nº 2, 1987, p. 27.

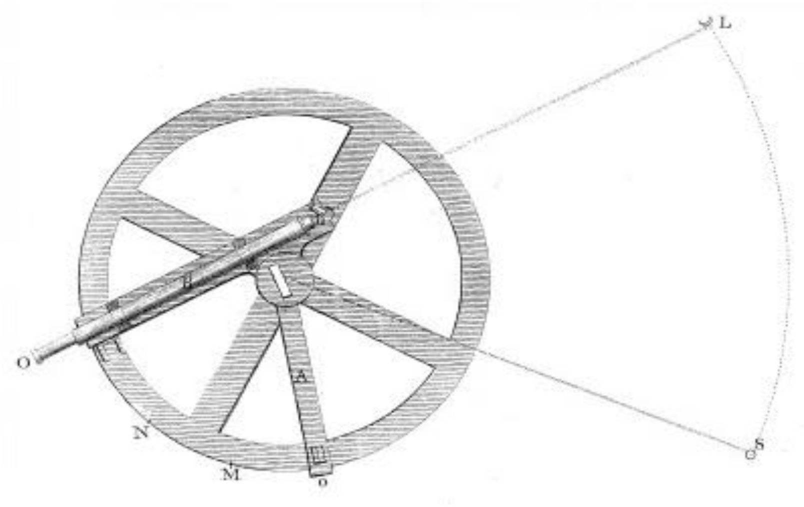


Figura 2- Projeto do circular de Mayer

Tal como todas as grandes invenções, este circular apesar de colmatar algumas falhas associadas aos instrumentos anteriores a este, continha algumas inconveniências. No início da utilização é necessário que os espelhos estejam paralelos. O método para os tornar paralelos, por meio do horizonte do mar, não é preciso, devido à indistinção das imagens; e, quando o Sol é usado para esse fim, a observação torna-se cansativa para os olhos do observador[25]. Este problema foi identificado pelo próprio inventor que pensou numa forma de resolver esta falha, mas de certa forma esta solução iria trazer erros associados à observação.

Bordá, querendo reparar esta inconveniência, teve a ideia de tornar o paralelismo dos espelhos desnecessário através de algumas modificações ao circular tais como: mudar a posição do telescópio de observação, mudar o "espelho do horizonte"[26] para a borda do instrumento. Com estas alterações conseguiu ainda que fosse possível fazer com que os raios de luz que chegavam ao vidro central pudessem estar situados tanto à esquerda como à direita da alidade que contem o telescópio facilitando ainda mais o processo de observação para o utilizador.

[25] Joseph de Mendoza Rios, "'On an improved reflecting circle", *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Londres, 1801, p. 364-365.
[26] Para diferenciar este espelho do espelho central, Mendonza chama-lhe espelho do horizonte

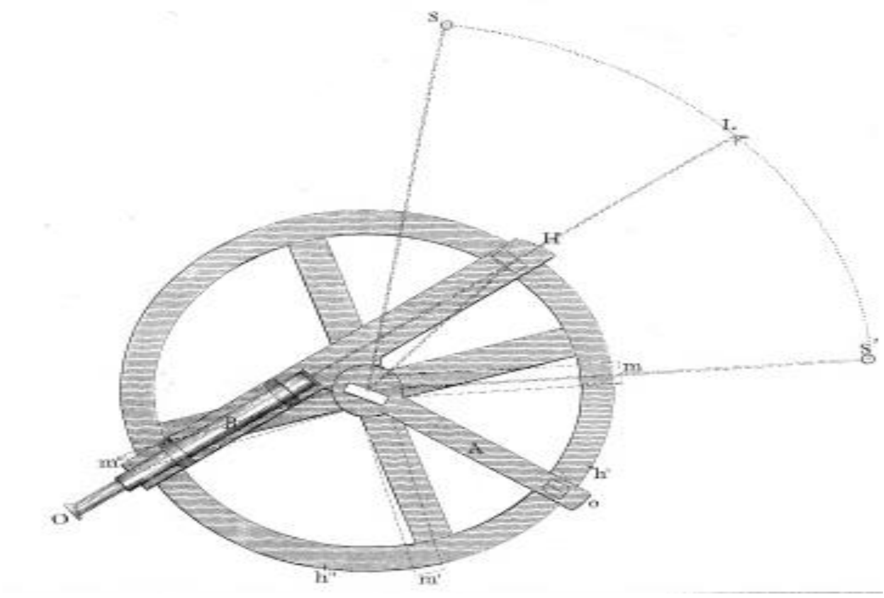


Figura 3- Projeto do circular de Bordá

Na descrição do seu novo circular, Dantas Pereira faz referência ao circular de Bordá: "[…]: o seu corpo construído por hum modo semelhante ao do Cavalheiro de Bordá, e elle em si dirigido ao mesmo fim de observar as distancias da Lua aos Astros […]"[27]onde conseguimos verificar, através desta frase, que foi a partir deste circular melhorado por Bordá que Dantas Pereira se vai basear para construir o seu.

É uma obra totalmente dedicada a este engenho onde ele começa por descrever as características físicas do mesmo chegando à conclusão de que a principal diferença entre o seu circular e o de Bordá são os espelhos. Na figura 3 conseguimos verificar que o de Bordá tem dois espelhos ao passo que o de Dantas Pereira tem apenas um, esta medida constitui um passo importante na evolução do circular pois deixamos ter aqui uma dependência entre espelhos.

> Os circulares ordinários comparados com os outros instrumentos de Reflexaõ saõ-lhes superiores,, por estarem menos sojeitos aos erros de gradaçaõ; pela maior commodidade que a sua figura offerece ao observador; e por naõ precisarem da verificaçaõ do parallelismo dos espelhos: o novo Circular participa da primeira superioridade em gráo igual, pois em ambos se podem repetir observações, usando de qualquer parte do limbo; da segunda

[27] José Maria Dantas Pereira, "Memória sobre os instrumentos de reflexão", *Memórias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa,* Lisboa, Typografia da Academia Real das Sciencias de Lisboa, Tomo II, Lisboa, 1799, p. 159.

> com preferência por ser mais simples, e da terceira com a maior vantagem por ter hum só espelho[28]

Estas são as "Vantagens do novo Instrumento de Reflexaõ"[29] que Dantas Pereira vê no seu dispositivo, para além disso compara as vantagens dos circulares em geral com os outros instrumentos de reflexão, chegando à conclusão de que são superiores pelas razões enunciadas na citação anterior.

Nas reflexões finais fala sobre o facto dos novos instrumentos custarem menos que os ordinários pois têm uma construção mais simples, o artista que os constrói apenas se tem de preocupar com algumas características que no fundo são comuns a todos os instrumentos tais como: a escala do limbo estar bem dividida e as alidades moverem-se paralelamente ao plano do instrumento, o que o levou a dedicar parte desta sua memória a demonstrar que as alterações que fez no circular também podiam ser aplicadas nos outros instrumentos de reflexão dando um exemplo matemático das alterações que seriam feitas num octante, se este fosse construído apenas com um só espelho estanhado e transparente.

1.4. Escritos Marítimos do Chefe d' Esquadra José Maria Dantas Pereira

> A consciência da necessidade de superar o profundo abatimento em que Portugal se encontrava levou a que nova atenção fosse dedicada ao desenvolvimento das ciências com o sentido pragmático de promover o progresso social e o crescimento económico[30].

Depois desta consciencialização, Portugal adotou medidas para contrariar este decréscimo e expandir os seus conhecimentos científicos, que era considerado um fator fundamental para o progresso do país. Através da fundação de algumas sociedades científicas tais como a Academia das Ciências de Lisboa. Em 1812 é criado o *Jornal de Coimbra* "Tendo como uma das preocupações dominantes dar conta das principais descobertas e progressos nas ciências."[31] Claro que com este apanágio seria de esperar que mais cedo ou mais tarde uma memória escrita por Dantas Pereira teria de ser publicada no *Jornal*.

[28] *Ibidem*, p. 162-163
[29] *Ibidem*, p. 162
[30] José Tengarrinha, *Nova História da Imprensa Portuguesa*, Lisboa, Temas e Debates, 2013, p. 233.
[31] *Ibidem*, p. 234.

Em 1819, já como Chefe-de-esquadra efetivo[32], volta a publicar uma "*Memória sobre a Latitude*" no *Jornal de Coimbra*, vol. XVI, número LXXIII, parte II, os *Escritos Marítimos do Chefe d' Esquadra José Maria Dantas Pereira, Parte II, que contem Memorias sobre a Navegação e Polygrafia Nautica.* com continuação no número LXXIV, parte I, *Continuaçaõ dos Escritos Marítimos do Chefe d' Esquadra José Maria Dantas Pereira.* Aqui apresenta duas memórias importantes, uma sobre a Latitude e uma outra que *Trata do cálculo da hora de bordo*[33] mas como não se obteve acesso à memória completa trataremos apenas de abordar a memória sobre a Latitude.

Na primeira de quatro secções *Relativa à hypothese de que podêmos observar alturas, e confiar no seu valor absoluto deduzido das observações*[34] começa por reforçar a ideia que já tinha transmitido nas suas últimas memórias sobre a Latitude que a observação das alturas meridianas será sempre o melhor método para determinar a Latitude de qualquer navio, especialmente as alturas meridianas do Sol, seguidas as das estrelas de maior grandeza e finalmente as dos planetas, entre os quais se preferem aqueles que possam ser observados nos crepúsculos.

Descarta a hipótese de usar as alturas meridianas da Lua pois como é o astro mais próximo da Terra, a sua declinação varia consideravelmente.

Conclui as suas reflexões sobre as alturas meridianas explicando o porquê de preferir o método de Bordá para o cálculo da Latitude, e volta-se para a explicação de um método parecido ao de Douwes, na ocorrência de acontecimentos que possam sobrevir no mar e que impeçam o navegador de calcular a Latitude pela observação das alturas meridianas.

Um método já falado anteriormente, chamado das duas alturas, é um procedimento de cálculo em si muito similar ao método por ele apresentado na sua segunda memória sobre o cálculo da Latitude[35], de tal modo que as condições para o método ser mais preciso e as vantagens apresentadas são também bastante parecidas às apresentadas na sua outra obra.

---

32 Posto da Marinha, introduzido em 1789. Foi substituído, em 1892, pelo posto de Contra-Almirante.

33 José Maria Dantas Pereira, "Memoria II Trata do cálculo da hora de bordo", *Jornal de Coimbra*, vol. XIV, número LXXIV, parte I, Lisboa, Na Impressão Régia, 1818, pp.68-80.

34 José Maria Dantas Pereira, "Memoria I Sobre a Latitude", *Jornal de Coimbra*, vol. XIV, número LXXIII, parte II, Lisboa, Na Impressão Régia, 1818, p. 5.

35 José Maria Dantas Pereira, "Memoria sobre o Calculo da Latitude por duas alturas de hum mesmo astro tomadas fora do meridiano", *Ephemerides Nauticas ou Diario Astronomico para o anno de 1796*, Lisboa, 1795.

Termina esta secção concluindo que irá utilizar três alturas em vez de duas de maneira a que seja possível utilizar estas alturas numa fórmula que simplifica bastante os cálculos. “Quem não quizer entreter-se com theorias póde limitar-se a ver os seus resultados”[36], com esta frase Dantas Pereira mostra que não se limita a falar teoricamente dos métodos, coloca-os em prática demonstrando a sua veracidade e encaminha-nos para uma memória que ele publica em 1807 e que fala sobre umas novas Tábuas Portuguesas[37] que tinham como principal finalidade:

> Ao mesmo tempo indica as mais vantajosas soluções dos mais interessantes Problemas daquella Navegação, com o intuito de patentear, simplificar, rectificar, ampliar sem superfluidade, e tornar menos dispendiosa, além de mais universal, e adequada aos seus fins, a pratica dos respectivos utilíssimos cálculos[38]

Dantas Pereira refere nesta sua obra Josef de Mendonza y Ríos, que foi o primeiro a conseguir “reduzir a hum só volume todas as taboas, que o bom navegante deve manejar a bordo”[39], e que o seu próprio objetivo com esta obra seria o de “emprehender a simplificação daquellas taboas, reduzindo todo o cálculo nautico ao uso de humas únicas o mais possível que fosse”[40]. Acaba por ser uma memória explicativa que abrange todo o funcionamento e a construção destas novas tábuas.

Esta evidente semelhança entre a sua I memória sobre a Latitude escrita em 1791, publicada nas *Ephemerides Nauticas ou Diario Astronomico para o anno de 1796* e esta memória publicada no *Jornal de Coimbra* levou-nos a levantar uma questão bastante pertinente neste contexto: porque é que Dantas Pereira passados mais de 20 anos volta a publicar uma memória sobre o cálculo da Latitude? A resposta encontra-se nas notas finais da obra onde o nosso oficial salienta a forma como este método depende exclusivamente dos logaritmos ou das novas tábuas portuguesas, para as quais ele teve um papel crucial no seu desenvolvimento.

---

[36] José Maria Dantas Pereira, “Memoria I Sobre a Latitude”, *Jornal de Coimbra*, vol. XIV, número LXXIII, parte II, Lisboa, Na Impressão Régia, 1818, p. 12.
[37] José Maria Dantas Pereira, *Memoria que trata de humas novas taboas mathematicas, e dos usos que ellas podem ter tanto nas applicações da sciencia em geral, como na navegação alta em particular*, Lisboa, Impressão Régia, 1807.
[38] *Ibidem*, capa.
[39] *Ibidem*, p. 3.
[40] *Ibidem*, p. 4.

> Em fim, depois de tantos inventos para a determinação da Latitude no mar por meio de duas alturas extra-meridianas, torno a publicar o que estampei em 1791, pois ainda lhe considero privativa a propriedade de depender unicamente, ou dos logarithmos ordinários, ou das novas Taboadas Portuguezas, dando ao mesmo tempo o valor do angulo azimutal; e vindo conseguintemente a fazer, que no mesmo instante conheçamos a latitude, a hora, e a variação da agulha: […][41].

A segunda secção *Relativa á hypothese de que queremos, ou necessitamos, prescindir do conhecimento do valor absoluto das alturas*[42] pressupõe a utilização de observações siderais para descobrir a Latitude onde se calcula o ângulo horário e as distâncias polares de duas estrelas conhecidas e aprimora o método dando uma alternativa às estrelas, a hipótese passa por utilizar o Sol – se a sua declinação variar muito e se for observado em dois dias consecutivos – como se fossem duas estrelas.

Na terceira secção *Relativa á hypothese de não querermos, ou não podêrmos observar alturas em várias circunstâncias*[43] supõe a falta de um instrumento adequado para a observação das alturas dos astros, ou por outro qualquer motivo que se possa apenas confiar numa agulha de marear e num relógio. Refere que existem vários recursos para a determinação da Latitude, mas que irá apenas tratar de nove métodos que julga preferíveis e mais simples. Três empregando somente o relógio, quatro utilizando a agulha conhecendo-se ou não a variação magnética, e dois usando o relógio e a agulha em simultâneo

O primeiro método do relógio é uma solução ao problema "Observado o tempo que o Sol emgrega em sair do Horizonte, ou em submergir-se n'elle, e conhecendo aliàs a sua distancia polar, descobrir a latitude do observador"[44] onde demonstra as soluções de Maupertuis[45], passa brevemente pelo de Cagnoli[46] porque pelo método deste

[41] José Maria Dantas Pereira, "Memoria I Sobre a Latitude", *Jornal de Coimbra*, vol. XIV, número LXXIII, parte II, Lisboa, Na Impressão Régia, 1818, p. 61.
[42] *Ibidem*, p. 14.
[43] *Ibidem*, p. 18.
[44] *Ibidem*, p. 18
[45] Pierre Louis Moreau de Maupert1698-1759), filósofo, matemático e astrônomo francês. A obra dele abrange os domínios da geometria, da física, e da astronomia, mas também explora um tema biológico central da comunidade científica e filosófica do século XVIII: o problema da geração de organismo. Em 1752 apresenta uma teoria sobre o tema na sua obra *Sistema da natureza*.
[46] Antonio Cagnoli, (1743-1816), foi um astrónomo italiano, matemático e diplomata ao serviço da República de Veneza.

astrónomo "o resultado sairia tão complicado quanto bastaria para fazer improvavel o seu uso prático"[47] e acrescenta uma outra que a seu ver é a mais expedita.

Refere que o segundo método se reduz à solução do problema "Conhecido um arco ou diurno, ou nocturno, de um astro que o percorre conservando sensivelmente a mesma declinação; e conhecida também ésta declinação, que deve differir de 0°; determinar a latitude."[48] Aponta que prefere o primeiro método a este, pois o tempo de observação é muito mais longo dando aso a erros nos cálculos por parte do observador. Acaba por apresentar um terceiro método como uma espécie de alternativa ao método anterior através da observação do tempo decorrido entre o nascimento ou o ocaso de dois astros conhecidos.

No primeiro método onde somente se utiliza a agulha, e supondo conhecida a variação magnética, a Latitude é calculada através da observação do azimute de dois astros conhecidos que estejam no mesmo vertical. É usada uma fórmula utilizando as distâncias polares, as ascensões retas, o ângulo paralático[49] do astro que se encontra mais abaixo no vertical, resultando num cálculo com onze logaritmos. No caso de se ignorar a variação é necessário observar na mesma os dois astros conhecidos no mesmo vertical e incluir ainda a diferença de azimute entre aquele vertical e o de outro astro conhecido. No entanto, não adota este método pois a fórmula necessária para encontrar a Latitude exigia a utilização de trinta e dois logaritmos tornando o cálculo assaz longo, exceto claro, quando for o único recurso.

Uma outra alternativa para determinar a Latitude será observando a diferença dos azimutes ortivos[50], ou occíduos[51] de dois astros conhecidos através da aplicação de uma fórmula que contenha a diferença entre estes azimutes e as distâncias polares sendo que esta diferença terá de ser referida ao horizonte verdadeiro.

Chegando finalmente à quarta seção *Relativa à hypothese de nos-faltar a Ephemeride nautica*[52], faz uma pequena introdução ao método dizendo que é uma hipótese que "não tem sido ainda considerada com a extensão conveniente ao bem da

[47] José Maria Dantas Pereira, "Memoria I sobre a Latitude", *Jornal de Coimbra*, vol. XIV, número LXXIII, parte II, Lisboa, Na Impressão Régia, 1818, p. 19.
[48] *Ibidem*, p. 21.
[49] Ângulo paralático: é o ângulo do triângulo de posição formado por um astro entre o círculo horário e o vertical do astro.
[50] Relativo ao Oriente, sinónimo de nascente.
[51] Relativo ao Ocidente, sinónimo de poente.
[52] José Maria Dantas Pereira, "Memoria I sobre a Latitude", …, p. 51.

navegação"[53]. Procurando preencher esta lacuna, apresenta aqui um método onde omite todas as possibilidades de consulta de tábuas astronómicas, para similar uma situação onde não se tem acesso às mesmas, omite também as marcações de terra, para simular uma situação onde não se possa ver ou não se conheça as marcas em terra.

Esta seção acaba por ser um complemento das outras três, pois permite ultrapassar uma limitação que porventura pudesse ocorrer, tornando assim qualquer um dos métodos ineficazes. Esta, visto ser uma área muito pouco trabalhada, transforma de maneira genial um ponto fraco numa possibilidade, tornando assim os métodos apresentados mais completos.

[53] *Ibidem*, p. 51

2. Questão da Longitude na segunda metade do século XVIII

As primeiras noções de esfera celeste apareceram durante o século VI a.c., onde *Anaximander*[54], considerado por muitos como o pai da Matemática associada à Astronomia e da Geografia, chegou à conclusão de que o planeta Terra estava centrado no meio de uma esfera à qual os astros estavam fixos. Notou que as estrelas pareciam girar à volta do pólo celeste, claro que na altura não se sabia que este movimento aparente era uma manifestação do movimento de rotação da Terra à volta do Sol.

Os primeiros mapas retangulares apareceram por volta do século V a.c., o mérito do primeiro mapa é dado a *Democritus*. O mapa é baseado nas suas viagens que o levaram a concluir que a parte habitável da Terra é 1,5 vezes superior no sentido Este-Oeste do que no sentido Norte-Sul. Estas perceções das dimensões do planeta deram origem às coordenadas geográficas conhecidas atualmente como Latitude e Longitude, as palavras derivam de *latus* e *longus* que significam, respetivamente, largura e comprimento.

Com o início dos Descobrimentos e da expansão dos países da Europa no século XV via marítima, houve a necessidade de aperfeiçoar os métodos e os instrumentos utilizados para calcular a Latitude e a Longitude de um navio, não só era necessário para atingir os objetivos, mas também para garantir a segurança da Navegação, pois muitas vezes tinham a necessidade de se manter muito tempo afastados de terra, não podendo usar as marcas terrestres que habitualmente utilizavam para esse efeito. Viraram-se então para os astros que podem ser facilmente observados em alto-mar.

Na última década do século XV, o Atlântico Norte já tinha sido atravessado várias vezes com sucesso, o Atlântico Sul e o Oceano Índico cruzados e a Índia alcançada através do Cabo da Boa Esperança. Determinar a Longitude tornou-se preeminente para o navegador[55].

Foram sem dúvida os navegadores portugueses os grandes pioneiros nesta matéria de tentar arranjar soluções para este problema. Até finais do século XV conseguiram, com sucesso, desenvolver métodos para determinar a Latitude com

[54] Anaximandro, (610-546 a.C.) foi um geógrafo, matemático, astrônomo, político e filósofo pré-Socrático. Introduziu na Grécia do uso do *Gnômon* (relógio solar) e a medição das distâncias entre as estrelas e o cálculo de sua magnitude, como foi pioneiro nesta matéria é-lhe dado o mérito de ser o pai da Astronomia Grega.

[55] D W Waters, zelador e chefe do Departamento de Navegação do Museu Nacional Marítimo em Inglaterra, escreveu o prefácio da obra *The solving in the 18th century of the problem of finding longitude at sea* de Eric G Forbes, fevereiro, 1973.

precisão suficiente para as suas viagens, através do cálculo da altura meridiana do Sol ou da altura da estrela Polar, nasce assim a astronomia náutica.

Por volta de 1530 estes dois métodos, que iremos estudar, já eram uma teoria possível para resolver o assunto, no entanto só passaram de teoria a prática no século XVIII, atingível apenas através dos avanços tecnológicos na medição do tempo e nas observações astronómicas que possibilitaram uma correta medição de tempo entre dois lugares, sendo que num deles a Longitude é conhecida, e uma exata previsão dos movimentos e posições dos corpos celestes.

Para tentar compreender e estudar a questão do problema da Longitude, que será o tema principal deste capítulo, analisaram-se várias obras e trabalhos realizados por diversos autores ao longo do tempo, nomeadamente durante o século XVIII, no qual grandes mentes se debruçaram para tentar resolver este tão infame problema.

Primeiramente iniciou-se uma pesquisa relacionada com as propostas apresentadas para resolver a questão. Deparamo-nos com várias hipóteses, contudo apenas duas conseguiram um lugar de relevo na nossa pesquisa, pelo cronómetro e pelos processos astronómicos. De seguida fez-se uma pesquisa mais intensiva à volta destes dois métodos, o que nos levou à base e o porquê de apenas no século XVIII os países europeus predominantes se terem dedicado exaustivamente à resolução deste problema.

Podemos dizer que o dinheiro é o que move o mundo e como não poderia deixar de ser, nesta questão foi o dinheiro e as recompensas oferecidas a quem conseguisse solucionar este problema que promoveram esta grande torrente de ideias, métodos e grandes desenvolvimentos, nomeadamente no que toca a instrumentos de Navegação, motivaram muitas pessoas a saírem da bolha de ideias e conceitos intrínsecos na sociedade.

Em 1714, nasce o Ato da Longitude criado pelo parlamento Britânico e aprovado pela rainha Anne[56] no final do seu reinado, que oferecia um prémio máximo de £20000 a quem conseguisse descobrir um método *"useful and practible"* para descobrir a Longitude no mar.

[56] Anne, (1665-1714), rainha da Grã-Bretanha e da Irlanda de 1702 a 1714.

2.1. The Board of Longitude

O facto de encontrarmos inúmeras obras e publicações, centenas ou até mesmo milhares de referências sobre o problema da determinação da Longitude, mostra que não se tratava de um banal assunto académico, mas sim de um sério problema que apresentava uma grave ameaça à segurança da Navegação e aos homens que no mar se encontravam.

Prémios consideráveis foram oferecidos no decorrer dos séculos XVI e XVII, tanto por dadores privados, como pelos governos, principalmente os governos de França, Holanda e Espanha. Um dos mais conhecidos é o prémio oferecido pelo governo espanhol no reinado de Filipe III em 1598, o qual iremos abordar mais à frente.

Apesar da preocupação expressa, a tragédia que fomentou a atenção pública para o problema da segurança da Navegação foi o naufrágio de uma frota comandada pelo Vice-almirante Sir Cloudesley Shovell nas ilhas Scilly em 1707. 2000 pessoas perderam a vida e não tardou até começarem a aparecer petições para o parlamento Britânico, a pedir que oferecessem uma recompensa a quem conseguisse inventar um método prático e útil para descobrir a Longitude no mar.

O resultado das deliberações da Comissão Parlamentar foi um projeto de lei[57], mais tarde aprovada como lei em junho de 1714 como o Ato 12 da rainha Anne, cap. xv.

Nos termos deste ato foram atribuídas as seguintes recompensas:

10.000£ se a precisão do método fosse até 1°, ou 60 milhas náuticas.

15.000£ se a precisão do método fosse até 2/3°, ou 40 milhas náuticas.

20.000£ se a precisão do método fosse até 1/2°, ou 30 milhas náuticas.

Estas avultadas quantias refletiam a necessidade, a urgência, mas principalmente a dificuldade que era chegar a uma solução. Os 22 homens apontados para autorizar o pagamento dos prémios, assim como para financiar projetos que possivelmente apresentassem bons resultados, ficaram conhecidos como *Board of Longitude*, que incluía as mais altas patentes da Marinha, políticos e académicos.

A primeira metade do pagamento seria feita após a maioria dos comissários estar de acordo em como a proposta apresentada era "useful and practicable". A outra parte seria paga após um teste prático ao método, onde o navio teria de navegar das ilhas

[57] Nos projetos de lei, a iniciativa legislativa cabe aos Deputados, aos Grupos Parlamentares ou a grupos de cidadãos, https://www.parlamento.pt/Paginas/Perguntas-frequentes.aspx acedido em junho de 2020.

Britânicas para as Índias Orientais sem errar a Longitude por mais da quantidade indicada no prémio.

2.2. Propostas para resolver a questão

Para além do método de Navegação estimada onde, como o próprio nome indica, é estimada a posição mais provável do navio através do conhecimento da direção do seu movimento e da distância percorrida em relação ao fundo e do método da variação da agulha, existem outros dois métodos que são frequentemente falados em várias obras relacionadas com o problema, através de processos astronómicos, nomeadamente os satélites de Júpiter, os eclipses da Lua e o das distâncias da Lua às estrelas ou ao Sol; e outro, através da utilização dos relógios.

Estes dois últimos métodos só encontraram solução para o problema no século XVIII, porque só aqui foi possível aumentar o rigor das efemérides, devido ao aperfeiçoamento dos métodos e das técnicas de cálculo. Foi nesta altura também que se conceberam instrumentos de reflexão suficientemente precisos para as necessidades, com escalas que permitiam medir ângulos superiores a 90º o que era, até então uma limitação nas observações astronómicas.

Apesar de se falar muito nestes dois métodos e embora se tenham desenvolvido os dois na mesma altura, o método do cronómetro caiu um pouco em desuso devido à sua escassez e custo elevado, em comparação ao seu método alternativo e menos dispendioso. Esta limitação só foi ultrapassada no século XIX com a produção em série deste equipamento, o que diminuiu bastante o preço e aumentou a oferta.

2.2.1. Pelo cronómetro ou relógios marítimos

2.2.1.1. História do cronómetro

O facto de não se saber calcular com precisão a Longitude trouxe vários problemas agregados a esta questão, uns dos quais se incluem o formato da costa terrestre que se manteve desconhecida até ao desenvolvimento de um método eficaz para calcular a Longitude. Durante mais de dois séculos muitas tentativas foram encontradas, mas sem sucesso. No fim, a solução veio de uma fonte inesperada, um relojoeiro de nome John Harrison.

O seu primeiro relógio construído em madeira, em 1713 com apenas 20 anos, deu-lhe uma boa reputação como relojoeiro. Em 1720 recebeu uma comissão para construir um relógio num estábulo que se situava a 15 quilómetros da sua oficina. Esta distância que tinha de percorrer para construir o relógio foi o motivo pela qual ele se esforçou para tornar o relógio o mais livre de manutenções possível. Construiu novas peças para o relógio, produzidas em madeira, que lhe permitiram utilizar bronze em vez de aço na construção do eixo principal do relógio. Esta mudança de materiais permitiu que o aparelho resistisse à atmosfera húmida do telhado, onde normalmente eram construídos estes relógios de grandes dimensões, e resolvia o problema da ferrugem que comprometia o bom funcionamento e a durabilidade do equipamento.

Estas inovações constituíram um passo importante no desenvolvimento destes equipamentos. John alegava que os seus relógios duravam 30 anos sem a necessidade de manutenções.

Claro que por esta altura Harrison já tinha conhecimento do grande prémio da Longitude de 20000£. Para preencher os requisitos impostos pelo Ato de 1714 da rainha Anne, o *timekeeper* não poderia variar mais do que dois segundos por dia. Para alcançar esta precisão teria de resolver o problema da temperatura e outras variáveis.

Constatou que o prémio estava ao seu alcance, mas teve de viajar até Londres para conseguir apoio financeiro, devido aos materiais que teria de usar na construção do aparelho. Para poder resistir às severas condições marítimas, algumas partes teriam de ser em bronze que custava significativamente mais que a madeira[58].

O seu primeiro relógio marítimo ficou concluído em 1735, o qual ele batizou de *H.1*. Foi aprovado por cinco membros importantes da *Royal Society of London* que assinaram um certificado de que o princípio de funcionamento do relógio cumpriria com os requisitos de precisão e, portanto, deveria ser submetido a um julgamento minucioso[59]. As recomendações foram aprovadas pela *Board of Longitude* e foram feitos preparativos para Harrison testar o seu aparelho a bordo do *HMS Centurion* em maio de 1736 numa viagem de ida e volta entre *Portsmouth* e Lisboa. O teste foi um sucesso, o relógio provou o seu valor e corrigiu a Longitude do navio cerca de 60 milhas quando avistaram terra.

O H.1 tinha uma dimensão considerável com uma área de cerca 1,46 metros quadrados ocupava a maior parte do espaço do camarote do comandante. Por isso em 1737 foi convidado para participar na primeira reunião do Conselho onde pediu financiamento para construir um segundo modelo mais pequeno e preciso. O segundo *timekeeper*, conhecido como H.2 foi construído em apenas dois anos e nunca foi testado

[58] William J. H. Andrewes, *Finding Space on Earth: The Quest for Longitude 1500-1800, International Frequency Control Symposium and Exhibition*, 2000, p. 3.
[59] Eric G. Forbes, *The birth of scientific navigation, National Maritime Museum*, Londres, 1974, p. 11.

no mar, grande parte devido a imperfeições encontradas por Harrison, sem reparação possível, em testes feitos na sua oficina, outra parte devido à altura em que concluiu a construção do relógio: a Grã-Bretanha estava à beira de uma guerra com Espanha[60].

Abandonou o projeto e focou-se noutros dois projetos que já tinha começado a construir, o H.3 e o H.4, com mecanismos significativamente diferentes dos dois primeiros. Foi nesta década, entre 1740 e 1750, que fez as suas mais importantes contribuições no funcionamento do cronómetro, no entanto, apenas o H.4 foi testado no mar pela primeira vez numa viagem para a Jamaica em 1761. Apesar de ter trabalhado bem, a Comissão não reconheceu que o método funcionava e a razão foi porque a viagem deveria ter-se realizado em abril a bordo do HMS Dorsetshire mas apenas aconteceu em outubro devido ao empenho do navio noutra missão. A consequência deste atraso foi Júpiter não se encontrar na mesma região do céu que o Sol, o que implicou que as observações às luas de Júpiter, realizadas propositadamente para a viagem, deixassem de ser confiáveis.

Uma segunda vez em 1764, a bordo do HMS *Tartar* até aos Barbados, onde o cronómetro provou que era capaz de preservar o tempo perto dos limites estabelecidos no Ato de 1714. Harrison acabou por receber metade do prémio máximo, no entanto foi-lhe exigido por lei, através do ato 13 do rei George III em 1765, que construísse mais dois relógios e teria de divulgar em juramento os princípios da construção a outros relojoeiros[61].

Entretanto, grandes progressos estavam a ser feitos com o método rival: o método das Distâncias Lunares, ficando mais prático com a publicação do *The Nautical Almanac.* Nevil Maskelyne, o autor deste almanaque, tornou-se o chefe proponente do método das Distâncias Lunares, utilizando as tabelas criadas por Tobias Mayer e realizou várias viagens para verificar a veracidade e a praticabilidade do método.

---

[60] Estamos a falar da Guerra da orelha de Jenkins que durou entre 1739 e 1748. Ficou assim conhecido devido ao acontecimento que despoletou a guerra. Em 1731 o navio mercante *Rebecca* comandado por Robert Jenkins da Companhia das Índias orientais que transportava uma carga de açúcar da Jamaica para Londres, foi abordada pela corveta espanhola *San Antonio* por suspeita de contrabando. Acabaram por cortar a orelha esquerda de Jenkins, que na altura era um castigo bastante comum, devido ao contrabando existente a bordo. Havia muita tensão entre os dois países devido às mercadorias transportadas das Caraíbas, e as condições que ficaram acordadas no Tratado de Utrecht em 1713 não estavam a ser cumpridas por parte da Grã-Bretanha. Espanha para contrariar esta violação do tratado fortificou as águas das suas colónias com navios de guerra para controlar todas a mercadorias que entrassem ou saíssem dos seus territórios. Apesar de *Jenkins* ser um conhecido traficante, este ato foi a faísca necessária para a Grã-Bretanha declarar guerra a Espanha.

[61] Eric G. Forbes, *The birth of scientific navigation, National Maritime Museum*, Londres, 1974, p. 13.

Maskelyne não acreditava que um cronómetro marítimo se podia tornar uma solução confiável para descobrir a Longitude no mar. Em 1765, quando foi nomeado Astrónomo Real Britânico, rapidamente se viu aqui um confronto entre Maskelyne e Harrison onde o astrónomo defendia que o método do cronómetro não era um método fiável. Como era uma pessoa que estava embrenhada no seio dos círculos científicos mais preponderantes da Navegação do século XVIII, através da *Board of Longitude*, foi selecionado para ser júri do teste mais desafiante para o cronómetro, que ocorreu entre 5 de maio de 1766 e 4 de março de 1767. Claro que esta decisão não agradou a Harrison pois, para além de o júri do teste ser um homem cético ao método, sujeitaram o cronómetro a condições extremas, claro está que o relatório do teste feito por Maskelyne em nome da Comissão foi bastante negativo onde afirmava que o cronómetro não era fiável e não cumpria os requisitos impostos pelo Ato da rainha Anne.

Larcum Kendall[62] foi ordenado pelos Comissários da Longitude para construir uma réplica do H.4 a qual entregou à Comissão em janeiro de 1770. O timekeeper de Kendall, o K.1, foi levado pelo Capitão Cook[63] na sua segunda e terceira viagem de exploração e utilizado por ele mesmo na carteação das costas da Nova Zelândia e Austrália. O K.1 provou de tal forma ser um sucesso que Cook referiu-o como *"our trusty friend the watch"*, a sua precisão pode ser verificada nas cartas que Maskelyne elaborou depois das suas viagens, as quais ainda foram utilizadas no início da Segunda Guerra Mundial.

Em 1770, com 77 anos, concluiu um dos dois relógios a que estava obrigado a construir, o H.5, o qual foi testado no observatório privado do rei George III em Richmond. Devido ao seu excelente desempenho durante o teste de 10 semanas, o envelhecido inventor recebeu finalmente em 1773 o resto do prémio máximo pelo qual tanto lutou, menos 1250£ devido ao não cumprimento das condições impostas a Harrison pelo Ato de 1765 do rei George III.

Este reconhecimento formal do prémio de Harrison acoplado aos relatórios do desempenho impressionante do K.1 nas viagens do Capitão Cook, provou a utilidade

[62] Larcum Kendall (1719-1790), foi um dos relojoeiros que recebeu uma explicação verbal e os projetos do H.4 de Harrison.

[63] James Cook (1728-1779), foi um explorador, navegador e cartógrafo inglês tendo depois alcançado o posto de capitão na *Royal Navy*. Cook foi o primeiro a mapear Terra Nova antes de fazer três viagens para o Oceano Pacífico durante as quais conseguiu o primeiro contacto europeu com a costa leste da Austrália e o Arquipélago do Havaí, bem como a primeira circum-navegação registrada da Nova Zelândia.

geral do método do cronómetro. Contudo o cronómetro ainda viria a sofrer algumas alterações importantes, porque apesar da sua estrutura não se ter alterado ao longo dos séculos, os seus materiais eram muitos caros o que aumentava bastante o seu preço[64]. Isto levava a um decaimento na produção dos mesmos, este problema só foi resolvido no século XIX, de modo que durante o século XX era praticamente o único método utlizado para descobrir a Longitude no mar.

2.2.1.2.O método do cronómetro ou método mecânico

A relação entre a Longitude e o tempo sugere que esta só pode ser corretamente calculada no mar por um cronómetro que conservasse a hora legal de um país ou que indicasse a hora num meridiano de coordenadas conhecidas e, por sua vez, comparada essa hora com a hora local do navio – ou seja descobrindo a diferença horária – encontrar-se-ia o ângulo entre o meridiano de referência e o meridiano do navio, encontrando-se assim a Longitude. Este método foi proposto por Gemma Frisius[65] em 1530, altura em que apenas relógios de areia estavam disponíveis para utilizar no navio.

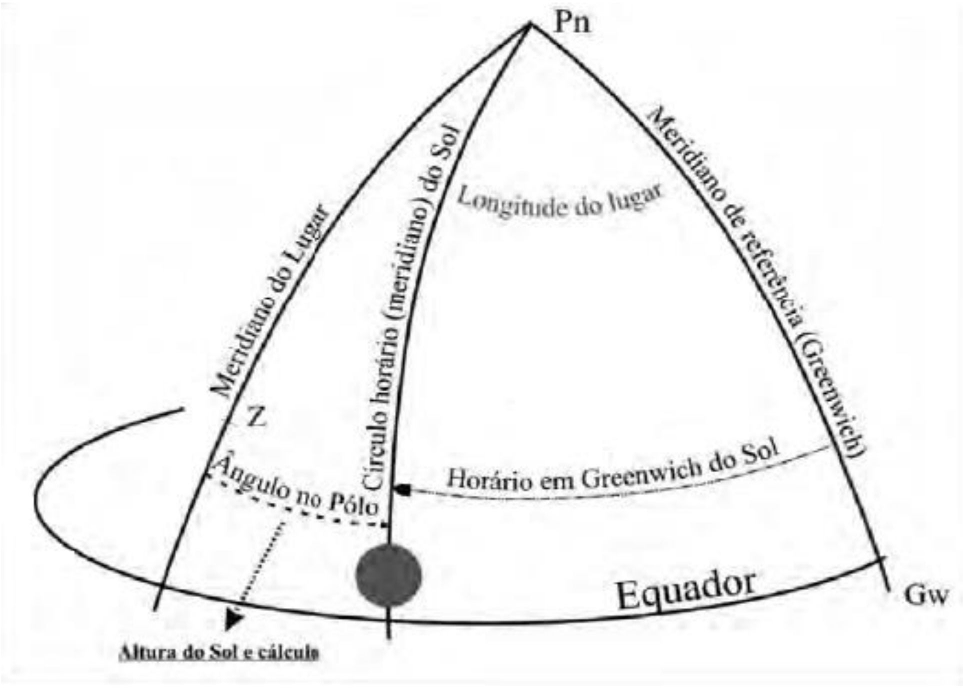


Figura 4- Princípio da determinação da Longitude

[64] O H.4 de Harrison custava 400£ a produzir, o que equivalia na altura a cerca de 30% do valor de um navio.

[65] Gemma Frisius (1508-1555), foi médico, astrônomo, matemático, cartógrafo e fabricante de instrumentos matemáticos. Notabilizou-se pela sua habilidade em construir instrumentos de medição e pelas teorias que elaborou, e que foram de grande ajuda para a Navegação marítima. Criou globos com modelos tridimensionais da Terra, melhorou os instrumentos matemáticos da sua época e aplicou a matemática sob novos prismas para a pesquisa e Navegação.

Para calcular a Longitude pelo meio do cronómetro é necessário saber a Latitude do observador e conhecimento de alguns dados astronómicos, de maneira a definir um mapa celeste e conhecer as posições dos astros no céu na altura das observações. Evidentemente que é necessário conhecer o cronómetro, ou seja, conhecer o erro associado ao mecanismo assim como a taxa de tempo que ele perde por dia.

Podemos imaginar um cronómetro marítimo como um modelo mecânico da rotação da Terra conservando o tempo que a Terra demora a efetuar uma rotação à volta do seu próprio eixo ou, por outras palavras, o tempo que o Sol demora a efetuar a sua rotação aparente de 360 ° à volta da Terra em 24 horas, concluindo que a cada hora que passa o Sol aparenta mover-se 15°. Com estas noções, encontrar a Longitude passaria apenas por ter apenas um bom cronómetro marítimo que conservasse as horas do meridiano de referência e um instrumento rigoroso para determinar alturas.

2.2.2. Processos astronómicos ou método astronómico

Este método astronómico de obtenção da Longitude era conhecido há muitos séculos, mas só foi possível começar a aplicá-lo quando os instrumentos e as efemérides astronómicas se tornaram suficientemente rigorosos, assim como as ferramentas de cálculo. Tal só aconteceu sucessivamente nos séculos XVII e XVIII.

De facto, foi nesse período que se inventaram os logaritmos, se desenvolveu a luneta astronómica, se inventou o relógio de pêndulo, se calcularam efemérides muito rigorosas em consequência das novas facilidades de cálculo e dos instrumentos de observação em terra e, finalmente, se inventou o instrumento definitivo de observação a bordo: o octante[66].

Os astros têm a vantagem de poderem ser observados em alto-mar, contudo utilizar os astros para descobrir a Longitude não era tão linear como no caso da Latitude, um exemplo prático disso é a facilidade com se que se descobre a Latitude no hemisfério Norte, bastando apenas medir o ângulo entre a estrela Polar e o horizonte.

As estrelas apresentam um movimento bastante regular, mantendo sempre as posições umas em relação às outras, repetindo esse mesmo movimento com uma periodicidade diária. O Sol apresenta também uma regularidade no seu movimento, completando uma rotação também com uma periodicidade diária. Esta regularidade dos movimentos das estrelas e do Sol não ajuda à determinação da Longitude, uma vez que

[66] José Manuel Malhão Pereira, *Navios, Marinheiros e Arte de Navegar, 1669-1823,* Academia de Marinha, Lisboa, dezembro 2012, p. 429.

da perspetiva Este-Oeste não existe nenhuma estrela que aparente ser imóvel, como no caso da estrela Polar, devido ao efeito da rotação da Terra, que possa ser utlizada para descobrir a Longitude.

No entanto, a Lua apresenta um movimento diferente dos outros astros devido à sua proximidade à Terra, motivo pelo qual praticamente todos o métodos astronómicos para a determinação da Longitude utilizam, direta ou indiretamente, a Lua nos cálculos, exceto o método que utilizava as ocultações dos satélites de Júpiter, que foi um dos que teve grande utilidade e do qual se obteve bons resultados.

Muitas dessas sugestões não tiveram grande aplicação prática devido à dificuldade em efetuar as medições necessárias, aos cálculos bastante complicados a elas associados, ou ainda porque não era possível conseguir resultados com o rigor suficiente para as necessidades da náutica[67]. Entre estes podemos enunciar o método da determinação da Longitude pela passagem meridiana da Lua, pela ocultação do Sol ou de outras estrelas pela Lua. Estes métodos requeriam cálculos bastante complexos pois, tal como os eclipses solares e as ocultações de estrelas pela Lua, não ocorrem em simultâneo nos diferentes locais onde são observados.

Deste modo analisaremos apenas aqueles métodos que de facto trouxeram grandes desenvolvimentos nos processos astronómicos para a determinação da Longitude no mar, não só pela sua veracidade, mas também pela sua praticabilidade em termos de simplicidade nos cálculos.

2.2.2.1. Eclipses lunares

Hypparchus[68] foi o primeiro a sugerir um método para descobrir a Longitude através dos eclipses lunares. O princípio do método é bastante básico: sabendo que os eclipses são vistos no mesmo instante e calculando com antecedência a hora a que este evento irá ocorrer num meridiano de referência, restará apenas calcular a hora local de modo a que a diferença horaria seja a diferença de Longitude.

Apesar de ser simples, este método torna-se bastante complicado de aplicar no mar, no sentido em que os eclipses são fenómenos que ocorrem com alguma raridade, razão pela qual não têm qualquer aplicação no mar.

---

[67] António Costa Canas, *A introdução do Almanaque Náutico em Portugal, Contributo de Monteiro da Rocha*, 11 de dezembro de 2009, p. 2.

[68] Hypparchus (190 a.C.-120 a.C.), foi um astrônomo grego, cartógrafo e matemático da escola de Alexandria. Hoje é considerado o fundador da astronomia científica e também chamado pai da trigonometria esférica por ter sido o primeiro a elaborar uma tabela trigonométrica, da divisão do círculo em 360 partes iguais e a divisão do grau em sessenta minutos de sessenta segundos.

Os principais registos do uso deste método remontam até ao período dos Grandes Descobrimentos, Cristóvão Colombo na sua segunda viagem em 1494 recorreu a este método para encontrar pela primeira vez a Longitude de um lugar no *New World*[69]. Claro que os resultados foram muito negativos, com um erro de aproximadamente 18°. Este erro foi devido às imprecisas previsões da hora do evento astronómico por falta de conhecimento dos movimentos da Lua.

2.2.2.2. Satélites de Júpiter

Os quatro principais satélites de Júpiter[70] foram pela primeira vez observados por Galileu em 1610 depois de ter desenvolvido a luneta. A órbita que estes satélites efetuam é quase coplanar ao equador de Júpiter, consequentemente, poder-se-á observar quatro fenómenos: eclipse; ocultação; trânsito do satélite e trânsito da sombra.

Um eclipse ocorre quando o satélite cai no cone de sombra de Júpiter, uma ocultação corresponde à interposição do planeta entre o satélite e o observador terrestre ou, por outras palavras ocorre quando o próprio planeta esconde um satélite. O trânsito do satélite é a sua passagem sobre o disco do planeta, ou seja, é quando o satélite aparece entre a Terra e Júpiter, sendo o mesmo visível durante a passagem como um ponto luminoso na face do planeta. O trânsito da sua sombra equivale à passagem do ponto escuro correspondente à sombra do satélite sobre a superfície de Júpiter.

Galileu rapidamente percebeu que a construção de tabelas com eclipses e ocultações dos satélites Júpiter poderia ser um método para determinar a Longitude. Dedicou-se então à elaboração dessas mesmas tabelas, almejando o avultado prémio oferecido pelo rei Filipe III de Espanha a quem conseguisse inventar um método prático para encontrar com precisão a posição de um navio em alto-mar.

[69] Nome dado ao continente americano, incluindo as ilhas à sua volta.
[70] Júpiter tem 79 satélites conhecidos, no entanto apenas quatro têm tamanho suficiente para poderem ser observados através de um telescópio no planeta Terra.

Aliando o facto de as tabelas não serem suficientemente precisas para responder ao seu propósito e o facto de utilizar um telescópio a bordo não ser prático, este método caiu em desuso. No entanto, com o desenvolvimento das tabelas das efemérides dos satélites, passou a ser possível determinar com rigor as Longitudes em terra firme, aumentando assim a rigorosidade da cartografia.

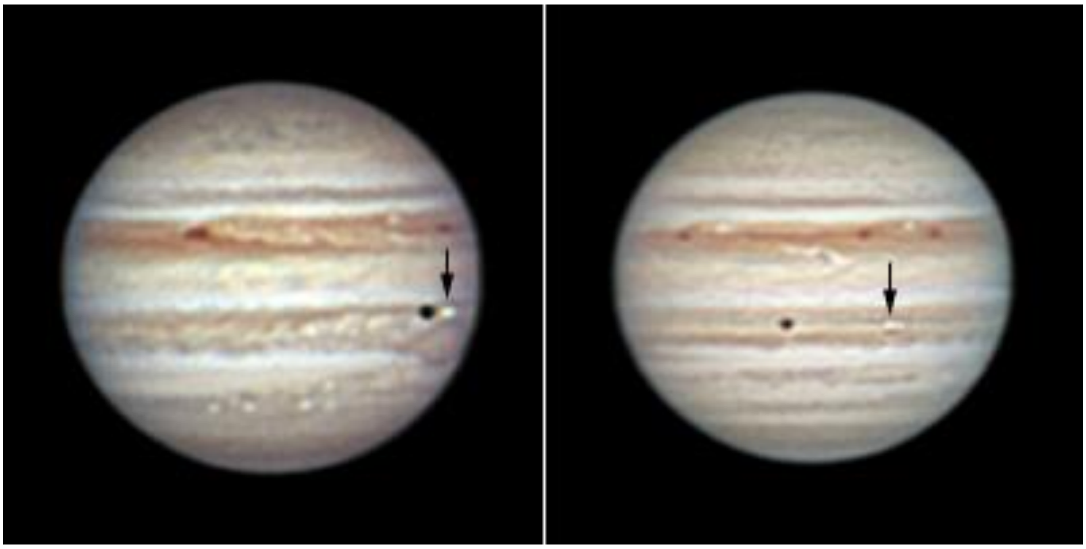


Figura 5- Trânsito do satélite Io e trânsito da sua sombra sobre a face de Júpiter.

2.2.2.3. Distâncias Lunares

O último método astronómico foi de facto aquele que se praticou a bordo, oferecendo bons resultados e, que mais utilidade demonstrou aos navegadores. Desde início, no princípio do século XVI quando ainda era uma ideia teórica, que teve muita atenção de inúmeros estudiosos tais como Johannes Werner, Pedro Apiano e Gemma Frisius.

Apesar deste interesse, existiram diversos obstáculos para o transformar de teoria a prática, tais como a falta de instrumentos para medir com rigor os ângulos e a falta de tabelas com as efemérides da Lua calculadas com a precisão necessária que tornavam assim o processo de cálculo da Longitude muito complexo.

Esta limitação só foi ultrapassada nos finais do século XVII, com a criação dos observatórios de Greenwich em 1676 e Paris para observar sistematicamente os astros, mas só em 1766 com a criação do *Nautical Almanac* é que foi possível utilizar o método em alto-mar. A resposta para o problema dos instrumentos só foi encontrada no século XVIII com a invenção dos instrumentos de dupla reflexão.

Para se conseguir pôr em prática o método, são necessários, para além do observador principal, três assistentes. O observador principal mede o ângulo entre o limbo iluminado da Lua e um segundo corpo, que podia ser uma estrela, um planeta ou o próprio Sol. O primeiro assistente media a altura da Lua, enquanto que o segundo media a altura do segundo astro. E finalmente o terceiro, equipado com um relógio, registava o tempo das observações quando o observador principal dava a ordem do "fora". Repetindo este processo várias vezes, com intervalos de tempo iguais entre *sets*, e finalmente fazendo uma média dos resultados obtidos, era possível reduzir ou até mesmo eliminar os erros associados às observações.

2.3. O método das Distâncias Lunares

É o rápido movimento relativo da Lua em relação às estrelas que dá aos homens do mar um método para calcular a Longitude. Tem um período sideral, relativamente às estrelas, de cerca de 27,3 dias, o que se traduz em 13 graus em 24 horas, ou seja, 33" de arco por cada minuto de tempo. O movimento relativo entre o Sol e a Lua pode ser visto como um ponteiro de um relógio mecânico que dá a hora de um meridiano de referência.

Faltavam então umas tabelas que fornecessem as horas e as correspondentes distâncias angulares entre os dois astros num determinado observatório em terra, comparando a distância angular observada no navio com a fornecida na tabela seria possível descobrir a hora a que correspondia a observação no observatório, calculando a hora local através da altura do Sol ou por outro método, comparar-se-ia as horas descobrindo-se desta maneira a Longitude.

Claro que, como a Lua está muito próxima da Terra, as correções a estas distâncias angulares eram muito importantes, pois a distância da Lua à Terra provocava certos obstáculos nas observações, o que influenciava as medições das distâncias e consequentemente provocava erros nos cálculos da Longitude. A paralaxe e a refração são dois destes problemas que necessitavam de ser corrigidos

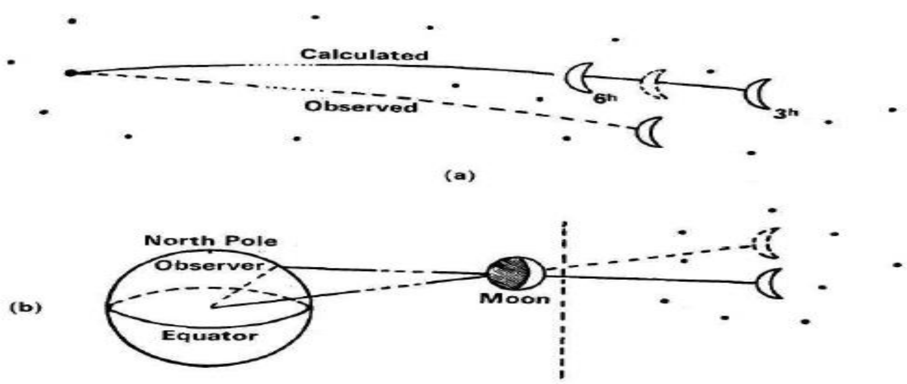


Figura 6- a) Reflexão; b) Paralaxe

Muitos estudiosos debruçaram-se sobre o estudo da movimentação aparente da Lua na expectativa de conseguirem prever os seus movimentos, construindo assim as tão imprescindíveis tabelas lunares, no entanto o atraso na elaboração das mesmas deveu-se ao estado rudimentar em que se encontrava a teoria Lunar nos séculos XVI e XVII. Génios como Copérnico, Kepler e Galileu “contribuíram para o estabelecimento de um novo paradigma da mecânica celeste, que culminará na Teoria da Gravitação Universal de Newton”[71] publicada em 1687 na sua obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. O próprio Newton tentou construir as suas tabelas lunares baseadas na sua teoria, juntamente com as observações realizadas por Flamsteed[72] no Observatório em Greenwich, apresentando um grande desenvolvimento na previsão dos movimentos da Lua.

Várias experiências se sucederam, o Abade de la Caille na sua viagem ao Cabo da Boa Esperança embarcado no navio *Le Glorieux*, comandando por d'Après de Mennevillette elaborou uma série de observações em 1751, catalogando 10.305 estrelas distintas e identificando 14 constelações novas, mas esta viagem ficou marcada pelo uso do método das Distâncias Lunares para descobrir a Longitude e a opinião que o abade ficou relativamente ao método, dizendo que era o único método prático para utilizar no mar.

A tão procurada base astronómica para o método foi pela primeira vez fornecida em 1753 pelas tabelas lunares de Tobias Mayer. O trabalho de Mayer não partiu do seu interesse em querer resolver um problema que estava relacionado maioritariamente com a Navegação e a aplicação do método no mar, mas sim no desenvolvimento da cartografia terrestre da qual fazia profissão[73].

Mayer partindo do trabalho de Euler[74] na teoria lunar, elaborou umas equações que permitiam conhecer as coordenadas da Lua com elevada precisão. Enviou uma memória juntamente com as suas tabelas em 1755, depois de muita insistência por parte

[71] António Costa Canas, *A introdução do Almanaque Náutico em Portugal…,* p. 4.
[72] John Flamsteed (1646-1719), foi o primeiro astrônomo real da Inglaterra em 1676 e fundador do Observatório de Greenwich.
[73] Eric G. Forbes, The birth of scientific navigation, National Maritime Museum, Londres, 1974.
[74] Leonhard Euler (1707-1783), foi um matemático e físico suíço que passou a maior parte de sua vida na Rússia e na Alemanha. O trabalho de Euler passou principalmente por descobertas em várias áreas da matemática. No mundo da astronomia ficou conhecido por estudar e determinar a órbita de cometas e planetas, descobriu novos métodos para calcular a paralaxe do Sol e melhorou a Teoria de Newton sobre a ótica. Ganhou vários prémios da *Paris Académie des Sciences* relacionados com os seus trabalhos sobre a mecânica celeste. Entre 1751 e 1755 foi correspondente de Mayer, esta correspondência entre os dois culminou nas tabelas lunares.

de Euler, ao Almirantado Britânico onde solicitava uma recompensa pelas mesmas, segundo os termos do Ato 12 da rainha Anne.

Estas tabelas caíram nas mãos de James Bradley, sucessor de Edmund Halley como astrónomo real em 1742 que, depois de as examinar e compará-las com cerca de 230 observações realizadas por si mesmo no observatório de Greenwich, ficou convencido com a precisão das mesmas. Registou um erro médio de 1 minuto e meio entre a Longitude da Lua e aquelas calculadas através das tabelas e enviou o seu relatório para o Almirantado Britânico em 1765.

Muito antes de Bradley ter enviado o seu relatório ao Almirantado, a utilidade do trabalho de Mayer já tinha sido provada em várias viagens realizadas com o propósito de testar as tabelas. Em 1757 a bordo do *Royal George,* o Capitão Campbell com o cabo Finisterra à vista levou a cabo várias observações e registou uma precisão até 0° 37’ de longitude[75]. Em 1761 Nevil Maskelyne, numa viagem à ilha Santa Helena a bordo do *Prince Henry*, testou também as tabelas de Mayer publicando os resultados no *The British Mariner’s Guide*.

Mayer continuou a trabalhar nas suas equações até à sua morte prematura devido a septicemia em 1762. Deixou as tabelas com a sua mulher, Fran Mayer, pedindo-lhe que as enviasse para Inglaterra depois da sua morte. Agindo de acordo com o último desejo do marido, Fran enviou-as para Londres no verão de 1763. Recebeu 3000£ das primeiras tabelas enviadas por Mayer em 1755, ao passo que Euler recebeu 300£ por reconhecimento do seu trabalho ao providenciar a base para as equações de Mayer. Nos testes às novas tabelas, registaram-se erros inferiores a 1’, o que levou a B*oard of Longitude* pagar mais 2000£ à viúva e publicar as tabelas sob a direção de Nevil Maskelyne, já como Astrónomo Real.

Seria de esperar que, por esta altura, Mayer recebesse a totalidade do prémio, pois as suas tabelas cumpriam o requisito da precisão imposto pelo Ato 14. No entanto a questão da Comissão não lhe atribuir o prémio, passava pelo facto de o método ser demasiado complexo para pôr em prática no mar. Poucos marinheiros tinham a perícia em cálculos matemáticos como Maskelyne tinha e até ele demorou algumas horas nas interpolações para calcular a Longitude utilizando as tabelas de Mayer.

O Astrónomo Real propôs então uma solução à Comissão numa reunião a 9 de fevereiro de 1765. Estas interpolações poderiam ser facilitadas com a preparação de

[75] Charles C. Cotter, A History of Nautical Astronomy, …, p. 202.

umas efemérides náuticas que contivessem tabelas das Distâncias Lunares, calculadas a partir das últimas equações de Mayer e tabelas astronómicas que possibilitassem a correção das observações devido aos efeitos da refração e da paralaxe[76]. Esta proposta foi adotada e rapidamente se transformou naquilo que viria a revolucionar o método das Distâncias Lunares, *The Nautical Almanac.*

É importante referir que Maskelyne conhecia os trabalhos do Abade de la Caille. Antes da viagem à ilha Santa Helena, já o francês tinha publicado o método de cálculo utlizado na viagem efetuada ao Cabo da Boa Esperança no almanaque francês, *Connaissance des Temps*[77] em 1761. A descrição era acompanhada por um exemplo de uma tabela com Distâncias Lunares para o mês de julho daquele ano e foi nelas que Maskelyne se inspirou para construir o *The Nautical Almanac*[78].

Em 1765 Maskelyne foi nomeado como Astrónomo Real, na sua nova posição de autoridade conseguiu colocar a sua proposta em vigor. E assim, em 1765 é publicado o *Nautical Almanac and Astronomical Ephemeris* referente ao ano 1767. A partir deste ano, o método para encontrar a Longitude no mar através das Distâncias Lunares tornou-se o método padrão no resto do século XIX.

2.3.1. Os instrumentos

Os instrumentos de reflexão tornavam-se num dos problemas fundamentais que era necessário resolver para se poder empregar os métodos astronómicos no mar. Os instrumentos apresentavam graves problemas na precisão, que influenciavam diretamente os resultados obtidos e consequentemente erros consideráveis na determinação da posição do navio.

Os primeiros esforços para melhorar este aspeto negativo, ocorreu em 1731. Como já referido no primeiro capítulo, John Hadley criou em Inglaterra o primeiro octante, apesar de outros antes dele terem criado instrumentos que mediam alturas utilizando espelhos, tais como Robert Hooke, Thomas Streete e Isaac Newton. A grande vantagem do octante de Hadley era o princípio do seu funcionamento: a dupla reflexão. Assim, era possível através de um sistema de dois espelhos, levar a imagem refletida de um dos astros até à imagem verdadeira do outro ou até ao horizonte. Devido à dupla

[76] Eric G. FORBES, The birth of scientific navigation, …, p. 9.
[77] Uma das primeiras publicações que tinha como principal objetivo fornecer as efemérides náuticas. *Connoissance des Temps* ou *Mouvements Celestes*, foi criado por Jean Picard em 1679 e publicada em Paris sob os aupicios da *Bureau de Longitude*. Começou a dar, desde 1761, as posições da Lua com intervalos de 12 horas. Estas posições eram calculadas com as tabelas de Mayer.
[78] António Costa Canas, *A introdução do Almanaque Náutico em Portugal…,* p. 5.

reflexão e às leis da ótica, o ângulo medido na escala do instrumento correspondia a metade do ângulo verdadeiro, por isso o arco de 45° corresponde ao limbo do octante, que era repartido em 90 divisões, cada uma representando 1°.

Outro instrumento, já aqui mencionado, foi o *Repeating Circle* ou *Reflecting Circle*, uma invenção do famoso Tobias Mayer. Comparado ao octante de Hadley, a grande vantagem do circular é a sua capacidade de medir ângulos superiores a 90°. No entanto em 1757, o Capitão John Campbell, equipado com um circular, fez uma série de observações chegando à conclusão de que na prática o octante era mais facilmente manuseável do que o circular, devido ao seu tamanho e peso[79].

Campbell teve então a ideia de combinar as principais vantagens dos dois instrumentos. Estendendo o limbo do octante para 60°, era possível medir ângulos até 120º. Em 1758, construído pelo experiente construtor de instrumentos John Bird, é apresentado o sextante.

Contudo, o problema da divisão das escalas mantinha-se ainda por resolver. Só em 1770 um avanço revolucionário na arte de dividir os arcos dos instrumentos de reflexão viria a acontecer. Jesse Ramsden construiu um aparelho capaz de dividir as escalas com alta precisão e de forma automática. Após a sua primeira utilização deixou de ser necessário a construção de instrumentos de grandes dimensões, tais como o sextante que Bird construiu para Campbell. Os novos sextantes eram 3 vezes mais pequenos do que os utilizados antes da invenção de Ramsden, porém não comprometiam a precisão das observações. Esta sua invenção valeu-lhe um prémio de 650£ pago pela *Board of Longitude*, em 1774.

2.4. O método das Distâncias Lunares em Portugal

Com a implementação do método como o procedimento standard para calcular a Longitude a partir de 1767, não é surpresa que o mesmo tenha sido caso de estudo em Portugal. No entanto, o interesse pelo método em Portugal remonta até aos tempos de Pedro Nunes que analisou o método no século XVI. No século seguinte, um padre jesuíta – Cristóvão Borri, professor no Colégio de Santo Antão, ensinava vários procedimentos para a determinação da Longitude. Vimos após uma breve análise à sua obra *Arte de Navegar* de 1628, que já existia o conceito de umas tábuas que fornecessem as posições da Lua.

[79] Para ser possível dividir de forma uniforme o limbo dos instrumentos de reflexão era necessário que fossem construídos em grandes dimensões.

Em 1677, António Carvalho da Costa na sua obra *Via Astronómica*[80], apresentava já uma descrição bastante completa do método, contudo o método aqui descrito é referente a cálculos efetuados em terra e não em alto-mar. Xavier do Rego, no seu tratado da Navegação, apenas menciona os eclipses e os satélites de Júpiter como processos para calcular a Longitude. A questão central aqui passa pela data em que o texto de Rego foi escrito, apesar da obra ter sido publicada em 1755, o Comandante Malhão Pereira ao estudar a obra na Biblioteca Central de Marinha, datou o manuscrito, que posteriormente deu origem à obra, de 1740[81]. Deste modo entende-se o porquê de Xavier do Rego não mencionar o método das Distâncias Lunares, visto que este só viu grandes desenvolvimentos nas décadas de cinquenta com o Abade francês e na década de sessenta com Maskelyne.

Jacinto José Paganino, publica em 1783 um pequeno volume no qual explica o seu processo de determinação da Longitude favorito.

> "Como as observações lunares sejaõ as mais efficazes para o complemento da Longitude, e entre estas a melhor he a da distancia da Lua ao Sol; será este o methodo, que pertendemos explicar, por ser o mais exacto dos cálculos lunares, como entre outros já no anno de 1560 fallou o sabio Pedro Nunes Portuguez."[82]

Como o próprio título indica, explica os passos necessários para se calcular a Longitude utilizando as tabelas contidas no almanaque francês, *Connoissance des Temps,* que não passava de uma cópia do almanaque inglês.

A necessidade de melhorar a segurança na Navegação aliada à falta de cartas atualizadas e corretas, levou a um desenvolvimento no rigor da determinação das Longitudes de importantes pontos de referência em terra. Desta maneira passaram-se a efetuar mais observações. Em suma, muitas obras e cálculos da Longitude foram publicados em Portugal, principalmente no decorrer do século XVIII, devido à grande agitação em torno desta temática no mundo. Outro motivo para o crescimento desta investigação foi a necessidade de se resolver o problema das fronteiras com Espanha

[80] António Carvalho da Costa, *Via Astronómica, Segunda Parte, Distribuida em Quatro Tratados. O primeiro da Navegação, o segundo das Estrelas, o terceiro dos Eclypses da Lua, o quarto dos Eclypses do Sol*, Lisboa, por António Craesbeeck de Mello impressor de sua Alteza,1677.

[81] Podemos ver esta referência numa obra sua de 2006. José Manuel Malhão PEREIRA, "A evolução da tecnica náutica portuguesa até ao uso do método das distancias lunares", in: XII Reunion Internacional de Historia de la Nautica y de la Hidrografia–La ciência y el mar, Valladolid, 2006, p. 144.

[82] Jacinto José PAGANINO, Compendio das observações e calculo para achar a longitude pela distancia da Lua ao Sol usando das taboadas do conhecimento dos tempos, Na Officina Patr. De Francisco Luiz Ameno, Lisboa, 1783.

na América do Sul, nomeadamente na cartografia do Brasil a qual dependia significativamente da precisão dos cálculos da Longitude.

2.4.1. Monteiro da Rocha e o método das Distâncias Lunares

Não se pode falar sobre o método das Distâncias Lunares em Portugal sem referir o jesuíta Monteiro da Rocha que deu um grande impulso ao método em Portugal como se depreende dos seus contributos para o problema das Longitudes. As suas principais obras no que concerne à temática das Longitudes são um manuscrito redigido em 1767, uma carta dirigida à Academia das Ciências e umas tabelas oferecidas à Sociedade Real Marítima.

2.4.1.1. O manuscrito de 1767

O manuscrito composto por 106 fólios, ou 112 páginas, e pode ser dividido em 4 partes importantes: a introdução; algumas definições sobre assuntos importantes na astronomia tais como coordenadas, linhas e planos da esfera celeste, interpolações, funções trigonométricas entre outros; umas tabelas e a explicação do uso das mesmas e os instrumentos que para Monteiro da Rocha eram fundamentais.

Numa introdução de 27 páginas, faz uma abordagem bastante completa ao problema da Longitude na sua vertente histórica. Faz referência aos problemas da medição do tempo, nomeadamente a invenção do cronómetro marítimo. Ao falar dos métodos astronómicos cita Euler, Mayer, entre outros e o que estes matemáticos e astrónomos fizeram para calcular e construir as tabelas lunares com a finalidade de implementar os métodos astronómicos como processo de cálculo da Longitude[83]. E finalmente comenta a tabela das distâncias de La Caille e das desvantagens associadas às mesmas. Como as tabelas só davam as distâncias da Lua a determinados astros de quatro em quatro horas, os navegadores estavam obrigados a acompanhar e a observar sempre as mesmas estrelas.

Por isso propõe um método mais geral, umas tabelas que eram independentes do astro que se observava. Estas tabelas forneciam a Longitude celeste da Lua referente ao meridiano de Lisboa. De seguida propõe cinco métodos, todos relacionados com a Lua, sendo que um deles é o da distância ao Sol ou às estrelas.

[83] José Manuel Malhão Pereira, *Um manuscrito de cerca de 1767, do P. José Monteiro da Rocha, S.J. com uma solução matemática para a obtenção da longitude pelas distâncias lunares*, Cuadernos de Estudios Borjanos L-LI, Academia de Marinha, Lisboa, 2007-2008, p. 356

> Consiste pois este o methodo em ter o piloto h˜ua Efemeride nautica com os Lugares da Lua calculados com exacção de quatro em quatro horas, para o meridiano de Lisboa, de que se dá hum exemplo neste Tratado. Da parte do piloto não o pomos na obrigação de usar desta ou daquella especie de observaçoens. Propomos sinco methodos diversos, para cada hum escolher o que achar mais ao seu alcance; ou para usar do que as circunstancias permittirem, quando estiver exercitado em todos.[84]

Depois das definições, continua a sua obra com a explicação de como se deve utilizar as 14 tabelas presentes no final do manuscrito completando esta com uma explicação muito detalhada do uso dos instrumentos de observação.

Uma das tabelas mais importantes é a décima segunda, que é um exemplo de uma tabela que Monteiro da Rocha, aproveitando as tabelas de Mayer e aperfeiçoando-as à sua maneira, elaborou para o mês de dezembro de 1767. As informações dadas são calculadas para 4 dias com intervalos de 4 horas, apresentando as coordenadas equatoriais e eclípticas do Sol e da Lua, nomeadamente a ascensão reta, a declinação, a Latitude e a Longitude celeste.

Sobre os instrumentos, Monteiro da Rocha defende que para se fazerem boas observações astronómicas basta apenas um cronómetro marítimo e um bom octante. Descreve em pormenor o octante e cita o *Tratado Completo da Navegação*, de Xavier do Rego na qual se encontra uma boa explicação de como se deve utilizar o octante.

2.4.1.2. A carta de Monteiro da Rocha

Em 1781, Monteiro da Rocha dirigiu à Academia de Ciências de Lisboa uma carta onde expõe as suas opiniões sobre a construção de um almanaque astronómico visto que a instituição queria publicar uma obra deste género.

Obviamente que devido à natureza dos seus estudos, Monteiro da Rocha concordou com tal publicação, no entanto manifestou a sua opinião sobre a índole do almanaque:

> Hum Almanach proprio p.a os Astronomos que tenha os Lugares dos Planetas, e os phenomenos que se devem observar, parece-me absolutam.te escusado. Porque os Astronomos são por ora mui poucos em Portugal, e esses

[84] José Monteiro da ROCHA, "Methodo de achar a longitude geográfica no mar e na terra pelas observaçoens e calculos da lua para o uso da navegação portugueza", Manuscrito PBA. 511, da Biblioteca Nacional de Lisboa, 1767, fls. 15-15vs.

> tem as Ephemerides, ou o conhecim.[to] da Academia de Paris que lhes basta e sobeja p.[a] o seu uso. Por outra parte custão tanto a imprimir com exactidão taboadas numericas, que a despeza não seria paga pelos poucos exemplares que terião sahida. Ao contrario hum almanach proprio para a Marinha seria empreza digna do zelo da Academia, se elle se fizesse de maneira que servisse aos nossos Pilotos e fosse também procurado dos Estrangeiros.[85]

Começa por referir que se houvesse pessoas com grande habilidade nos cálculos astronómicos em Portugal como havia em Inglaterra, seria possível construir umas tabelas diferentes daquelas publicadas no *Nautical Almanac*, ou seja, sem utilizar as tábuas de Mayer para calcular as distâncias da Lua ao Sol e às estrelas. Isto para além de ser "interessante em toda a Europa Maritima"[86], seria "gloriozo á Corôa de Portugal"[87] e ainda fortalecia a teoria do método, providenciando uma segunda opção para provar a sua utilidade no mar.

Mas se a opção fosse dar aos navegadores portugueses uma cópia do almanaque inglês, a solução passaria por fazer o que os franceses fizeram no seu *Connoissance des Temps*, mudar as horas para o meridiano de referência. Como a diferença de Longitude entre Greenwich e Lisboa é de 36´ 44" para Oeste, bastaria subtrair a diferença da Longitude entre os meridianos em tempo, às horas apresentadas no *Nautical Almanac*.

Outra maneira seria interpolar os valores apresentados no almanaque inglês, calculado para o meridiano de Greenwich, para horas certas em Lisboa, a contar do meio-dia, contudo este processo implicava cálculos bastantes complicados. Termina a sua carta, afirmando que se deve acrescentar certas tabelas que complementam as tabelas lunares:

> Hum Almanach Nautico deve alem disso ter necessariam.[te] as Acensoens rectas e Declinaçoens do Sol. [...]. As Longitudines da Lua são escusadas ao Piloto, q.do tem as dist.[as] calculadas. Ha outras Taboas perpetuas, como a dos arcos semidiurnos, Amplitudes, Inclinação do Horisonte etc. que devem ter lugar no Almanach, e se podem tomar dos Livros em que se achão etc.[88]

[85] AIRES, *Para a história da Academia das Sciências de Lisboa*, pp. 192–195.
[86] *Ibidem*, p. 193
[87] *Ibidem*, p. 193
[88] *Ibidem*, p. 194

O último parágrafo, "Eu estou acabando a obra que tenho promettido mandar á Academia, e depois della irão outras, e h˜ua pertencente ás Longitudes do mar"[89], levanta uma questão: será que a obra a que ele se refere são as tabelas que passados quase vintes anos, oferece à Sociedade Real Marítima?

2.4.1.3. Tabelas oferecidas à Sociedade Real Marítima

Nos finais do século XVIII, Monteiro da Rocha oferece à Sociedade Real Marítima um conjunto de tabelas que simplificavam bastante o método das Distâncias Lunares. Francisco de Paula Travassos[90] em 1801 publica uma obra[91] na qual se dedica à explicação destas tabelas, assim como a indagação das fórmulas utilizadas que serviram como base do cálculo das mesmas.

A obra genial de António Lopes da Costa Almeida de 1830[92], deu-nos uma melhor perspetiva sobre o desenvolvimento das soluções para determinar a Longitude desde o século XVI. É também nesta obra que retirámos uma referência ao trabalho de Travassos e a estas tabelas:

> Em 1799 offerecêo o Senhor Monteiro á Sociedade Real Maritima de Lisboa a sua Taboada Nautica para o Calculo das Longitudes, que faz este Methodo muito facil, e dá aos resultados toda a exactidão possivel; elle reduzio o Calculo ao uso de nove Taboas, com as quaes se obtem assim a reducção de quaisquer Distancias observadas ás verdadeiras dos Centros, e a hora verdadeira das Observações; entre ellas ha quatro por meio das quaes se corrige o resultado com a differença da Refracção correspondente ao estado actual da atmosfera relativamente á temperatura média, e se attende á figura elipsoidal da terra na determinação das Paralaxes: o Senhor Monteiro fez este Methodo na applicação a hum Exemplo, e o Senhor Travassos publicou as Demonstrações, e desenvolvimento das Formulas, e fez huma circumstanciada explicação do seu uso, trabalho digno de seu Ilustre Auctor.[93]

---

[89] *Ibidem*, p. 195

[90] Capitão-tenente da Armada, professor e secretário na Sociedade Real Marítima.

[91] Francisco de Paula Travassos, *Explicação da Taboada náutica para o calculo das longitudes, oferecida á Sociedade Real Marítima, militar e geografica, por seu socio José Monteiro da Rocha, [...].*, Typographia chalcographica, typoplastica, e litteraria do Arco do Cego, Lisboa, 1801, versão digital em https://www.fc.up.pt/fa/index.php?p=nav&f=books.0246.W_0246_000004#faimg, acedido em Junho de 2020.

[92] António Lopes da Costa Almeida, *O piloto instruído ou compendio theorico-prático de pilotagem : que compheende todas as regras, tanto para navegar com segurança, como para satisfazer aos exames praticos a que os pilotos são obrigados na Escola Naval*, Impressão Régia, Lisboa, 1830.

[93] *Ibidem*, pp. 217-218.

3. Dantas Pereira e a Longitude

Como se tem vindo aqui a referir, o problema da Longitude não era um simples obstáculo. Reuniu as maiores mentes de todos os tempos numa tentativa de superar esta dificuldade. Em Portugal, à medida que iam aparecendo soluções na Europa, também se ia comentando e divulgando esta temática. Para além de Monteiro da Rocha, grande impulsionador do desenvolvimento da Navegação, também Dantas Pereira teve um grande protagonismo nesta matéria.

Nascido em plena revolução científica no que concerne ao desenvolvimento de métodos e meios para calcular a Longitude. Apesar de ser uma pessoa com capacidades acima da média, tentou sempre ver o outro lado da questão. Apesar de já haver grandes avanços nos métodos para calcular a Longitude, estes apresentavam ainda certos problemas que não permitiam ao navegador comum pô-los em prática no mar.

Estes problemas estavam relacionados com a complexidade dos cálculos envolvidos no processo. Motivado a resolver estes constrangimentos, Dantas Pereira publica uma memória nas *Ephemerides náuticas para o anno de 1798* relativa ao método das Distâncias Lunares. No seu entendimento era o método mais preciso e não exigia a utilização de várias tábuas como acontecia com outros métodos já estudados.

Neste capítulo iremos dar especial atenção a esta memória, pois contém uma importante referência no método das Distâncias Lunares que é o *Calculo da Longitude pelo methodo de M. de Bordá.* Desta forma analisámos as fórmulas que estão por detrás deste procedimento e a forma como Dantas Pereira as aborda de forma a simplificá-las.

De seguida, estudámos um cálculo prático apresentado por ele e a maneira como o fragmenta em sete passos distintos. Finalmente, por forma a verificar a correção dos cálculos elaborados por Dantas Pereira, iremos comparar os seus valores com os resultados obtidos utilizando a folha de cálculo Excel.

3.1. Memoria Relativa ao calculo dos eclipses das estrelas, Sol e mais planetas pela Lua

> Foi Jacques Cassini o primeiro que empregou na resoluçaõ das Longitudes as Occultações das Estrellas pelo disco lunar; este Methodo (que he o mesmo, que se emprega observando os Eclipses) se reduz a observar huma occultaçaõ, e comparar a hora daquelle fenomeno com a hora calculada para o Meridiano das Efemerides, ou Taboas de que se usa. […], se elle fosse applicado a hum fenómeno instantâneo, ou se a reducçaõ não dependesse d'hum calculo tão longo, e transcendente; alem disso he indispensável ter attenção aos efeitos da Paralaxe, o que torna este Methodo muito complicado, e quasi impraticavel a bordo.
>
> Advertiremos contudo, que foi com as vistas em obviar estes inconvenientes, que o senhor Dantas inventou o Methodo descripto nas citadas Efemerides, 1798.[94]

Nesta sua memória publicada nas *Ephemerides nauticas, ou diario astronomico para o anno de 1798*, começa por referir que não é o objetivo deste trabalho falar sobre a história do problema das Longitudes. O foco central será a dificuldade do cálculo dos eclipses das estrelas e planetas que na sua opinião são os fenómenos "mais proprios para a determinaçaõ da Longitude"[95].

> NAÕ he nossa tenção fazer a historia do importante, e celebre Problema das Longitudes, mostrando as soluções que lhe tem dado, até o presente, Geometras, e Astronomos do mais destincto merecimento:[…]: para o nosso intento basta repetir, que os Relogios de Longitude e as Distâncias Lunares saõ os meios geralmente adoptados como bons, e mais praticaveis a bordo; e que os Eclipses das Estrellas, e Planetas; Phenomenos os mais proprios para a determinação da Longitude, naõ tem sido empregados tambem pella dfficuldade do seu Calculo, o qual requer dos Pilotos conhecimentos superiores aos ordinários.[96]

[94] *Ibidem*, p. 216.
[95] José Maria Dantas Pereira, *"Memoria relativa ao calculo dos eclipses das estrellas, sol e mais planetas pela lua"*, em: *Ephemerides nauticas, ou diario astronomico para o anno de 1798. Calculado para o meridiano de Lisboa, e publicado pela Academia Real das Sciencias, por José Maria Dantas Pereira Socio da mesma academia*, Academia Real das Sciencias, Lisboa, 1796, pp. 137.
[96] *Ibidem*, p. 137.

Propõem-se a "fazer desaparecer"[97] estas dificuldades. Uma questão que surge no seu pensamento será a chave para conseguir o seu objetivo:

> […] com efeito a observaçaõ do instante em que os limbos da Lua, e do Sol se tocaõ, que outra cousa he se naõ huma observaçaõ, na qual se determina o instante em que a somma dos semi-diametros apparentes dos dous Astros, referidos à Altura onde saõ observados, e descontada a irradiaçaõ da luz Solar, com a sua inflexaõ junto do globo da Lua? Logo por que motivo o Calculo destes eclipses naõ ha-de ser feito por hum modo análogo ao das distancias, e muito quando assim conseguiriamos vulgarizar consideravelmente o uso de observações taõ importantes? [98]

Comparando desta forma os dois métodos, os cálculos dos eclipses mencionados vão ser resolvidos em diferentes circunstâncias que podem ocorrer quando se praticam as observações.

Divide a sua memória em três partes, introdução, demonstração e na parte final apresenta um exemplo com um cálculo prático. Na introdução, para além de dar uma explicação histórica da dificuldade do método dos eclipses, consegue tratar dos dois fenómenos que se propôs a resolver.

3.1.1. Introdução

Aqui Dantas Pereira explica em sete passos o que se deve fazer para aplicar corretamente o método das Distâncias Lunares. Nos primeiros dois passos refere como se deve proceder ao cálculo das distâncias aparentes entre a Lua e a estrela, através das alturas aparentes e verdadeiras dos dois astros. Para fazer este cálculo refere três maneiras distintas, com o *Nautical Almanac*, pelo método de Dunthorn[99], e o método de Bordá. Este último, cujo cálculo se faz em 18', não necessita de outras tábuas como os outros métodos, a não ser as tabelas logarítmicas de Gardiner[100]. Será este o método

---

[97] *Ibidem*, p. 137.
[98] *Ibidem*, p. 138.
[99] Richard Dunthorn (1711-1775), foi um astrónomo inglês que trabalhou de perto com a *Board of Longitude* no desenvolvimento do método das Distâncias Lunares. Ficou particularmente conhecido com os seus estudos do fenómeno da aceleração da Lua. Desenvolveu também um método para auxiliar a redução das Distâncias Lunares devido aos efeitos da refração e da paralaxe.
[100] William Gardiner, *Tables of Logarithms for all numbers from 1 to 102100, and For the Sines and Tangents to every tem seconds of each degree in the Quadrant; as also, for the Sines of the first 72 minutes to every single second; with other useful and necessary tables*, impressa para o autor em: Green Arbour Court, Londres, 1742.

que Dantas Pereira irá desenvolver mais à frente na sua memória, pois é um método simples e exato.

"Se a estrella observada naõ fôr das que vem na pag. 5 das Ephemerides"[101].

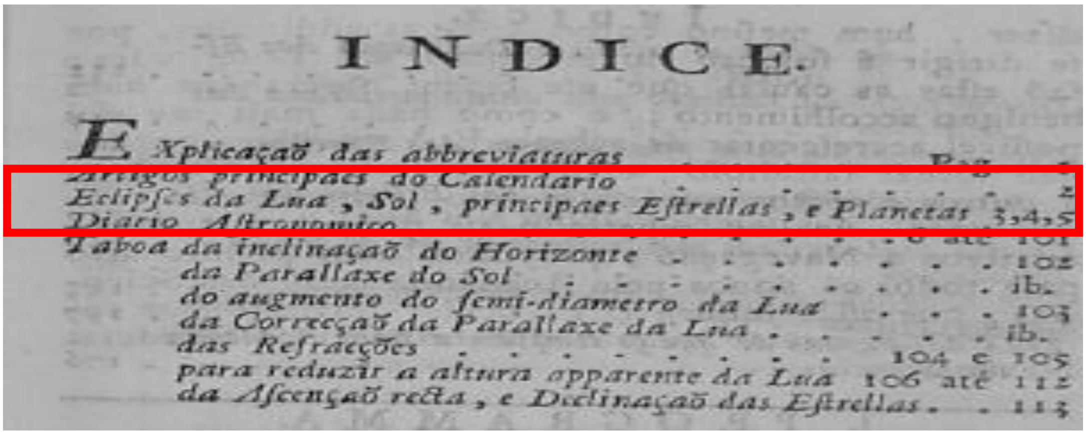

INDICE.

Figura 7- Parte do índice das *Ephemerides náuticas para o anno de 1798*

No terceiro passo Dantas Pereira oferece uma alternativa no caso de a estrela observada não estar tabulada nas efemérides. Para esta alternativa é necessário recorrer ao almanaque francês que continha as tabelas de Mayer e retirar três ou quatro posições da Lua, igualmente distantes entre si e, que estejam dentro do intervalo do eclipse. Calculando o lugar da estrela com as devidas correções, através das tabelas da ascensão reta e declinação das estrelas presentes nas páginas 113 e 114 das efemérides, é possível calcular a distância verdadeira entre os dois astros.

O quinto passo será determinar a hora da observação para o meridiano de Lisboa, os últimos passos são métodos para calcular a hora de bordo. Será necessário a distância polar do Sol, a altura verdadeira do Sol e a Latitude para determinar a hora local. Fazendo então a diferença entre a hora local e a hora calculada para o meridiano de Lisboa descobre-se a Longitude do navio

Na *Reflexaõ sobre o Calculo de todos os Eclipses mencionados*, refere que conhecendo a Longitude estimada, a Latitude verdadeira e os instantes dos contactos entre os astros, pode determinar-se a Longitude verdadeira calculando as distâncias polares dos dois astros nos instantes dos contactos e o ângulo horário de cada um deles para os mesmos instantes. Como já se tem a Latitude, a distância polar e o ângulo horário é possível calcular as alturas verdadeiras. Descobre-se também a distância

[101] José Maria Dantas Pereira, *"Memoria relativa ao calculo dos eclipses das estrellas, …*, p. 140

aparente entre os centros dos astros e posteriormente a distância verdadeira entre os mesmos, concluindo-se deste modo a Longitude do navio.

Na conclusão afirma que irá fazer uma análise sobre este cálculo da Longitude noutras efemérides, tal como fez nas efemérides de 1796 com a Latitude, no entanto não foi possível encontrar esta memória, pois a partir de 1799 quem ficou responsável pelas *Efemérides Náuticas* foi Marie-Charles-Théodore de Damoiseau de Montfort.

> Taes saõ as idéas que nos propozemos desenvolver na presente memoria, e que effectivamente reduzem o calculo dos Eclipses das Estrellas, Sol, e mais Planetas, pela Lua, ao calculo das distancias taõ conhecido já, e taõ praticado: […]; assim nada mais nos resta do que satisfazer ao que enunciamos em outro lugar, dando agora circunstanciados exemplos do mesmo calculo das distancias, considerado em todas as diversas circunstancias que podem ocorrer nestas observações.[102]

3.1.2. Calculo da Longitude pelo methodo de M. de Bordá

Podemos retirar deste texto que inicia o método de Bordá, a opinião de Dantas Pereira sobre alguns métodos utilizados pelos navegadores para descobrir a Latitude e a Longitude no mar até então. As dificuldades inerentes nos cálculos destas coordenadas passam pelo “agregado das dificuldades parciais provenientes, do instrumento com o qual se mede, do objeto que deve ser medido, […]”[103]. Instrumentos como a Barquinha[104], a agulha azimutal e a de marear eram alguns dos meios empregues nos cálculos da Navegação estimada, no entanto são justamente as maneiras mais defeituosas. Segundo Dantas Pereira, utilizando estes procedimentos, o cálculo necessário para determinar a Latitude e a Longitude eram impossíveis a bordo, tanto pela dificuldade das observações, como pelo tempo que exigia.

Dá-nos um exemplo das consequências que a acumulação dos erros diários na posição, provenientes dos meios empregues anteriormente falados, podem ter

[102] *Ibidem*. p. 147.

[103] *Ibidem*. p. 148. Aqui Dantas Pereira volta a frisar a importância que os instrumentos têm nas observações. O simples facto de o observador não ter um instrumento de reflexão calibrado, com uma escala bem definida, e claro, se o próprio aparelho não for o mais adequado para fazer as medições, o resultado dos cálculos será bastante impreciso.

[104] A barquinha, ou barca, é dos mais antigos aparelhos que se conhece destinados a medir a velocidade de um navio. Atribui-se esta invenção ao português Bartolomeu Crescêncio, fins do séc. XV princípios do séc. XVI. É constituído por um sector de madeira preso por um cabo que, marcado com nós espaçadamente.

principalmente no cálculo da Longitude, já para não falar dos perigos que traziam às viagens.

Os navios ingleses chegaram às Índias Orientais com mais de 8° de erro nas suas coordenadas, os franceses em menos de seis semanas de Navegação obtinham Longitudes com erros de 6° e o mesmo se passava com os navios portugueses. Estes erros atrasavam substancialmente a duração das navegações, o facto de não se saber por onde se navegava punha em perigo a vida das guarnições e aumentava a hipótese de o navio naufragar, afundando com ele as riquezas que transportava.

De seguida, deixa de dar a sua opinião sobre a matéria e introduz um pouco de história na sua obra. Começa por referir os prémios que surgiram destas consequências desastrosas, tal como o prémio proposto por Filipe III em Espanha em 1598, no qual oferecia uma recompensa a quem conseguisse descobrir meios de obter a Longitude no mar com alguma exação. Passado pouco tempo, também a Holanda aderiu a esta prática, refere também o ato de 1714 da Rainha Anne de Inglaterra já bastante falado no segundo capítulo.

"Fica pois evidente a precisaõ de desconfiar da derrota estimada, e de procurar outras guias melhores que nos dirijaõ no mar"[105]. Começa então a falar sobre os relógios de Longitude e da sua admirável exação, dando uma honrosa menção a Harrison, que obteve o prémio prometido pelo Parlamento Inglês.

No entanto será nas estrelas que Dantas Pereira acredita estar a chave para a resolução do problema das Longitudes, mas para isso era necessário criar aparelhos que pudessem medir as distâncias angulares entre os astros. "[…]; como além destes relógios, novamente digo, nos Ceos he que devemos procurar os mencionados guias, fez-se necessário achar instrumentos com os quaes podessemos medir exactamente as distancias angulares dos Astros"[106].

Começa por referir o astrolábio, a balestilha e o quadrante, que rapidamente se tornaram obsoletos pelos instrumentos de reflexão anteriormente estudados. Desta maneira, decidiu abraçar esta classe de instrumentos e comprometeu-se a aperfeiçoá-los. Este trabalho de Dantas Pereira pode ser visto numa sua memória estudada no primeiro capítulo inserido no *II tomo das Memorias de Mathematica e Fysica da Academia Real das Sciencias,* onde se pode ver as reflexões dele nesta importante matéria.

---

[105] José Maria Dantas Pereira, *"Memoria relativa ao calculo dos eclipses das estrellas, …*, p. 151.
[106] *Ibidem*. p. 151.

"Segue-se falarmos dos objetos, cujos movimentos devem ser observados a bordo para deles se deduzir a Latitude, e Longitude: da Latitude assás se conhece, e assás tenho já dito nas Ephemerides precedentes, passemos pois ás Longitudes."[107]. Aqui recolhe os métodos propostos para encontrar a Longitude no mar, o primeiro que refere foi um método proposto por William Whiston e Humfrey Ditton[108] que consistia no uso de pirotécnicos disparados de navios, que estavam permanentemente atracados em posições estratégicas ao longo das grandes rotas comerciais.

Este método, a duração dos dias e as variações da Agulha, eram métodos que pela experiência mostraram pouca praticabilidade e utilidade a bordo. Já os métodos dos fenómenos celestes mostraram ser mais exatos, tal como os eclipses das estrelas, do Sol, e planetas pela Lua, no entanto são bastante raros para poderem ser utilizados durante as viagens. Refere também os métodos do eclipse da Lua e dos satélites de Júpiter que apesar de serem exatos não eram muito práticos no mar, pois requeriam um aparelho do género do telescópio que, a bordo, devido ao balanço do navio, se tornava impraticável.

Resume então toda esta matéria aos dois métodos que efetivamente contribuíram para a resolução do problema das Longitudes. Em primeiro lugar os cronómetros, cuja prática é extremamente fácil, contudo o custo dos mesmos era demasiado elevado, não permitindo a todos o seu uso, por outro lado carecia de outro método viável para que se pudesse comparar. Desta forma recorre ao segundo método, que apesar de ser menos fácil de praticar devido à complexidade dos seus cálculos foi o mais utilizado.

Graças aos trabalhos de Newton; Alembert; Clairaut; Euler; Mayer, entre outros foi possível simplificar o método das Distâncias Lunares para a sua prática no mar. Presente na história da Navegação desde o início do séc. XVI, foi testado por cientistas, matemáticos e navegadores que pertenciam aos grandes círculos científicos das suas épocas, tais como a "Sociedade Real, e Tribunal das Longitudes de Londres; a Academia Real das Sciencias de Paris;"[109].

Aconselha que na escolha dos fenómenos a observar deve-se preferir as alturas do Sol, das estrelas ou da Lua, com a distância aparente entre os dois astros, tudo no

[107] *Ibidem*. p. 151.
[108] William Whiston e Humfrey Ditton foram dois professores de matemática responsáveis por uma petição submetida ao Parlamento Britânico que apelava ao Parlamento a oferta de recompensas a quem conseguisse resolver o problema das Longitudes. Esta petição potenciou o nascimento do Ato 14 da rainha Anne anteriormente falado.
[109] José Maria Dantas Pereira, *"Memoria relativa ao calculo dos eclipses das estrellas, …*, p. 152.

mesmo instante, repetindo este processo várias vezes para reduzir o erro humano das observações e desta maneira obter um resultado médio que será mais o mais exato.

No último parágrafo deste texto, que serve como introdução ao método de Bordá, Dantas Pereira faz referência a algumas obras cujo cerne é o método das Sistâncias Lunares. Publicações para aqueles "que souberem Inglez, […], os que pertenderem vêr o mesmo nos livros Francezes, […], aos que só entenderem Portuguez"[110], ou seja apresenta um portfolio bastante vasto de publicações em inglês e francês. No que concerne a obras em português sobre esta matéria refere o método de Bezout traduzido na nossa língua mãe, contudo não é a seu ver o melhor método, e as *Ephemerides Nauticas para o anno 1789.*

Termina explicando o porquê de abordar o método de Bordá na sua obra e o modo como irá abordar o mesmo:

> […], destinamos os seguintes especificando exemplos do Calculo da Longitude segundo o methodo de M. de Bordá, o mais comum de todos os deste género, e porque a sua demonstração ainda naõ existe impressa em Portuguez, e naõ he justo demoremos mais a perfeita intelligencia deste methodo áquelles que pertendendo-a, a naõ a possaõ conseguir por ignorancia do Idioma Francez, daremos primeiro a dita demonstraçaõ: […][111].

3.1.2.1. Demonstração

Iremos aqui demonstrar como Dantas Pereira, com grandes conhecimentos da esfera trigonométrica, conseguiu simplificar de forma brilhante o método inicialmente proposto por Bordá. Analisaremos as fórmulas finais depois de algumas deduções trigonométricas e a forma como Dantas Pereira as vai aplicar no cálculo prático.

Como já explicado no segundo capítulo, para podermos aplicar o método das Distâncias Lunares, é necessário a observação de três distâncias angulares. A distância entre o Sol/estrela e a Lua, a altura do Sol/estrela e a altura da Lua.

Veremos como estas três observações nos darão a altura verdadeira do centro do Sol, a Latitude e a distância polar do Sol. Estas três variáveis vão permitir calcular a hora de Lisboa e a hora de bordo no instante da observação. A diferença entre as duas dará a Longitude do navio.

[110] *Ibidem*. p. 153.
[111] *Ibidem*. p. 153.

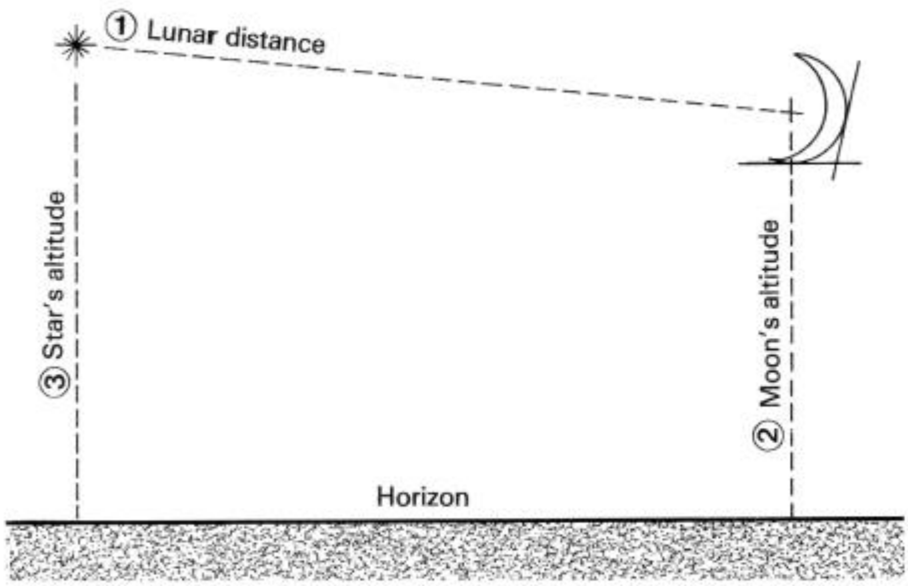


Figura 8–Método das Distâncias Lunares

"Suponha-se que o raio é igual à unidade, e represente-se por ∫ o seno, **c** o cosseno, **t** a tangente e **t'** a cotangente de qualquer arco."[112]

Sejam **m** e **n** dois arcos, teremos:

$$c(m+n) \ = \ cm \ \times cn - \int m \times \int n \qquad (3.1)$$

$$c(m-n) \ = \ cm \times cn \ + \int m \times \int n \qquad (3.2)$$

Logo:

$$cos(m-n) - \cos(\mathrm{m+n}) \ = \ 2 \ \mathrm{sen\ m} \times \mathrm{sen\ n} \qquad (3.3)$$

Fazendo $m - n = \ q, m + n = \ p$ tem-se:

$$cos(q) - \cos(\mathrm{p}) = \ 2 \ \mathrm{sen} \left(\frac{p+q}{2}\right) \times \mathrm{sen} \left(\frac{p+q}{2}\right) \qquad {}^{113}(3.4)$$

Na melhor das hipóteses teremos $q = 0$ ou $cos(q) = 1$ e então:

$$1 - cos(p) = \ 2sen^2 \left(\frac{p}{2}\right) \qquad (3.5)$$

> Recordemo-nos tambem de que, 1.º em qualquer triangulo esférico rectangulo, o raio he para o coseno de hum dos angulos obliquos, como a tangente da hypothenusa, para a tangente do lado do angulo recto adjacente ao mesmo angulo obliquo: 2.º em qualquer triangulo obliquangulo, a perpendicular baxada do vertice de hum angulo sobre o lado do seu oposto,

---

[112] *Ibidem*. p. 153.

[113] Nota:

$$\frac{p+q}{2} = \frac{m-n+m+n}{2} = m \ \ \mathrm{e} \ \ \frac{p-q}{2} = \frac{m+n-m+n}{2} = n \qquad (3.6)$$

devide este lado em dous segmentos, cujos cosenos saõ proporcionaes aos cosenos dos outros dous lados.[114]

Imaginemos agora que Z é o zénite, P o pólo, S' o lugar aparente do Sol ou de uma estrela e L' o lugar aparente da Lua. SO será a altura verdadeira do Sol, S'O será a altura aparente do Sol, LH será a altura verdadeira da Lua, L'H a altura aparente da Lua, LS a distância verdadeira entre astros observados e L'S' a distância aparente entre os astros observados. Daqui abreviamos para $SO \equiv a$, $S'O \equiv a'$, $LH \equiv b$, $L'H \equiv b'$, $LS \equiv x$, $L'S' \equiv d'$.

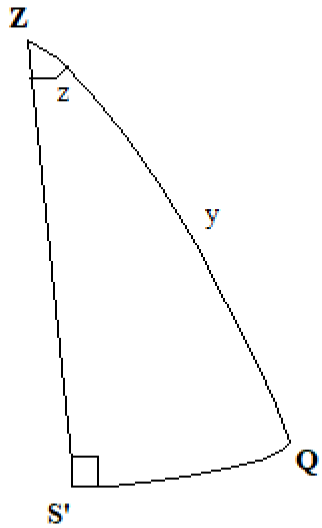


Figura 9–Triângulo ZQS'

Dantas Pereira aqui introduz o triângulo retângulo QZS', de onde retiramos que QS' é perpendicular a S'Z, $y = QZ$ e z será o ângulo QZS'. O ponto Q é um ponto do segmento ZL que faz com que o triângulo ZQS' seja retângulo. Daqui obtemos:

$$1: cos(z) :: tg(ZS') = cotg(a'): tg(y) = cos(Z) \times cotg(a') \tag{3.7}$$

Tem-se:

$$cos(ZQ): cos(QL') :: cos(ZS'): cos(L'S') \tag{3.8}$$

Ou:

$$cos(y): cos(90 - (b' + y)) = sen(b' + y) :: sen(a'): cos(d') \tag{3.9}$$

Logo:

$$cos(y): sen(b') \times cos(y) + sen(y) \times cos(b') :: sen(a'): cos(d') \tag{3.10}$$

Dividindo a 1ª equação por cos(y) ficamos com:

$$1: sen(b') + cos(b') \times tg(y) :: sen(a'): cos(d') \tag{3.11}$$

Donde se tira:

[114] José Maria Dantas Pereira, *"Memoria relativa ao calculo dos eclipses das estrellas, ...*, p. 154.

$$cos(d') = sen(a') \times sen(b') + sen(a') \times cos(b') \times tg(y) \qquad (3.12)$$

Sabemos da equação 3.7 que $tg(y) = cos(Z) \times cotg(a')$, substituindo tg(y) na equação de cima ficamos com:

$$cos(d') = sen(a') \times sen(b') + cos(a') \times cos(b') \times cos(Z) \qquad (3.13)$$

Estes cálculos todos podem ser simplificados aplicando a fórmula fundamental da trigonometria esférica: $cos(a) = cos(b) \times cos(c) + sen(b) \times sen(c) \times cos(A)$.

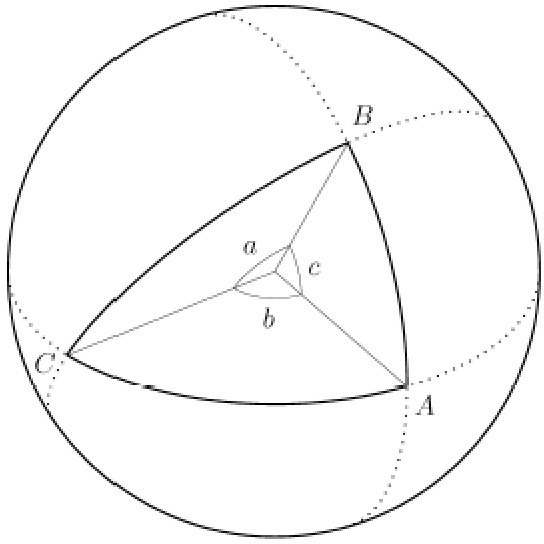


Figura 10–Trigonometria Esférica

Concluindo que no triângulo ZQS':

$$cos(Z) = \frac{cos(d') - sen(a') \times sen(b')}{cos(a') \times cos(b')} \qquad (3.14)$$

Utilizando este método no triângulo LZS obteremos:

$$cos(Z) = \frac{cos(x) - sen(a) \times sen(b)}{cos(a) \times cos(b)} \qquad (3.15)$$

Logo é possível deduzir que:

$$\frac{cos(d') - sen(a') \times sen(b')}{cos(a') \times cos(b')} = \frac{cos(x) - sen(a) \times sen(b)}{cos(a) \times cos(b)} \qquad (3.16)$$

Somando 1 a ambos os membros da equação acabamos com:

$$\frac{cos(a' + b') + cos(d')}{cos(a') \times cos(b')} = \frac{cos(a + b) + cos(x)}{cos(a) \times cos(b)} \qquad (3.17)$$

Fazendo $a' + b' + d' = \sigma$ e depois de algumas deduções trigonométricas ficamos com duas fórmulas que mais tarde serão utilizadas para calcular a distância verdadeira entre o astro e a Lua.

(A) $$sen(z) = \frac{\sqrt{cos(a) \times cos(b) \times cos\left(\frac{\sigma}{2}\right) \times cos\left(\frac{\sigma - d'}{2}\right)}}{cos\left(\frac{a+b}{2}\right)} \tag{3.18}$$

(B) $$sen\left(\frac{x}{2}\right) = cos(z)cos\left(\frac{a+b}{2}\right) \tag{3.19}$$

"seja agora proposto achar o angulo horário ZPS, dados PS, PZ e ZS; conservando as mesmas denominações, e fazendo PS=d, PN= l, Ang. ZPS=b"[115], aplicando a fórmula fundamental da trigonometria ficamos com:

$$cos(b) = \frac{sen(a) - sen(l) \times cos(d)}{sen(d) \times cos(l)} \tag{3.20}$$

Após algumas deduções descobrimos uma fórmula que mais tarde utilizaremos para determinar a hora de bordo no instante da observação:

(C) $$sen^2\left(\frac{b}{2}\right) = \frac{sen\left(\frac{l + d - a}{2}\right) \times cos\left(\frac{l + d + a}{2}\right)}{sen(d) \times cos(l)} \tag{3.21}$$

Fazendo $s = l + d + a$ conseguimos simplificar ainda mais a fórmula C, ficamos com:

(C') $$sen^2\left(\frac{b}{2}\right) = \frac{sen\left(\frac{s}{2} - a\right) \times cos\left(\frac{s}{2}\right)}{sen(d) \times cos(l)} \tag{3.22}$$

3.1.2.2. Cálculo Prático

Tendo demonstrado o método de Bordá e o modo como tratou de chegar às fórmulas necessárias para poder pôr em prática o método, dá-nos agora uma prova da utilidade, simplicidade e veracidade do método.

Apesar de apresentar vários exemplos decidimos analisar apenas o primeiro que, no nosso entender, é aquele que melhor reflete aquilo que temos escrito até agora.

O exemplo que iremos analisar trata do *Calculo das observações de Longitude, sendo estas Distancias da Lua ao Sol, e feitas por tres Observadores*. O enunciado é o seguinte:

> Em 19 de Maio de 1797, ás 9^h 30' da manhãa, navegando em 40^o 20' de Latitude Norte, e 3^o 50' de Longitude estimada a Oeste de Lisboa, tres

[115] *Ibidem*. p. 155.

observadores fizeraõ as seguintes observações de distancias da Lua ao Sol, e das alturas dos mesmos Astros sobre o horizonte.[116]

As observações foram as seguintes:

Alt. obs. ☉			Alt. obs. ☾			Dist. obs. ☉-☾		
51°	55′	30″	22°	19′	0″	85°	7′	50″
52	7	0	22	11	0	85	7	20
52	23	45	21	59	20	85	6	40

Figura 11– Observações do exemplo prático

As observações das alturas foram realizadas ao limbo inferior do Sol e ao limbo superior da Lua a uma elevação de 15 pés franceses[117] relativamente à superfície do mar. Desprezam-se os erros a ter em conta tais como o paralelismo dos espelhos, o erro de índice do instrumento, a curvatura da Terra e a diferença da temperatura da atmosfera. Com estas condições todas pede-se que se calcule a Longitude do navio.

Como já foi aqui referenciado, Dantas Pereira divide este procedimento em sete passos, que podem ser visualizados como regras para a boa prática deste método.

Regras:

1. Média das três observações;
2. Extrair das *Efemérides Náuticas* a paralaxe horizontal, o semidiâmetro da Lua e o semidiâmetro do Sol para o instante das observações médias relativamente ao meridiano de Lisboa;
3. Determinar a distância aparente dos centros dos 2 astros, com as alturas aparentes e verdadeiras de cada um deles;
4. Calcular a distância verdadeira dos centros por meio das fórmulas (A) e (B). Estas fórmulas já foram demonstradas anteriormente;
5. Da distância calculada descobrir a hora que lhe corresponde em Lisboa;
6. Para a hora determinada no passo anterior, extrair das efemérides a distância Polar do Sol. Com esta distância, a Latitude e a altura verdadeira do centro do Sol, é possível determinar a hora de bordo no instante da observação. Este cálculo será possível utilizando a fórmula (C), demonstrada anteriormente também;

[116] *Ibidem*. p. 157.

[117] $1\ pé\ francês = 0{,}3248\ metros.$

7. Calculando a diferença entre as horas de Lisboa e a hora de bordo no instante das observações, convertendo o resultado em graus, obtém-se a Longitude do navio.

Postas as condições do exemplo e as regras para podermos efetuar os cálculos, iremos agora apresentar as variáveis que entrarão nas fórmulas:

- a≡ altura verdadeira do Sol;
- b≡ altura verdadeira da Lua;
- d≡ distância Polar do Sol;
- l≡ Latitude;
- $s = l + d + a$;
- z≡ ângulo auxiliar ao cálculo, não tem relação com o Zénite;
- x≡ distância verdadeira entre o Sol e a Lua;
- a'≡ altura aparente do Sol;
- b'≡ altura aparente da Lua;
- d'≡ distância aparente entre o Sol e a Lua;
- $\sigma = a' + b' + d'$;

Relembramos também as fórmulas necessárias para o cálculo:

(A) $$sen(z) = \frac{\sqrt{cos(a) \times cos(b) \times cos\left(\frac{\sigma}{2}\right) \times cos\left(\frac{\sigma - d'}{2}\right)}}{cos\left(\frac{a+b}{2}\right)} \tag{3.23}$$

(B) $$sen\left(\frac{x}{2}\right) = cos(z)cos\left(\frac{a+b}{2}\right) \tag{3.24}$$

(C') $$sen^2\left(\frac{b}{2}\right) = \frac{sen\left(\frac{s}{2} - a\right) \times cos\left(\frac{s}{2}\right)}{sen(d) \times cos(l)} \tag{3.25}$$

A execução da primeira regra é relativamente simples, bastará dividir a soma das alturas pelo número de observações efetuadas de forma a diminuir o erro das observações como explicado anteriormente. Após a soma e a divisão por 3 teremos:

Altura média da observação do limbo inferior do Sol…………………. 52° 8' 45"

Altura média da observação do limbo superior da Lua………………… 22° 9' 47"

Diferença média das observações dos limbos do Sol e da Lua………… 85° 7' 17"

No segundo passo temos de extrair das efemérides a paralaxe horizontal, o semidiâmetro da Lua e o semidiâmetro do Sol. Para a paralaxe da Lua é necessário salientar que eram 9^h 30' da manhã e que o navio se encontrava a 3° 50' a Oeste de

Lisboa, logo eram 9^h 45’ 20” da manhã do dia 19 de maio. É necessário reduzir a tempo astronómico[118] pelo que fica 18 de maio às 21^h 45’ 20”. Entrando na tabela com estes resultados, extraímos os seguintes valores:

Paralaxe da Lua……………………………………………	54’ 56”
Correção à Latitude (40º 20’ N)……………….……………..	–6”
Paralaxe horizontal da Lua………………………………...	54’ 50”
Semidiâmetro da Lua………………………………………	14’ 58”
Correção da altura observada……………………………...	+6”
Semidiâmetro da Lua corrigida……………………………	15’ 04”
Semidiâmetro do Sol para 19 de Maio……………………….	15’51”

Para o terceiro passo necessitaremos de aplicar certas correções nas observações de forma a encontrar a distância aparente entre os centros do Sol e da Lua, a altura verdadeira do centro do Sol, e a altura verdadeira do centro da Lua.

Distância observada dos limbos…………………………...	85º 7’ 17”
Semidiâmetro do Sol…………………………………...	15’ 51”
Semidiâmetro da Lua…………………………………...	+15’ 04”
Distância aparente dos centros……………………………	85º 38’ 12”
Simplificado	**85º 38’ 10”**
Altura observada do limbo inferior do Sol………………...	52º 8’ 45”
Inclinação do horizonte para 15 pés de altura…………….	–3’ 58”
Altura aparente do limbo inferior do Sol…………………	52º 4’ 47”
Semidiâmetro do Sol…………………………………...	+15’ 51”
Altura aparente do centro do Sol………………………….	52º 20’ 38”
Simplificado	52º 20’ 40”
Refração menos a paralaxe……………………………..	–40”
Altura verdadeira do centro do Sol………………………...	**52º 20’ 00”**
Altura do limbo superior da Lua…………………………..	22º 9’ 47”
Inclinação do horizonte para 15 pés de altura……………...	–3’ 58”

[118] A redução de tempo civil para tempo astronómico está explicada na página 117 das efemérides. 9^h 45’ 20” da manhã do dia 19 de maio dão o mesmo instante que 21^h 45’ 20” contadas desde o meio dia do dia 18 de maio.

Altura aparente do limbo superior da Lua…………………	22º 5’ 49”
Semidiâmetro da Lua corrigido…………………………...	–15’ 04”
Altura aparente do centro da Lua…………………………	21º 50’ 45”
Simplificado	21º 50’ 50”
Paralaxe menos a refração………………………………...	+48’ 13”
Altura verdadeira do centro da Lua………………………..	22º 39’ 3”
Simplificado	**22º 39’ 00”**

O passo quatro, relativamente aos anteriores, é um bocado mais trabalhoso e, de maneira a facilitar a compreensão, explicaremos de seguida o processo de Dantas Pereira para o cálculo do quarto passo.

i. Ao lado das alturas aparentes e da distância aparente colocou os complementos aritméticos dos logaritmos dos cossenos destas alturas sendo que este complemento é igual a $10 - log(cos)$;
ii. Ao lado da metade da soma, da metade da soma menos a distância aparente e das alturas verdadeiras colocou os logaritmos dos cossenos;
iii. Somou os seis logaritmos anteriormente referidos;
iv. Calculou metade da soma dos logaritmos;
v. Calculou o cosseno da metade da soma das alturas verdadeiras;
vi. Achou a diferença entre os resultados obtidos em iv e v;
vii. Descobriu um ângulo a partir do logaritmo do seno do valor obtido. Chamou-o ângulo subsidiário (z).
viii. Entrou com este ângulo nas tabelas logarítmicas de Gardiner extraindo o valor do logaritmo do cosseno do ângulo subsidiário.
ix. Somou este valor com o logaritmo do cosseno da metade da soma das alturas verdadeiras e descobriu o logaritmo do seno da metade da distância verdadeira dos centros.
x. O dobro do resultado encontrado será a distância procurada.

Para verificar os cálculos efetuados por Dantas Pereira neste exemplo prático foram criadas duas tabelas utilizando a ferramenta de cálculo Excel. Estas tabelas não só verificam os cálculos, mas também proporcionam uma melhor perceção de todo o processo de cálculo neste passo para descobrir a distância verdadeira entre os centros.

A primeira tabela será para calcular o valor do ângulo subsidiário (z) utilizando as alturas aparentes e a distância aparente. Obtido o valor de z será possível determinar o valor da distância verdadeira entre os centros do Sol e da Lua.

Cálculos Passo 4: Cálculo Distância Verdadeira dos Centros					
	Variáveis	**Valores em graus**	**Página da Tabela Gardiner**	**Cálculos para determinar o valor de z**	
Dist aparente	d'	85° 38' 10"			
Alt. Ap. Sol	a'	52° 20' 40 "	219	- log Cos a'	0,2140206
Alt. Ap. Lua	b'	21° 50' 50"	172	- log Cos b'	0,0323681
Soma (σ)	a'+b'+d'	159° 49' 40"			
1/2 soma	(a'+b'+d')/2	79° 54' 50"	137	log Cos σ /2	9,2433558
	σ /2-d'	5° 43' 20"	124	log Cos (σ /2-d')	9,9978305
Alt. Verd. Sol	a	52° 20' 00"	219	log Cos a	9,7860886
Alt. Verd. Lua	b	22° 39' 00"	174	log Cos b	9,9651426
	(a+b)/2	37° 29' 30"	219	1/2 soma logs	19,6194031
				log Cos (a+b)/2	9,8995151
				Log Sen(z)=1/2 soma- log Cos (a+b)/2	9,7198880
			201	**Ângulo z**	**31° 38' 46''**

Tabela 1 - Cálculo do ângulo subsidiário

Fórmula de z:

$$log\ sen(z) = 1/2[log\ cos(a) + log\ cos(b) + log\ cos\left(\frac{\sigma}{2}\right) + log\ cos\left(\frac{\sigma}{2} - d'\right) - log\ cos(a') - log\ cos(b')] - log\ cos\left(\frac{a+b}{2}\right) \tag{3.26}$$

Cálculos para determinar o valor de X	
Log Cos z	9,9300852
Log Cos (a+b)/2	9,8995151
Log Sen (x/2)	9,8296003 [119]
x/2	42° 29' 24" [120]
x	84° 58' 48"
Somar a simplificação do d'	2" [121]
Valor final de x	**84° 58' 50''**

Tabela 2 - Cálculo da distância verdadeira entre os centros

[119] Se o valor for superior a 10 temos de subtrair 10 para nos mantermos no intervalo (0, 10). Este intervalo era o intervalo mais confortável para a realização dos cálculos.
[120] Entrando nas tabelas de Gardiner com o resultado obtido e procurar o ângulo que tem este valor de seno (p. 234).
[121] d' foi reduzido em 2" para simplificar os cálculos e agora temos de somar os 2".

Fórmula de x: $$log\ sen\left(\frac{x}{2}\right) = log\ cos(z) + log\ cos\left(\frac{a+b}{2}\right) \quad (3.27)$$

Com a distância verdadeira entre os centros calculada, passamos ao cálculo da hora de Lisboa na altura das observações. Este passo não requer grandes capacidades matemáticas para o fazer, visto que se torna um exercício de interpolação.

Começamos por procurar nas efemérides, para o dia 18 e 19 de maio, as distâncias da Lua ao Sol:

Distâncias	Calculada		84º 58’ 50”	Diferença
	Das Efemérides	1ª no dia 18 às 20^h 23’ 20”	84º 19’ 26”	39’ 24”
		2ª no dia 19 às 11^h 23’ 20”[122]	85º 42’ 45”	83’ 19”

Tabela 3 - Cálculo das diferenças de alturas no passo 5

Fazendo uma interpolação com as diferenças obtidas, é possível calcular a hora de Lisboa na altura das observações.

Sabemos que:

$$\frac{83'\ 19"}{39'\ 24"} = \frac{3\ horas^{123}}{x} \quad (3.28)$$

Transformando tudo para segundos, temos que $x = 1^h$ 25’ 7”. Sabemos que x corresponde à diferença horária entre a 1º altura lida nas efemérides e a calculada no passo anterior, logo a hora de Lisboa no tempo das observações corresponde à soma destas duas alturas:

$$20h\ 23'\ 20" + 1h\ 25'\ 7" = \mathbf{21h\ 48'\ 27"}$$

Calculada a hora de Lisboa resta-nos calcular a hora do navio aquando das observações de forma a calcular a Longitude. Iniciamos o sexto passo extraindo das efemérides a declinação boreal do Sol para as 21^h 48’ 27” do dia 18 de maio que será 19º 55’ 8”, logo a distância polar simplificada será 70º 5’ 00”.

De forma a não tornar demasiado exaustiva a explicação dos cálculos, construímos com o auxílio da ferramenta de cálculo Excel, à semelhança do passo quatro, uma tabela que demonstra os passos todos efetuados no processo. Novamente esta tabela serve não só para dispor de uma maneira mais agradável os cálculos, mas também para verificar se os resultados estavam corretos. Outra razão que nos levou a construir uma tabela foi a semelhança dos cálculos entre o sexto e o quarto passo.

[122] Necessário transformar em horas astronómicas.
[123] Esta diferença equivale à diferença horária entre as distâncias lidas nas efemérides.

Cálculos Passo 6: Cálculo Hora Navio					
	Variáveis	**Valores em graus**	**Tabela Gardiner**	**Cálculos para determinar o valor de b**	
Alt. Verd. Sol	a	52°20' 00"			
Latitude	l	40° 20' 0"	228	- log Cos l	0,1178787
Dist. Polar	d	70° 5' 0"	166	- log Sen d	0,0267848
	s=l+d+a	162° 45' 0"			
	s/2	81° 22' 30"	132	log Cos s/2	9,1759950
	s/2-a	29° 2' 30"	194	log sen (s/2-a)	9,6861405
				SOMA	19,0067990
			162	1/2 SOMA	9,5033995
				ângulo b/2	18° 35' 06"
				(ângulo b/2) × 8 [124]	2h 28' 40" 48'''
				complemento para 24h[125]	24h 0' 00" 00'''
				Hora do Navio	**21h 31' 19'' 12'''**

Tabela 4 - Cálculo Hora Navio pelos métodos tabulares

Note-se que apesar de Dantas Pereira ter referido nas regras que iria usar a fórmula C neste passo, não a chegou a utilizar nos seus cálculos. Considerámos ser uma mais valia na explicação deste método explicar este passo utilizando a fórmula. Adjacente a esta explicação, obtemos um meio de comparação entre os métodos analíticos e os tabulares de forma a verificar a precisão de cada um.

Deste modo, e de forma a tornar a fórmula mais fácil de manusear aplicaremos o logaritmo à mesma.

Sabendo que $s = l + d + a$ e aplicando o logaritmo ao cálculo ficamos com:

$$log\ sen\left(\frac{b}{2}\right) = \frac{1}{2}\left[log\ cos\left(\frac{s}{2}\right) + log\ sen\left(\frac{s}{2} - a\right) - log\ sen(d) + log\ cos(l)\right] \tag{3.29}$$

$$\text{Seja } \zeta = \left[\log\cos\left(\frac{s}{2}\right) + \log\text{sen}\left(\frac{s}{2} - a\right) - \log\text{sen}(d) + \log\cos(l)\right]. \tag{3.30}$$

[124] Sabemos que 1 grau corresponde a 4 minutos de hora. Como temos b/2 vamos ter que multiplicar cada grau por 2x4 para termos a correspondência em horas, ou seja b/2= 18º 35' 6'', logo em horas temos b/2 = (18º 35' 6'')x4, logo b=(18º 35' 6'')x4x2.

[125] Como $b = ZPS$ é o ângulo no pólo que na realidade representa o complemento da Longitude temos que fazer a diferença entre a hora obtida e as 24h. A Longitude varia entre 0º e 180º para E ou O, ou seja, em horas varia entre 0 e 24 horas. Daí o complemento para as 24h.

Após algumas deduções logarítmicas ficamos com:

$$\frac{b}{2} = arcsen\left(10^{\frac{\zeta}{2}}\right) \tag{3.31}$$

Daqui concluímos que $\frac{b}{2} = 18^{\text{o}}\ 35'\ 24''$. Nos cálculos originais temos 18º 35' 06", este desvio é devido à diferença nos logaritmos[126].

Cálculos Passo 6: Cálculo Hora Navio						
	Variáveis	**Valores em graus**	**Cálculos Auxiliares**		**Cálculos para determinar o valor de b**	
Alt. Verd. Sol	a	52,33				
Latitude	l	40,33	Cos(l)	0,7623296	10- log Cos l	0,1178572
Dist. Polar	d	70,08	sen(d)	0,9401693	10- log sen d	0,0267940
	s=l+d+a	162,74				
	s/2	81,37	Cos(s/2)	0,1500530	10+log10(Cos s/2)	9,1762448
	s/2-a	29,04	sen(s/2-a)	0,4854201	10+log10(sen (s/2-a))	9,6861178
					SOMA	19,0070137
					1/2 SOMA	9,5035069
					Log Sen (b/2)= 1/2SOMA -10	-0,4964931
					b/2=arcsen(10^(SOMA/2-10))	18,5898615
					b/2	18° 35' 24"
					(ângulo b/2) X 8	2h 28' 41" 92"'
					complemento para 24h	24h 0' 00" 00"'
					Hora do Navio	**21h 31' 18'' 08'''**

Tabela 5 - Cálculo Hora Navio pela fórmula C utilizando a folha de cálculo Excel

A fórmula utilizada para o cálculo de b foi a equação 3.28.

Fazendo então uma comparação entre os dois modos de cálculo ficamos com uma diferença de 1" 04"'. Verificamos que a diferença de valores é realmente pequena e sem significado relevante, o que mostra que o método usado por Dantas Pereira produzia resultados muito próximos dos valores reais.

[126] O primeiro valor foi calculado no Excel, o segundo foi calculado usando o método de Dantas Pereira e os valores dos logaritmos são obtidos nas tabelas de Gardiner, por isso, não são tão exatos como os atuais.

Finalmente para terminarmos a apresentação do exemplo, adotaremos o valor obtido por Dantas Pereira na sua memória, logo a hora de bordo será 21^h 31' 19" 12''' que para facilitar o cálculo simplificou para 21^h 31' 19".

Calculada a hora de Lisboa na altura das observações e a hora de bordo poderemos finalmente calcular a Longitude do navio fazendo a diferença entre as duas horas.

Concluſaõ.

Hora de	Lisboa	21^h	48'	27"
	Bordo	21	31	19
Differ., ou Long.	em tempo	0^h	19'	8"
	em gráos	4°	47'	0"

He quanto o Navio eſtá a Oeſte de Lisbôa.

Figura 12- Passo 7: Cálculo da Longitude

Conclusão

Como fomos escrevendo e demonstrando ao longo da dissertação, é apanágio das obras de José Maria Dantas Pereira a procura pela simplificação dos cálculos e disponibilização dos meios necessários para o bom piloto português se poder localizar no mar. Os seus trabalhos e contributos neste campo foram uma mais valia para a segurança da Navegação e permitiu aos navegadores chegarem sempre a bom porto.

O nosso principal objetivo foi o estudo destas suas principais obras relacionadas com a Navegação, realçando em particular o seu contributo para o cálculo da Longitude no mar. Selecionámos aquelas que mais se destacaram do seu portfólio de memórias e artigos, tanto como professor da ARGM quando ficou responsável pelas *Efemérides*, como conselheiro do Almirantado após o seu regresso a Portugal depois de acompanhar a Família Real para o Brasil.

Aquelas que sobressaíram foram as suas memórias sobre a Latitude e Longitude publicadas nas *Efemérides Náuticas* para os anos 1796 a 1798, no *Jornal de Coimbra* e nas memórias da ARGM, das quais retirámos dados importantes sobre a forma como estas coordenadas estavam a ser tratadas em Portugal. Conseguimos ter um vislumbre dos cálculos necessários para descobrir a Latitude e a Longitude e com isto apreciar o modo como Dantas Pereira descodificou os métodos criados pelos seus contemporâneos para uso no mar e atingir um objetivo secundário que se prendia a responder a certas questões que se foram criando à medida que fomos investigando as suas obras.

Respondendo a estas questões tanto nas memórias dedicadas à Latitude assim como nas da Longitude, aprofundámos a matemática que suporta a sua obra sobre a Longitude. Analisámos as fórmulas que Dantas Pereira utilizou para demonstrar o método de Bordá utilizando somente as tabelas logarítmicas de Gardiner como ele indica na memória. Demonstrámos ainda a veracidade das equações utilizadas por ele na demonstração prática que apresenta no final da memória.

Apesar de apresentar vários exemplos onde emprega o seu método de cálculo da Longitude, definimos que iríamos tratar apenas do primeiro exemplo pois era aquele que melhor retratava aquilo que queríamos demonstrar. De uma forma simples conseguiu simplificar o método de Bordá a sete passos, é a partir deles que construímos os subcapítulos finais do terceiro capítulo.

Com a ajuda da folha de cálculo Excel conseguimos elaborar uma comparação entre o método utlizado por Dantas Pereira e um método utilizando uma fórmula que nos permitiu calcular a hora de bordo do navio. Comparando os resultados obtidos verificámos que a diferença entre os dois era insignificante. Isto quer dizer que apesar do método de Dantas Pereira não ser o mais preciso, os cálculos finais eram muito próximos dos reais.

Projetámos para a estrutura do segundo capítulo aquilo que melhor se adaptava ao Problema das Longitudes no sentido em que é um tema bastante vasto e pormenorizar todas as temáticas inerentes ao tema seria provavelmente tema para outra dissertação. Por isso, para conseguirmos uma harmonia entre os capítulos tornou-se necessário, de maneira abrangente, dar uma explicação histórica deste problema e do modo como este se desenvolveu na Europa, nomeadamente no século XVIII.

Para delimitar de certa forma esta temática, escolhemos abordar os dois métodos que acabaram por ser utilizados no mar: o método do cronómetro ou método mecânico e o método rival das Distâncias Lunares.

Decidimos dar uma introdução histórica a ambos os métodos e de que forma estes se desenvolveram ao longo dos séculos. Iniciámos com o método do cronómetro especificando os trabalhos de John Harrison: o relojoeiro que dedicou toda a sua vida ao desenvolvimento da tecnologia necessária para se poder utilizar estes aparelhos no mar e a busca incessante pelo tão aclamado prémio de 20000£, oferecido pelo Parlamento Britânico que acabou por receber muito perto da sua morte.

Esta acaba por ser uma história interessante no sentido em que nunca desistiu de acreditar na sua invenção e lutou sempre por mostrar a sua utilidade, principalmente a quem duvidava do método devido ao modo inconstante como estes aparelhos funcionavam. Mas de certa maneira acabava por ser um método muito dispendioso na medida em que os cronómetros eram aparelhos com um custo muito elevado e até encontrada uma solução para este obstáculo, o seu método rival tornou-se mais popular. A evolução tecnológica permitiu nos finais do século XIX adotar este método como primário na busca pela Longitude.

Chegando então ao método adotado pelos navegadores da Europa nos finais do século XVIII e durante o século XIX rapidamente se verificou que já era falado há muitos séculos, mas devido ao fraco desenvolvimento tecnológico, como por exemplo o estado rudimentar em que se encontravam os instrumentos de reflexão, não permitiram verificar a eficácia e praticabilidade do método. Outra grande limitação era também o estado primitivo em que se encontrava a teoria lunar.

Colocadas estas barreiras, estudámos como a humanidade conseguiu, através da promessa de recompensas, resolver esta situação. Construíram-se observatórios dedicados às observações celestes, principalmente da movimentação da Lua na tentativa de prever os mesmos.

O trabalho de Tobias Mayer nesta área iria trazer ao mundo umas tábuas lunares, primeiras do seu tipo em termos de precisão, que iriam culminar, sob a supervisão de Nevil Maskelyne, nas primeiras efemérides náuticas que continham métodos e tabelas necessárias para o cálculo da Longitude.

Fontes e Bibliografia

Fontes

ARCL, Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa, Tomo II, Lisboa, Typografia da mesma Academia, 1799.

PEREIRA, José Maria Dantas, *Ephemerides Nauticas, ou Diario Astronomico para o anno 1796, Calculado para o meridiano de Lisboa,* Lisboa, Oficina da Academia Real das Sciencias, 1795.

———, *Ephemerides Nauticas, ou Diario Astronomico para o anno 1797, Calculado para o meridiano de Lisboa,* Lisboa, Oficina da Academia Real das Sciencias, 1796.

———, *Ephemerides Nauticas, ou Diario Astronomico para o anno 1798, Calculado para o meridiano de Lisboa*, Lisboa, Oficina da Academia Real das Sciencias, 1797.

———, "II Memoria sobre o Calculo da Latitude", *Ephemerides Nauticas ou Diario Astronomico para o anno de 1797,* Lisboa, na Officina da mesma Academia, 1796.

———, *Memoria que trata de humas novas taboas mathematicas, e dos usos que ellas podem ter tanto nas applicações da sciencia em geral, como na navegação alta em particular,* Lisboa, Impressão Régia, 1807.

———, "Memoria Relativa ao Calculo dos Eclipses das Estrellas, Sol, e mais Planetas pela Lua", *Ephemerides Nauticas, ou Diario Astronomico para o anno 1798, Calculado para o meridiano de Lisboa*.

———, "Memoria sobre o Calculo da Latitude por duas alturas de hum mesmo astro tomadas fora do meridiano", *Ephemerides Nauticas ou Diario Astronomico para o anno de 1796,* Lisboa, na Officina da mesma Academia, 1795.

———, "Memoria sobre os instrumentos de reflexão", *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa,* Tomo II, Typografia da Academia, 1799.

———, *Taboas que contém os logarithmos dos numeros naturaes desde 1 até 43200 calculados até à sétima casa decimal e precedidos pela sua explicação correspondente,* Lisboa, Typografia da Academia Real das Ciências de Lisboa, 1804.

Bibliografia

ALMEIDA, Antonio Lopes da Costa, *O piloto instruido ou compendio theorico-pratico de Pilotagem*, Lisboa, na impressão Regia, 1830.

ALMEIDA, Tiago Manuel de, *Biografia de José Maria Dantas Pereira*, Dissertação apresentada à Escola Naval para obtenção do grau de mestre em Ciências Militares Navais na especialidade de Marinha, Alfeite, (2018).

ANDREWES, William J. H., *Finding Space on Earth: The Quest for Longitude*, Massachusetts, 2000.

BEZOUT, *Continuação do curso de mathematicas para uso dos Guardas-bandeiras, e Guardas-marinha, que contem o Tratado de navegação por Monsieur Bezout.* Lisboa, na Regia oficina typografica, 1785.

CANAS, António Costa, *Arte de Navegar – Nautical Science 1400-1800, Actas da XIV Reunião Internacional de História da Náutica*, "A introdução do Almanaque Náutico em Portugal Contributo de Monteiro da Rocha", Coimbra, 2014.

CHAPIN, Seymour L, *Longitude by Chronometer*, obtido em junho de 2020, de http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?bibcode=1954ASPL....6..386C&db_key=AST&page_ind=0&plate_select=NO&data_type=GIF&type=SCREEN_GIF&classic=YES, 1954.

COOK, James (1728–1779), obtido em Junho de 2020, de Australian Dictionary of Biography: http://adb.anu.edu.au/biography/cook-james-1917, 1966.

COSTA, Antonio Carvalho, *Via Astronomica Segunda Parte.* Lisboa: Por Antonio Craesbeeck de Mello, 1677.

COTTER, Charles H, *A History of Nautical Astronomy*. Londres, Hollis & Carter, 1968

CRISTÓVÃO, B, *Arte de navegar e em particular de Leste Oeste*, obtido em junho de 2020, de Biblioteca Geral da Universidade de Coimbra: https://digitalis-dsp.uc.pt/bg3/UCBG-Ms-44_4/UCBG-Ms-44_4_master/UCBG-Ms-44a/UCBG-Ms-44a_item1/index.html, 1628.

EGGEN, Olin Jeuck, *Edmond Halley*. Obtido em junho de 2020, de Britannica: https://www.britannica.com/science/orbit-astronomy, (s.d.).

FALCONER I J, MENA J G, O'CONNOR J J, PERES T S C, ROBERTSON E F, *Nicolas-Louis de Lacaille*. (u. o. Andrews, Editor), obtido em junho de 2020, de MacTutor: https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Lacaille/, 2018.

FORBES, Eric G, *The Birth of Scientific Navigation, The solving in the 18th century of the problem of finding longitude at sea.* Edinburgh, University of Edinburgh, 1972.

———, *Tobias Mayer 's Constributions to observational astronomy.* Edinburgh: Edinburgh University, 1980.

———, *The life and work of Tobias Mayer (1723-62)* (Vol. 8). Royal Astronomy Society, s.d.

GARDINER, William, *Tables of Logarithms for all numbers from 1 to 102100, and For the Sines and Tangents to every tem seconds of each degree in the Quadrant; as also, for the Sines of the first 72 minutes to every single second; with other useful and necessary tables.* Londres, Green Arbour Court, 1742.

GRABOWSKI Jennifer, Jeffrey Meyer, and Eick Tou, *Synopsis of Leonhard Euler's 1749 paper: Method for determining the longitude of places by observing occultations of fixed stars by the moon.* Carthage College, 2009.

HOWSE, Derek, *Greenwich time and the discovery of the longitude.* Melbourne, Oxford University Press, 1980.

MOSKOWITZ, Saul, The World's First Sextants. *Journal of the Institute of Navigation, 34*(1), 1987.

O'CONNOR J J, ROBERTSON E F, *Leonhard Euler*, obtido em Maio de 2020, de MacTutor: https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Euler/, 1998.

———, *Jean Charles de Borda*, obtido em maio de 2020, de MacTutor: https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Borda/, 2003.

———, *Tobias Mayer*, obtido em maio de 2020, de MacTutor: https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Mayer_Tobias/, 2008.

Os satélites galileanos, Obtido de Portal do Astrónomo em julho de 2020, http://vintage.portaldoastronomo.org/tema_21_3.php, (s.d.).

PAGANINO, Jacinto José, *Compendio das observações e calculo para achar a longitude pela distancia da Lua ao Sol, usando das Taboadas do Conhecimento dos Tempos.* Lisboa, na oficina de Francisco Luiz Ameno, 1783.

PEREIRA, José Manuel Malhão, *Um manuscrito de cerca de 1767, do P. José Monteiro da Rocha, S.J. com uma solução matemática para a obtenção da longitude pelas distâncias lunares.* Lisboa, Academia de Marinha, 2007-2008.

———, *História da Marinha Portuguesa, Navios, Marinheiros e Arte de Navegar, 1669-1823.* Lisboa, Academia de Marinha, 2012.

PHILLIPS, Eóin, *Log book of HMS 'Resolution'*, obtido em Maio de 2020, de University of Cambridge Dgital Library: https://cudl.lib.cam.ac.uk/view/MS-RGO-00014-00058, s.d.

REGO, Francisco Xavier do, *Tratado completo da navegação.* Lisboa, na oficina de João Antonio da Silva, 1755.

RIOS, Joseph de Mendonza, "On a improved Reflecting Circle", Artigo Submetido à *Philosophical Transactions of the Royal Society,* 1801.

STIMSON, A. N, *Some Board of Longitude Instruments in the Nineteenth Century.* Londres: National Maritime Museum, 1985.

TENGARRINHA, José, *Nova História da Imprensa Portuguesa* (7880 ed.). Temas e Debates, 2013.

TERRAL, Mary, *The man who flattened the earth: Maupertuis and the sciences in the enlightement.* Chicago: The University of Chicago Press, 2002.

Anexos

Anexo 1 - Transcrição da carta de Monteiro da Rocha

Ill.mo e Ex.mo S.r — He certo que o S.r Vandelli me deu noticia do Almanach, mas essa tão vaga, que não fiz conceito adequado do que nelle se propoem a Academia. Fiquei com a ideia de que se projectava dar h˜ua Lista das pessoas empregadas no serviço, das diferentes alçadas dos Tribunais e Ministros, e de outras cousas pertencentes ao Governo, Policia e Economia da Corte e do Reino. Agora pela carta de V. Ex.a vejo, que ou se cuida em Almanach Astronomico, ou se quer ajuntar h˜ua cousa com a outra, mas sempre fico incerto sôbre o verdad.ro projecto da Academia.

Hum Almanach proprio p.a os Astronomos que tenha os Lugares dos Planetas, e os phenomenos que se devem observar, parece-me absolutam.te escusado. Porque os Astronomos são por ora mui poucos em Portugal, e esses tem as Ephemerides, ou o conhecim.to da Academia de Paris que lhes basta e sobeja p.a o seu uso. Por outra parte custão tanto a imprimir com exactidão taboadas numericas, que a despeza não seria paga pelos poucos exemplares que terião sahida.

Ao contrario hum almanach proprio para a Marinha seria empresa digna do zelo da Academia, se elle se fizesse de maneira que servisse aos nossos Pilotos e fosse tambem procurado dos Estrangeiros. Isto se conseguiria, se houvesse pessoas habeis nos calculos Astronomicos, que calculassem as distancias da Lua ao Sol e ás estrellas por outras Taboas que não fossem as de Mayer, nas quaes são fundados os calculos do Nautical Almanach, e a copia delles que vem no conhecimento dos Tempos. Se tivessemos estes mesmos calculos feitos por differentes mãos, e fundados em outras Taboas de credito como as de Clairant ou de Euler, he certo que os differentes resultados mostrarião os limites da confiança que se pode ter na Theoria, e servirião de prova reciproca, p.a se haver com mais segurança o Piloto nas concluzões da Longitude. Hum Almanach desta sorte seria interessante em todo a Europa Maritima, e gloriozo á Corôa de Portugal, assim como he á da Inglaterra o outro, até agora unico, fundado nas Taboas de Mayer.

Mas deixando este projecto p.a quando se poder executar, se a Academia entretanto quizer dar h?a copia aos nossos Pilotos das Taboas do Nautical Almanach, pode fazer o que fizerão os Francezes, que he copialas fielm.te, mudandolhes som.te os tempos conforme a differença dos Meridianos. Falo das Taboas da distancia da Lua ás estrellas e ao Sol. Estas forão calculadas primitivam.te p.a o meridiano de Greenwich de 3 em3 horas começando no ponto do meio dia verdr.o. E como este meridiano fica p.a occidente de Paris 9’ 16” de tempo, he claro que a distancia calculada de Lua a h?a estrella para o meio dia de Greenwich he a mesma que se havia de achar p.a Paris á 0h9’ 16”. Assim se traduzirão para o conhecim.to as mesmas Dist.as do Nautical, só com a differença de se pôr no alto das colunas 0h 9’ 26”, 3h 9’ 16”, 6h 9’ 16” etc. em lugar de 0h, 3h, 6h etc., porque tudo vem a dar ao mesmo ins.te real, em que o phenomeno da dist.a deve ser o mesmo. Deste modo se quizermos fixar aquellas distancias p.a o tempo de Lx.a, como esta capital está 36’ 44” de tempo para occidente de Greenwich, ou 46’ 0” para occid.e de Paris, em logar de se pôr no alto das colunas 0h, 3h, 6h etc. deverá por-se 11h 23’ 16”, 2h 23’ 16”, 5h 23’ 16” etc, porque estes tempos de Lx.a coincidem no mesmo inst.e physico com aquelles de Greenwich, ou com os outros de Paris. Para a impressão d’estas Taboas deveria haver dous Revisores muito fieis que conferissem as provas, hum com o conhecim.to e outro com o original do Nautical Almanach.

Podião, tambem reduzir-se aquellas Taboas a começaram no ponto do meio dia de Lx.a; mas isso careceria de trabalho. Como, pelo modo preced.e se tem a distancia calculada para as 11h 23’ 16” e para 2h 23’ 16”, tomar-se-hia a parte proporcional que corresponde a 36’ 44” para ter a dist.a competente ao meio dia de Lx.a. Mas como as diferenças que vão tendo as distancias de 3 em 3 horas não sã constantes, seria p.a maior exactidão necessario usar do methodo das Interpolaçoens, e daria maior trabalho. Mas seguindo o primeiro modo, isto he, conservando as distancias calculadas p.a Greenwich com os tempos corresp.es de Lx.a em cada h?a das colunas, como são 16 colunas por cada mez, e a impressão e revisão de semelhantes Taboas dá m.to trabalho, pareceme que já se não pode vencer neste anno cousa que venha a lume no pincipio do seguinte; e não sahindo a tempo de servir, he perdido o feitio.

Esquecia-me h˜ua ponderação que a Academia deve fazer antes de publicar esta obra. O conhecim.to de Paris he para uso dos Astronomos, e os primeiros que delle usão são os que assistem naquella Corte, e assim era natural que se ligassem ao seu meridiano. Mas fazer-se hum Almanach p.a a Marinha, parece que se devia ligar ao meridiano dos Pilotos. Ora eu julgo que os nossos (se não tem mudado de estilo) e grande parte dos Pilotos das outras Naçoens tomão por pr.o meridiano o que passa pela Ilha do Ferro. Assim lhes seria mais ventajoso, que todos os calculos fossem reduzidos aquelle meridiano, que elles tomão por termo donde começão a contar as Longitudes. E como a Ilha do Ferro está 1h 12’ 44” de tempo para occid.e de Greenwich, nas colunas das dist.as da Lua em lugar de 0h, 3h, 6h, etc, deveria pôr-se 10h 47’ 16”, 1h 47’ 16”, 4h 47’ 16” etc.

Hum Almanach Nautico deve alem disso ter necessariam.te as Acensoens rectas e Declinaçoens do Sol. Estas são faceis de calcular, ou, querendo usar das que vem no conhecim.to, devem reduzir-se tomando a pr.te proporcional, ao meio dia do meridiano que se escolher. As Longitudines da Lua são escusadas ao Piloto, q.do tem as dist.as calculadas. Ha outras Taboas perpetuas, como a dos arcos semidiurnos, Amplitudes, Inclinação do Horisonte etc. que devem ter lugar no Almanach, e se podem tomar dos Livros em que se achão etc.

Eu estou acabando a obra que tenho promettido mandar á Academia, e depois della irão outras, e h˜ua pertencente ás Longitudes do mar. Entretanto sirva-se V. Ex.a de me ordenar o que for do seu agrado. — Coimbra 7 de outubro de 1781. — De V. Ex.a — M.to fiel Cr.o

Anexo 2 – Projeto do Circular de Dantas Pereira[127]

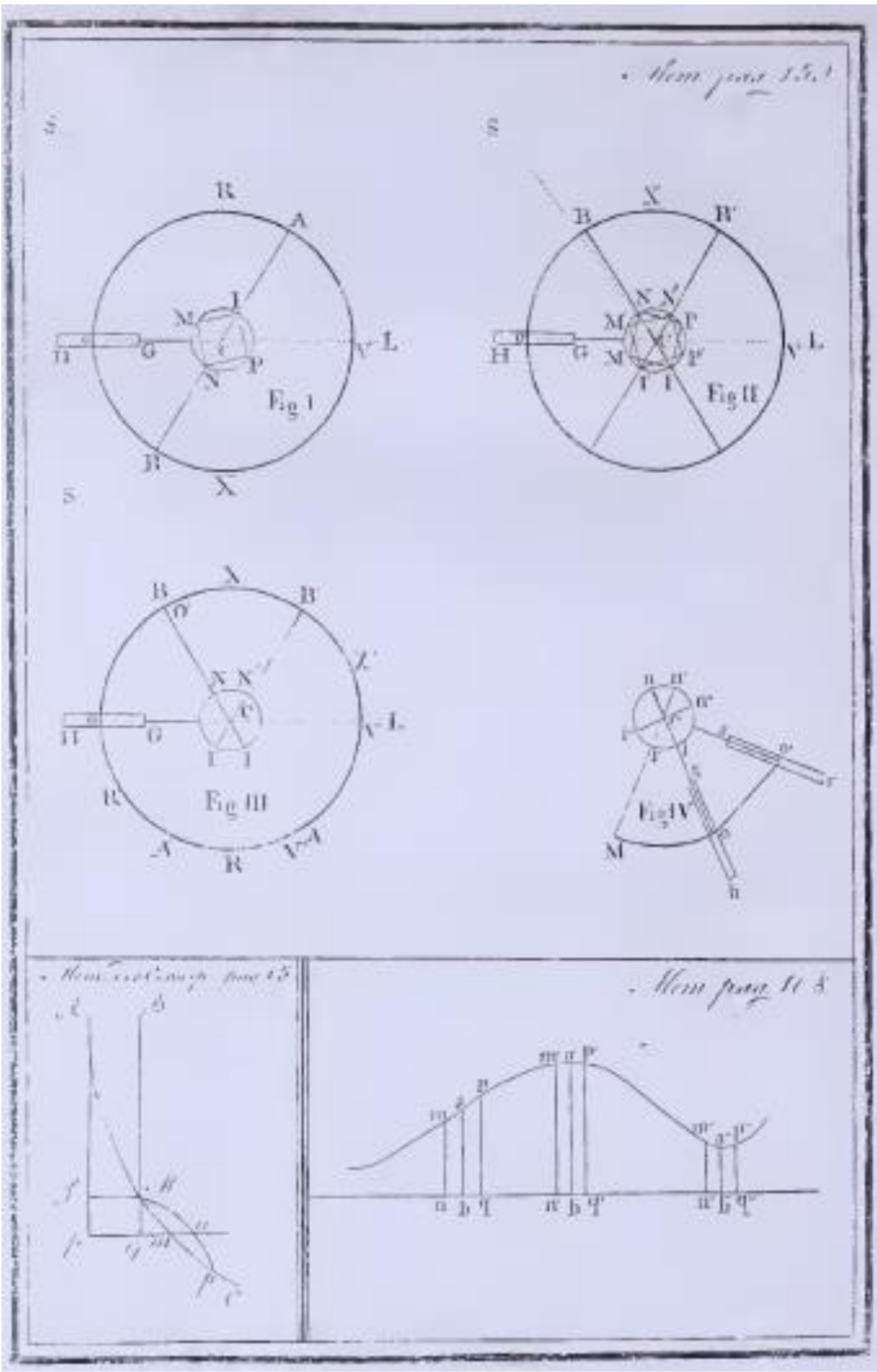


Figura 13- Projeto do Circular de Dantas Pereira

[127] Desenhos retirados de: Academia Real das Sciencias de Lisboa, *Memorias de Mathematica e Phisica da Academia Real das Sciencias de Lisboa*, Tomo II, Lisboa, Typografia da mesma Academia, 1799, p. 158