
MARÉS, FASES PRINCIPAIS DA LUA E BEBÊS⁺*

Fernando Lang da Silveira
Instituto de Física – UFRGS
Porto Alegre – RS

Resumo

Os mecanismos responsáveis pelas marés são discutidos, utilizando-se uma matemática acessível a alunos de ensino médio; demonstra-se que tanto a Lua, quanto o Sol são responsáveis pelos efeitos de maré nos oceanos. Apesar da força gravitacional do Sol na Terra ser aproximadamente 200 vezes maior do que a da Lua, os efeitos solares de maré são aproximadamente 2 vezes menores do que os lunares. Uma crença popular muito difundida afirma que o número de nascimentos de bebês está correlacionado com as fases da Lua; apresenta-se um estudo com 104616 datas de nascimento que contradiz essa crença popular.

Palavras-chave: *Marés, forças inerciais, fases da Lua, nascimentos de humanos.*

Abstract

The mechanisms responsible for the tides are discussed, using mathematics that is accessible to secondary school students; we show that both the Moon and the Sun are responsible for the tidal effects on the oceans. Despite the gravitational pull of the Sun on the Earth being approximately 200 times greater than that of the Moon, solar tidal effects are approximately half those of the lunar effects. We present a study of 104,616 dates of birth, with the intention of identifying evidence for or against the alleged influence of the Moon over children's births.

⁺ Tides, main lunar phases and babies

^{*} *Recebido: maio de 2002.
Aceito: fevereiro de 2003.*

Keywords: *Tides, inertial forces, phases of the moon, human's births.*

I. Introdução

São muitas as crenças populares que relacionam as fases da Lua com acontecimentos terrenos. Não poderiam faltar aquelas que se referem ao nascimento de bebês. É comum ouvir-se afirmações tais como: “*Nascem mais bebês nos dias de mudança de fase¹ da Lua!*” ou “*Nascem mais bebês na Lua Cheia!*”. Recentemente escutei um programa radiofônico no qual uma astróloga usou o seguinte argumento: “*Se a Lua é capaz de agir nas enormes massas de água dos oceanos, como ela não teria efeito sobre os líquidos no útero da mãe ou sobre outros fluidos corporais, influenciando no crescimento dos nossos cabelos?*”. Sem dúvida, um persuasivo argumento, especialmente quando apresentado a quem desconhece como as marés ocorrem, que é o caso da maioria das pessoas. De um modo geral, elas sabem que as marés existem; às vezes já as observaram no mar, nunca, porém, viram uma maré ocorrer em uma bacia ou em um açude...

Neste trabalho inicialmente explicaremos como ocorrem as marés, utilizando uma matemática acessível a alunos de ensino médio. A astróloga centrou o seu argumento na Lua, parecendo desconhecer que o Sol contribui com cerca de um terço do efeito total de maré. A compreensão destes mecanismos² ajudará a entender a razão pela qual não poderíamos observar marés em pequenas porções de água como um açude. Adicionalmente compreenderemos que a elevação dos oceanos não se dá apenas no lado da Terra voltado para o astro (concepção errada), mas também no lado diametralmente oposto. A Fig. 1 representa a concepção errada e a correta sobre as marés; é importante destacar que a espessura dos oceanos está muito exagerada, não guardando relação de escala com o raio da Terra (as maiores profundidades oceânicas são da ordem de 10 km; o raio da Terra é aproximadamente 6400 km; como veremos adiante o desnível médio entre a maré alta e baixa é de apenas 1m).

¹ O dia que o vulgo diz ser o da “*mudança de fase*”, a astronomia denomina como o dia de uma “*fase principal*” da Lua. A Lua está sempre mudando de fase (aparência para um observador terrestre); entretanto convencionou-se estabelecer quatro fases principais para a Lua: Lua Nova, Lua Quarto Crescente, Lua Cheia e Lua Quarto Minguante. Na seção 2.4 apresentamos uma explicação para as “*quatro fases principais*” da Lua.

² Remonta ao século XVII a explicação dos mecanismos de maré pelo físico Isaac Newton (1643 – 1727).

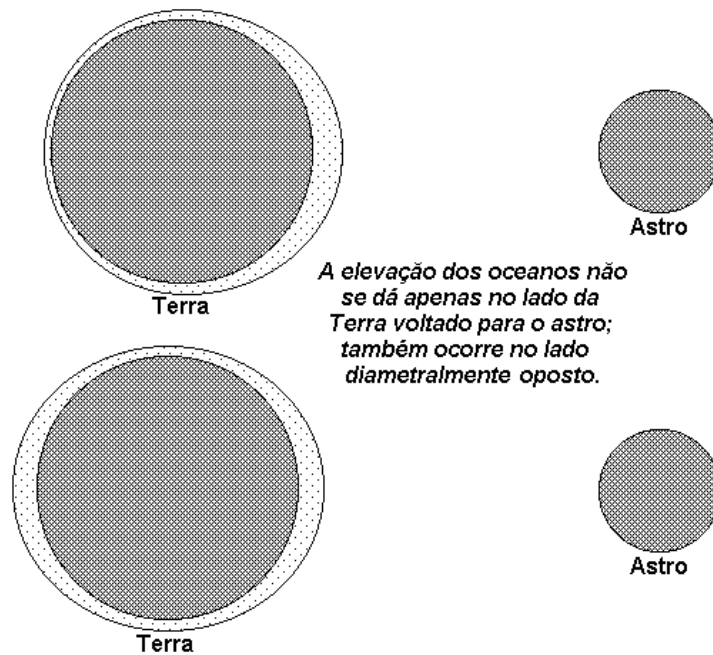


Fig. 1- Concepção errada e correta sobre as marés.

No final deste trabalho apresentamos um estudo com 104616 datas de nascimento, contradizendo a crença popular que nos dias das quatro fases principais da Lua aumenta o número de nascimentos ³.

II. Como ocorrem as marés

Na Terra, as marés devem-se ao fato do campo gravitacional de um dado astro⁴ (a Lua, o Sol ou qualquer outro corpo do sistema solar) na região ocupada pelo nosso planeta não ser uniforme, isto é, as ações do astro sobre a Terra são diferentes em diferentes pontos da própria Terra. Para compreendermos isto, começaremos com um sistema muito simples e extremamente idealizado.

³ Em Silveira (2001a) encontra-se um estudo semelhante, com 93124 datas de nascimento.

⁴ A Terra sofre ações por parte de qualquer corpo do sistema solar (e também age sobre qualquer um deles). São facilmente perceptíveis os efeitos de maré produzidos pelo Sol e pela Lua; a Lua apesar de ter massa muito menor que a do Sol, está muito mais próxima da Terra do que o Sol. Como demonstraremos adiante, os efeitos de maré destes dois astros têm a mesma ordem de grandeza, o que se constitui em uma notável coincidência.

II. 1. Sistema de três corpos em um campo gravitacional não-uniforme

Por simplicidade, imaginemos três corpos (partículas) com a massa de 1 kg, submetidos a um campo gravitacional não-uniforme. Suponhamos que o campo gravitacional⁵ sobre os três corpos tenha a mesma orientação mas varie em intensidade, conforme representado na Fig. 2. O corpo que produz tal campo não está representado na Fig. 2, podendo ser imaginado à direita dos três corpos.

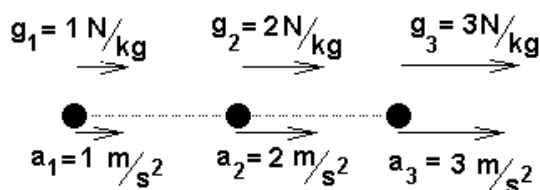


Fig. 2- Três corpos de 1 kg submetidos a um campo gravitacional não-uniforme sofrem acelerações diferentes.

A Fig. 2 também representa, para cada um dos corpos, a aceleração por ele sofrida, obtida imediatamente da aplicação das Leis de Newton. Por exemplo, visto que a força gravitacional⁶ sobre o corpo 3 tem intensidade de 3 N ($1\text{kg} \times 3\text{N/kg}$), esta produz a aceleração de 3 m/s^2 ($\frac{3\text{N}}{1\text{kg}} = 3\text{ m/s}^2$). Supondo-se que, inicialmente, cada um dos três corpos esteja em repouso em relação aos demais, é fácil de se concluir que o afastamento entre eles irá aumentar, pois logo em seguida não mais estarão em repouso, deslocando-se com diferentes velocidades: o corpo 3 terá velocidade maior do que a do corpo 2 e este, por sua vez, maior do que a do corpo 1.

Suponhamos agora que os três corpos estejam ligados por hastes finas e leves, conforme a Fig. 3. Assim as distâncias relativas não podem ser alteradas, o que significa dizer que os três corpos devem sofrer a mesma aceleração. Esta é facilmente calculável, bastando que dividamos a força gravitacional resultante sobre o sistema

⁵ O campo gravitacional pode ser descrito por um vetor: o *vetor intensidade do campo gravitacional* (\vec{g}). Este informa qual é a força gravitacional que atuaria sobre uma massa unitária localizada no ponto em questão; o seu módulo, no Sistema Internacional de unidades de medida, tem a dimensão de $\frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

⁶ A força gravitacional é igual ao produto da massa da partícula pela intensidade do campo gravitacional que sobre ela age, isto é, $\vec{F}_G = m \vec{g}$.

($1\text{ N} + 2\text{ N} + 3\text{ N} = 6\text{ N}$) pela massa do sistema (3 kg); obtém-se desta forma a aceleração de 2 m/s^2 .

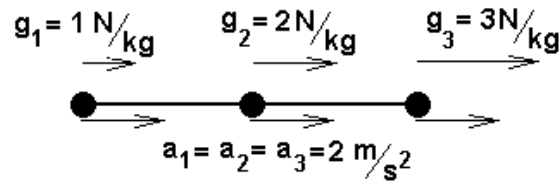


Fig. 3- Três corpos de 1 kg , ligados por hastes leves, submetidos a um campo gravitacional não-uniforme, sofrem a mesma aceleração.

Para que os três corpos sofram a mesma aceleração, as hastes que os unem devem estar tensionadas. O corpo 3, sob a ação da força produzida pelo campo gravitacional (3 N), teria aceleração de 3 m/s^2 ; todavia, sofre uma aceleração menor (2 m/s^2). Para que isto ocorra, deve haver uma força exercida pela haste sobre o corpo 3, orientada para a esquerda. Sobre o corpo 1, que tem uma aceleração maior (2 m/s^2) do que a produzida pelo campo gravitacional (1 m/s^2), deve existir uma força, devida à haste, para a direita. Este exemplo numérico mostra que um campo gravitacional não-uniforme aplicado sobre um sistema extenso, determina o aparecimento de forças internas ao sistema. Qualquer sistema real (por exemplo, a Terra) não é rígido e, portanto, a ocorrência dessas forças internas, devidas à não-uniformidade do campo gravitacional externo (por exemplo, devido ao Sol ou à Lua), estará associada a deformações do sistema (as marés).

Uma outra maneira de tratarmos o sistema na situação da Fig. 3 é aplicando as Leis de Newton em um referencial acelerado. Em referenciais acelerados cada corpo sofre, além das forças reais –forças causadas por outros corpos e que, portanto, obedecem à Terceira Lei de Newton–, a chamada força inercial⁷. A força inercial somente ocorre em sistemas de referência acelerados; ela também é denominada de força fictícia, pois viola a Terceira Lei de Newton, já que não é causada por outro corpo. A força inercial sobre cada corpo tem sentido contrário ao da aceleração do referencial e seu módulo é igual à massa do corpo multiplicada pela aceleração do referencial. Se escolhermos como referencial o próprio sistema –isto é extremamente conveniente, pois, então, todos os três corpos encontram-se em repouso, ou seja a situação é estática– e, como todos os corpos têm a mesma massa, verificaremos que, sobre cada um deles, há uma força inercial de 2 N ($1\text{ kg} \times 2\text{ m/s}^2$), dirigida para a esquerda (em sentido contrário ao da aceleração do referencial). A Fig. 4

⁷ O estudo das *forças inerciais* no ensino médio parece ser um assunto proibido pois, de um modo geral, os livros texto o omitem; uma exceção digna de nota encontra-se em Gaspar (2001).

representa, sobre cada um dos três corpos, a força devida ao campo gravitacional (\vec{F}_{G_j}) externo ao sistema, que rotulamos com um índice j ($j = 1, 2$ ou 3), e a *força inercial* que ocorre no referencial acelerado do próprio sistema (\vec{F}_{I_j}); nesta figura não estão representadas as forças internas ao sistema (as forças tensoras nas hastes).

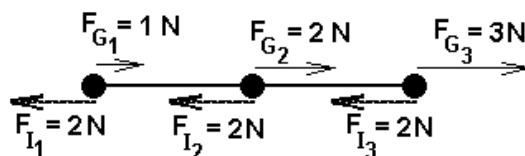


Fig. 4- Força gravitacional (para a direita) e força inercial (para a esquerda) no referencial acelerado, aplicadas a cada um dos corpos do sistema.

Isto posto, podemos definir o que é a *força de maré* sobre qualquer corpo do sistema (\vec{F}_{M_j}): é a resultante da soma vetorial da força gravitacional, devida ao campo gravitacional externo, com a força inercial, no referencial acelerado por tal campo externo. Ou seja:

$$\vec{F}_{M_j} = \vec{F}_{G_j} + \vec{F}_{I_j} \quad (1)$$

Aplicando esta definição a cada um dos três corpos do nosso sistema, encontraremos o que está representado na Fig. 5.

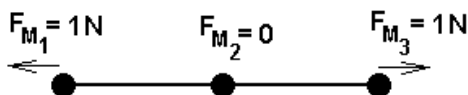


Fig. 5- Força de maré sobre cada um dos corpos do sistema.

Nesta altura é importante ressaltar que a representação da figura 5 é válida apenas no referencial do sistema, no qual cada um dos corpos se encontra em repouso. Isto é possível graças a forças internas ao sistema (neste caso, forças tensoras nas hastes) não indicadas na figura⁸. O sistema está acelerado para a direita devido ao campo gravitacional externo. Se admitirmos que as hastes não são rígidas, é fácil concluir que elas serão deformadas devido às *forças de maré* \vec{F}_{M_1} e \vec{F}_{M_3} .

Até este ponto a dedução feita nos auxilia a entender a origem das *forças de maré* num singelo sistema de três partículas imersas em um campo gravitacional não-uniforme. A seguir discutiremos as *forças de maré* em uma situação mais realística.

⁸ Caso os três corpos não estejam ligados por hastes e estejam inicialmente em repouso, é fácil concluir que a distância entre eles aumentará. Já havíamos obtido esta conclusão anteriormente, analisando a situação em um sistema de referência inercial, no qual os três corpos estão acelerados.

II. 2. Forças gravitacionais do Sol e da Lua na Terra

Se admitirmos que o Sol e a Terra são corpos com distribuição esférica de massa, poderemos calcular o módulo da força gravitacional que o Sol exerce sobre a Terra pela Lei da Gravitação Universal:

$$F_{\text{Terra,Sol}} = \frac{G M_T M_S}{d_{T,S}^2} \quad (2)$$

onde G é a constante da gravitação universal, M_T é a massa da Terra, M_S é a massa do Sol e $d_{T,S}$ é a distância Terra–Sol.

Em seguida, utilizando a Segunda Lei de Newton, calculamos a aceleração que a Terra sofre devido à ação gravitacional do Sol.

$$a_{T,S} = \frac{F_{T,S}}{M_T} = \frac{\frac{G M_T M_S}{d_{T,S}^2}}{M_T} = \frac{G M_S}{d_{T,S}^2} \quad (3)$$

A Lua exerce uma força gravitacional sobre a Terra, acelerando-a também. Assim, é fácil de se obter a aceleração que a Terra sofre por parte da Lua, bastando que, na equação 3, a massa do Sol seja substituída pela da Lua e a distância Terra–Sol seja substituída pela distância Terra–Lua. Obtém-se então:

$$a_{T,L} = \frac{G M_L}{d_{T,L}^2} \quad (4)$$

Desta forma, a aceleração que a Terra sofre devido ao campo gravitacional do Sol, não depende da massa da Terra. Introduzindo os valores numéricos na equação 3,

$G = 6,67 \times 10^{-11} \frac{\text{N.m}^2}{\text{kg}^2}$, $M_S = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$ e $d_{T,S} = 1,50 \times 10^{11} \text{ m}$, encontramos, para a

aceleração que a Terra sofre devido ao Sol, o seguinte valor:

$$a_{T,S} = 5,90 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5,90 \frac{\text{mm}}{\text{s}^2} \quad (5)$$

Esta aceleração, apesar de muito pequena quando comparada às acelerações de corpos que caem próximos à superfície da Terra, é responsável por manter a Terra em sua trajetória anual em torno do Sol.

Analogamente substituindo na equação 4, $M_L = 7,36 \times 10^{22} \text{ kg}$ e $d_{T,L} = 3,82 \times 10^8 \text{ m}$, podemos determinar o seguinte valor da aceleração da Terra produzida pela Lua:

$$a_{T,L} = 3,40 \times 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,0340 \frac{\text{mm}}{\text{s}^2} \quad (6)$$

A aceleração da Terra produzida pela Lua é quase 200 vezes menor do que a produzida pelo Sol. Ou seja, a força gravitacional do Sol sobre a Terra é quase 200 vezes maior do que a da Lua⁹. Apesar de pequena, a aceleração produzida pela Lua sobre a Terra é importante para o movimento do sistema Terra–Lua. Ela é responsável por fazer com que o centro de massa da Terra descreva uma trajetória aproximadamente circular em torno do centro de massa do sistema Terra–Lua¹⁰. A Fig. 6 representa o movimento do sistema Terra–Lua. Tanto a Terra quanto a Lua descrevem órbitas aproximadamente circulares em torno do centro de massa (CM) deste sistema, com período de 27,3 dias. O centro de massa do sistema Terra–Lua situa-se a aproximadamente 0,74 raios terrestres do centro da Terra.

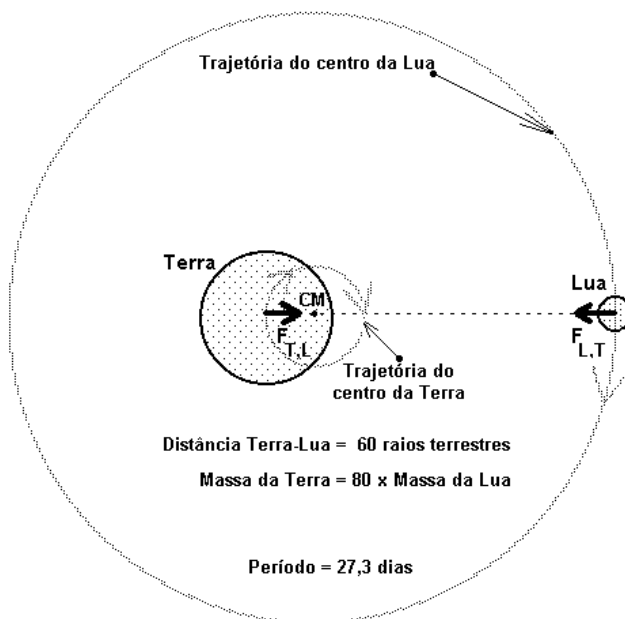


Fig. 6- A Terra e a Lua orbitam em torno do centro de massa do sistema Terra–Lua.

⁹ Pode-se facilmente demonstrar que a força exercida pelo Sol sobre a Lua é cerca de duas vezes mais intensa do que a exercida pela Terra sobre a Lua. O Provão–2000 incluiu, para os licenciados em Física, uma questão relativa a este fato, perguntando: porque então a Lua não é arrancada de sua órbita em torno da Terra? A resposta não é trivial e pode ser encontrada em Silveira e Axt (2000).

¹⁰ O centro de massa do sistema Terra–Lua descreve uma volta em torno do Sol, em uma órbita aproximadamente circular, em um ano. A Terra descreve uma rotação completa em torno do seu próprio eixo em um dia. A Lua descreve uma rotação completa em torno de seu próprio eixo com exatamente o mesmo período da sua translação em torno do centro de massa do sistema Terra–Lua, isto é, em 27,3 dias. Esta *sincronia* dos dois movimentos da Lua, leva a que apresente sempre a mesma face para a Terra; foge do escopo deste trabalho dar uma justificativa pormenorizada para tal *sincronia*. Entretanto, destacamos que em um passado distante ela não existia, vindo a ocorrer em consequência da perda de energia cinética de rotação da Lua em torno de seu eixo, provocada pela frenagem das *forças de maré* da Terra sobre a Lua.

Veremos, a seguir, que apesar de a aceleração produzida pela Lua na Terra ser aproximadamente 200 vezes menor do que a produzida pelo Sol na Terra, as *forças de maré* lunares são aproximadamente 2 vezes maiores do que as solares.

II. 3. Forças de maré lunar e solar na Terra

Para calcularmos a *força de maré* lunar sobre um corpo (partícula) de massa m em um ponto da Terra, devemos encontrar a resultante da soma da força gravitacional que a Lua exerce com a *força inercial* no sistema de referência da Terra, acelerado pela Lua, sobre este corpo (vide a definição de *força de maré*, conforme a equação 1). A Fig. 7 representa, em diversos pontos da Terra, as duas forças sobre um corpo de massa m ; a *força inercial* em qualquer ponto da Terra tem sempre a mesma orientação e intensidade, pois ela depende apenas da massa do corpo e da aceleração do referencial. A aceleração do referencial é a aceleração do centro de massa da Terra, produzida pela Lua; como esta aceleração aponta para a Lua, a *força inercial* sobre um corpo de massa m será sempre a mesma, com sentido contrário ao da aceleração do referencial. O que varia de ponto para ponto da Terra é a força gravitacional com a qual a Lua atrai um corpo de massa m na Terra.

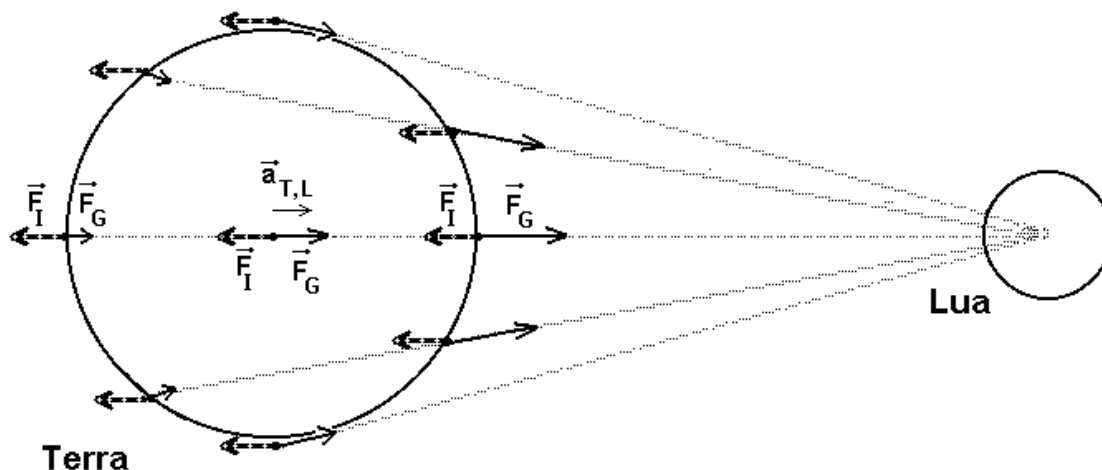


Fig. 7- Representação das forças gravitacional da Lua e inercial, sobre um corpo de massa m , em diversos pontos da Terra.

Nota-se que no centro da Terra as duas forças se cancelam; em qualquer outro ponto haverá uma resultante e, conseqüentemente, *força de maré*. A *força de maré* de maior intensidade ocorre sobre a linha que une os centros do planeta e do satélite, apontando para fora da Terra. A Fig. 8 representa a *força de maré* (apenas a resultante das duas forças) em diversos pontos da Terra.

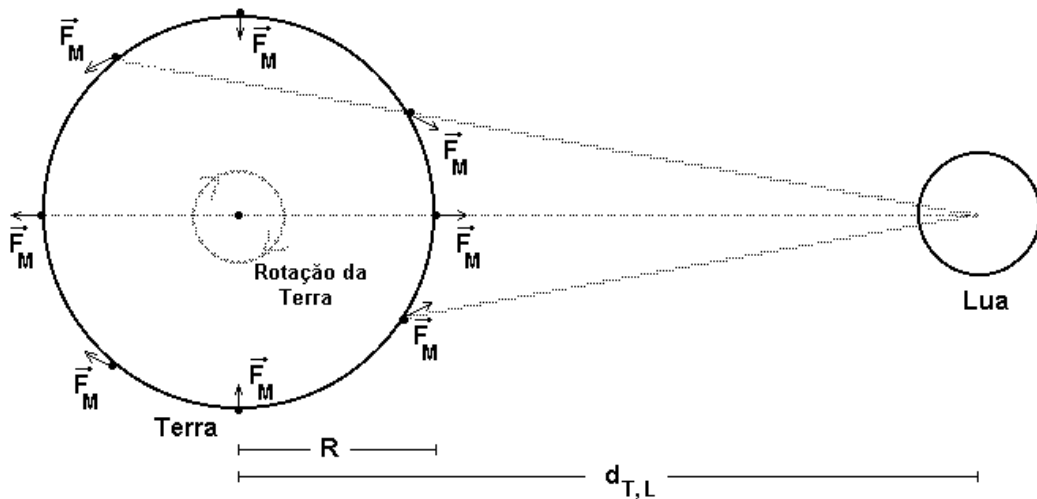


Fig. 8- Representação da força de maré lunar em diversos pontos da Terra.

Na Fig. 8 pode-se observar que na direção ortogonal ao eixo que une o centro do planeta e de seu satélite, a *força de maré* está dirigida para o centro da Terra.

É importante destacar que o eixo de rotação da Terra é quase perpendicular ao plano da Fig. 8; o sentido da rotação da Terra, indicado na figura, é aquele visto do hemisfério sul.

Determinaremos, a seguir, a intensidade da *força de maré* na superfície da Terra, sobre a linha que une o centro do planeta e seu satélite, no lado voltado para a Lua e no outro lado. Como as forças gravitacional e *inercial* sobre um corpo de massa m têm sentidos contrários, o valor da *força de maré* (F_M) é encontrado subtraindo-se do valor da força gravitacional (F_G) o valor da *força inercial* (F_I), isto é:

$$F_M = F_G - F_I \quad (7)$$

O valor da força gravitacional é dado pela Lei da Gravitação Universal; o valor da *força inercial* é o produto da massa do corpo (m) pela aceleração do referencial, isto é, a aceleração do centro de massa da Terra produzida pela Lua, cuja expressão foi apresentada na equação (4). Podemos portanto escrever a equação (7) como se segue:

$$F_M = \frac{G M_L m}{(d_{T,L} \mp R)^2} - m \frac{G M_L}{d_{T,L}^2}, \quad (8)$$

sendo $(d_{T,L} \mp R)$ a real separação entre o lado da Terra mais próximo (sinal negativo) ou mais afastado (sinal positivo) da Lua e o centro da Lua. Procurando o denominador comum da equação (8), obtém-se:

$$F_M = G M_L m \left[\frac{d_{T,L}^2 - (d_{T,L} \mp R)^2}{(d_{T,L} \mp R)^2 \cdot d_{T,L}^2} \right] \quad (9)$$

$$F_M = G M_L m \left[\frac{d_{T,L}^2 - d_{T,L}^2 \pm 2 d_{T,L} R - R^2}{(d_{T,L} \mp R)^2 \cdot d_{T,L}^2} \right] \quad (10)$$

$$F_M = G M_L m \left[\frac{\pm 2 d_{T,L} R - R^2}{(d_{T,L} \mp R)^2 \cdot d_{T,L}^2} \right] \quad (11)$$

Ou ainda:

$$F_M = G M_L m \frac{R}{d_{T,L}^3} \left[\frac{\pm 2 - \frac{R}{d_{T,L}}}{\left(1 \mp \frac{R}{d_{T,L}}\right)^2} \right] \quad (12)$$

Como $d_{T,L} \gg R$, temos que $\frac{R}{d_{T,L}} \ll 1$, donde obtemos o seguinte valor

aproximado para a *força de maré*:

$$F_M \cong \pm 2 G M_L m \frac{R}{d_{T,L}^3} \quad (13)$$

O sinal positivo na expressão (13), válido para o lado da Terra mais próximo da Lua, indica que a *força de maré* aponta para Lua; no outro lado vale o sinal negativo, significando que a *força de maré* aponta em sentido contrário ao da Lua. Desta forma, nos dois lados da Terra a *força de maré* é para fora do planeta; em qualquer outro ponto da Terra ela é menos intensa, tendo componentes na direção perpendicular e paralela à superfície da Terra. Podemos calcular a intensidade da *força de maré* no local da Terra onde ela é mínima e está dirigida para o centro do planeta (vide Fig. 8):

$$F_M \cong G M_L m \frac{R}{d_{T,L}^3} \quad (14)$$

Portanto, a *força de maré* máxima tem o dobro da intensidade da *força de maré* mínima.

As equações (13) e (14) também podem ser utilizadas para se calcular a *força de maré* solar, bastando que se substitua a massa da Lua pela massa do Sol e a distância Terra-Lua pela distância Terra-Sol.

Calculando, pela equação (13), a intensidade da *força de maré* lunar máxima sobre um corpo de 1 kg, encontramos $1,12 \times 10^{-6}$ N ; para a *força de maré* solar encontra-

se $0,50 \times 10^{-6}$ N . Desta forma, apesar da força gravitacional do Sol sobre a Terra ser cerca de 200 vezes maior do que a da Lua, a força de maré solar perfaz menos da metade da força de maré lunar¹¹.

II.4. Composição das forças de maré lunar e solar

Na Fig. 9 é apresentado um típico diagrama utilizado para explicar as fases da Lua, representando-a em um movimento de translação circular uniforme em torno da Terra; a parte da Terra que ali aparece é o hemisfério norte¹², que gira diurnamente em torno de seu próprio eixo no sentido anti-horário (mesmo sentido da translação da Lua em torno da Terra). O Sol, muito distante, ilumina a região do sistema Terra–Lua com raios luminosos praticamente paralelos entre si, mas não exatamente paralelos ao plano da órbita da Lua. O intervalo de tempo entre duas Luas Novas consecutivas é denominado *período sinódico* da Lua e vale 29,5 dias.

Na figura, procuramos ressaltar o fato de que o plano da órbita da Lua em torno da Terra se inclina aproximadamente 5 graus em relação ao plano da órbita da Terra em torno do Sol (eclíptica). Caso esses dois planos coincidissem, a cada Nova ocorreria um eclipse do Sol e a cada Cheia ocorreria um eclipse da Lua. Os eclipses somente são possíveis quando a Lua, na fase Nova ou Cheia, estiver próxima a um dos dois pontos de interseção da sua órbita com o plano da eclíptica (esses pontos são denominados nodos); a cada ano ocorrem no mínimo dois e no máximo sete eclipses (Mourão, 1993).

A Fig. 11 explicita melhor as posições relativas Sol–Lua–Terra em cada uma das quatro fases principais. É importante destacar que, nas figuras deste trabalho, os diâmetros dos três corpos, bem como as distâncias entre seus centros, não estão representados em escala. Uma Nova ou uma Cheia ocorre quando, ignorando-se o fato de

¹¹ Não há nada de estranho nisto quando conhecemos as equações que permitem calcular as duas forças. Ambas as forças são diretamente proporcionais às massas dos dois astros; mas a força de atração gravitacional é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre a Terra e cada um dos dois astros, enquanto a força de maré é inversamente proporcional ao cubo dessas distâncias. A massa do Sol é muito maior do que a Lua; todavia, ele também está muito mais distante da Terra do que a Lua. Desta forma, a força de maré dos dois astros acaba tendo a mesma ordem de grandeza; isto se constitui em uma notável coincidência.

Qualitativamente, podemos dizer que a força de maré não depende do valor da força de atração, mas depende de quanto a força de atração varia ao longo do planeta (do gradiente da força de atração). O campo gravitacional da Lua sobre Terra, apesar de menos intenso do que o do Sol, é muito mais variável ao longo do planeta do que o do Sol.

¹² Na verdade o eixo de rotação da Terra está inclinado cerca de $66,5^\circ$ em relação ao plano de sua órbita em torno do Sol (*eclíptica*). Desta forma, a região da Terra vista na figura é em sua maior parte o hemisfério norte, mas também aparece uma pequena parcela do hemisfério sul.

que o plano da órbita lunar não coincide com a *eclíptica*, os três corpos estão alinhados. A fase será Quarto Crescente ou Quarto Minguante quando o ângulo Sol–Lua–Terra for 90° .

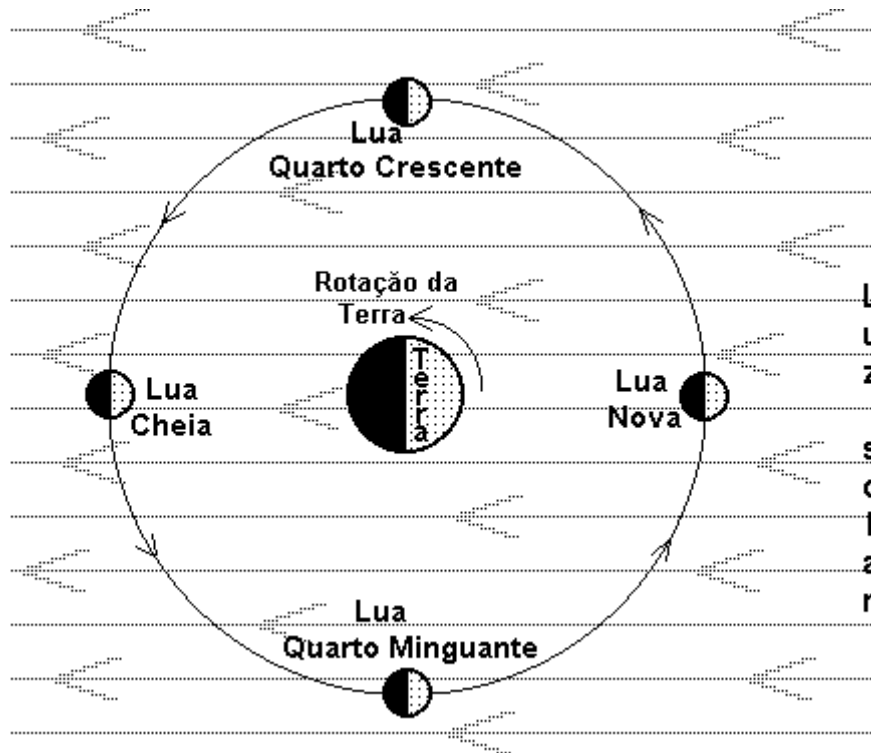


Fig. 9- Lua em órbita circular em torno da Terra.

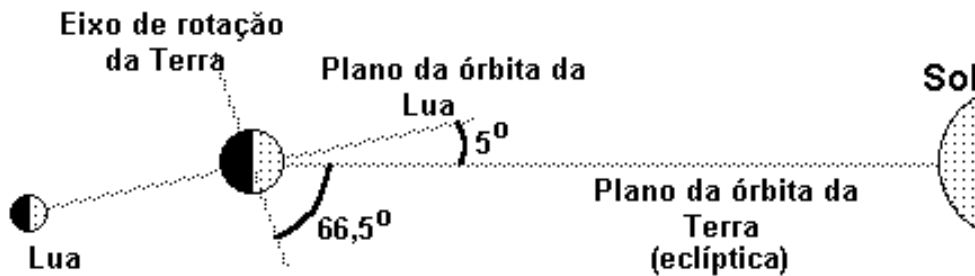


Fig. 10- Plano da órbita da Lua e a eclíptica.

Como na Lua Cheia e na Lua Nova o Sol e a Lua estão quase que alinhados com a Terra, as *forças máximas de maré* lunar e solar têm a mesma orientação, compondo uma força resultante máxima. Na Lua Quarto Crescente ou na Lua Quarto Minguante, as *forças de maré* solar e lunar parcialmente cancelam seus efeitos. A composição das *forças de maré* solar e lunar, em alguns pontos da Terra, está representada na Fig. 12.

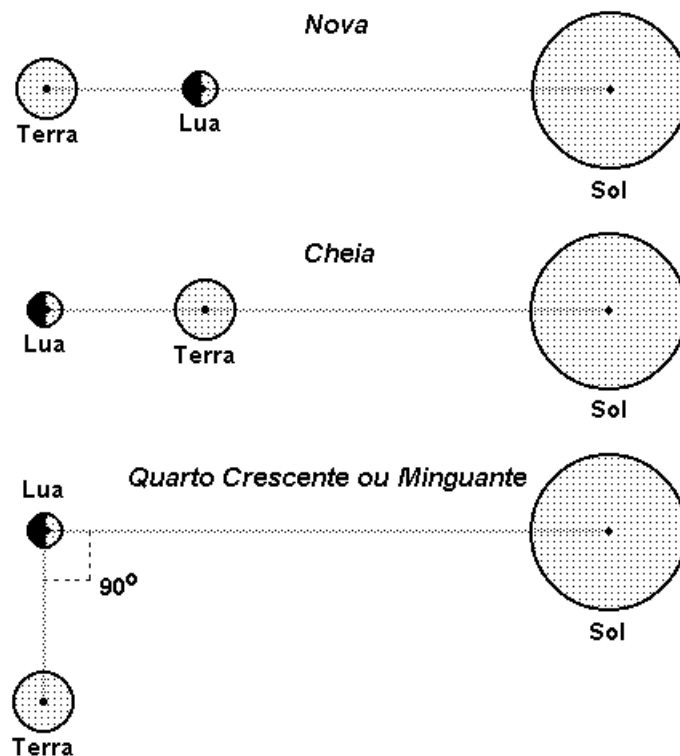


Fig. 11- Posição relativa Sol–Lua–Terra para as quatro fases principais da Lua.

Na Lua Cheia ou na Lua Nova, quando as duas *forças de maré* concorrem para formar a resultante máxima, o valor máximo sobre um corpo de 1 kg na superfície da Terra é $1,62 \times 10^{-6}$ N . É importante destacar que este valor representa uma parte em seis milhões da força gravitacional exercida pela Terra sobre esse corpo (seu peso). Ou seja, queremos destacar que a *força de maré* é muito pequena e só pode, portanto, produzir efeitos facilmente perceptíveis em massas de água que se estendem por amplas regiões da Terra. O efeito médio sobre os oceanos é produzir um desnível de cerca de 1 m entre a maré alta e a maré baixa (Marion e Thornton, 1995) na Lua Cheia e na Lua Nova. Em baías e estuários estreitos este efeito pode ser dramaticamente amplificado por *ressonância*. A *força de maré* é uma força periódica com período de 12 h e 26 min, como veremos adiante. Caso o período do movimento natural das águas seja semelhante ao da força periódica, ocorre *ressonância*. Em alguns lugares a diferença de nível das águas entre a maré alta e baixa pode atingir cerca de 10m; na baía de Fundy (Nova Escócia) se registram os maiores desníveis, que atingem 15,3 m (Walker, 1990). A figura 13 mostra o desnível máximo entre a maré baixa e alta (cerca de 41 pés ou 12,5 m) em Anchorage no Alasca. Todavia, mesmo nestes casos extremos, isto representa uma deformação muitíssimo pequena se comparada ao raio da Terra.

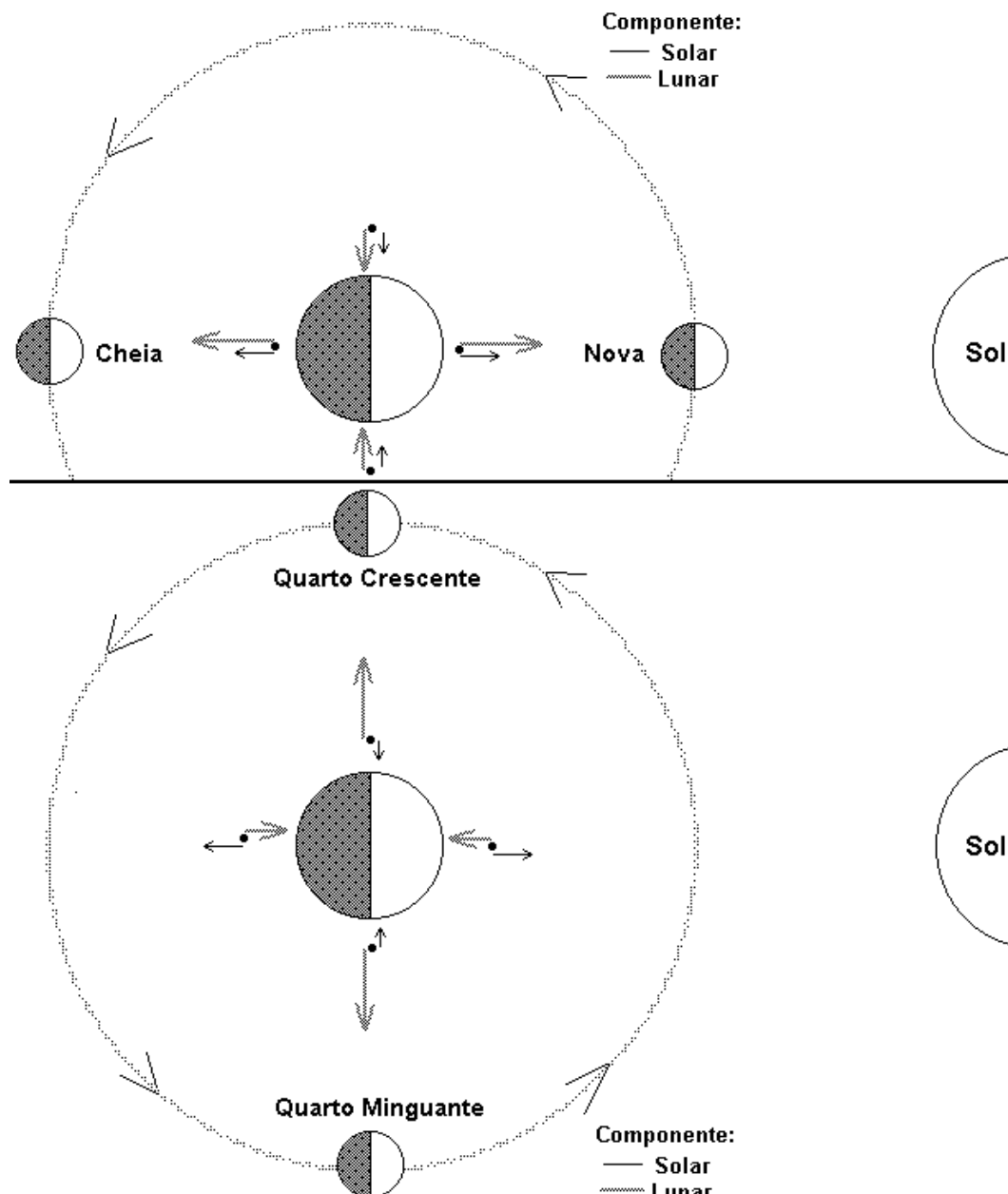
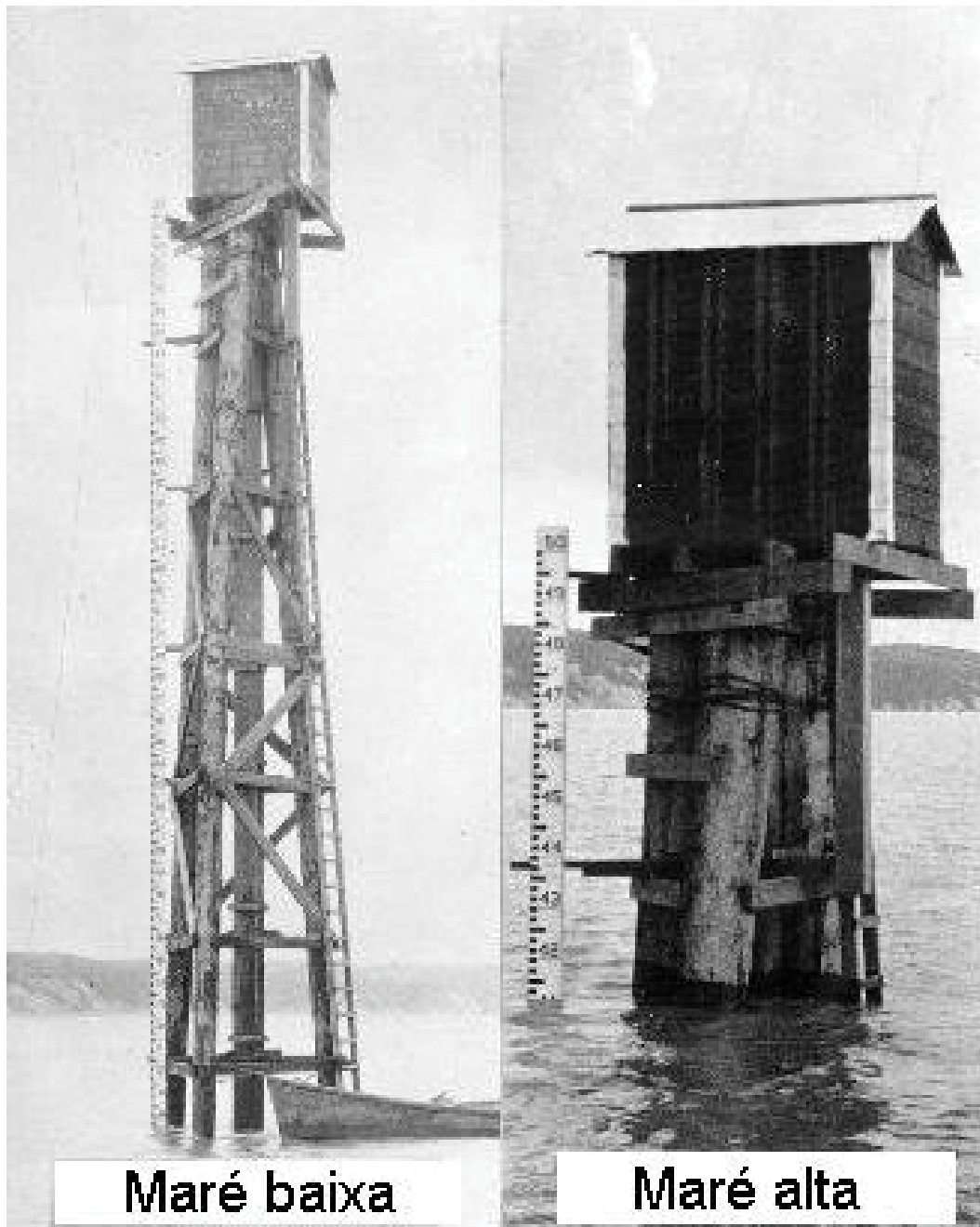


Fig. 12- Composição das forças de maré solar e lunar durante o mês

A Fig. 14 representa, de forma exagerada a deformação das águas oceânicas pelas *forças de maré*. Em primeira aproximação, pode-se admitir que as regiões de maré alta e maré baixa permanecem estacionadas enquanto a Terra gira. Uma estaca cravada na Terra passa ao longo do dia por duas regiões de maré alta e por duas regiões de maré baixa. Desta forma, em 24 h ocorrem duas marés altas e duas baixas.



Antigo medidor de maré em Anchorage, Alasca

www.co-ops.nos.noaa.gov/about2.html

Fig. 13- Máximo desnível entre a maré baixa e alta.

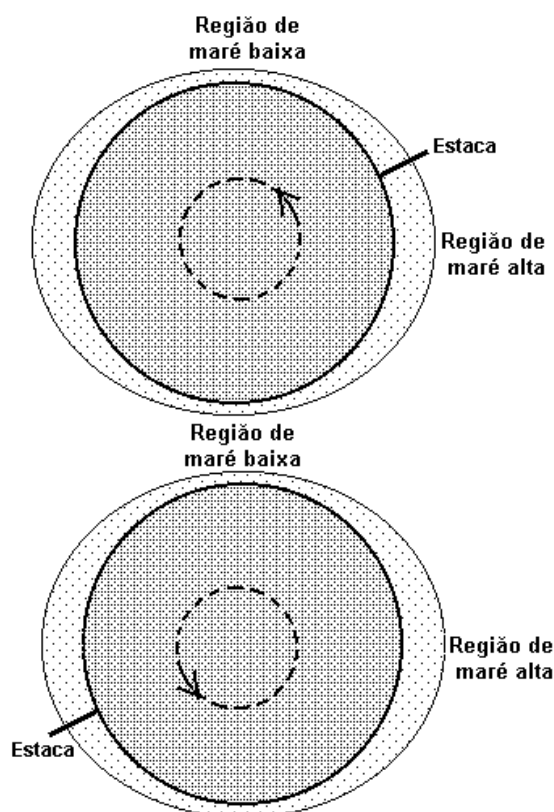


Fig. 14- Uma estaca cravada na Terra desloca-se através das regiões de maré alta e maré baixa.

Este modelo permite prever um intervalo de tempo de 12 h entre duas marés altas consecutivas. Todavia, a Lua se desloca em torno da Terra no mesmo sentido da rotação diária da Terra, arrastando consigo as deformações oceânicas, o intervalo de tempo entre duas marés altas consecutivas é maior do que 12 h; mais precisamente é de 12 h e 26 min.

III. Relação das fases da Lua com o nascimento de bebês

Retomamos o argumento inicial da astróloga a favor da suposta influência da Lua sobre o nascimento de bebês e outras tantas crenças: “Se a Lua é capaz de agir nas enormes massas de água dos oceanos, como ela não teria efeito sobre os líquidos no útero da mãe ou sobre outros fluidos corporais, influenciando no crescimento dos nossos cabelos?”. Pelo exposto nas seções anteriores, compreendemos que os efeitos de maré somente ocorrem porque o campo gravitacional, que tanto a Lua quanto o Sol exercem sobre pontos diferentes da Terra, é variável em intensidade e orientação. Essa variação deve-se ao fato de que o raio da Terra não é desprezível frente às distâncias ao centro de qualquer um dos dois astros. As águas oceânicas, que se estendem por amplas regiões da Terra, acabam sofrendo diferentes atrações gravitacionais pela Lua ou pelo Sol, o que vem a ocasionar as

marés. Mas não há efeito de maré em uma região com volume tão pequeno quanto o de uma bacia, de uma piscina ou até mesmo de um açude, pois distintos pontos dessas regiões estão praticamente equidistantes do astro atrator, sofrendo, como qualquer massa, um campo gravitacional constante em todo o volume de líquido e, portanto, incapaz de deformá-lo. Da mesma forma, o líquido no útero da mãe (ou no bulbo capilar) não sofre efeitos de maré (deformações), ocorrendo apenas uma desprezível variação no seu peso aparente (não superior a uma parte em seis milhões). Adicionalmente, cabe notar que as maiores marés ocorrem em Lua Cheia e em Lua Nova, quando a Lua e o Sol estão quase alinhados com a Terra e a composição das duas *forças de maré* resulta ser máxima; na Lua Minguante ou Crescente as marés são menores. Entretanto, as marés acontecem em qualquer dia e não apenas nos dias das quatro fases principais da Lua. Conclui-se então que, se realmente nascessem mais bebês nos dias das quatro fases principais da Lua, tal fato não poderia ser atribuído aos efeitos de maré.

A fim de encontrar indícios a favor ou contra a tão difundida crença popular da existência de uma relação entre nascimentos de crianças e as fases da Lua, utilizamos dados dos arquivos sobre candidatos a concursos vestibulares da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A partir das datas de nascimento dos candidatos, e com auxílio de tabelas de lunações¹³ fornecidas pelo Observatório Nacional, determinamos em que dia do mês lunar cada candidato havia nascido. Um total de 104616 datas de nascimento constitui este estudo; 90% desses candidatos nasceram entre 1968 e 1983. Os restantes 10% nasceram entre 1933 e 1967.

O gráfico de barras da figura 15 representa o número de nascimentos nos dias das quatro fases principais da Lua (Nova, Crescente, Cheia e Minguante), bem como nos três dias imediatamente anteriores (-3, -2 e -1) e nos três dias imediatamente posteriores (+1, +2 e +3) a cada fase principal.

¹³ Uma tabela de lunações especifica o momento da ocorrência de cada uma das fases principais da Lua (ano, mês, dia, hora e minuto). A construção de tais tabelas não é simples pois a órbita da Lua possui diversas *irregularidades*; o modelo usualmente adotado para explicar as fases principais da Lua (apresentado na figura 9); não dá conta de tais *irregularidades*. Se interpretado literalmente, levará a se admitir que o intervalo de tempo entre duas fases principais consecutivas seja sempre o mesmo, igual a 7,4 dias (um quarto do *período sinódico* da Lua); entretanto, fases principais consecutivas podem estar separadas desde 6,5 dias até 8,3 dias. A literatura introdutória à astronomia é omissa a respeito de tais fatos; para uma explicação qualitativa sobre as variações dos intervalos de tempo entre as fases principais da Lua, acessível também para alunos de ensino médio, encontra-se em Silveira (2001b).

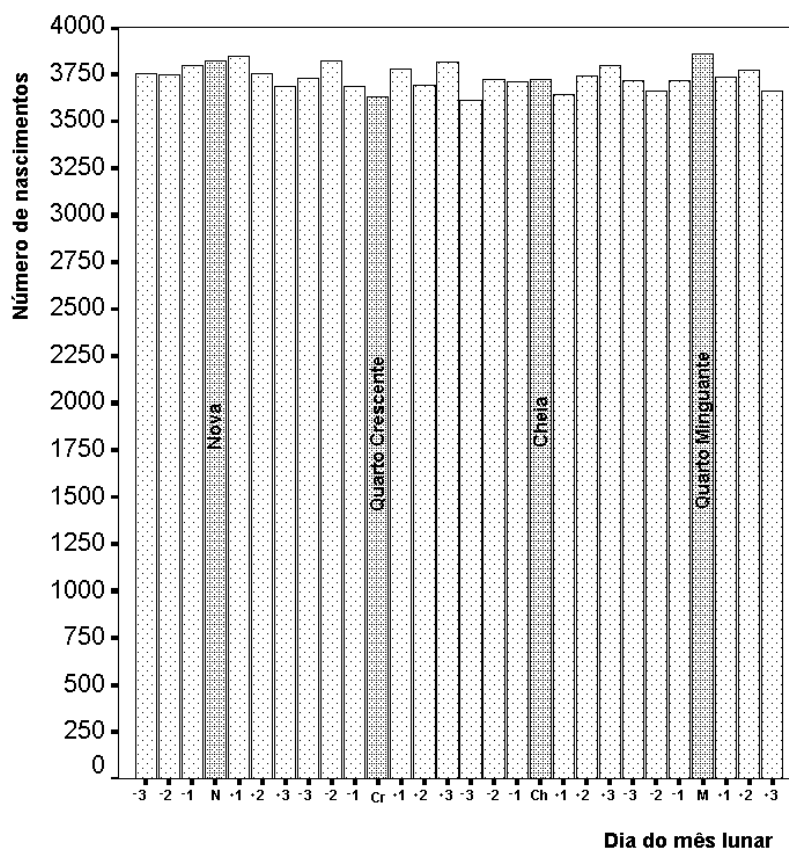


Fig. 15- Gráfico do número de nascimentos em função do dia do mês lunar.

Neste gráfico, o número de nascimentos oscila em torno de 3736 por dia, sendo as frequências extremas 3855 e 3613 nascimentos. Um teste de significância estatística permite concluir que as diferenças no número de nascimentos ao longo do mês lunar estão dentro dos limites atribuíveis ao acaso ($\chi^2 = 30,40$; nível de significância = 0,297). Ou seja, não há nenhuma evidência nesses dados de que em algum dia especial do mês lunar nasça um número maior ou menor de bebês do que em qualquer outro, além das flutuações que podem ocorrer por mero acaso¹⁴.

¹⁴ Neste estudo não havia a possibilidade de separar os partos normais das cesarianas ou dos partos induzidos; sabe-se que no Brasil há uma incidência maior do que em outros países de tais partos. Quando um trabalho semelhante foi publicado em Ciência Hoje (Silveira, 2001a), houve por parte de um leitor a alegação de que a conclusão seria inválida em face da inclusão dos partos por cesariana. A resposta então publicada, que se aplica também à atual conclusão, é a seguinte: *Inicialmente cabe notar que em nosso estudo todos os nascimentos ocorreram antes de 1984, sendo a maioria deles anteriores a 1980, época em que a proporção de nascimentos por cesariana era menor do que a atual. Mesmo que houvesse um número expressivo de nascimentos por cesariana nos dados analisados, a crítica do leitor somente seria relevante se admitíssemos que as datas das cesarianas não houvessem coincidido com os dias das quatro fases principais da Lua, ou seja, que os nascimentos tivessem sido programados de modo a sistematicamente*

Pelo que foi exposto, o resultado do presente estudo contradiz a alegação que nos dias das quatro fases principais da Lua aumenta o número de nascimentos. Serão verdadeiras as outras tantas influências atribuídas à Lua¹⁵ pela sabedoria popular?

Agradecimentos

Agradeço aos colegas Prof^a. Maria Cristina Varriale, Prof. Rolando Axt e Prof. Paulo Mors pela leitura atenta a este trabalho e pelas valiosas sugestões que permitiram melhorá-lo.

Bibliografia

BERMAN, B. Strange universe: bad moon rising. **Astronomy**, p. 96, set. 2002.

GASPAR, A. **Física 1**– Mecânica. São Paulo: Ática, 2001.

MARION, J. B.; THORNTON, S. T. **Classical dynamics of particles and systems**. San Diego: Hartcourt Brace, 1995.

MOURÃO, R. R. F. **Eclipses, da superstição à previsão matemática**. São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 1993.

SILVEIRA, F. L.; AXT, R. Questão discursiva número 4 do Provão–2000 do MEC para a licenciatura em Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 2: p.224–234, ago.2000.

SILVEIRA, F. L. A Lua e os bebês. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 170: p.47; abr.2001a.

SILVEIRA, F. L. As variações dos intervalos de tempo entre as fases principais da Lua. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 3: p.300–307, set.2001b.

WALKER, J. **O grande circo da Física**. Lisboa: Gradiva, 1990.

evitar aqueles dias que a crença popular diz ser os da influência da Lua. Não havendo razões para se descartar a hipótese de equidistribuição ao longo do mês lunar dos nascimentos por cesariana, a crítica do leitor é totalmente infundada.

¹⁵ Recentemente, a revista *Astronomy* (Berman, 2002) publicou um artigo, refutando as supostas influências da Lua alardeadas pela credence e misticismo popular (nascimento de bebês, crescimento de cabelos, influências sobre o comportamento humano, ...) e, adicionalmente, relacionou alguns fatos que a ciência admite estarem relacionados com o nosso satélite.