



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br

As Marés: Borro, Patrizi, Bacon, Galileu, Newton e os Tupinambá.

Desde os tempos imemoriáveis, as **marés** sempre foram objeto de relatos observacionais dos navegantes que usavam qualquer espécie de embarcação. Apesar disso, esse fenômeno não recebeu nenhum tipo de explicação, até mesmo pelos astrônomos e filósofos da Antiguidade. Por exemplo, o filósofo grego Aristóteles de Estagira (384-322) em seu livro no qual abordou o Cosmos, o **De Caelo** (“Sobre os Céus”) [**The Great Books of the Western World 7** (Encyclopaedia Britannica, Inc./Chicago University, 1993)], não chegou a fazer nenhum comentário sobre aquele fenômeno (pelo menos explicitamente, que eu saiba), assim como o astrônomo grego Cláudio Ptolomeu (85-165) também não mencionou as **marés** em nenhum dos 13 Livros que compõem seu famoso **Almagest** [**The Great Books of the Western World 15** (Encyclopaedia Britannica, Inc./Chicago University, 1993)], concluído em 151 d.C.

As **marés** apresentam quatro principais características: a) um ciclo de seis horas (duas **altas** e duas **baixas**, por dia); b) o movimento mensal de restituição desse ciclo; c) o movimento quinzenal do aumento das **marés** nos *novilúnios* (Lua nova: Sol, Lua e Terra) e *plenilúnios* (Lua cheia: Sol, Terra e Lua); d) o movimento semestral do aumento das **marés** nos *equinócios*. É oportuno destacar que os *equinócios*, na linguagem ptolomaica, são dois pontos em que a órbita do Sol cruza o equador celeste: **vernal**, quando o Sol caminha do sul para o norte, e acontece aproximadamente no dia 21 de março no hemisfério norte; **outonal**, no caminho solar do norte para o sul, e ocorre em torno do dia 23 de setembro, também no hemisfério norte; no hemisfério sul, essas datas são trocadas. Ainda é interessante destacar que a **energia das marés** é estimada em $\approx 4 \times 10^{18}$ joules/ano, e ela tem sido considerada como uma forma alternativa de energia para ajudar no consumo energético de nosso planeta. [Alan Isaacs (Editor), **Dictionary of Physics** (Warner Books, 1985)].

Muito embora o erudito inglês, Beda, o Venerável (673-735) – o autor da notação A.D. [*Anno Domini* (Ano do Senhor) – Era Cristã] – haja considerado as **marés** como consequência da ação da Lua sobre as águas terrestres e apresentado métodos para medi-las, só foi com o advento das **grandes navegações** [Bartolomeu Dias (c.1450-1500), 1488; Cristovão Colombo (1451-1506), 1492; Vasco da Gama (c.1460-1524), 1497; Pedro Álvares Cabral (1467/1468-1520), 1500; Fernão de Magalhães (c.1480-1521), 1519], que aumentaram bastante as informações sobre as **marés** e, portanto, havia necessidade de uma explicação mais precisa sobre as mesmas. Assim, as primeiras tentativas de explicar as **marés** aconteceram na segunda metade do Século 16. Com efeito, em 1577, o filósofo e médico italiano Girolamo Borro (1512-1592), professor da *Universidade de Pisa*, publicou o livro intitulado **Del Flusso, e Reflusso del mare, e dell’Inondatione del Nilo** (“Do Fluxo e Refluxo do Mar, e da Inundação do Nilo”), no qual dizia que, por influência da Lua, as **marés** decorriam do aumento de temperatura dos mares e rios e sua consequente dilatação. Por sua vez, o filósofo italiano Francesco Patrizi da Cherso (1529-1597), no livro denominado **Nova de Universis Philosophia** (“Nova Filosofia do Universo”), publicado em 1591, desenvolveu uma teoria da “simpatia” entre a Lua e as águas oceânicas, pela qual, de sua posição distante da Terra, a Lua provocava uma “febre” nessas águas e, por isso, as alterava (**marés**). Essa

influência a distância provocada pela Lua sobre as **marés** ficou conhecida como **doutrina lunar**. [Pietro Redondi, **Galileu Herético** (Companhia das Letras, 1991); James Reston, Jr., **Galileu: Uma Vida** (José Olympio, 1995); Ludovico Geymonat, **Galileu Galilei** (Nova Fronteira, 1997)].

A **doutrina lunar** foi analisada e questionada pelo filósofo francês Francis Bacon, Lord Verulam (1561-1626), em um texto inédito com o título: **De fluxu et refluxu maris** (“Do fluxo e refluxo do mar”), escrito por volta do final de 1611. Ao ler o trabalho de Patrizi, Bacon refutou a principal tese de sua doutrina que é a presença “simpática” da Lua (e também do Sol) que promove as **marés**, uma vez que ela não explicava a razão de haver **duas marés diárias**. Desse modo, Bacon, que era defensor do modelo geocêntrico ptolomaico (vide verbete nesta série), explicou o movimento das **marés** como decorrência da rotação diária, em 24 horas, do céu das estrelas fixas, já que essa rotação afetava consensualmente (causa comum universal) todo o sistema solar até então conhecido, que ia de Mercúrio até Saturno. É oportuno observar que Bacon também não explicou a razão das **duas marés diárias**. Para maiores detalhes dessa explicação baconiana, ver: Pablo Rubén Mariconda, **Francis Bacon e as marés: a concepção da natureza e o mecanicismo** (*Scientiae Studia* 5, Outubro-Dezembro de 2007)].

É interessante destacar que as **duas marés cheias** que acontecem no *novilúnio* e *plenilúnio* (que provocam o famoso fenômeno da **pororoca**: violento encontro das águas do Oceano Atlântico com as águas do Rio Amazonas) eram explicadas pelos índios **tupinambá**, que habitaram o litoral brasileiro, como sendo devido à Lua ao provocar o fluxo e o refluxo do mar. Esse fato foi relatado pelos monges e entomólogos franceses, Claude d’Abbeville (? -1632), no livro de nome **Historie de la mission des pères capucins em l’isle de Maragnan et terres circonvoisines** (“História da missão dos padres capuchinhos na ilha do Maranhão e terras circunvizinhas”), publicado em 1614, e Yves d’Évreux (1577-1632), no livro de nome **Voyage dans le nord du Brésil** (“Viagem ao norte do Brasil”), de 1615, nos quais descreveram sua participação na missão religiosa francesa enviada ao Maranhão, em 1612. Sendo entomólogos, os amigos d’Abbeville e d’Évreux confirmaram, no convívio com os índios **tupinambá**, o que também a Mitologia Indígena Brasileira registrava: maior incidência dos mosquitos na Lua cheia do que na Lua nova. Desse convívio, eles identificaram e batizaram com nomes indígenas diversos insetos, tais como as grandes borboletas azuis, as mutucas, as abelhas silvestres, as formigas, as cigarras, os grilos e os mosquitos. Será que foram eles que denominaram de *k(c)arapanã*, o popular mosquito do norte brasileiro (pernilongo, no sudeste e sul do Brasil) ou os **Tupinambá** já haviam dado esse nome de origem tupi-guarani? [Germano Bruno Afonso, **Galileu e a Natureza dos Tupinambá** (*Scientific American Brasil* 84, p. 60, Maio de 2009; verbetes no *Wikipedia*, sobre Patricius e d’Abbeville; e no *MundoGeo*, sobre Astronomia Indígena (acesso 28/12/2010)]. Note-se que, em Belém do Pará, os **tupinambá** receberam com violência o descobridor de minha cidade, o Capitão mór português Francisco Caldeira de Castelo Branco (1566-1618) e sua frota, quando aportaram, em 16 de janeiro de 1616, e fundaram o **Forte do Presépio** (hoje **Forte do Castelo**, pertencente ao *Complexo Feliz Luzitânia*), no Bairro da Cidade Velha. Como a grande maioria desses índios da família dos **tupi-guarani** resistiram à colonização, foram então dizimados pelos soldados de Castelo Branco, no Bairro do Guamá, onde, em uma parte litorânea dele, se localiza o *Campus da Universidade Federal do Pará*. [Agradeço essa informação a minha mulher, a escritora brasileira Célia Coelho Bassalo (n.1939)].

Voltemos à **doutrina lunar**. Enquanto Bacon refutou essa doutrina defendida por Patrizi, conforme vimos acima, o astrônomo, físico e matemático italiano Galileu Galilei (1564-1642) refutou essa mesma doutrina, que também havia sido expressa no citado livro de Borro, ex-professor e agora seu colega de magistério da *Universidade de Pisa*. Com efeito, poucos dias antes do Ano Novo de 1616, Galileu teve uma longa conversa com seu amigo o Cardeal

Alessandro Orsini (1592-1626) sobre as **marés**. Impressionado com o que havia ouvido de Galileu sobre a **preamar** e a **baixa-mar**, o Cardeal pediu-lhe que escrevesse sobre essas ideias. Assim, dez dias depois daquela conversa, em 08 de janeiro de 1616, Galileu enviou ao seu amigo Cardeal o texto intitulado **Discorso sul Flusso e Riflusso del Mare** (“Discurso sobre o Fluxo e Refluxo do Mar”), no qual refutou o argumento de Borro dizendo que, se a Lua esquentava as águas e provoca as **marés**, então o Sol, que é muito mais quente, deveria produzir uma **vaga de marés**, o que, no entanto, não acontece. Então, sendo partidário da teoria copernicana (vide verbete nesta série), que dizia que a Terra possuía dois movimentos: um de translação em torno do Sol, e um de rotação da Terra em torno de seu eixo, Galileu explicou as **marés** como sendo decorrência desses dois movimentos e, que, portanto, nada tinham a ver com a Lua e nem com o Sol. Um dos argumentos utilizados por Galileu para essa explicação foi o de que uma bacia com água, ao ser posta em movimento, seu nível se eleva e se abaixa.

Essa explicação galileiana foi criticada pelo seu amigo, o jurista italiano Monsenhor Francisco Ingoli (1578-1649), em fevereiro de 1616. Como a Igreja já não estava satisfeita com os trabalhos de Galileu, escritos em 1610 [**Sidereus Nuncius** (“O Mensageiro das Estrelas”)] e em 1613 [**Istoria e Dimonstrazioni Intorno alle Machie Solari e loro Accidenti** (“História e Demonstrações Relativas às Manchas Solares e seus Fenômenos”)], nos quais usou o modelo copernicano, Galileu demorou em responder a Ingoli, mesmo porque, em 03 de março de 1616, a Igreja tinha proclamado um **Édito** ratificando a proibição do sistema copernicano. Assim, somente em 1624, ele enviou a carta-resposta a Ingoli, corroborando sua defesa do modelo copernicano, carta essa que já havia sido lida por vários amigos de Galileu, inclusive o astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630), com quem já havia discutido, em 1597, suas ideias sobre as **marés**. Em defesa de seu amigo Galileu, Kepler escreveu em, 1618, uma diatribe contra Ingoli chamada **Epitome astronomiae Copernicanae** (“Epítome da Astronomia Copernicana”), logo colocada no *Índex* da Igreja. (**Marées**, Google; Reston, op. cit.; Geymonat, op. cit.).

Galileu voltou ao tema das **marés** na Quarta Jornada de seu polêmico livro (que o levou à *Santa Inquisição*), de 1632, intitulado **Dialogo sopra i due Massimi Sistema del Mundo Tolemaico e Copernicano** (“Diálogo sobre os dois Principais Sistemas do Mundo, o Ptolomaico e o Copernicano”) [Tradução, Introdução e Notas de Mariconda (Discurso Editorial/FAPESP, 2001)], no qual, por intermédio do personagem Salviati, Galileu diz: - *Afirmo, portanto, que três são os períodos que se observam nos fluxos e refluxos das águas marinhas. O primeiro e principal e este grande e conhecidíssimo, ou seja, o diurno, segundo o qual com intervalos de algumas horas as águas sobem e baixam; e esses intervalos são no Mediterrâneo, na sua maior parte, de aproximadamente 6 e 6 horas, ou seja durante 6 horas as águas sobem e em outras seis horas baixam. O segundo período é mensal, e parece ter origem no movimento da Lua; não que ela introduza outros movimentos, mas somente altera a grandeza dos já mencionados, com notável diferença conforme seja cheia, nova ou esteja em quadratura com o Sol. O terceiro período é anual, e mostra depender do Sol, alterando tão somente os movimentos diurnos, ao fazê-los, nos solstícios, diferente quanto à grandeza do que são nos equinócios.*

Em toda a discussão sobre as **marés** registradas na Quarta Jornada de seu **Dialogo**, Galileu não explicou porque existem **duas marés diárias**. Essa explicação só foi dada pelo físico e matemático Sir Isaac Newton (1642-1727) em seu famoso **Philosophiae Naturalis Principia Mathematica** (“Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”) [**The Great Books of the Western World 32** (Encyclopaedia Britannica, Inc./Chicago University, 1993)], publicado em 1687. Para Newton, as **marés** (marítimas e terrestres) se deviam à força de gravitação entre a Lua (com uma contribuição parcial do Sol, um pouco menor da metade da contribuição da Lua) e, respectivamente, as partes líquida e sólida de nosso planeta.

Concluindo este verbete, vejamos como explicar as **marés altas** e **marés baixas**, e porque elas ocorrem duas vezes ao dia. Os termos quadráticos (importantes para explicar as **marés**) correspondentes aos componentes radial (g_r) e angular (g_θ) do campo gravitacional (\vec{g}) da Lua pela ação da Terra são dados por [Thomas Walter Bannerman Kibble, **Mecânica Clássica** (Polígono, 1970)]:

$$g_r = (G m r/a^3) (3 \cos^2 \theta - 1) \text{ e } g_\theta = - (3 G m r/a^3) \cos \theta \sin \theta,$$

onde G é a **constante universal de gravitação**, m é a massa da Lua, r é a posição de um ponto qualquer da Terra, a é a distância do centro da Terra ao centro da Lua, e θ é o ângulo entre as direções de r e de a , que varia de acordo com a rotação da Terra. Depois de 12 horas de rotação terrestre, esse ângulo assume o valor de $\theta + \pi$ (lembrar que em cada 6 horas, a rotação da Terra é de $\pi/2$). Considerando que $\cos(\theta + \pi) = -\cos \theta$ e $\sin(\theta + \pi) = -\sin \theta$, então os valores de g_r e g_θ são os mesmos para θ . Essa é a razão de haver **duas marés diárias**. Por fim, analisemos a situação das **marés altas** que ocorrem quando Sol, Terra e Lua (Lua Cheia) e Sol, Lua e Terra (Lua Nova) estão alinhados, ou seja: $\theta_{LC} = 0^0$ e $\theta_{LN} = 180^0$. Ora, sendo então $\sin \theta_{LC} = \sin \theta_{LN} = 0$ e $\cos \theta_{LC} = +1$ e $\cos \theta_{LN} = -1$, as expressões assumirão os valores: $g_r = 2 G m r/a^3$ e $g_\theta = 0$. No caso das **marés baixas**, que ocorrem quando o Sol e a Lua estão em quadratura ($\theta = \pi/2$ e $3\pi/2$, para os quais o cosseno é nulo e o seno vale, respectivamente: $+1$ e -1) em relação ao nosso planeta, então virá: $g_r = -G m r/a^3$ e $g_\theta = 0$. É oportuno destacar que as **marés** não ocorrem exatamente no ciclo de 6 horas por causa do deslocamento da Lua (**Marées**, op. cit.).



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)