



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física

## **Uma Aula sobre Forças de Marés para o Ensino Médio**

João Carlos Ferreira Menezes Junior

Material instrucional associado à dissertação de mestrado de João Carlos Ferreira Menezes Junior, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Orientador:  
Antônio Carlos Fontes dos Santos

Rio de Janeiro  
26 de junho de 2023

## **Uma Aula sobre Forças de Marés para o Ensino Médio**

João Carlos Ferreira Menezes Junior

Orientador:  
Antônio Carlos Fontes dos Santos

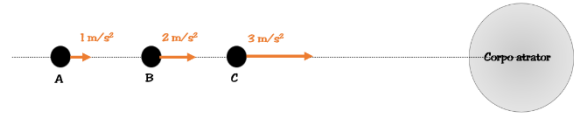
## ➔ Forças de marés

### 1) Introdução

*"Se a Lua influencia nos mares e oceanos por que não influenciaria nos fluidos corporais?"*

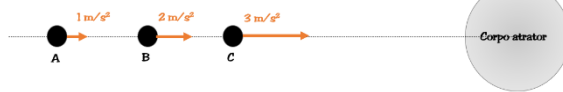
Astróloga anônima

**Ex.1:** Os corpos A, B e C possuem massas iguais a 1 kg. Suas acelerações estão representadas na figura abaixo.



Calcule a intensidade das forças em cada corpo?

**Ex.1:** Os corpos A, B e C possuem massas iguais a 1 kg. Um corpo atrator à direita induz, nos corpos à direita, acelerações, as quais estão representadas na figura abaixo.



Calcule a intensidade das forças em cada corpo?

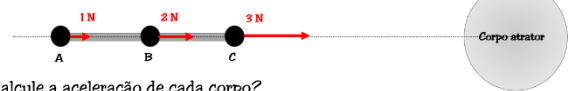
Resposta:  $F_R = ma$

$$F_A = 1 \times 1 = 1 \text{ N}$$

$$F_B = 1 \times 2 = 2 \text{ N}$$

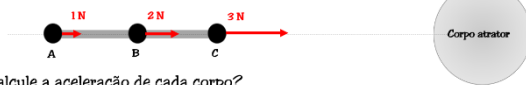
$$F_C = 1 \times 3 = 3 \text{ N}$$

**Ex.2:** Os corpos A, B e C possuem massas iguais a 1 kg. Agora há uma haste ideal que liga os corpos. As forças que o corpo atrator exerce em cada corpo está representada na figura abaixo.



Calcule a aceleração de cada corpo?

**Ex.2:** Os corpos A, B e C possuem massas iguais a 1 kg. Agora há uma haste ideal que liga os corpos. As forças que o corpo atrator exerce em cada corpo está representada na figura abaixo.



Calcule a aceleração de cada corpo?

Resposta:

$$F_R = m_{\text{total}}a \rightarrow (3 + 2 + 1) = 3a \rightarrow a = 2 \text{ m/s}^2$$

**Ex.2:** Os corpos A, B e C possuem massas iguais a 1 kg. Agora há uma haste ideal que liga os corpos. As forças que o corpo atrator exerce em cada corpo está representada na figura abaixo.



Calcule a aceleração de cada corpo?

Resposta:

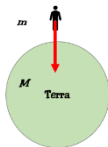
$$F_R = m_{\text{total}}a \rightarrow (3 + 2 + 1) = 3a \rightarrow a = 2 \text{ m/s}^2$$

Resposta: 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), dará origem a **deformações** do sistema (as **marés**).

## 2) As marés

i) Partícula

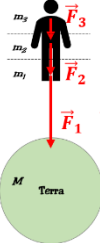
$$\vec{P} = \vec{F}_g = m\vec{g}$$



Fora de escala

ii) Corpo extenso

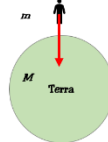
$$F_g = G \frac{Mm}{d^2}$$



## 2) As marés

i) Partícula

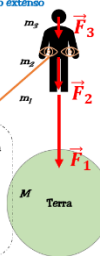
$$\vec{P} = \vec{F}_g = m\vec{g}$$



Fora de escala

ii) Corpo extenso

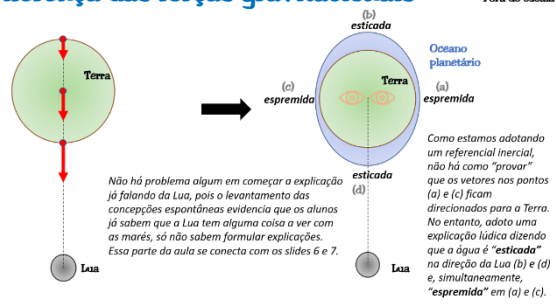
$$F_g = G \frac{Mm}{d^2}$$



Situação lúdica e hipotética para entender a deformação: se o olho da pessoa fosse na barriga, ela observaria tanto o pé quando a cabeça se afastarem da barriga.

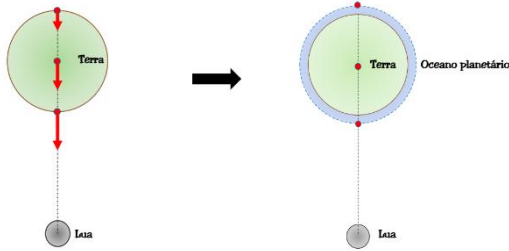
## A) Diferença das forças gravitacionais

Fora de escala



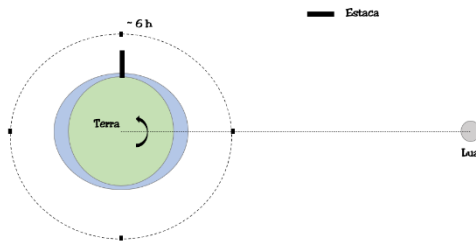
## A) Diferença das forças gravitacionais

Fora de escala



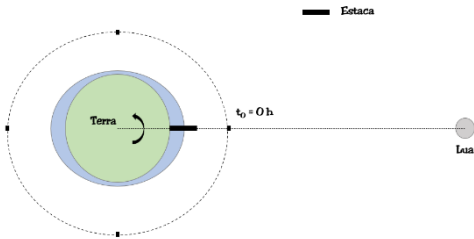
## B) Periodicidade das marés

Fora de escala



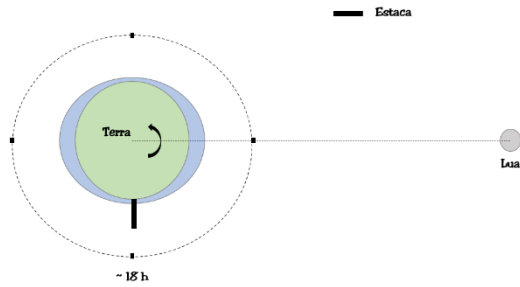
## B) Periodicidade das marés

Fora de escala



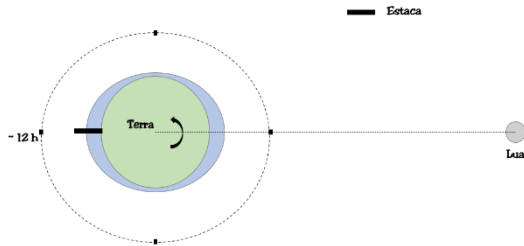
## B) Periodicidade das marés

Fora de escala



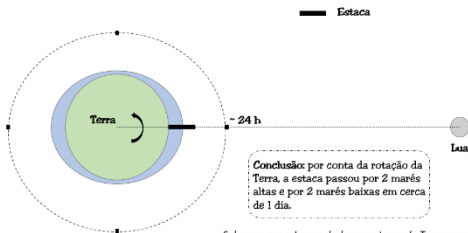
## B) Periodicidade das marés

Fora de escala



## B) Periodicidade das marés

Fora de escala



Conclusão: por conta da rotação da Terra, a estaca passou por 2 marés altas e por 2 marés baixas em cerca de 1 dia.

Sabemos que a Lua se desloca em torno da Terra no mesmo sentido da rotação diária da Terra, arrastando consigo as deformações oceânicas. Então, o intervalo de tempo entre duas marés altas consecutivas, por exemplo, será maior do que 12 h; mais precisamente, 12 h 26 min.

**Ex.:** Consulte os seguintes valores na internet usando seu *smartphone* para calcularmos e compararmos os valores das forças gravitacionais que o Sol exerce na Terra e que o Sol exerce na Lua.

Agora, explicaremos que se a causa das marés fosse a força gravitacional em si, o Sol seria o maior contribuinte.

$$\begin{aligned} M_{\text{Terra}} &\cong 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg} \\ M_{\text{Lua}} &\cong 7,36 \cdot 10^{22} \text{ kg} \\ M_{\text{Sol}} &\cong 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg} \\ D_{\text{T,S}} &\cong 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m} \\ D_{\text{T,L}} &\cong 3,85 \cdot 10^8 \text{ m} \\ G &\cong 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{S,T}} &= G \frac{M_{\text{S}} M_{\text{T}}}{D_{\text{T,S}}^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{1,99 \cdot 10^{30} \cdot 5,98 \cdot 10^{24}}{1,5 \cdot 10^{11} \cdot 1,5 \cdot 10^{11}} \cong 35,28 \cdot 10^{21} \text{ N} \\ F_{\text{L,T}} &= G \frac{M_{\text{S}} M_{\text{T}}}{D_{\text{T,L}}^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{7,36 \cdot 10^{22} \cdot 5,98 \cdot 10^{24}}{3,85 \cdot 10^8 \cdot 3,85 \cdot 10^8} \cong 19,80 \cdot 10^{19} \text{ N} \\ \frac{F_{\text{S,T}}}{F_{\text{L,T}}} &= \frac{35,28 \cdot 10^{21}}{19,80 \cdot 10^{19}} \cong 170 \end{aligned}$$

Se o Sol exerce uma força na Terra quase 200 vezes maior que a Lua faz na Terra, por que não é o Sol que contribui mais nas marés?

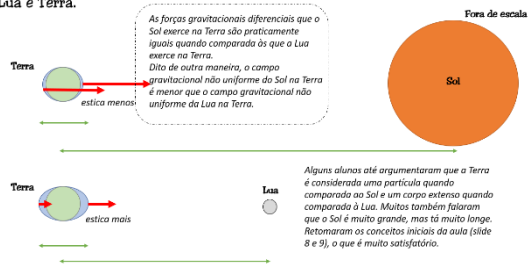
## C) Força gravitacional ?

**Ex.:** Consulte os seguintes valores na internet usando seu *smartphone* para calcularmos e compararmos os valores das forças gravitacionais que o Sol exerce na Terra e que o Sol exerce na Lua.

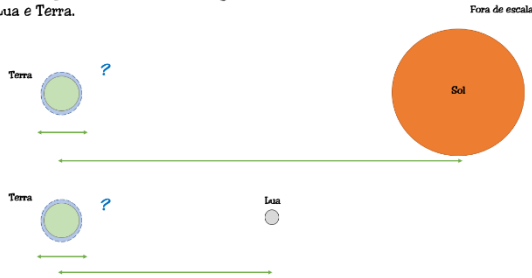
$$\begin{aligned} M_{\text{Terra}} &= ? \\ M_{\text{Lua}} &= ? \\ M_{\text{Sol}} &= ? \\ D_{\text{T,S}} &= ? \\ D_{\text{T,L}} &= ? \\ G &= ? \\ F_{\text{S,T}} &= ? \\ F_{\text{L,T}} &= ? \end{aligned}$$

Agora, explicaremos que se a causa das marés fosse a força gravitacional em si, o Sol seria o maior contribuinte.

Ex: Comparação entre as forças gravitacionais diferenciais entre Sol e Terra e Lua e Terra.



Ex: Comparação entre as forças gravitacionais diferenciais entre Sol e Terra e Lua e Terra.

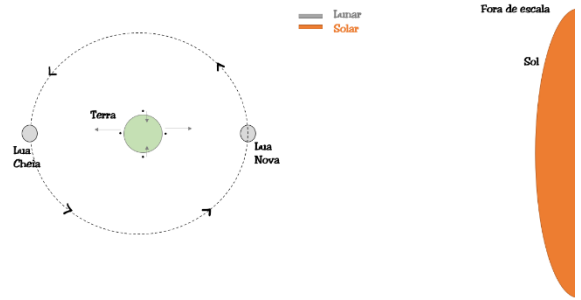


A atração do Sol é muito mais forte, mas as **diferenças** entre as atrações lunares são maiores do que as **diferenças** entre as correspondentes atrações solares. Assim, nossas marés se devem primariamente à Lua.

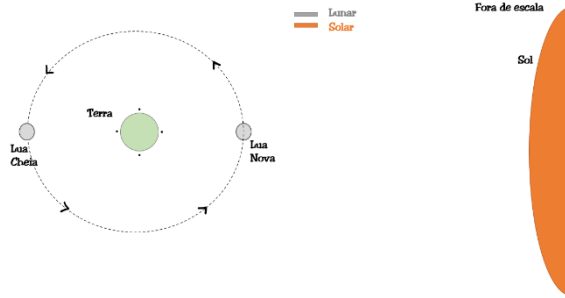
Ex: Comparação entre as forças gravitacionais diferenciais entre Sol e Terra e Lua e Terra.



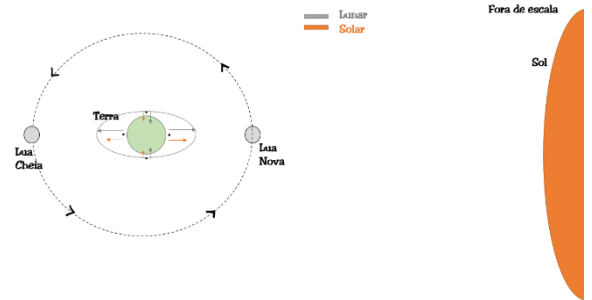
D) Composição das forças de maré solares e lunares



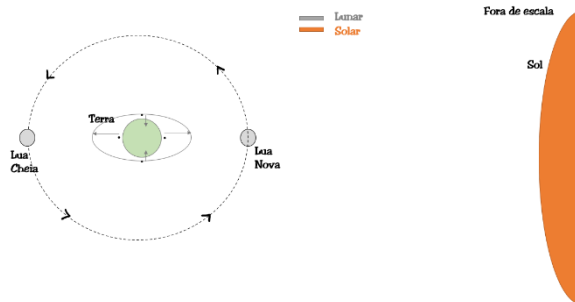
D) Composição das forças de maré solares e lunares



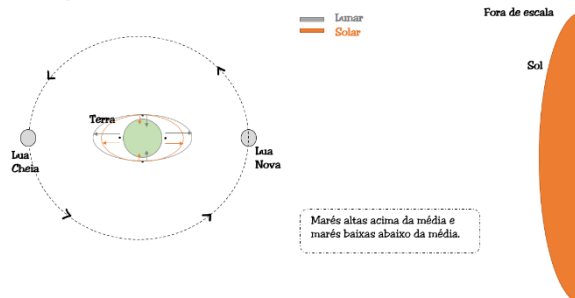
D) Composição das forças de maré solares e lunares



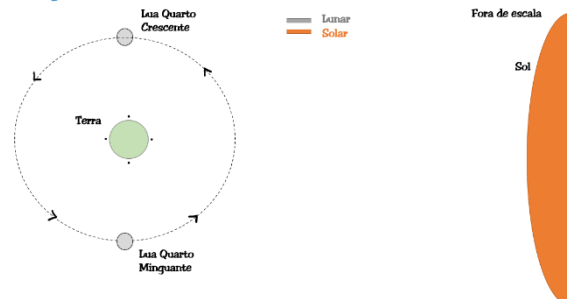
D) Composição das forças de maré solares e lunares



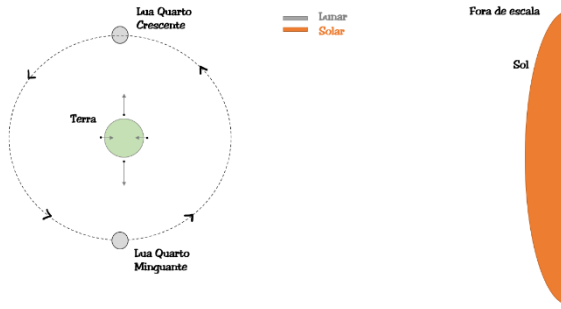
D) Composição das forças de maré solares e lunares



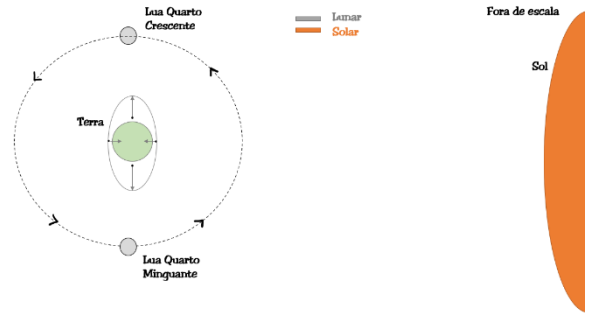
D) Composição das forças de maré solares e lunares



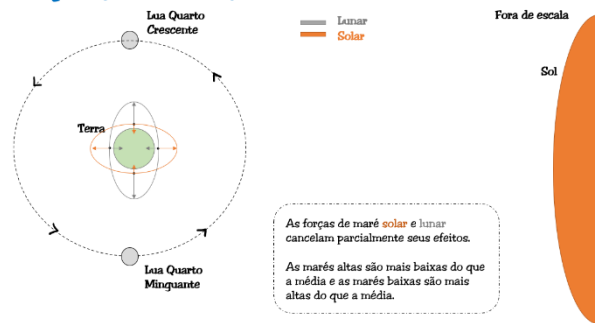
**D) Composição das forças de maré solares e lunares**



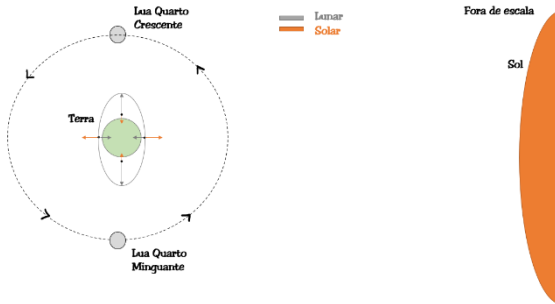
**D) Composição das forças de maré solares e lunares**



**D) Composição das forças de maré solares e lunares**



**D) Composição das forças de maré solares e lunares**







<https://www.youtube.com/watch?v=GdriHHupGEQ>

Inspirado em: FERREIRA, Jean Coelho et al. *Discutindo a Física das Marés como proposta para a crise de energia elétrica*. 2016. Tese de Doutorado.

É possível ocorrer maré em um lago? (pergunta semelhante ao raciocínio da astróloga anônima).

*Resposta: Não, pois a força gravitacional diferencial no lago é desprezível.*

Até aqui vimos as marés oceânicas. No entanto, a Terra não é um sólido rígido; em sua maior parte, é rocha fundida coberta por uma crosta fina, sólida e flexível. Será que existe marés terrestres?

*Resposta: Sim, duas vezes a cada dia, a superfície sólida da Terra é elevada e abaixada ([...] em até 25 cm, de acordo com P. Hewitt)*

Faz sentido a seguinte frase?

*"terremotos e erupções vulcânicas têm probabilidade ligeiramente maior de ocorrência quando a Terra está experimentando as marés altas mais altas em sua crosta - ou seja, perto de uma lua cheia ou uma lua nova."*

*Resposta: Sim, tendo em vista as marés terrestres.*



Após a cena do casal, há um jornal televisivo noticiando uma catástrofe provocada por uma atividade lunar incomum. Faz sentido essa hipótese levantada?

*Resposta: Sim, pois como a Lua se aproximou, as forças gravitacionais diferenciais aumentariam, induzindo marés mais intensas.*

A cena do filme Interestelar, mostra uma onda gigante.  
O que poderia estar provocando-a?

*Resposta: O filme mostra que perto do planeta de água, Miller, há um buraco negro, Gargantua.*



*Buracos negros são corpos supermassivos e superdensos. Assim, sua força gravitacional diferencial no planeta Miller induz marés muito intensas. Aliás, se alguém se aproximasse de um buraco negro sem a devida velocidade de escape, seria "espaquetificado".*

<b>Conteúdo da unidade de ensino</b>		
<b>Conteúdo</b>	<b>Atividades</b>	<b>Tempo (aproximado)</b>
Pré-teste	Estimular as concepções prévias dos estudantes.	15 min
Pergunta motivadora	Confrontar conhecimento popular com conhecimento científico.	5 min
Sistema de três corpos de mesma massa submetidos a um campo gravitacional não uniforme	Relembrar conceitos prévios (referencial, partícula x corpo extenso, leis de newton, estados da matéria, etc.) Introduzir o conceito básico de deformação e campo gravitacional não uniforme.	5 min
A causa das marés	Aplicar novo conceito em uma situação lúdica e hipotética.	10 min
Diferença das forças gravitacionais	Aplicar novo conceito no sistema Terra-Lua.	15 min
Periodicidade das marés	Analisar a quantidade de marés por dia.	5 min
Força gravitacional?	Calcular a força gravitacional lunar e solar sobre a Terra.	15 min
Composição das forças de maré solares e lunares	Considerar a ação lunar e solar sobre as marés na Terra.	15 min
Marés terrestres e Buracos negros	Aplicar o conhecimento de forças de maré em novos contextos.	15 min

O pós-teste é aplicado em uma aula seguinte levando 15 min.