

A INVENÇÃO DO CRONÔMETRO NAVAL E A DESCOBERTA DA LONGITUDE

JOÃO VICTOR NUNES DE SOUSA*
Engenheiro

SUMÁRIO

Introdução
O problema da longitude
A descoberta da longitude
Conclusão

INTRODUÇÃO

A determinação da longitude no mar com precisão foi, até a segunda metade do século XVIII, um dos maiores problemas técnico-científicos da História [1]. Muito além de uma questão náutica, a determinação da longitude era de ordem política e comercial, pois a nação que primeiro dominasse uma técnica eficaz

de determinação da exata posição das suas embarcações no mar sairia na frente das demais na corrida pelo expansionismo territorial e pelo comércio além-mar.

Nesse contexto, vários foram os prêmios e as glórias prometidos a quem “descobrisse a longitude”, porém, sem dúvida, o mais emblemático foi o oferecido pela Coroa britânica por meio do Longitude Act (Lei da Longitude), de 1714. Esse

* Perito criminal da Polícia Científica do Estado de Pernambuco. Segundo-Tenente da Reserva do Quadro Complementar de Oficiais da Armada da Marinha do Brasil. Mestre e graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

prêmio acelerou o desenvolvimento da astronomia e da engenharia mecânica, culminando na criação do cronômetro naval, instrumento que permitiu que a longitude de um navio fosse precisamente conhecida pelo seu comandante, revolucionando assim a navegação oceânica.

O PROBLEMA DA LONGITUDE

Localizando um ponto na Terra

A localização de pontos no mundo por meio de coordenadas geográficas remonta a tempos longínquos. O cientista grego Eratóstenes propôs, no século 3 a.C., o primeiro sistema de latitude e longitude para localizar pontos na Terra, sendo considera-

do o fundador da Geografia. Essa teoria foi aperfeiçoada pelo também cientista grego Ptolomeu em sua obra *Geographia*, publicada por volta do ano 150 (Figura 1), sendo a base teórica dos principais sistemas de geolocalização utilizados a partir de então.

A Terra, em virtude do seu formato geóide (esférico com achatamento nos polos), pode ser dividida em duas metades (hemisférios norte e sul) por uma linha horizontal imaginária, a Linha do Equador (Figura 2). A distância angular entre a Linha do Equador e um ponto qualquer nos daria a latitude desse ponto. De modo análogo, a Terra pode ser dividida em duas metades (hemisférios leste e oeste) por uma linha vertical imaginária, conveni-



Figura 1 – O mundo segundo Ptolomeu. Fonte: [2]

1 Enquanto o paralelo 0°, a Linha do Equador, foi determinado por observações astronômicas, o meridiano 0°, atualmente de Greenwich, é uma escolha política, já tendo se localizado, em tempos antigos, nas Ilhas Canárias, em Roma, Paris e Jerusalém, entre outros.

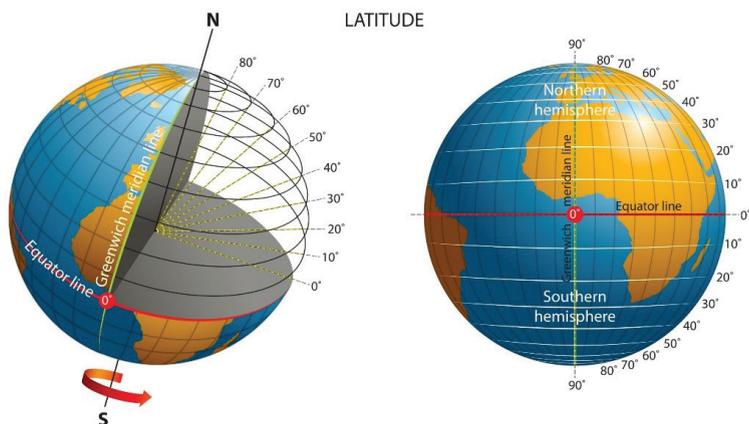


Figura 2 – Representação das latitudes no globo. Fonte: [3]

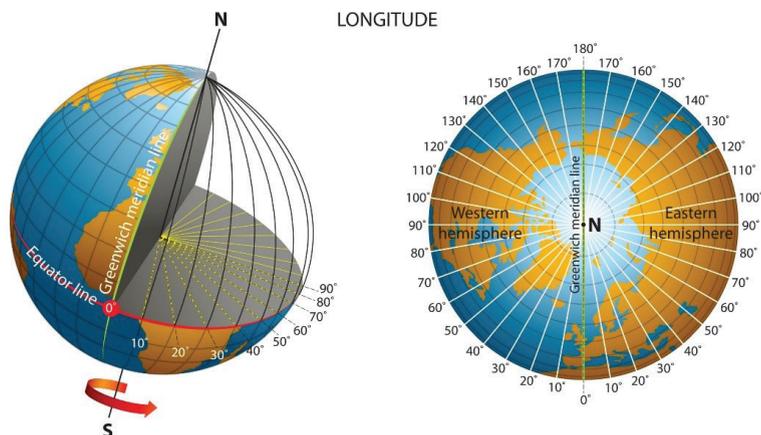


Figura 3 – Representação das longitudes no globo. Fonte: [3]

(Figura 3). A distância angular entre esse meridiano e um ponto qualquer nos daria a longitude desse ponto. Com a latitude e a longitude do ponto, o localizamos perfeitamente no globo.

Vale ressaltar que, como a Terra leva 24 horas para completar uma rotação ao redor do seu eixo, totalizando 360° , há 15° de diferença geográfica entre as longitudes de dois pontos, correspondendo a 1 hora de diferença entre estes pontos.

Como era determinado o posicionamento no mar até o século XVIII?

Até o século XVIII, o posicionamento de um navio em alto-mar, ou seja, a determinação da sua latitude e sua longitude, era antagônico. Enquanto a latitude era facilmente determinada com boa precisão por qualquer indivíduo com mínimos conhecimentos de astronomia, determinar a longitude era uma incógnita.

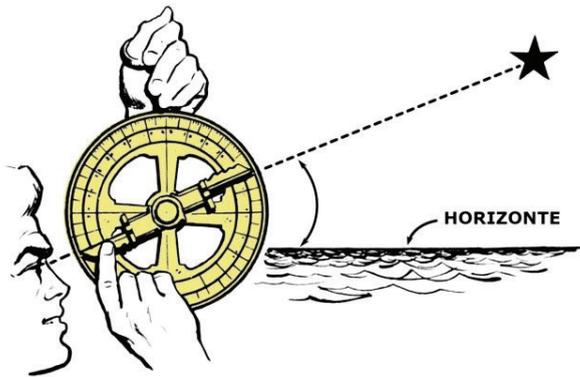


Figura 4 – Representação do uso de um astrolábio em mar. Fonte: [4]

Então, a latitude da embarcação era obtida fazendo uso de instrumentos náuticos, como o astrolábio, e medindo a altura de astros no firmamento, tais como o Sol, no período diurno, ou a estrela polar, no período noturno (Figura 3). Com a altura medida era possível consultar almanaques náuticos amplamente conhecidos e obter então a latitude do ponto.

Já para a longitude, não existia um método prático e preciso de determinação. Era sabido que a longitude do navio poderia ser obtida conhecendo a hora em um ponto de longitude determinada (o porto de saída, por exemplo) e a hora local desse navio, calculada facilmente por observações astronômicas. A diferença entre essas horas seria convertida em uma diferença de longitudes, chegando-se então à longitude do navio em relação à referência (o porto, no exemplo). O méto-

do em questão parece simples, mas esbarra em um grande problema de ordem prática: não havia relógio suficientemente preciso que pudesse ser embarcado em navios, viabilizando então o cálculo da longitude com precisão².

O desastre naval nas Ilhas Scilly

Devido à inexistência de método prático para determinação da longitude em viagens oceânicas até o século XVIII, vários grandes exploradores se perderam no mar, como Vasco da Gama, Fernão de Magalhães, Sir Francis Drake e Cristóvão Colombo.

O desconhecimento da posição precisa que o navio ocupava no oceano trazia vários inconvenientes para o comandante e sua tripulação, sendo um deles a segurança. Muitos navios e marinheiros pereceram no mar devido a acidentes náuticos gerados por desconhecimento da longitude da embarcação, sendo um

Muitos navios afundaram e marinheiros pereceram devido a acidentes por desconhecimento da longitude

dos mais graves e emblemáticos o afundamento de uma esquadra britânica nas imediações das Ilhas Scilly, em 1707.

Neste período, ocorria a Guerra de Sucessão espanhola, na qual, como gesto de ajuda às coroas amigas, a Coroa britânica enviou uma esquadra para apoio naval, sob o comando do experiente Almirante Sir Cloudesley Shovell. Em seu regresso à

2 Vale destacar que a diferença de 1° de longitude pode corresponder de 0 milha náutica de distância (nos polos) até 60 milhas náuticas de distância, ou cerca de 111 quilômetros, na Linha do Equador.

Grã-Bretanha, essa esquadra, composta por 21 embarcações, deveria partir de Gibraltar, no extremo sul da Península Ibérica, chegando ao porto inglês de Portsmouth.

A viagem de volta da esquadra se iniciou em 29 de setembro, sendo marcada por mau tempo. Em 22 de outubro de 1707, o Almirante Shovell, em consenso com seus navegadores, entendeu que sua esquadra estava nas proximidades da Ilha Ouessant, na costa noroeste da França, mas na verdade estava nas imediações das Ilhas Scilly, a sudoeste da Inglaterra (Figura 5).

As Ilhas Scilly eram cercadas por rochas, e a tragédia ocorreu: diversas

embarcações da esquadra britânica chocaram-se contra essas formações, sendo quatro afundadas, com um total de quase 2 mil marinheiros mortos, incluindo o Almirante Shovell. Esse foi o pior desastre naval da história britânica.

Uma extensa investigação se deu depois desse desastre, sendo concluído que o mesmo não foi gerado por imperícia ou imprudência do Almirante Shovell ou dos seus oficiais, mas sim, principalmente, pelo fato de as técnicas de navegação oceânicas na época não conseguirem precisar a longitude. Diante disso, algo precisava ser feito.

O Longitude Act

No início do século XVIII, as principais coroas europeias estavam em busca da “descoberta da longitude”, pois, em termos práticos, esse era considerado o principal problema técnico daquele período, e a nação que conseguisse solucionar essa questão teria enormes vantagens sobre as demais, visto que, com a determinação precisa da longitude no mar, as viagens transoceânicas teriam tempo reduzido, os custos do comércio além-mar seriam minorados, rotas de navegação seguras seriam plenamente determinadas e os acidentes nas longas viagens no mar seriam dramaticamente reduzidos. De fato, a nação que primeiro



Figura 5 – Rumo seguido pela esquadra do Almirante Shovell de Gibraltar (Cape Spartel) até as Ilhas Scilly (Scilly Isles), com destaque para a Ilha de Ouessant (Ushant). Fonte: [5]

dominasse a longitude teria grande facilidade em dominar o mundo, inclusive teria enorme vantagem na corrida pela colonização das terras ainda não exploradas pelos europeus.

No Reino Unido a situação não era diferente. Havia, desde o desastre nas Ilhas Scilly, uma forte pressão do setor naval inglês para que o governo chegasse a uma solução para o problema da longitude, culminando na promulgação do Longitude Act pelo Parlamento inglês em 9 de julho de 1714. O Longitude Act estabelecia uma generosa premiação para quem apresentasse um método “prático e útil” para a determinação da longitude no mar, que variava da seguinte forma:

a) 20 mil libras (ou cerca 3,5 milhões de dólares em valores atuais) para um método que determinasse a longitude com exatidão de 1/2 grau;

b) 15 mil libras para um método que determinasse a longitude com exatidão de 2/3 de grau; e
c) 10 mil libras para um método que determinasse a longitude com exatidão de 1 grau.

Para tanto, foi instituído o chamado Board of Longitude (Conselho da Longitude), que era composto por autoridades marítimas, científicas e políticas, entre as quais estavam o astrônomo real; o presidente da Royal Society (Sociedade Real), que na época era Sir Isaac Newton; o primeiro lorde do Almirantado; o presidente da House of Commons (Câmara dos Comuns); e professores de Matemática

das universidades de Oxford e Cambridge. Esse conselho seria o rigoroso julgador das propostas de solução do problema da longitude, tendo poderes inclusive de financiar ideias promissoras.

O generoso prêmio em dinheiro fez crescer o interesse da comunidade intelectual britânica sobre o tema da longitude, que tinha três principais linhas de ação para sua solução [6]: abordagem astronômica – eclipses das luas de Júpiter; abordagem astronômica – distância lunar; e abordagem mecânica – construção de um relógio naval de alta precisão.

Assim, deu-se início a uma corrida

pela glória financeira e intelectual para saber quem e qual área da ciência resolveria o grande problema técnico daquela geração.

A DESCOBERTA DA LONGITUDE

Havia uma forte pressão do setor naval inglês para que o governo solucionasse o problema da longitude, culminando na promulgação do Longitude Act

A tentativa de solução pelo Método dos Eclipses das Luas de Júpiter

Entre os métodos astronômicos que mais se mostravam aptos a resolver o problema da longitude estava o chamado Método dos Eclipses das Luas de Júpiter. Ao cientista florentino Galileu Galilei é creditado o pioneirismo da ideia de usar os eclipses das luas desse planeta para determinação da longitude na Terra, em 1613. Esse método fazia uso dos previsíveis e extremamente numerosos eclipses a que as quatro luas de Júpiter eram submetidas. De posse de uma tabela de efemérides³,

3 Previsões da posição de astros em determinados dias e horários.

um comandante poderia então determinar sua longitude no mar.

O Método dos Eclipses das Luas de Júpiter tinha, porém, alguns inconvenientes. O primeiro era o de não ser possível utilizar esse método durante o dia. O segundo era que as observações noturnas exigiam céu claro e só podiam ser feitas em parte do ano. Por fim, manter os satélites do planeta no campo de visão dos instrumentos de observação disponíveis à época, bem como os posicionar perfeitamente, era extremamente difícil com o balanço do mar. Assim, esse método para determinação da longitude no mar não se mostrava prático e útil, sendo, entretanto, bastante utilizado para determinação dessa coordenada em terra.

A tentativa de solução pelo Método da Distância Lunar

Um outro método astronômico que, teoricamente, poderia resolver o problema da longitude era o chamado Método da Distância Lunar. Ao cientista alemão Johann Werner é creditada a ideia de cálculo de longitudes avaliando a distância lunar, em 1514. Esse método foi constantemente aperfeiçoado durante os séculos XVI e XVII e consistia em se medir a altura da Lua e de algumas estrelas, bem como a distância entre a Lua e essas estrelas, comparando então todos esses dados coletados com tabelas astronômicas, que, por fim, permitiriam obter a longitude no local das observações.

O Método da Distância Lunar, assim como o Método dos Eclipses das Luas de Júpiter, tinha sérios inconvenientes em sua aplicação prática. A falta de tabelas

lunares completas e precisas era o primeiro deles. O segundo era a inexistência de instrumentos de observação e medição suficientemente precisos. Por fim, o uso desse método era muito moroso e complexo, demandando uso de diversas tabelas e equações para execução dos cálculos, o que gerava constantemente erros na estimativa da longitude, além de ser um processo bastante demorado (estima-se que levaria ao menos quatro horas o cálculo da longitude). Novamente, esse método não se mostrava prático e útil para determinação da longitude no mar, sendo aperfeiçoado ao longo do século XVIII – após a solução do problema da longitude pela criação do cronômetro naval –, em virtude de avanços na Física, na construção de instrumentos óticos de medição e de publicações de almanaques lunares mais completos e precisos, tornando, finalmente, esse método aplicável para a determinação da longitude no mar de forma prática em 1779, quando foi publicado um protocolo de aplicação naval dessa metodologia.

A solução do problema com a invenção do cronômetro naval

Havia ainda uma terceira vertente quando se falava nos métodos mais próximos de resolver o problema da longitude: a construção de um relógio suficientemente preciso que pudesse ser embarcado, o cronômetro⁴. A construção desse instrumento era um enorme desafio tecnológico, e a solução do problema da longitude pelo “simples” melhoramento de uma máquina era vista como uma heresia por grande parte dos intelectuais da época, já que se

⁴ Na horologia, que é a ciência que estuda instrumentos de medição do tempo, cronômetro é definido como um instrumento de medição do tempo de alta precisão. O senso comum atribui erroneamente o termo cronômetro a um instrumento de medição de intervalos de tempo, que na verdade se trata de um cronógrafo.

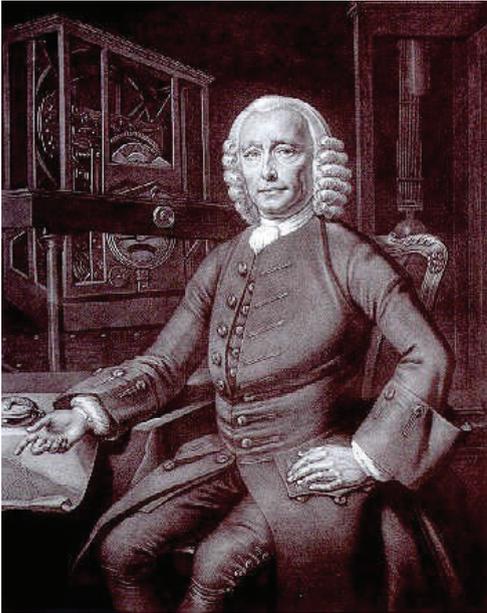


Figura 6 – Pintura de John Harrison, datada de 1767.
Fonte: [7]

entendia que a astronomia seria a ciência-mãe do problema.

A criação do cronômetro naval veio pelas mãos do carpinteiro e relojoeiro autodidata inglês John Harrison (Figura 6).

Harrison nasceu no seio de uma família humilde em 24 de março de 1693, no condado de Yorkshire. Quando tinha cerca de 19 anos, teve acesso a uma cópia de palestras manuscritas de filosofia natural do matemático Nicholas Saunderson, da Universidade de Cambridge. Harrison então manuscreeu uma cópia desse material para si e o estudou com afinco, culminando, cerca de um ano depois, sem qualquer motivação documentada, na criação do primeiro relógio de pêndulo feito por ele, construído praticamente todo em madeira.

Nos anos seguintes, Harrison produziu mais alguns relógios, sempre inserindo os mesmos toques de inventividade e saindo do senso comum da relojoaria da época. Ele se interessou pelo problema da longitude e, financiado por empréstimos pessoais, construiu, em 1735, após cinco anos de dedicação ao projeto, o seu primeiro relógio marítimo de precisão, o Harrison nº 1, ou H-1 (Figura 7).

O H-1 era verdadeiramente uma obra-prima da engenharia. Pesando cerca de 34 kg, o mecanismo do relógio era inserido em uma caixa cúbica de 1,3 m de lado, deixando à vista apenas sua face com quatro mostradores. Prometia resolver todos os inconvenientes técnicos que até então impediam que os relógios existentes apresentassem alta precisão no mar,

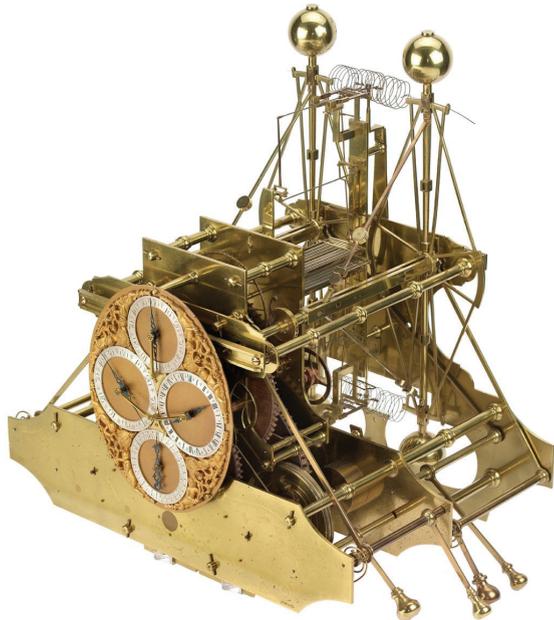


Figura 7 – Mecanismo interno do cronômetro naval H-1.
Fonte: [8]

tais como a mudança da viscosidade dos lubrificantes utilizados nas partes móveis, que variava muito devido às mudanças de temperatura e umidade do ar em uma longa travessia marítima (Harrison contornou o problema usando materiais e geometrias específicas nos componentes do H-1, que dispensavam o uso de lubrificantes), a contração e expansão dos componentes em virtude da variação da temperatura nas travessias navais (problema contornado por Harrison por meio do uso de um intrincado sistema de compensação mecânica de variações dimensionais dos componentes do H-1) e a posição de trabalho não fixa, em virtude do balanço do mar (Harrison resolveu isso implementando no H-1 um complexo sistema de hastes com pesos e contrapesos, que anulavam o efeito das mudanças de posição do relógio).

Harrison então apresentou, ainda em 1735, seu cronômetro ao Conselho da Longitude, que marcou um teste preliminar do aparelho no mar apenas no ano seguinte, enviando-o para uma viagem a bordo do *HMS⁵ Centurion* de Spithead (Inglaterra) até Lisboa (Portugal). Ao regressar à Inglaterra, foi indiscutível que o H-1 era extremamente preciso, tendo auxiliado na correção de rumo do *Centurion* diversas vezes durante o trajeto. Harrison então teria direito ao teste definitivo, preconizado em regulamento, para obtenção do título de “Descobridor da Longitude”: uma viagem até às Índias Ocidentais.

O nobre inventor, entretanto, tinha convicção de que poderia aprimorar bastante o seu H-1, reduzindo seu peso e tamanho e melhorando inclusive sua precisão. Para isso, solicitou um empréstimo ao Conselho da Longitude e um prazo de dois anos para projetar, construir e apresentar

o cronômetro naval Harrison nº 2, H-2, o que foi prontamente deferido.

Em 1739 Harrison apresenta então o H-2 ao Conselho da Longitude (Figura 8). Mesmo não sendo de porte reduzido, como desejava seu criador, o H-2 se mostrou tecnicamente bem superior ao H-1, com precisão significativamente superior.

Em testes preliminares, o H-2 se mostrou extremamente preciso e virtualmente imune às variações de temperatura e posição, estando apto ao teste oficial do Conselho da Longitude. Entretanto mais uma vez Harrison estava convicto de que ainda poderia melhorar o projeto, mostrando que preferia criar uma obra-prima da engenharia a ganhar os louros pelo descobrimento da longitude. Assim, foi solicitado um novo empréstimo ao Conselho, que foi deferido, viabilizando a

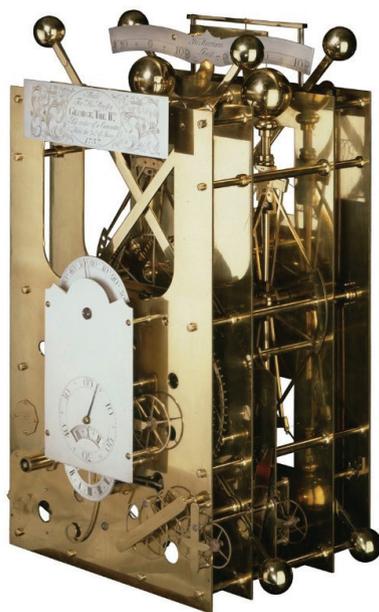


Figura 8 – Mecanismo interno do cronômetro naval H-2. Fonte: [9]

⁵ *Her/His Majesty's Ship* (Navio de Sua Majestade, em inglês), prefixo dos navios da Marinha Real britânica.

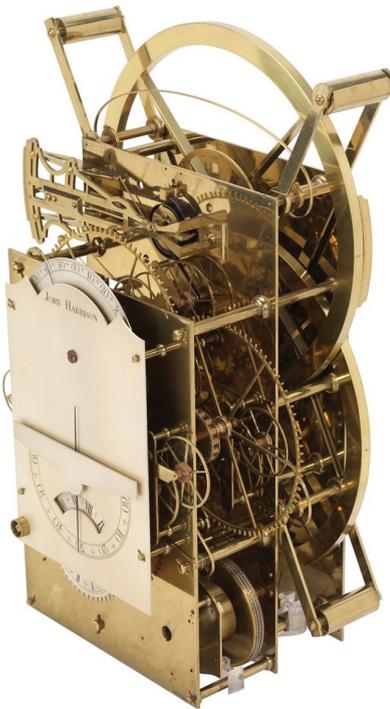


Figura 9 – Mecanismo interno do cronômetro naval H-3. Fonte: [10]

construção do cronômetro naval Harrison nº 3, H-3, após quase 20 anos de dedicação de Harrison ao projeto.

Pesando 27 kg e medindo cerca de 61 cm de altura e 31 cm de largura, o H-3 foi apresentado em 1757 (Figura 9). Composto por uma série de subsistemas extremamente complexos e inovadores, e que ainda são utilizados até os dias atuais, o H-3 foi prontamente reconhecido pelos especialistas da época como de fato uma obra-prima da engenharia.

Novamente, Harrison desejava aprimorar o projeto do seu cronômetro naval e, após mais dois anos de trabalho, apre-

sentou o Harrison nº 4, H-4, em 1759. Esse relógio tinha diâmetro de 12,5 cm e pesava apenas 1,5 kg, o que era surpreendente, considerando sua precisão e complexidade.

Em 1760, o H-4 foi apresentado ao Conselho da Longitude. Após testes preliminares, esse cronômetro foi embarcado, em 1761, no *HMS Deptford*, em uma viagem da Inglaterra até a Jamaica, nas Índias Ocidentais, sendo observado e testado durante todo o trajeto por um numeroso grupo de especialistas designados. Ao final de três meses de viagem, ao chegar em Port Royal, na Jamaica, em 19 de janeiro de 1762, constatou-se que o H-4 estava atrasado apenas cinco segundos, mesmo após 81 dias de viagem.

Porém o Conselho da Longitude, ao analisar os relatórios dos testes aos quais o H-4 fora submetido, pontuou algumas inconsistências na avaliação e decidiu fazer um novo teste de mar com o relógio. Em 1764, o H-4 foi embarcado no *HMS Tartar* da Inglaterra até Barbados, nas Índias Ocidentais, sendo submetido a testes significativamente mais rigorosos durante o trajeto e obtendo, ao final da jornada, o mesmo resultado que no teste de mar anterior: o relógio conseguia determinar a longitude no mar com exatidão muito inferior a meio grau, tendo na verdade se mostrado três vezes mais preciso que esse limite.

Após exaustivos testes complementares, no outono de 1764, finalmente o Conselho da Longitude reconheceu que John Harrison foi o primeiro a apresentar um método “prático e útil” para a determinação da longitude no mar e que o seu cronômetro marítimo H-4⁶ atendia aos requisitos para obtenção da premiação máxima oferecida

6 O H-4, assim como o H-1, o H-2 e o H-3, encontra-se exposto no Observatório Real de Greenwich, na Inglaterra. Todos esses cronômetros estão em funcionamento, com exceção do H-4, que se encontra parado visando preservar o seu grau de conservação para as gerações futuras.



Figura 10 – Cronômetro naval H-4. Fonte: [11]

pelo Longitude Act, a qual só fora integralmente paga ao inventor em 1773.

Após as notícias sobre os cronômetros navais de Harrison tomarem o mundo, diversos outros relojoeiros buscaram se inspirar em seus famosos projetos, já públicos, e criar seus próprios relógios

de precisão, o que barateou bastante o equipamento. O que se viu então foi uma rápida aderência dos comandantes de todo o mundo ao uso de cronômetros navais. Em 1815 existiam mais de 5 mil instrumentos em uso desse equipamento primário e indispensável a todo comandante da época.

CONCLUSÃO

O desconhecimento da longitude de uma embarcação no mar pode ser considerado o maior problema de ordem prática até o século XVIII, e a busca pela sua solução contribuiu para notáveis avanços nas ciências astronômicas e na engenharia.

Se sobrepondo aos métodos astronômicos para solução do problema da longitude, o cronômetro naval desenvolvido por John Harrison permitiu que se conhecesse essa coordenada no mar com precisão, sendo este um marco para a segurança da navegação oceânica, do comércio marítimo e do expansionismo europeu, além de ser um ponto de inflexão para a engenharia mecânica e para a horologia.

CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<ATIVIDADES MARINHEIRAS>; Acessórios; Arte Naval; Instrumento Náutico; Navegação;

REFERÊNCIAS

- [1] SOBEL, D. *Longitude – A verdadeira história do gênio solitário que resolveu o maior problema científico do século XVIII*. 1ª edição. São Paulo: Editora Companhia de Bolso, 2008.
- [2] ALMEIDA, B. “A Geografia de Ptolomeu ou o texto obsoleto mais importante de sempre”. Disponível em: <https://www.publico.pt/2018/06/25/ciencia/ensaio/a-geografia-de-ptolomeu-ou-o-texto-obsoleto-mais-importante-de-sempre-1835095>. Acesso em: 19 maio 2022.
- [3] GOMES, R. R. F. “Latitude e Longitude”. Disponível em: <https://www.infoescola.com/geografia/latitude-e-longitude/>. Acesso em: 19 maio 2022.

- [4] BEZERRA, J. “Astrolábio”. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/astrolabio/>. Acesso em: 20 maio 2022.
- [5] WIKIPEDIA. Scilly Naval Disaster of 1707. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Scilly_naval_disaster_of_1707. Acesso em: 23 maio 2022.
- [6] FIGUEIREDO, F. B. “Longitude – Uma longa e fascinante história”. Disponível em: <https://gazeta.spm.pt/getArtigo?gid=453>. Acesso em: 25 maio 2022.
- [7] WIKIPEDIA. John Harrison. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/John_Harrison. Acesso em: 27 maio 2022.
- [8] ROYAL MUSEUMS GREENWICH. H1. Disponível em: <https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-79139>. Acesso em: 27 maio 2022.
- [9] ROYAL MUSEUMS GREENWICH. H2. Disponível em: <https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-79140>. Acesso em: 30 maio 2022.
- [10] ROYAL MUSEUMS GREENWICH. H3. Disponível em: <https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-79141>. Acesso em: 30 maio 2022.
- [11] ROYAL MUSEUMS GREENWICH. H4. Disponível em: <https://www.rmg.co.uk/collections/objects/rmgc-object-79142>. Acesso em: 30 maio 2022.