

Aula 3

Terra, Sol e Lua

- *Estações e calendários*
- *Fases da Lua, lunação*
- *Eclipses*
- *Marés*

Recapitulando...

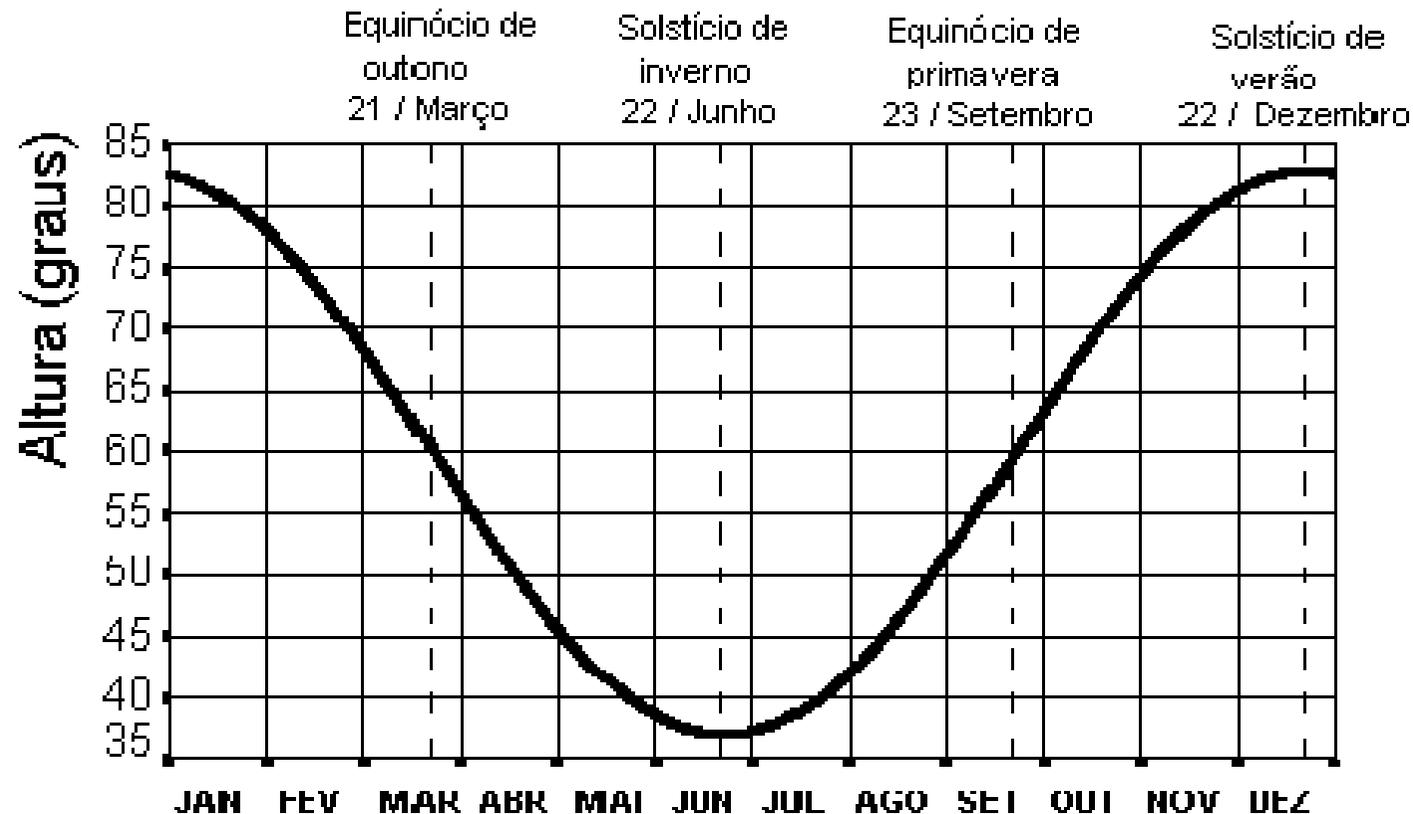
O ano e as estações

Ano das Estações:
ano trópico = 365.2422 dias



Exemplo: altura do Sol em Porto Alegre

Figura 1 - Altura (ângulo com a horizontal) do Sol ao meio-dia em Porto Alegre.



Solstício de verão:

Dia do ano em que o Sol atinge a **maior** altura ao meio-dia.
20 ou 21 de junho no H.N. e 21 ou 22 de dezembro no H.S.

Solstício de inverno:

Dia do ano em que o Sol atinge a **menor** altura ao meio-dia.
20 ou 21 de junho no H.S. e 21 ou 22 de dezembro no H.N.

Equinócios da primavera e outono:

Dias do ano em que a duração do dia é (aproximadamente) igual à da noite (*aequus*: igual + *nox*: noite)

21 ou 22 de março: primavera no N e outono no S

22 ou 23 de setembro: primavera no S e outono no N

Trajatórias diurnas do Sol.

A duração do dia varia ao longo do ano.

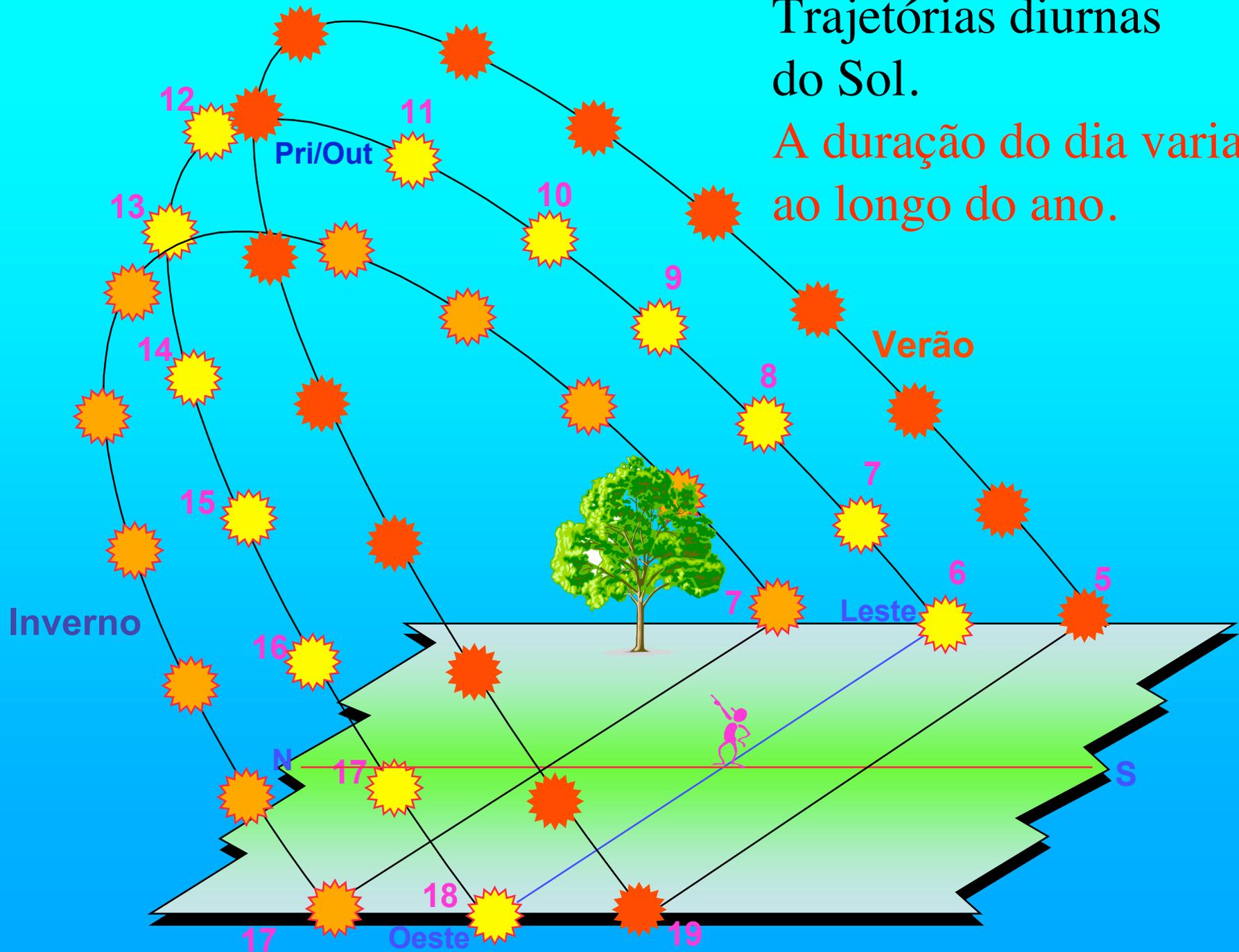
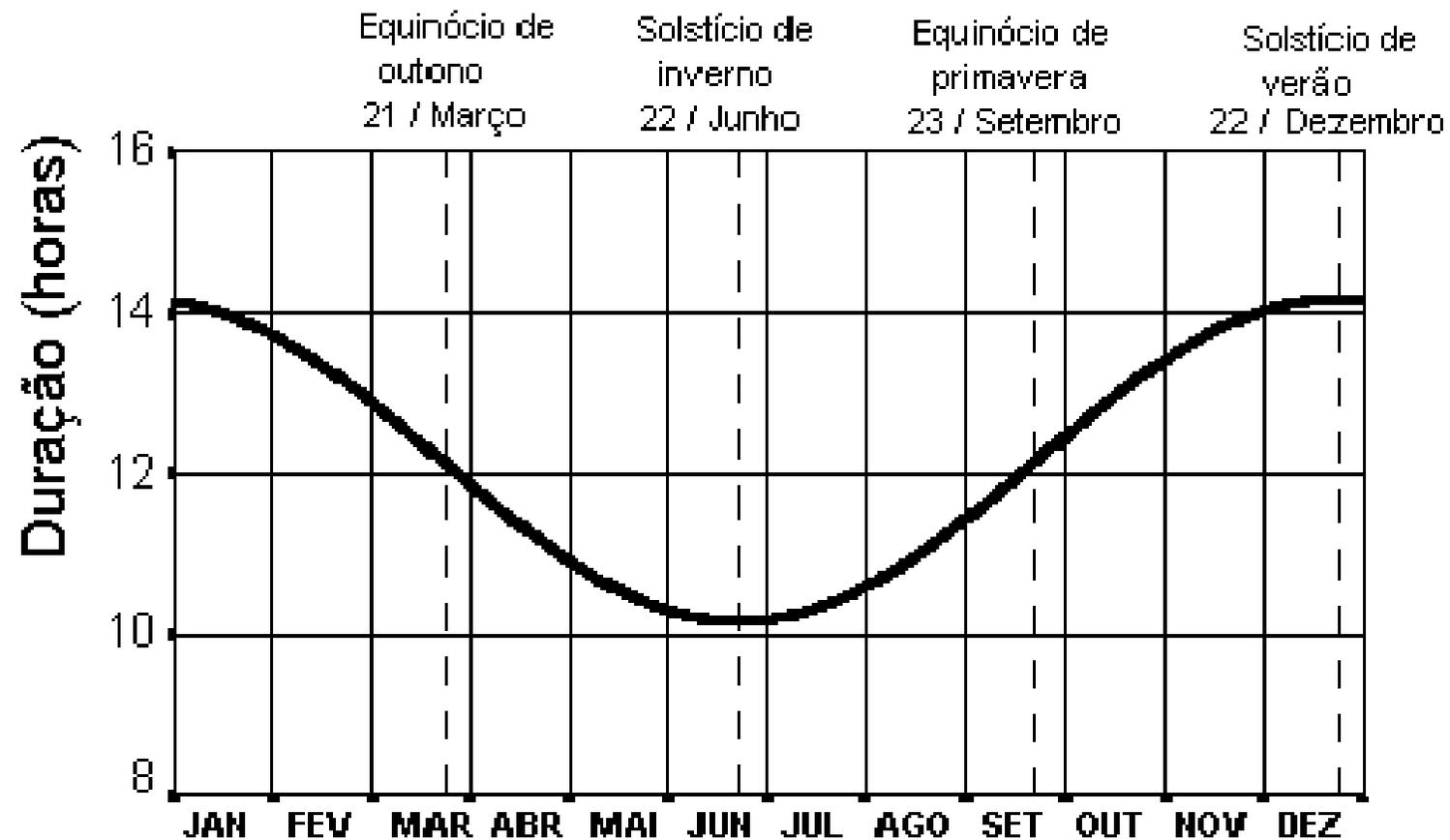
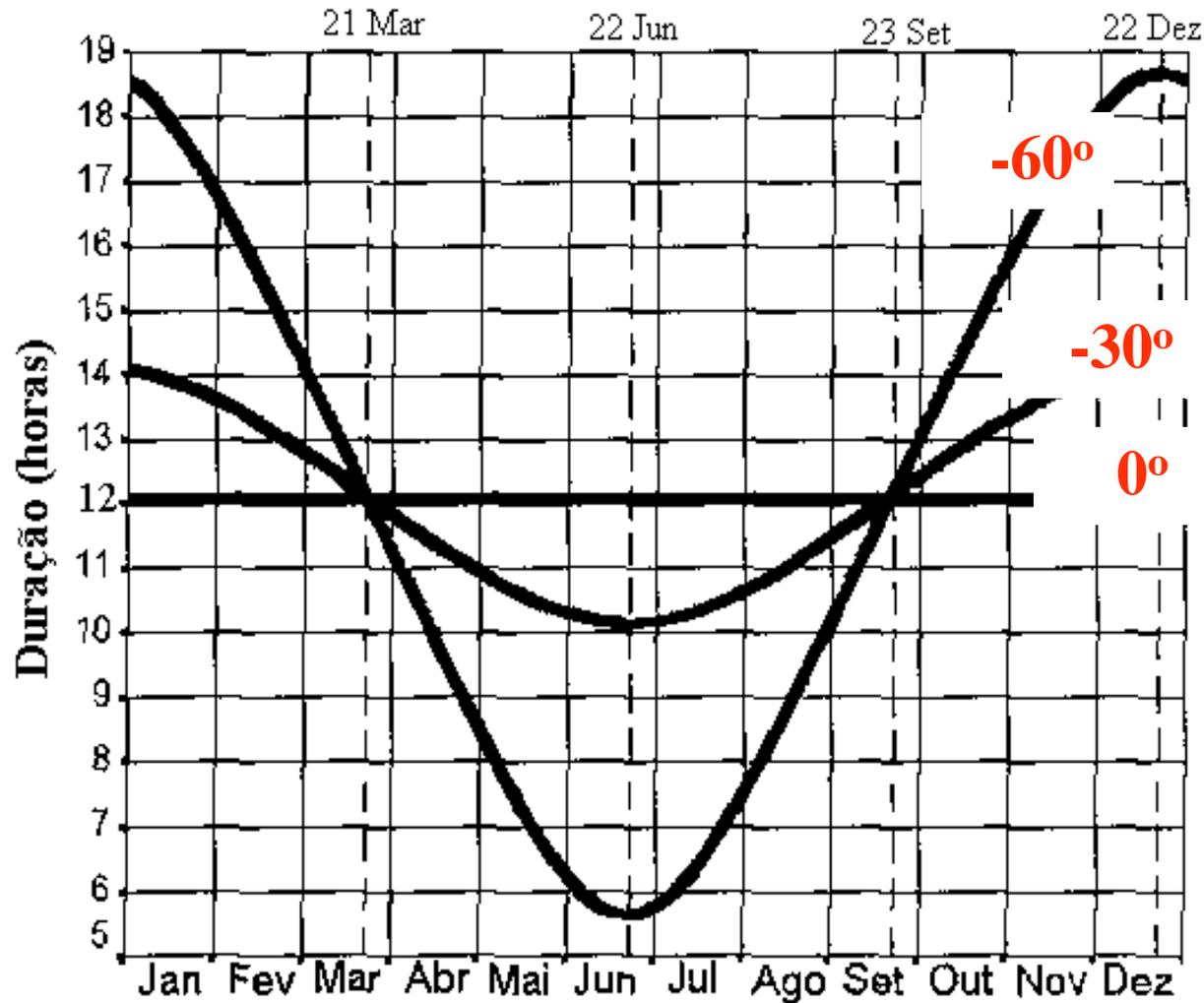


Figura 3 - Duração do dia em Porto Alegre.



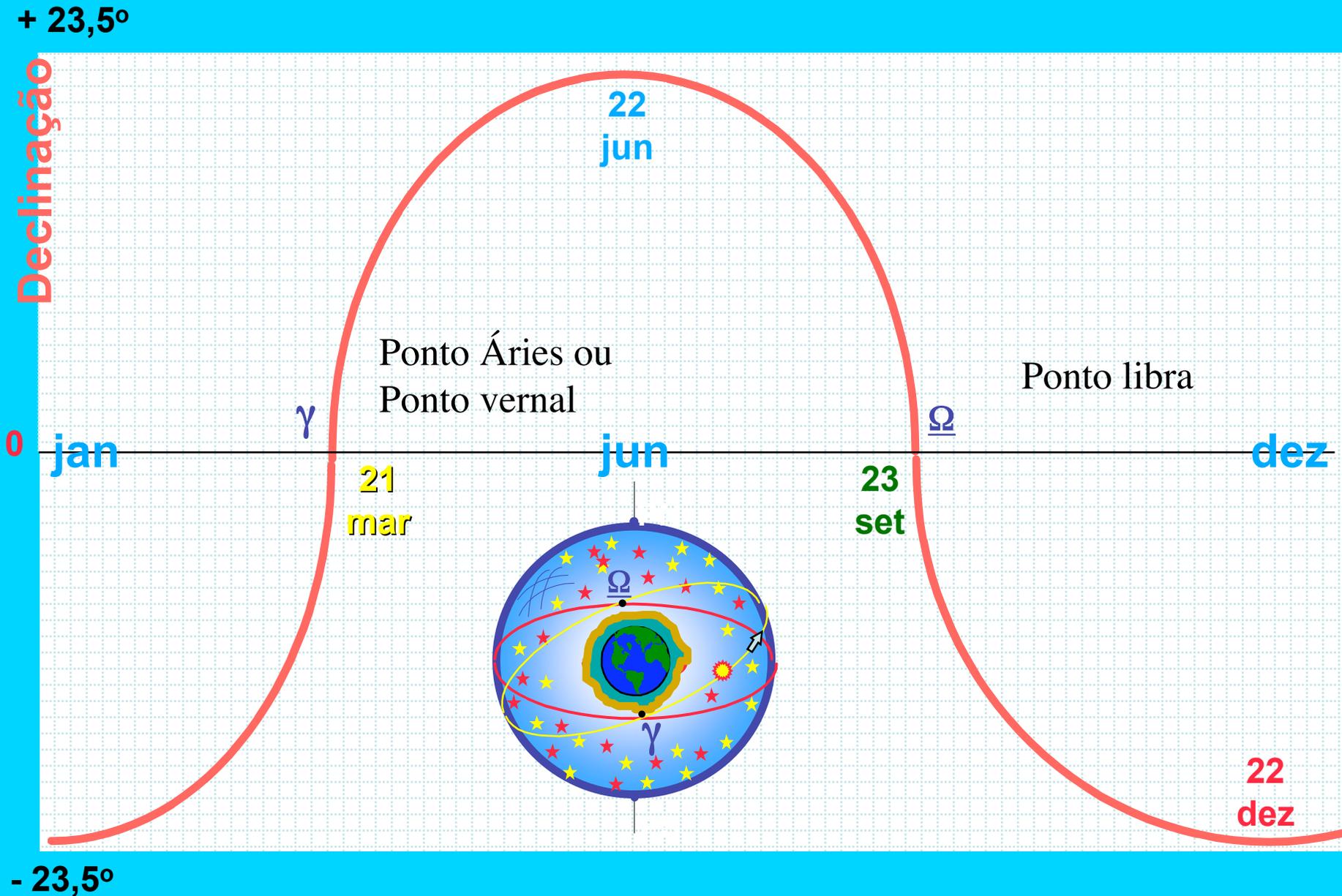
Duração do dia em diferentes latitudes



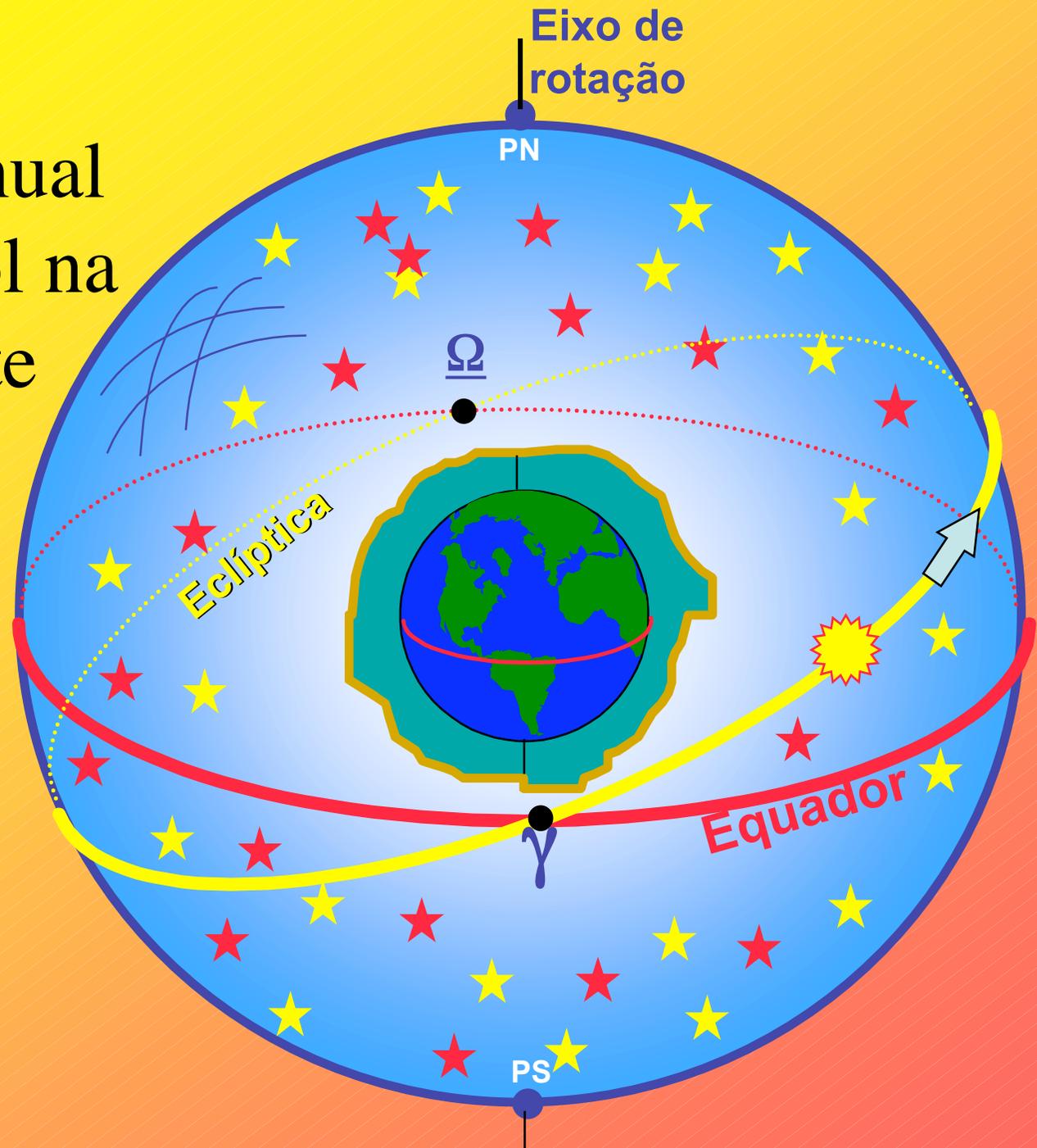
Pergunta: as latitudes mostradas neste gráfico são positivas ou negativas?

Resposta: **negativas** pois os valores referem-se ao hemisfério sul

Declinação do Sol ao longo do ano



Eclíptica:
Movimento anual
aparente do Sol na
esfera celeste



Solstícios:

Momento em que o Sol, em seu movimento aparente na esfera celeste, tem a **maior declinação** (positiva ou negativa)

Exemplo:

Solstício de verão no H.S.: maior declinação negativa

Solstício de inverno no H.S.: maior declinação positiva

Equinócios:

Um dos dois momentos em que Sol, em seu movimento aparente na esfera celeste, tem **declinação zero**.

Exemplo:

Sol com $\delta = 0$, indo para o norte: primavera no H.N.

Recapitulando...

Movimentos Planetários

Órbita da Terra em torno do Sol é uma **elipse** com pequena excentricidade ($e = 0,02$)

Órbita da Lua em torno da Terra também é uma elipse

Em uma órbita de dois corpos, o movimento dos corpos é confinado em um plano chamado **plano orbital**

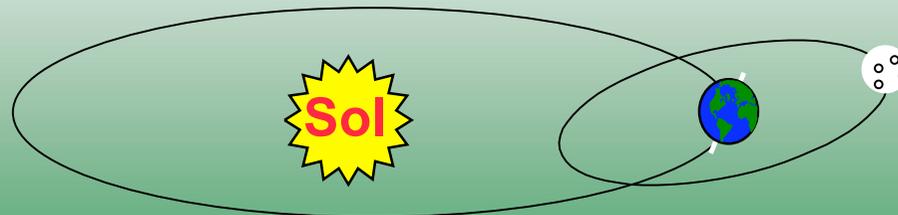
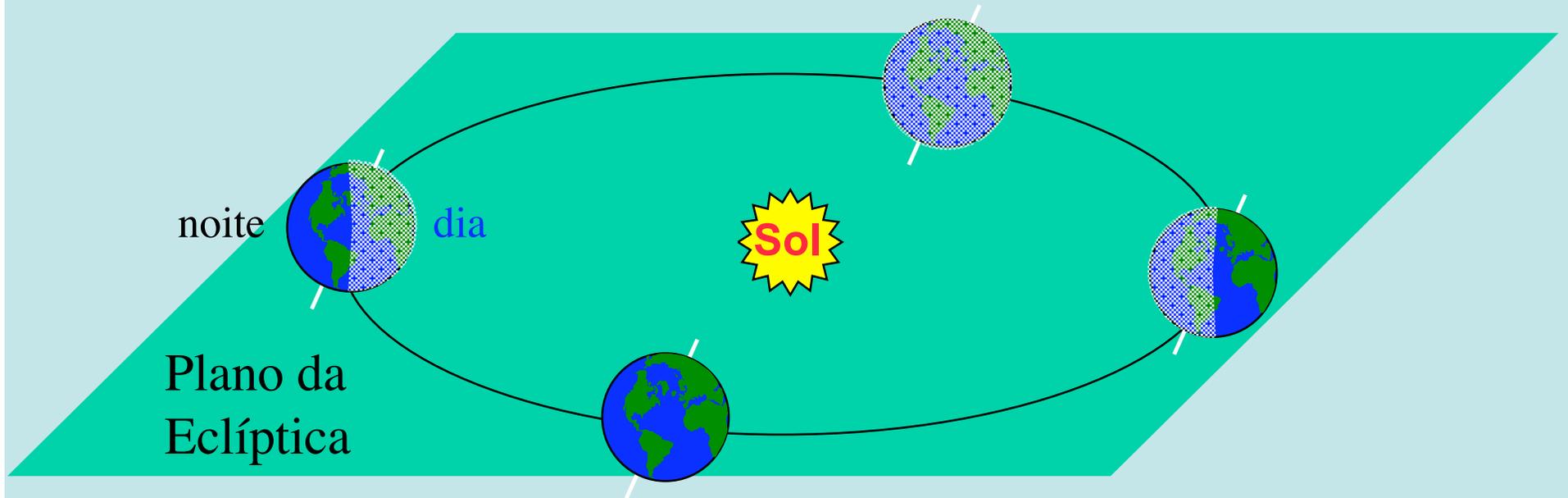
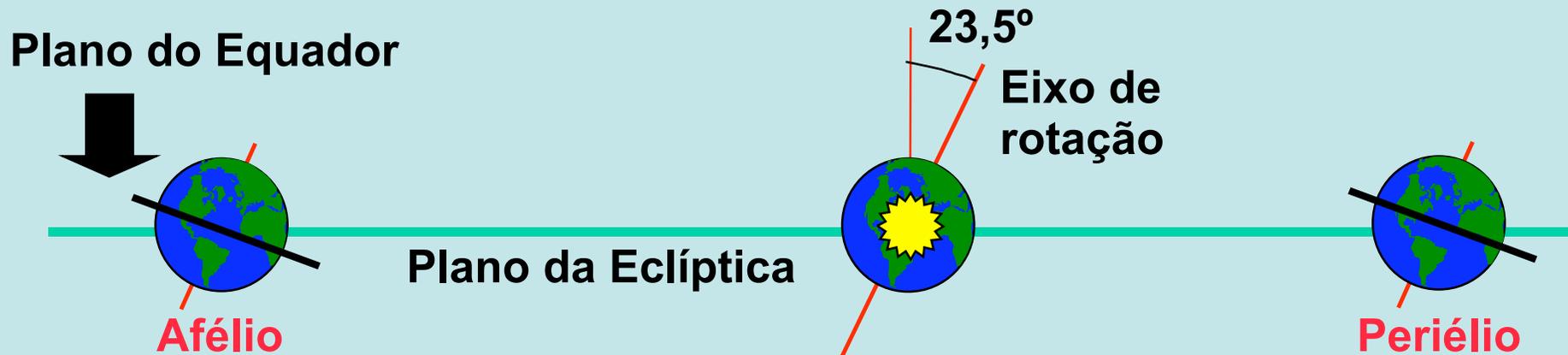


diagrama fora de escala!

Órbita da Terra



Vista de Lado



Enunciado:

~~As estações do ano (primavera, verão, outono e inverno) têm sua origem na órbita elíptica da Terra.~~

~~Quando a Terra está no periélio é verão e quando está no afélio é inverno.~~

Errado por dois motivos:

- 1) Quando é verão no hemisfério norte é inverno no sul, e vice-versa
- 2) A distância Terra-Sol varia apenas 3% ao longo do ano!

Exercício em Sala:

Calcular a distância Terra-Sol no momento do afélio e periélio.

Dados: $a = 1 \text{ UA}$ e $e = 0,02$

Resolução:

$$c = a \times e$$

Afélio: $d = a + c = a(1 + e)$

$$d = 1,02 \text{ UA}$$

Periélio: $d = a - c = a(1 - e)$

$$d = 0,98 \text{ UA}$$

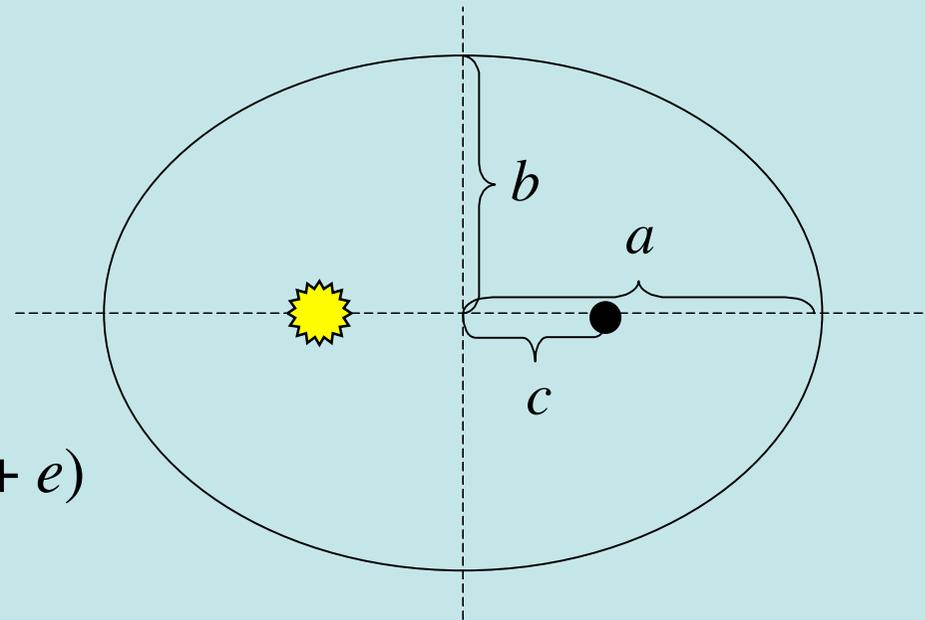
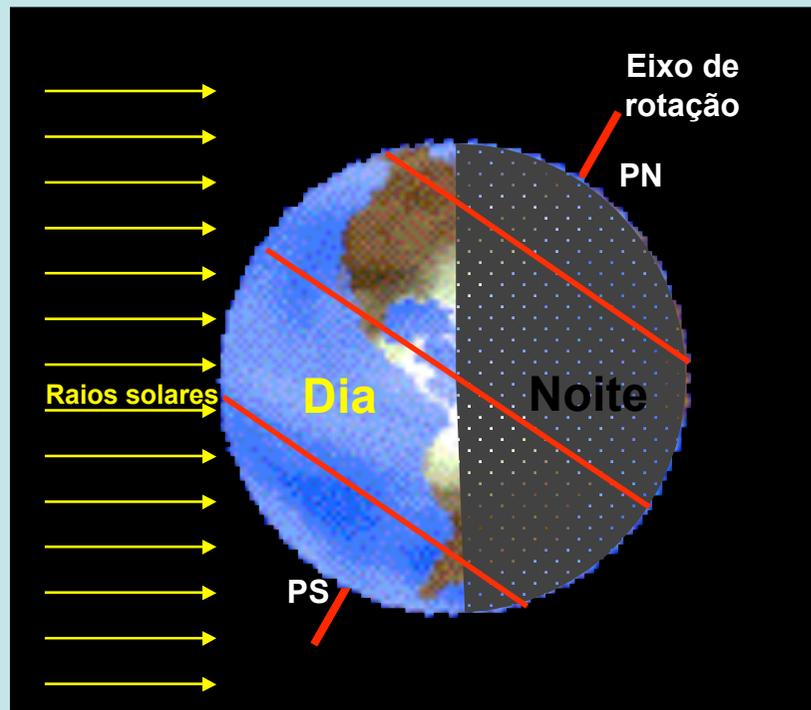


diagrama fora de escala!

Qual o motivo das estações?

As estações são causadas pela inclinação entre o eixo de rotação da Terra e o plano orbital da Terra (plano da eclíptica). Isso tem duas consequências principais:

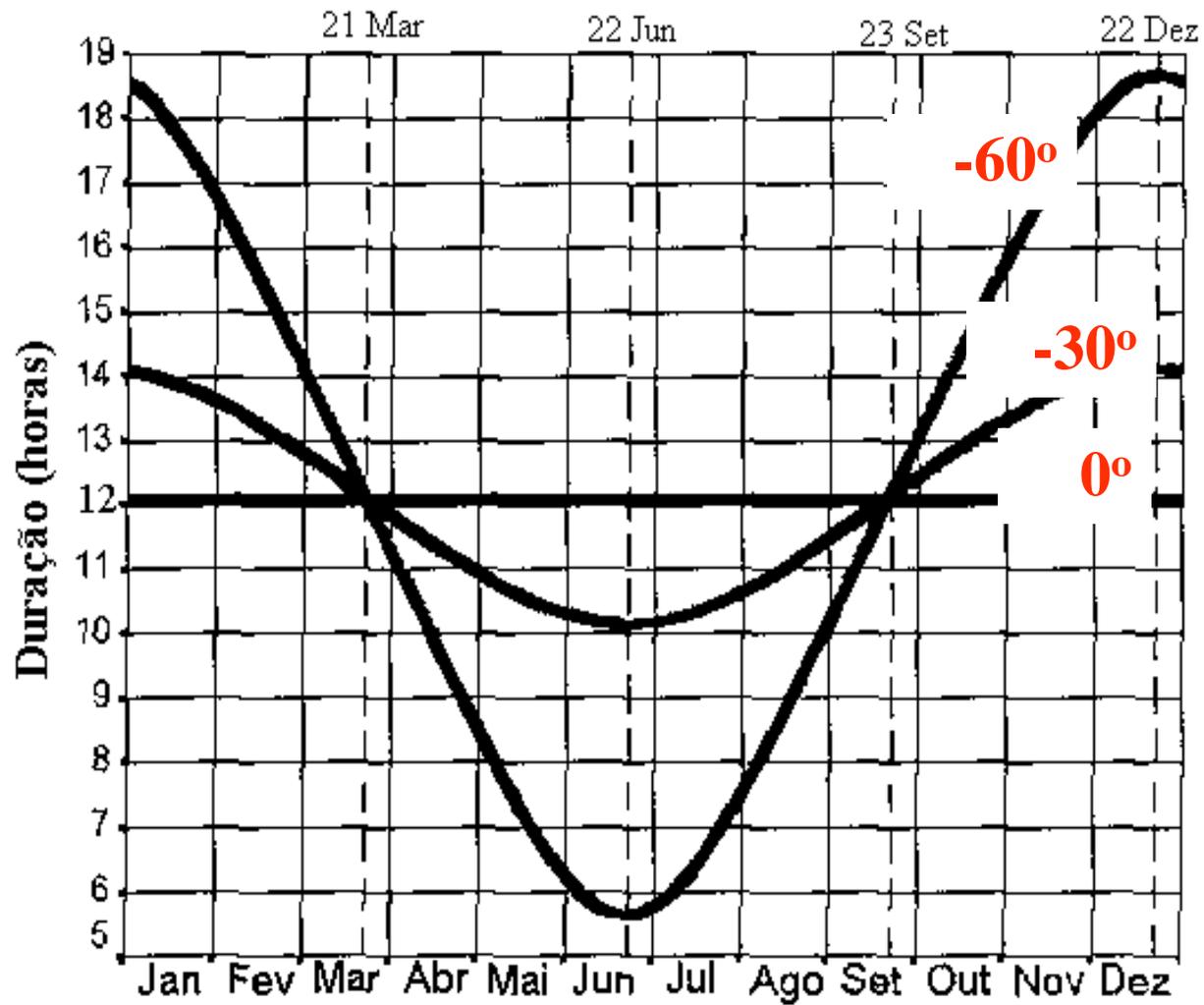
1) Duração do dia é maior no verão que no inverno, de forma mais energia é absorvida pela superfície terrestre



Equador: dias e noites sempre iguais

Outras latitudes: dias e noites em geral diferentes

Duração do dia em diferentes latitudes



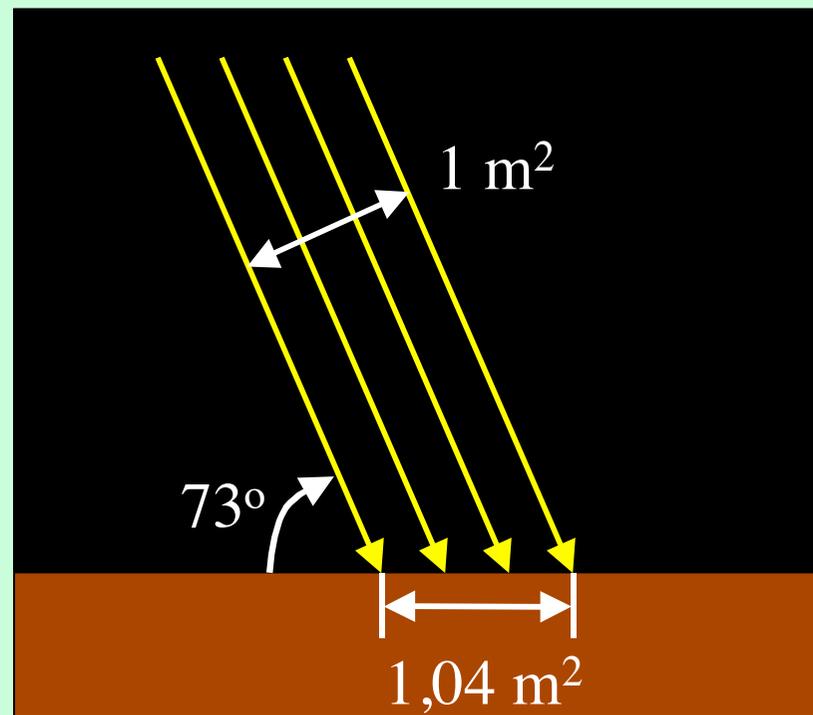
Qual o motivo das estações?

As estações são causadas pela inclinação entre o eixo de rotação da Terra e o plano orbital da Terra (plano da eclíptica). Isso tem duas consequências principais:

- 1) Duração do dia é maior no verão que no inverno, de forma mais energia é absorvida pela superfície terrestre**
- 2) Ângulo de incidência da luz solar varia ao longo do ano**

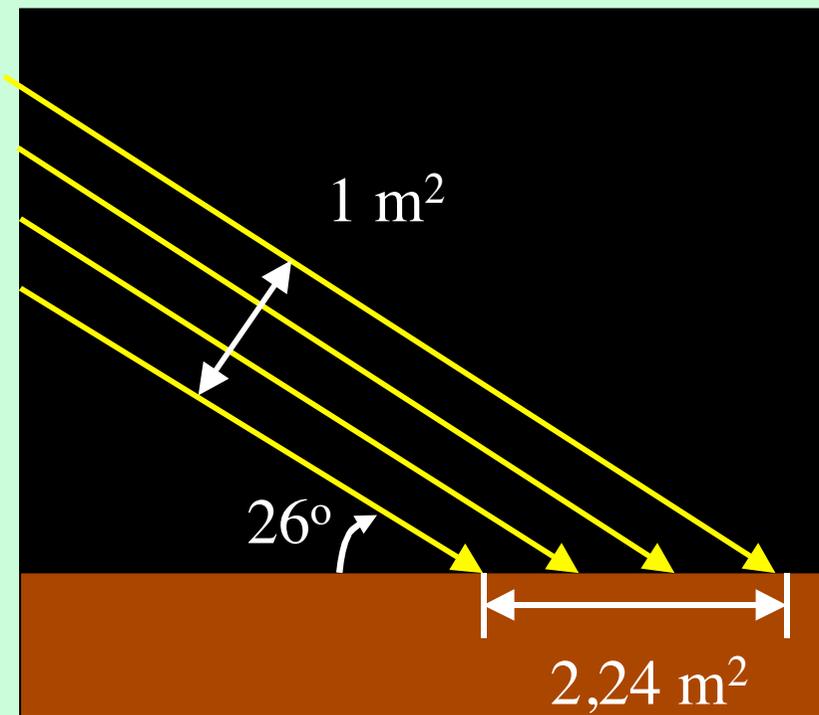
Verão

No verão, os raios solares incidem mais **perpendicularmente** na superfície e “se concentram” em uma **área menor**. Dessa forma, mais energia por unidade de área é depositada na superfície.

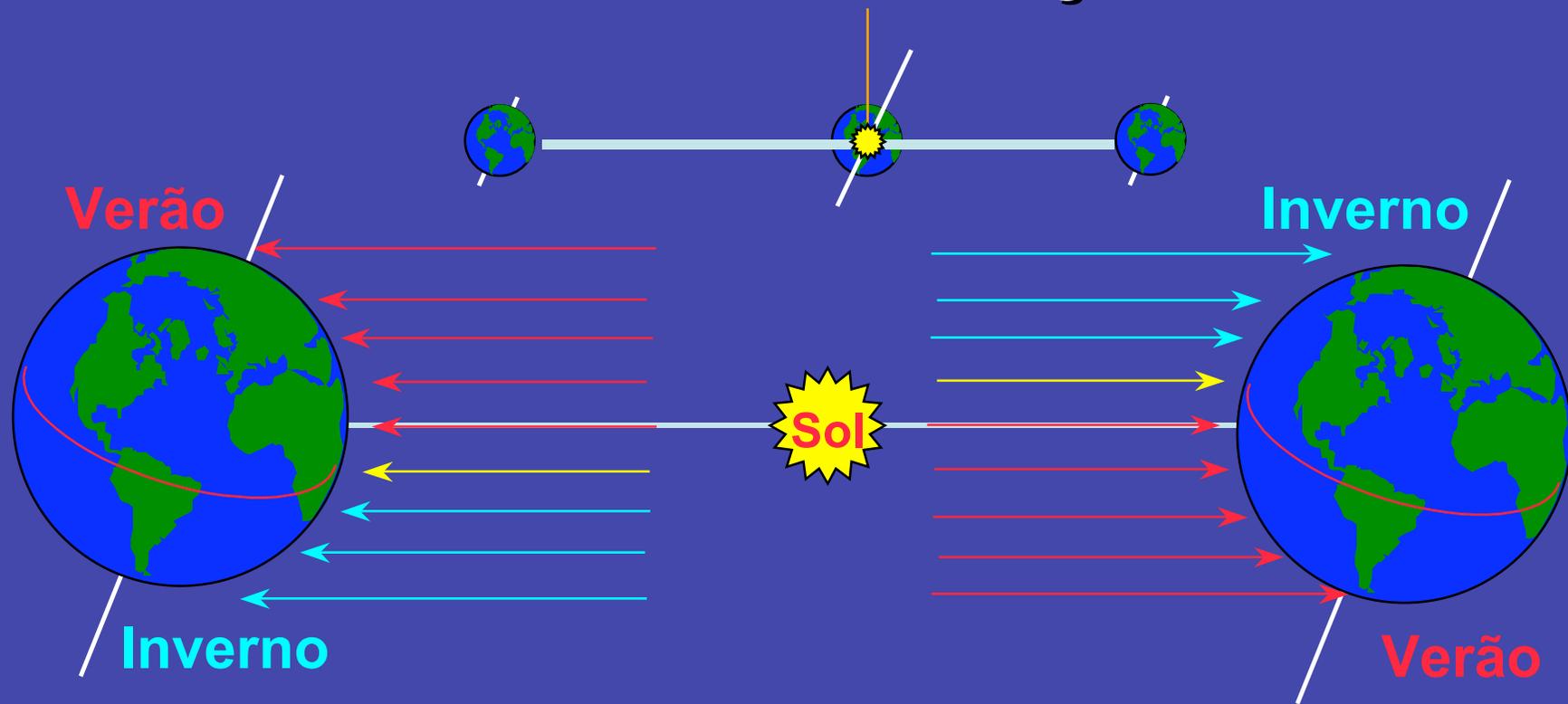


Inverno

No inverno, os raios solares incidem mais **obliquamente** na superfície e “se concentram” em uma **área maior**: menos energia por unidade de área.

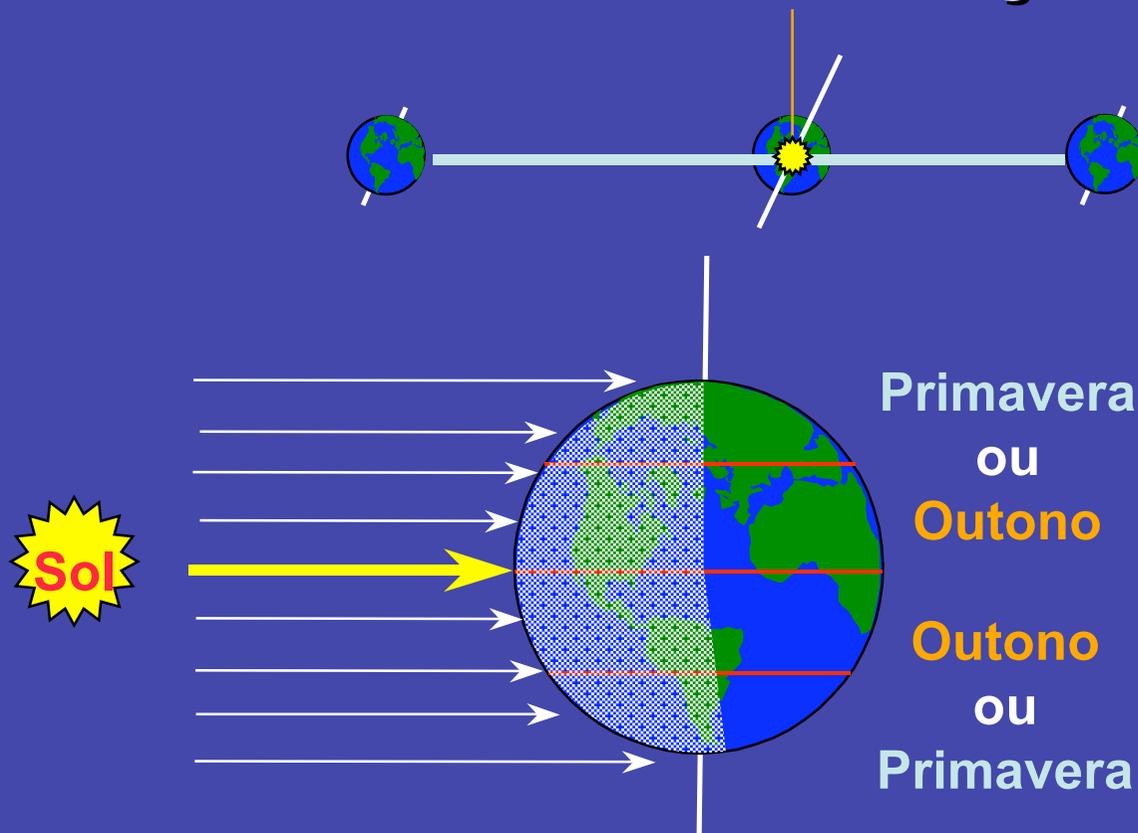


Motivo das Estações



Nos dois casos mostrados acima, o dia e a noite têm durações diferentes (salvo se o lugar considerado estiver no equador)

Motivo das Estações



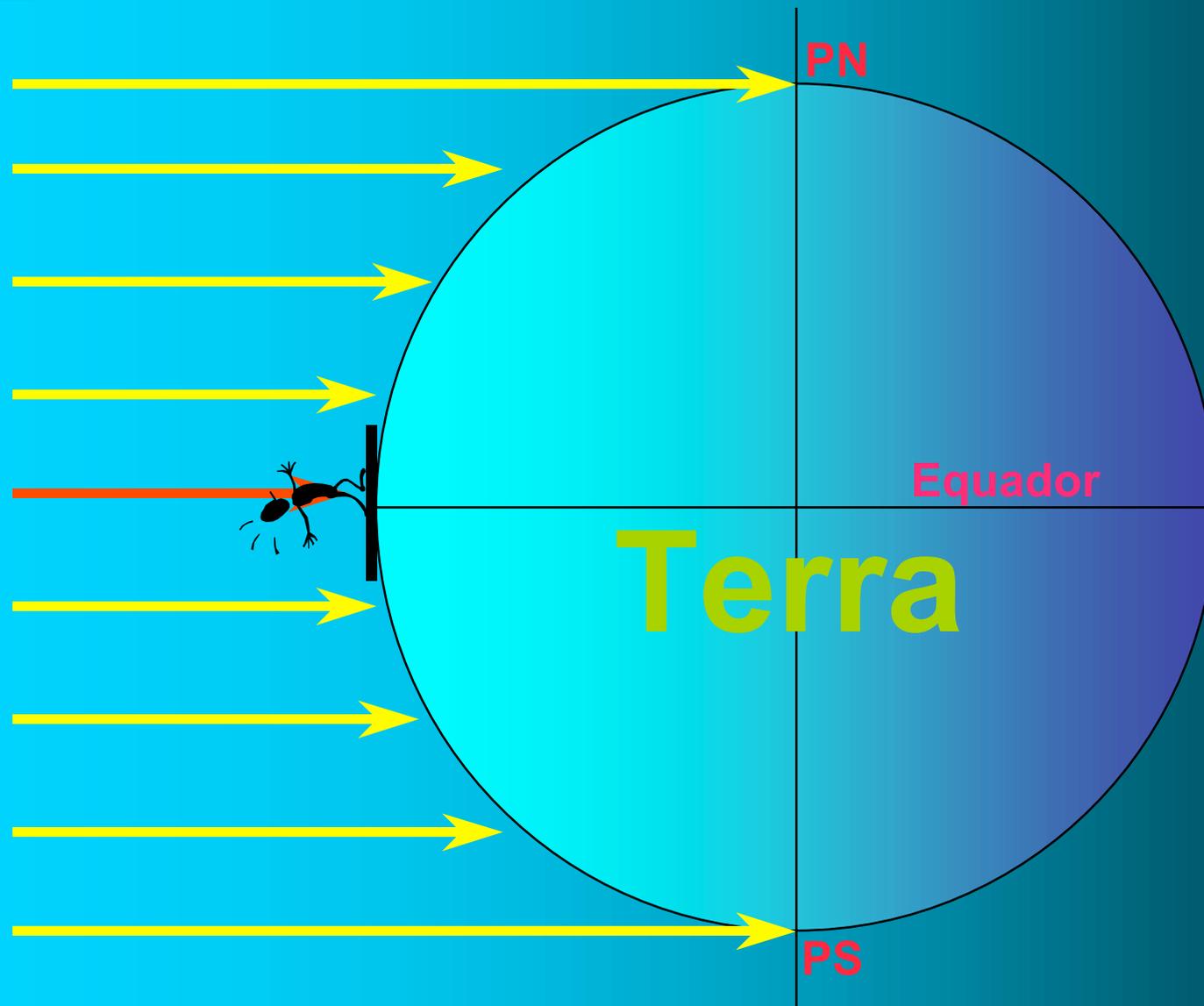
No caso acima o dia e a noite têm durações (aproximadamente) iguais em qualquer lugar do globo (equinócios!)

Paralelos especiais



Equinócio do Outono Austral

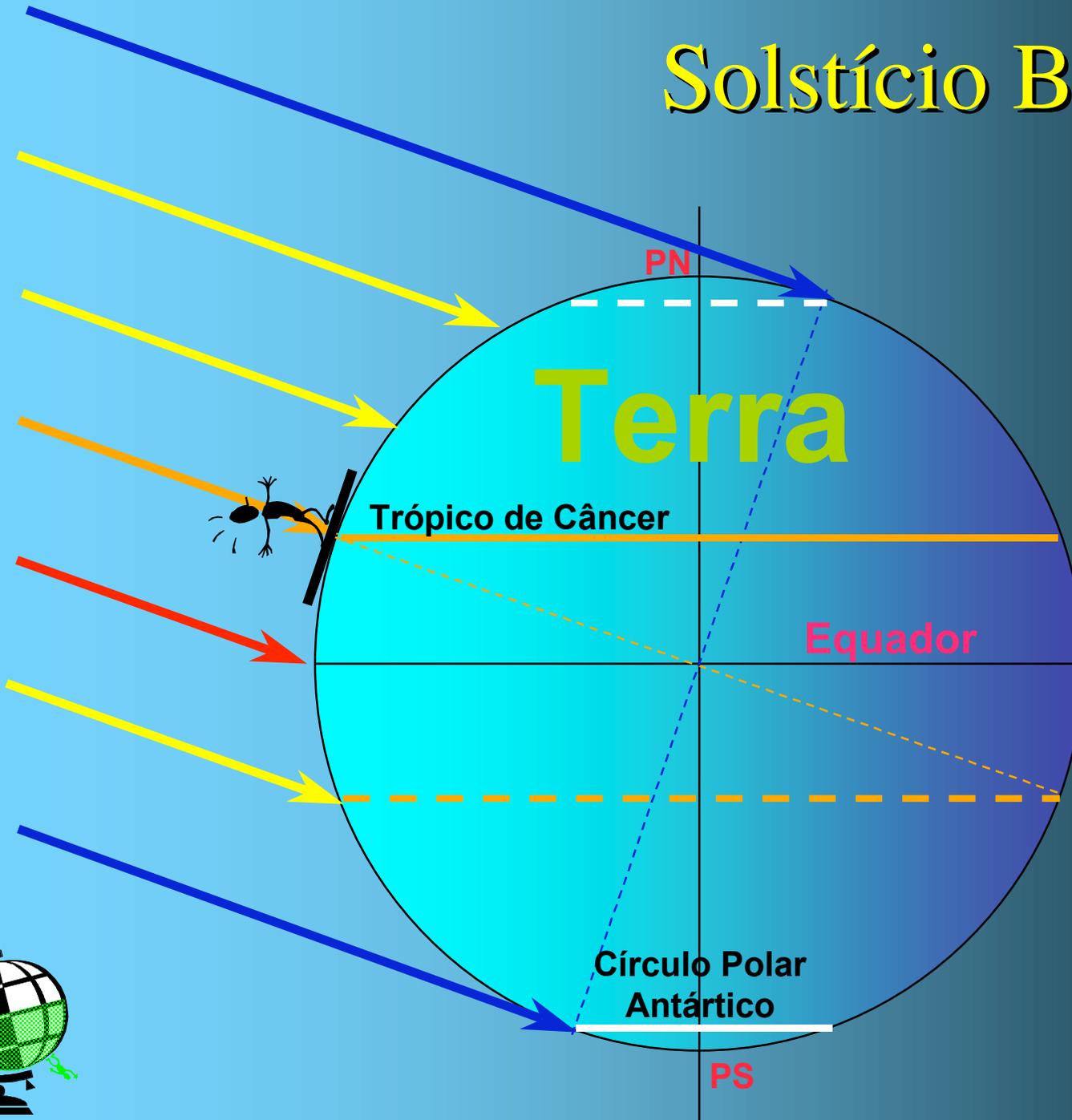
Sol no Equinócios do Outono Austral



~21 mar

Solstício Boreal

Sol no Solstício do Inverno Austral

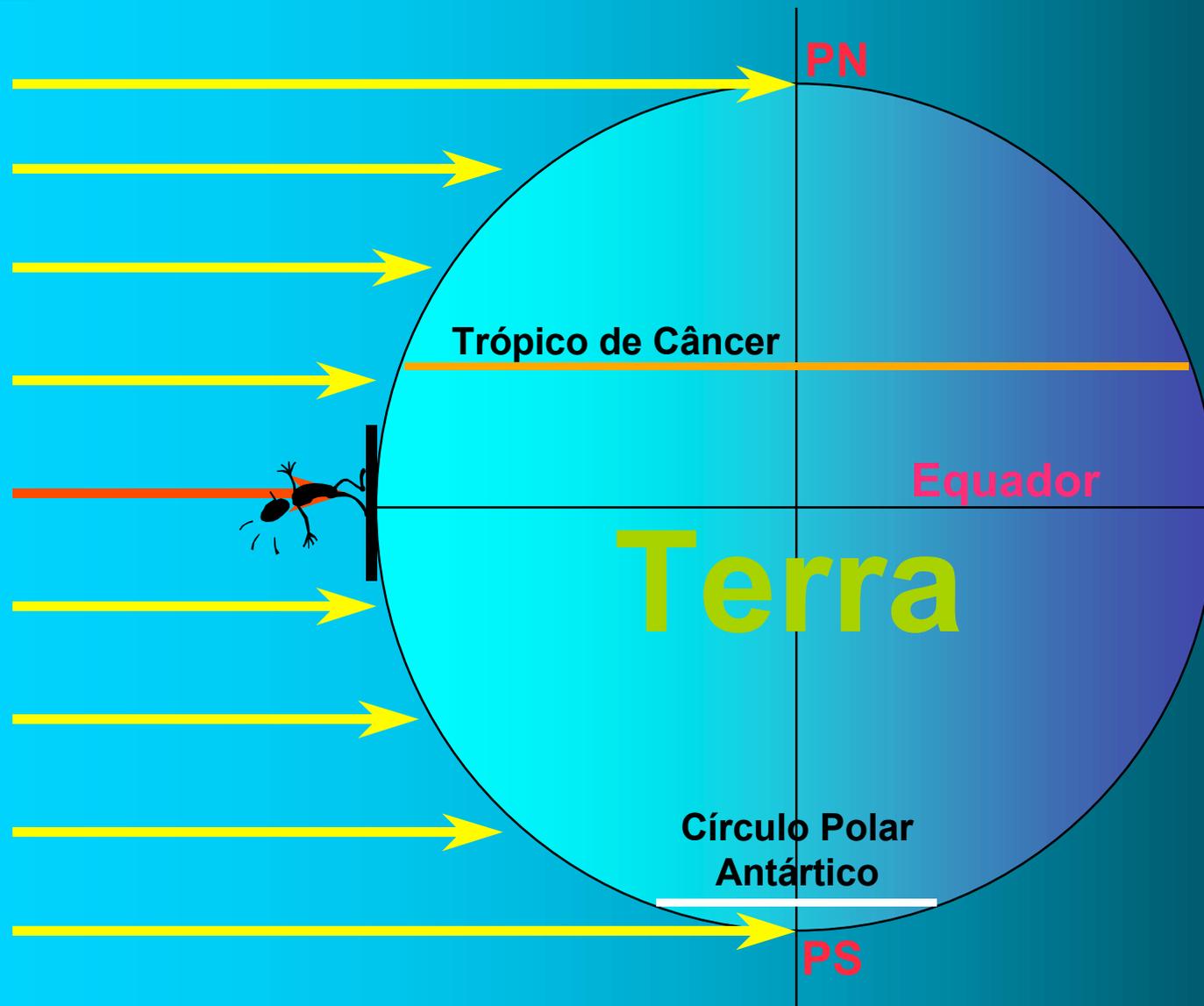


~22 jun



Equinócio da Primavera Austral

Sol no Equinócios da Primavera Austral

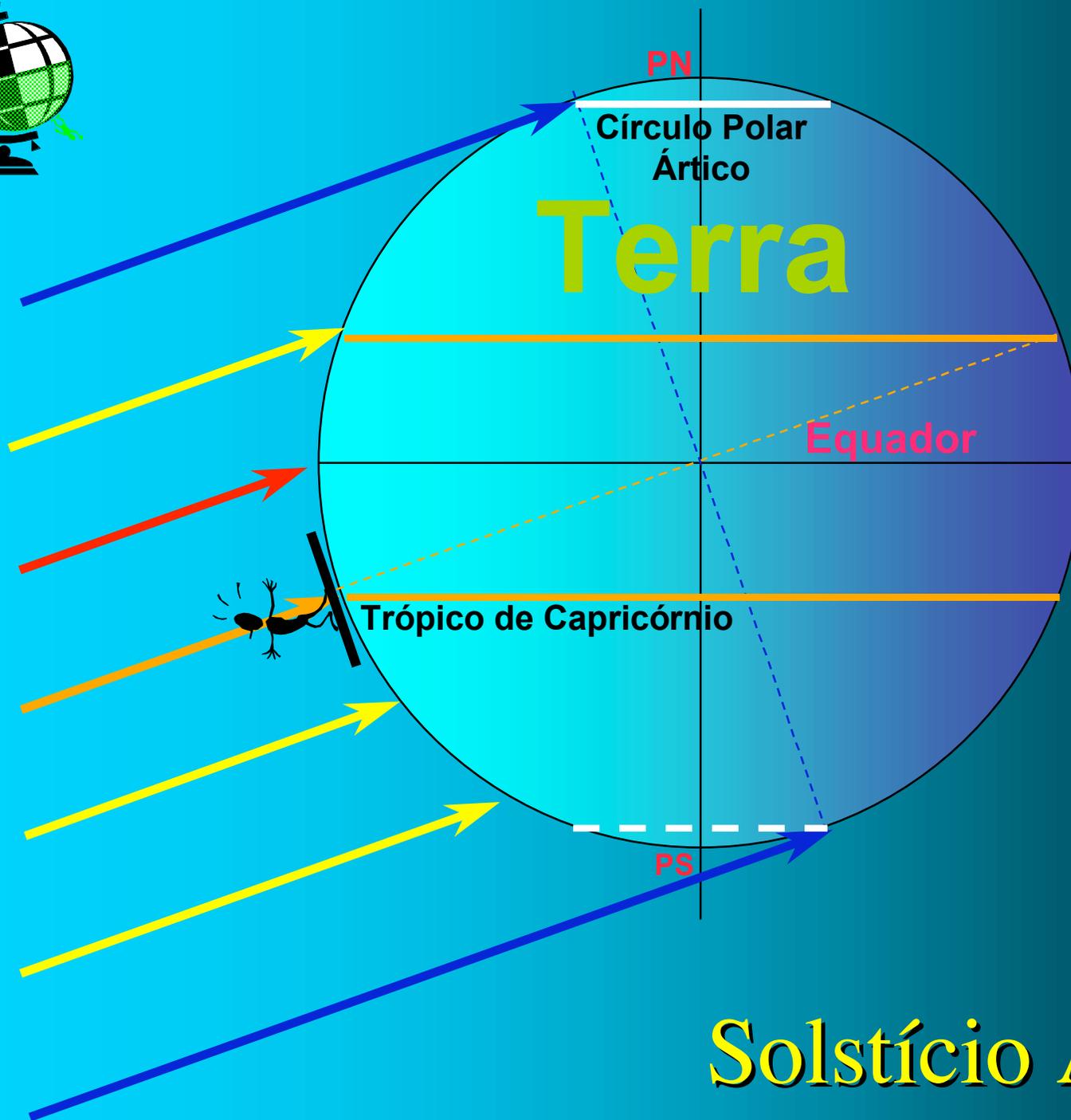


~23 set

~22 dez



Sol no Solstício do Verão Austral

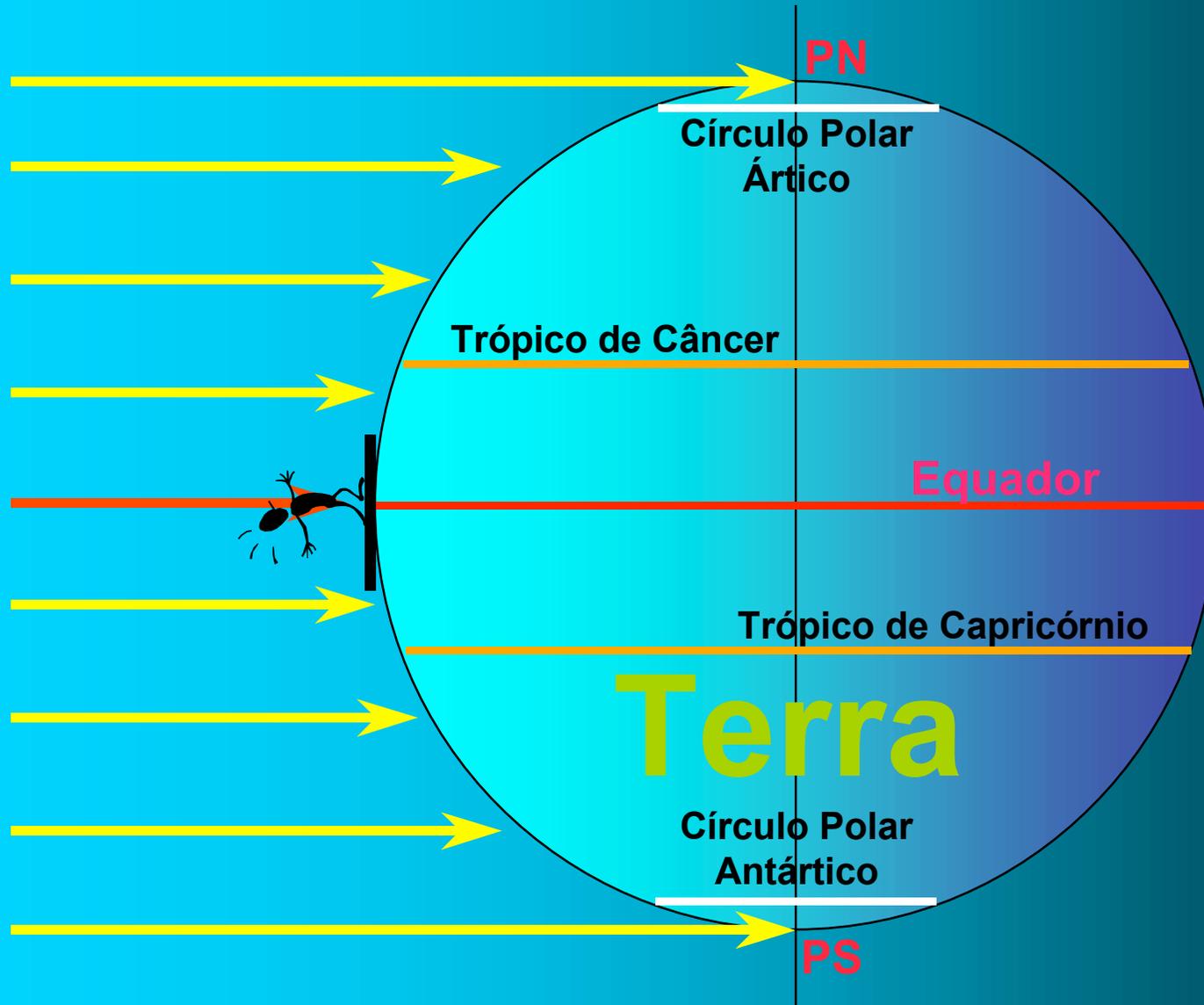


Solstício Austral



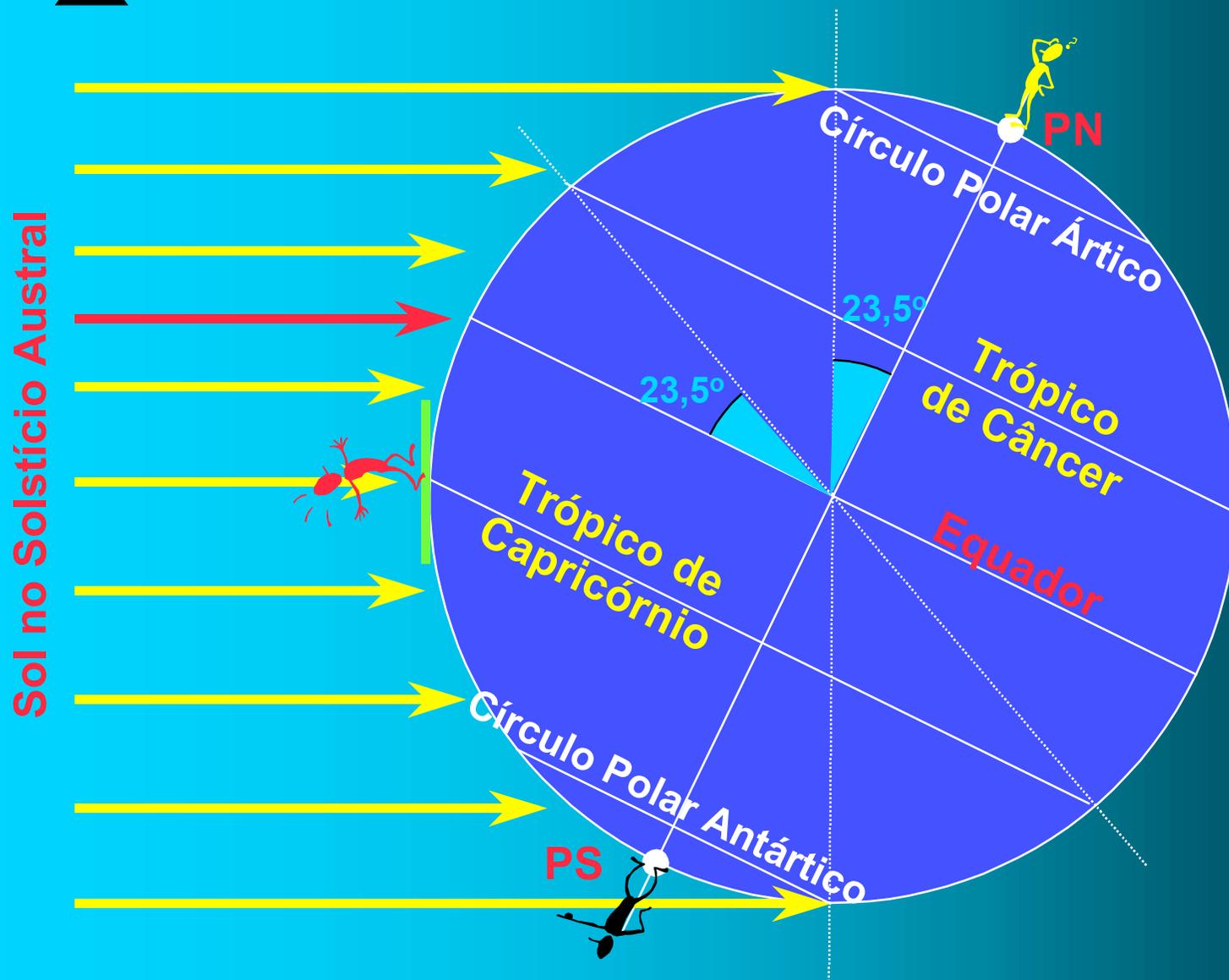
Equinócio do Outono Austral

Sol no Equinócios do Outono Austral

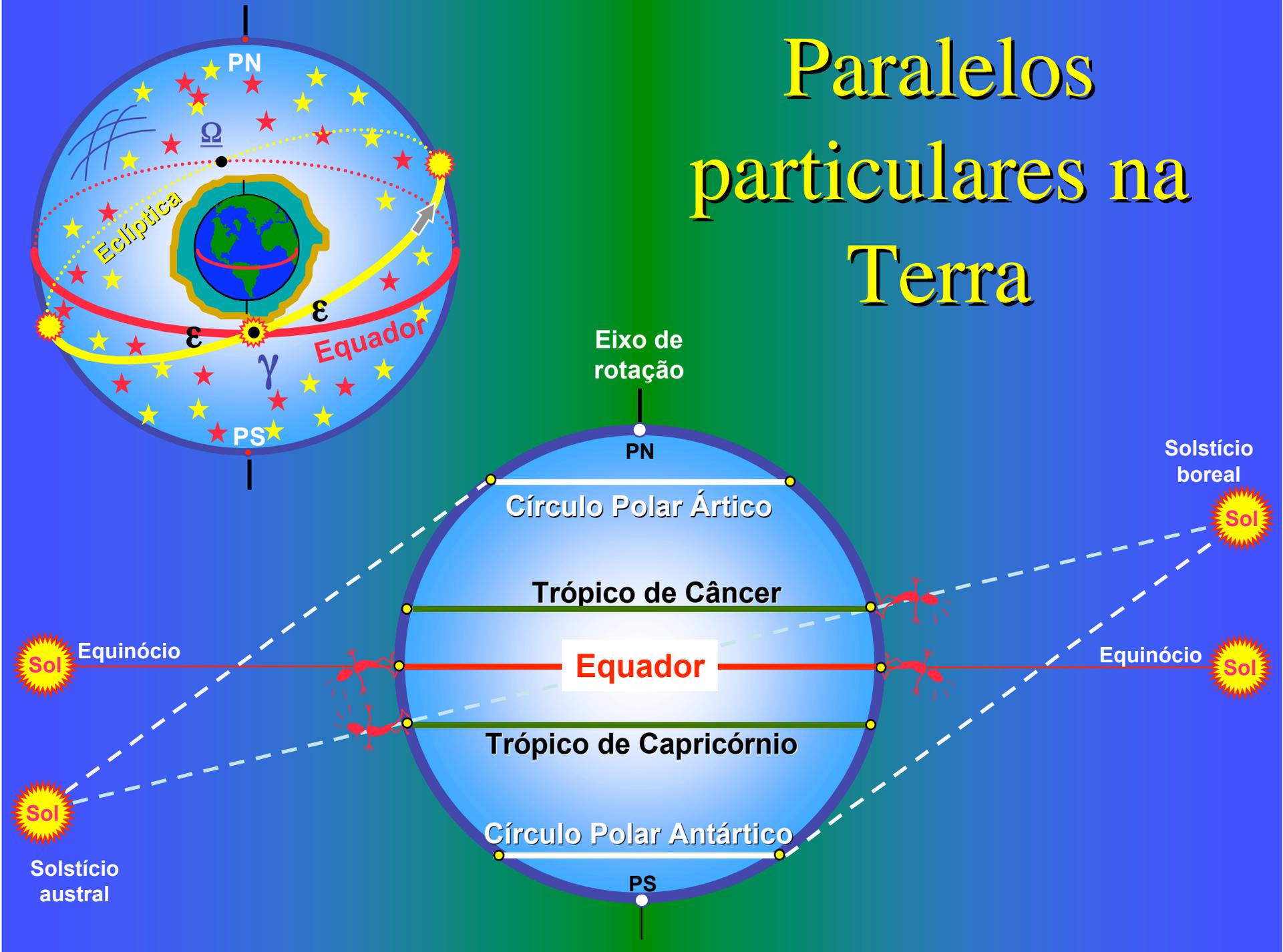




Paralelos Importantes



Paralelos particulares na Terra



O Dia

Enunciado:

O dia dura 24h.

Correto? Depende!

Dia solar (médio): 24h 00' 00''

Dia sideral: 23h 56' 04''

Dia Solar (Médio)

Definição: tempo (médio) decorrido entre duas passagens meridianas do Sol.

24h 00' 00''

A duração real do dia varia ao longo do ano, sendo em geral ligeiramente inferior ou ligeiramente superior a 24h (tempo solar aparente).

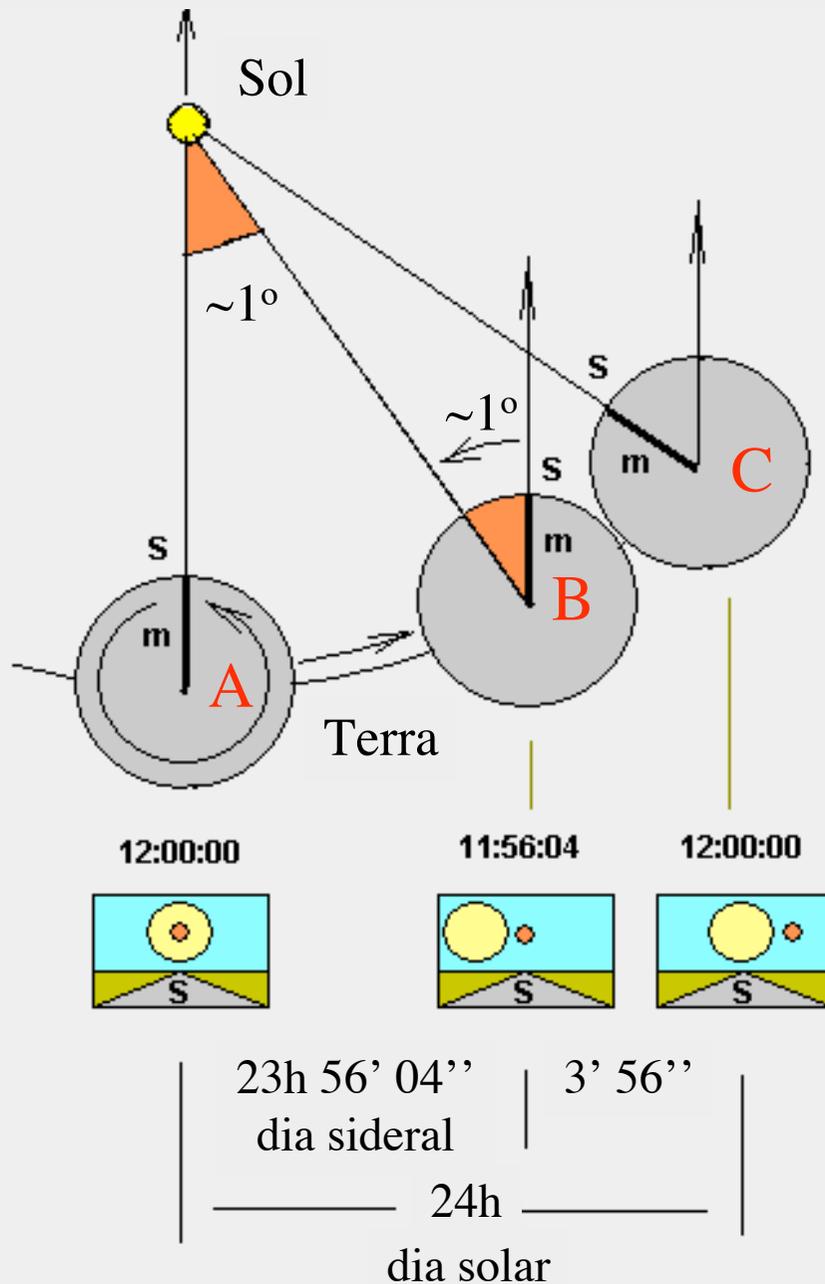
Isso ocorre pois a velocidade de translação da Terra muda ao longo de sua trajetória elíptica.

Dia Sideral

Definição: Tempo decorrido entre duas passagens meridianas de uma dada estrela.

23h 56' 04''

Estrela Distante



Duas passagens meridianas de uma dada estrela estão separadas por 23h56m04s (pontos A e B)

Neste intervalo, a Terra percorre 1/365 da sua órbita (aproximadamente 1°)

São necessários aprox. 4 m adicionais para o Sol retornar à mesma posição S.

(ponto C)

Enunciado:

O período de rotação da Terra é de 24h.

ERRADO! O período de rotação é igual ao dia sideral, ou seja, 23h 56' 04''.

A Lua, satélite natural da Terra





A Lua em números



Distância média à Terra (centro-a-centro):

384 mil km = 30 x diâmetro terrestre

Perigeu: menor distância à Terra = 363 mil km

Apogeu: maior distância à Terra = 406 mil km

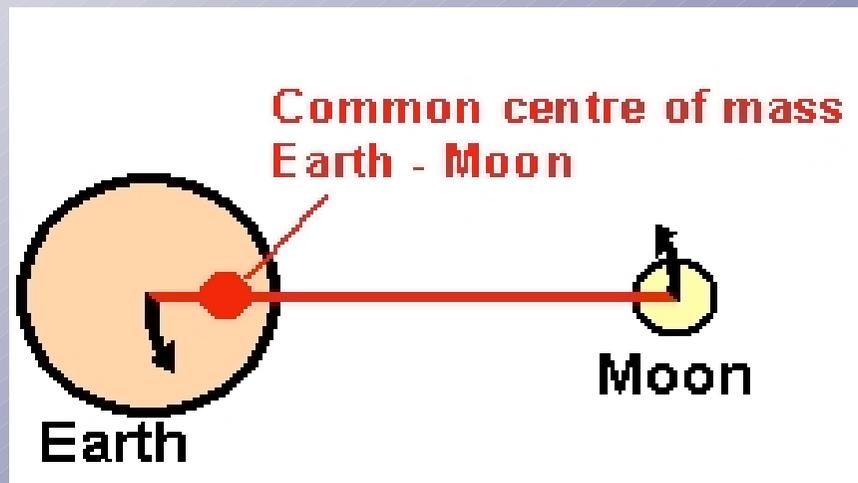
Diâmetro médio: 3474 km = 0.273 x diâmetro terrestre

Massa: $7,35 \times 10^{22}$ kg = 1/81 x Massa da Terra

Revolução

Lua e Terra formam um sistema gravitacionalmente ligado. Ambos giram em torno do centro de massa do sistema.

O centro de massa do sistema Terra-Lua está situado na linha reta que liga os dois astros, num ponto interior à Terra.

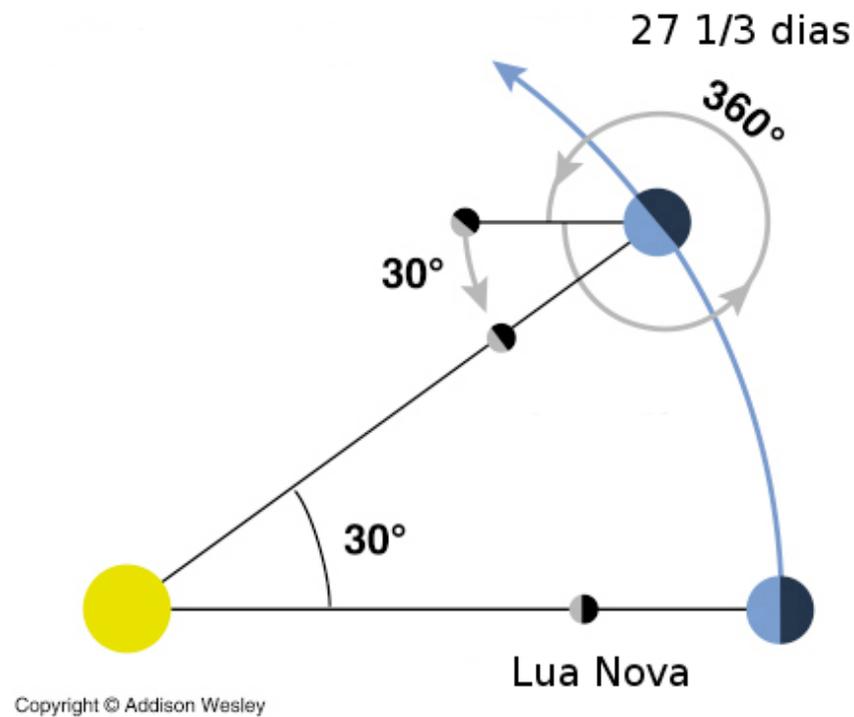


(Fora de escala)

**O período de revolução *sideral* da Lua é de:
27d 7h e 43'**

**O período de revolução *sinódica* é de:
29d 12h 44' = **Lunação****

A Lua realiza uma revolução (sideral) em $27 \frac{1}{3}$ dias, mas ela precisa de um período adicional para atingir a mesma posição relativa ao Sol (lunação).



29 1/2 days

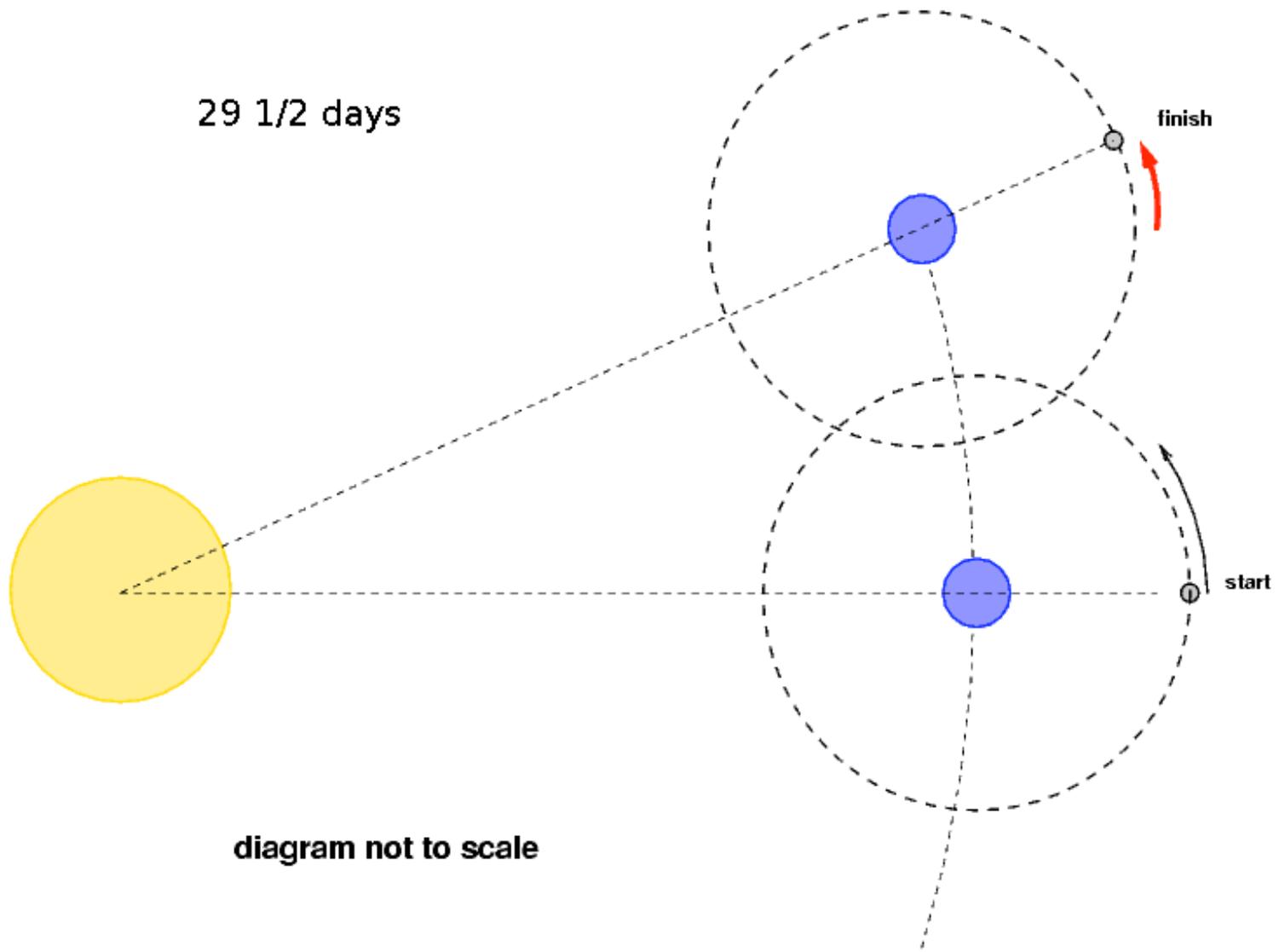


diagram not to scale

Período de Rotação

A rotação da Lua em torno de seu eixo é **sincronizada com seu período de revolução sideral**, ou seja, o período de rotação da Lua é 27d 7h e 43'

Consequentemente, a Lua apresenta (aproximadamente) sempre a mesma face voltada para a Terra:
rotação síncrona

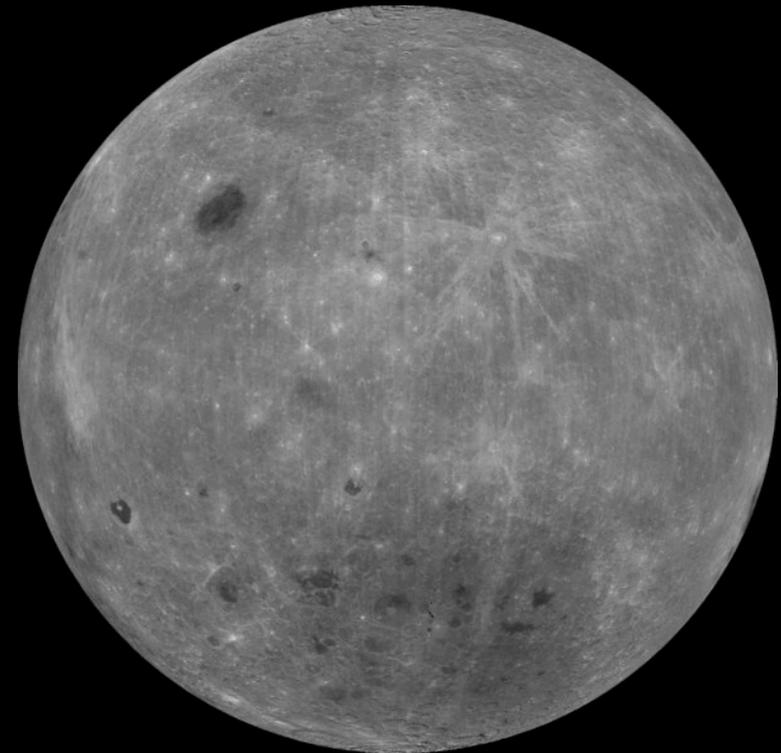
2007 Oct 11 00:00:00 UT



“Faces” da Lua



Face próxima



Face oposta

Grande mito da Astronomia



**A Lua possui
uma face que é
sempre escura:
*The dark side of
the moon***

Fato:

Todos os lados da Lua são iluminados ao longo de um mês.

O único lugar onde existe um “Dark side of the Moon” é na capa de um disco do Pink Floyd

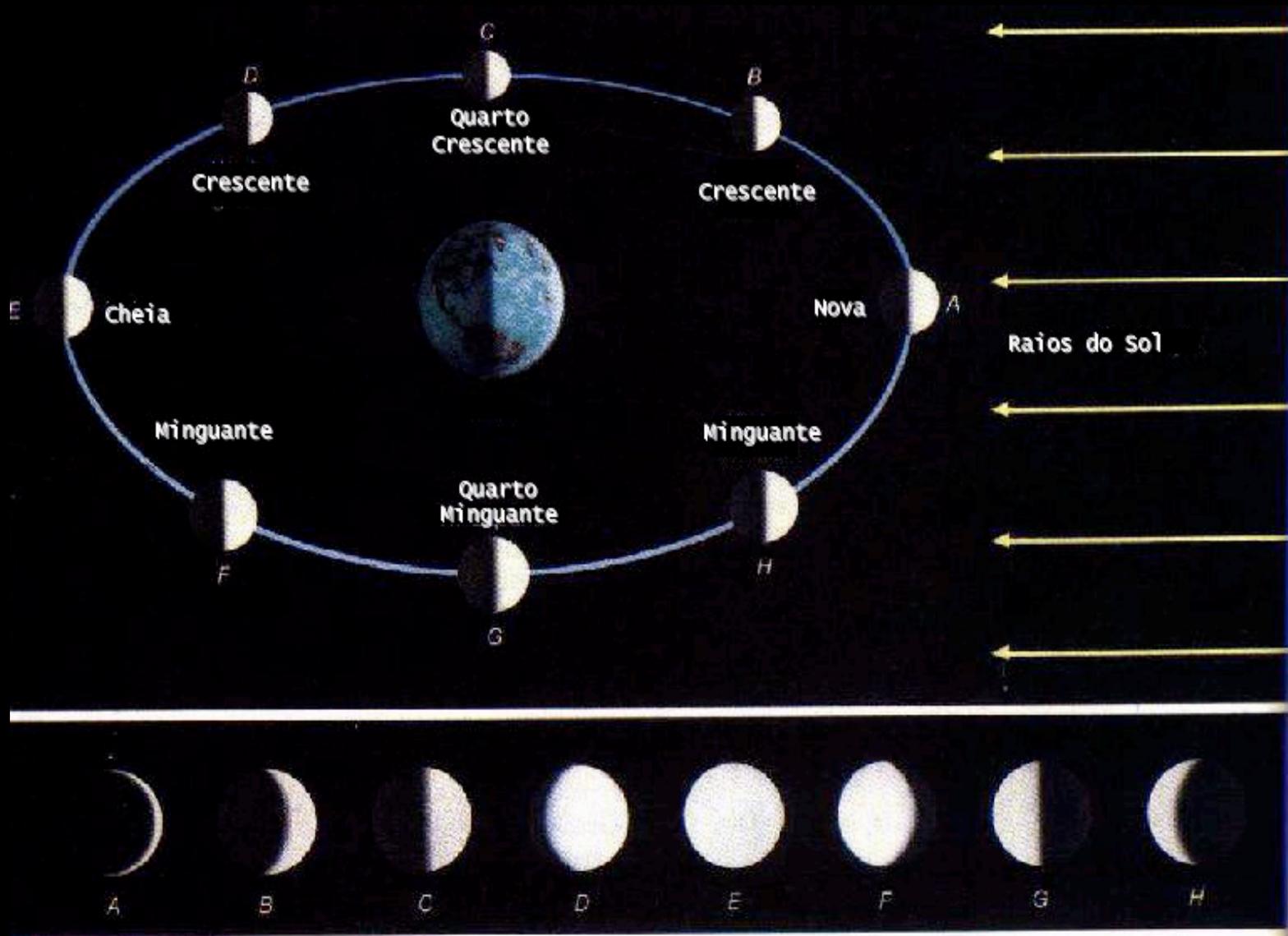
PINK
FLOYD
THE
DARK SIDE
OF THE
MOON



Fases da Lua

O filósofo grego Aristóteles (384 – 322 a.C.) sugeriu que os diferentes aspectos da Lua ao longo de uma luação seriam causados pelo fato de ser esta iluminada pelo Sol.

As fases da Lua portanto resultam da observação da mesma a partir de diversas direções relativas ao Sol, ao longo de uma luação.



As 4 fases da Lua

Lua nova: Sol, Lua e Terra alinhados, nessa ordem.

Lua quarto-crescente: Sol, Terra e Lua formando um ângulo reto
(*quadratura*)

Lua cheia: Sol, Terra e Lua alinhados, nessa ordem.

Lua quarto-minguante: Sol, Terra e Lua formando um ângulo reto.

Observações:

A fase quarto-crescente sucede a fase Nova.

A fase quarto-minguante sucede a fase Cheia.

Nascer e Ocaso da Lua

Na fase Nova, o nascer e ocaso da Lua se dão conjuntamente com o nascer e ocaso do Sol.

Na fase Cheia, o nascer da Lua coincide com o ocaso do Sol e vice-versa.

Na fase Quarto-Crescente, a Lua cruza o meridiano astronômico local em horário próximo ao ocaso do Sol.

Na fase Quarto-Minguante, a Lua cruza o meridiano astronômico local em horário próximo ao nascer do Sol.

É fácil disso deduzir que a Lua nasce cerca de 50 minutos mais tarde a cada dia (ver lista de exercícios)

A Astronomia e os Calendários

15
07
09

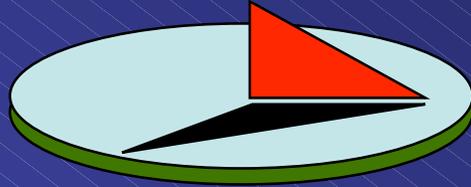
R. Boczko
IAG - USP

O que é um Calendário?

Janeiro						
Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

É um conjunto de regras para associar dias INTEIROS em períodos maiores com a finalidade de contar a passagem do tempo em escala maior que um dia.

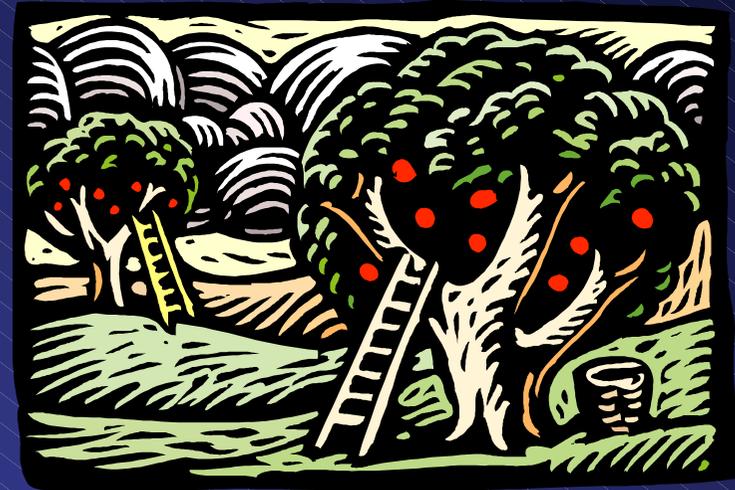
Qual a importância de um calendário?



Contagem da
passagem do
tempo para todo
tipo de aplicações



Cálculo das datas
das celebrações
religiosas



Previsão da época
correta para práticas
de agricultura

Ciclos usados em calendários



Alguns Períodos Astronômicos

Dia_(fundamental) Ligado ao nascer do sol

Semana Origem astrológica

Mês Ligado às fases da Lua

Ano Ligado às estações do ano

Metônico Ciclo luni-solar (19 anos)

etc.

Alguns Calendários

Solar Baseado na duração do ano
(ex: calendário gregoriano)

Lunar Baseados nas lunações
(ex: calendário muçulmano)

Luni-solar Baseado no metônico
(ex: calendário judaico)

Estima-se que existam aproximadamente 40 calendários em uso no planeta!

Número de Dias e de Lunações num Ano Trópico

Ano Trópico ~ 12,368.267 lunações

Lunação ~ 29,530.589 dias

Ano Trópico ~ 365,242.199 dias

Primavera

Verão

Outono

Inverno

1

12

12 lunações = 354,36707 dias

~11
dias

Qual o grande problema na
formulação de um calendário?

A incomensurabilidade!

A incomensurabilidade é a impossibilidade de se medir, exatamente, a duração de um ciclo com a duração de outro ciclo astronômico adotado na confecção dos calendários.

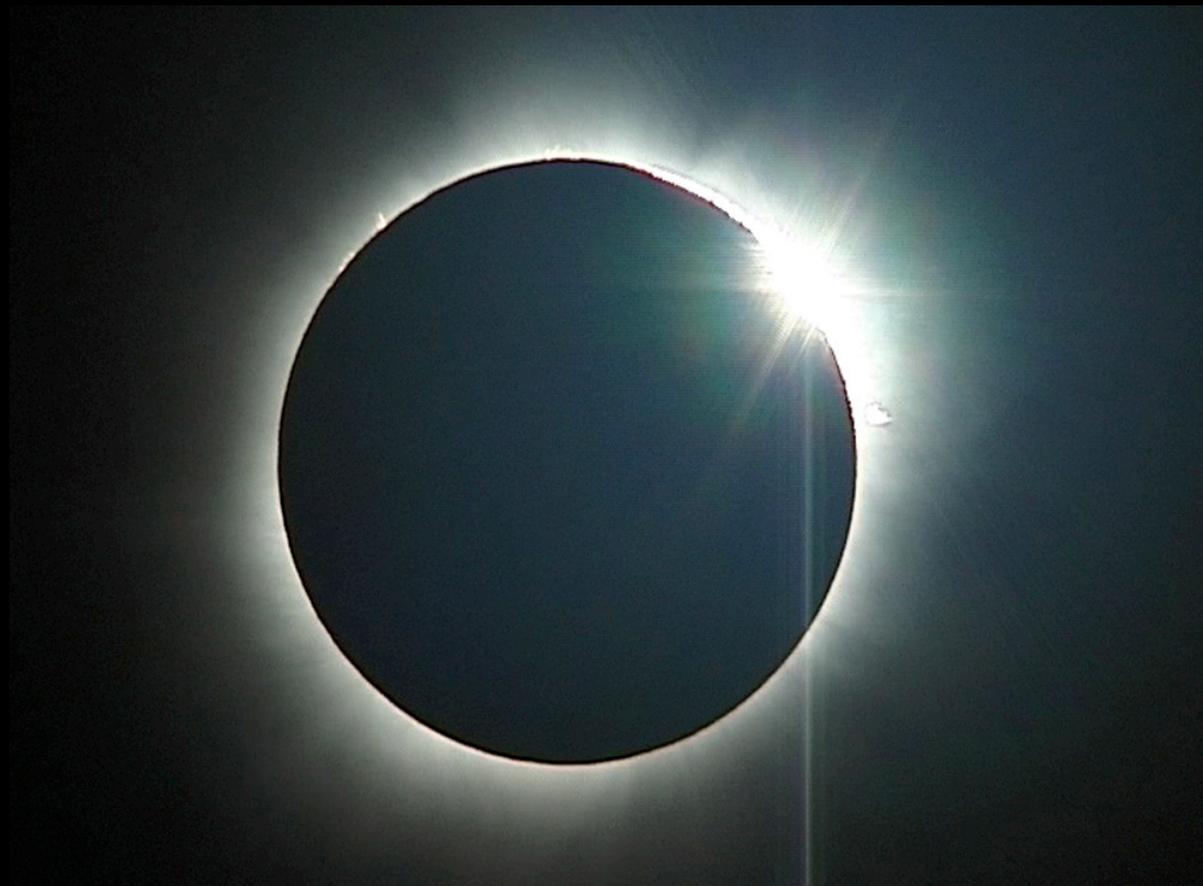
Calendário Gregoriano

- O **calendário Juliano**, introduzido por Julio Cesar (102-44 a.C.) tinha 365 dias, com um ano bissexto a cada 4 anos. Ou seja, neste calendário o ano durava 365 dias mais um quarto de dia: 365,25 dias.
- O calendário Juliano vigorou por 1600 anos.
- Uma reforma do calendário Juliano foi introduzida pelo papa Gregorio XIII (1571-1630), segundo orientação do astrônomo Christoph Clavius.
- A reforma era necessária pois o **ano trópico** é mais curto do que 365,25 dias (365,2421 dias). Consequentemente, a data do início das estações antecipava-se a cada ano.

Calendário Gregoriano

- Em 1582, foi estabelecido que:
 - O dia seguinte a 4 de outubro de 1582 seria 15 de outubro (subtração de 10 dias)
 - Anos múltiplos de 100 não são bissextos, a não ser que sejam divisíveis por 400.
- Exemplo: 2000 foi bissexto, mas 2100 não será!
- Ou seja, o ano gregoriano tem 365 dias **mais** $1/4$ de dia (anos bissextos) **menos** $3/400$ dias (referentes a três anos que não são bissextos no período de 400 anos). Portanto, o ano dura $365 + 0,25 - 0,0075 = 365,2524$ dias, muito próximo ao ano trópico!

Eclipses Solares e Lunares



Roberto Ortiz - EACH/USP

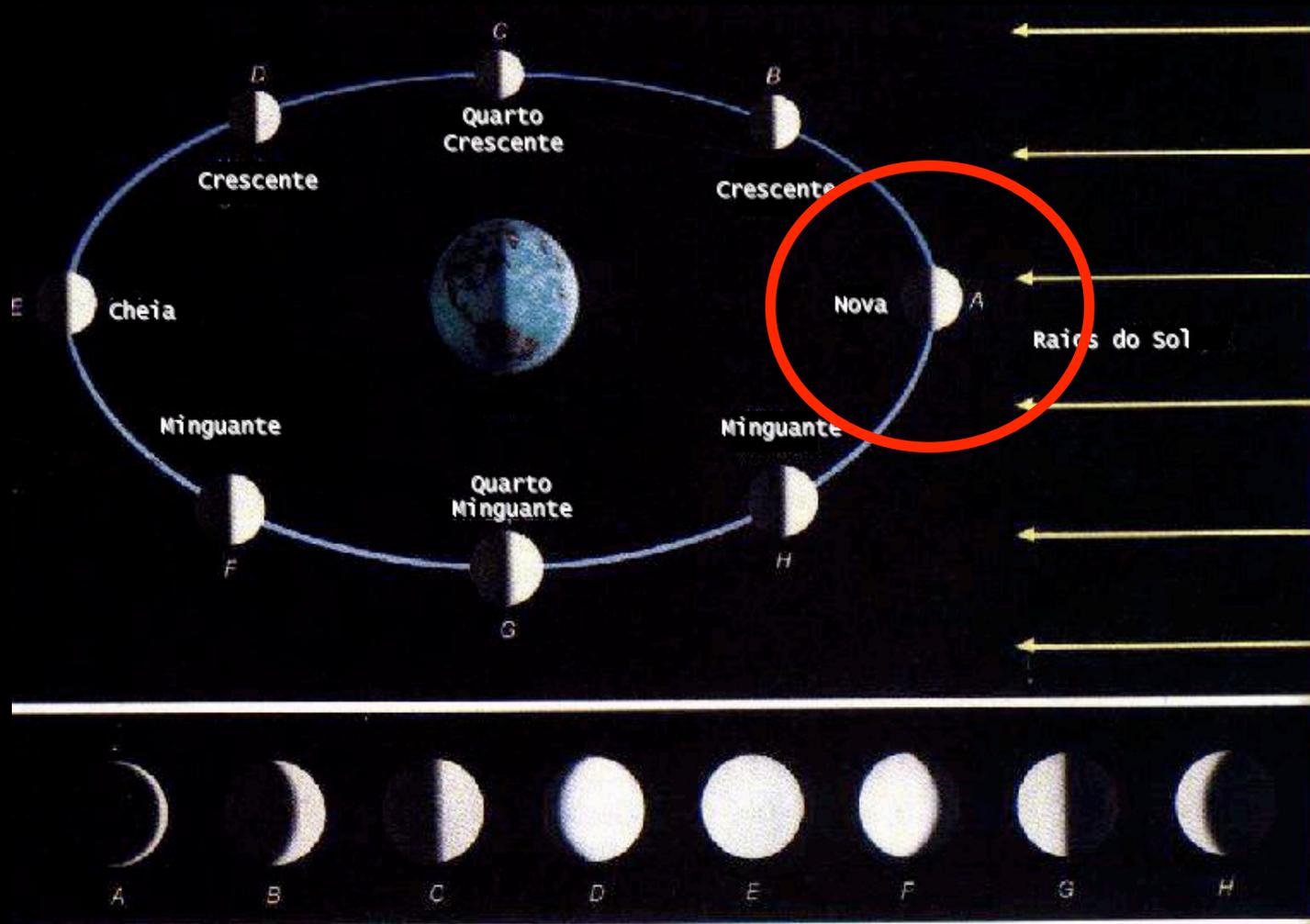
Eclipses

- A palavra procede do grego εκλιπσεισ, que significa “desaparecimento”.
- Os eclipses podem ser solares ou lunares.



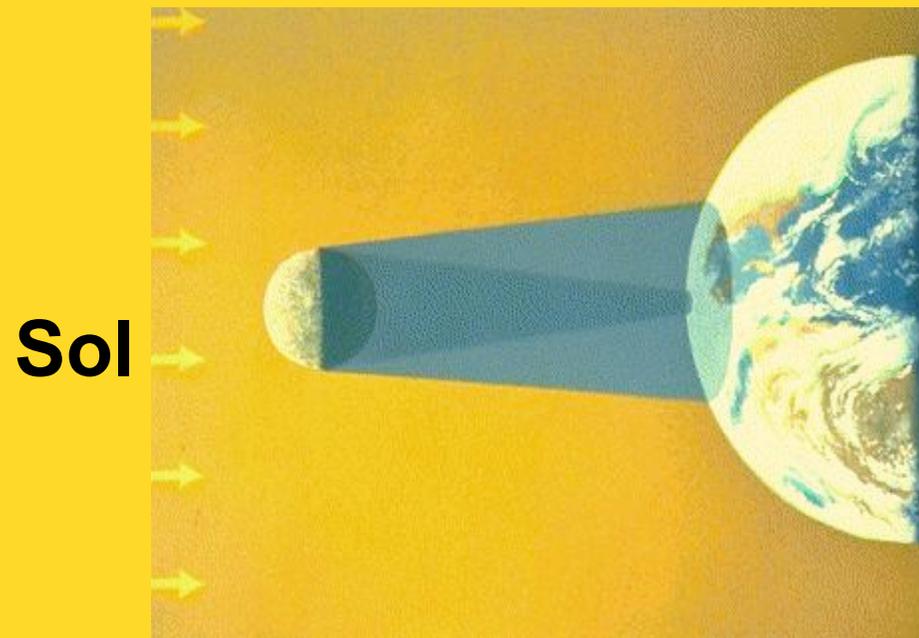
Eclipses solares

- Ocorrem quando há o alinhamento Sol-Lua-Terra.



Eclipses solares

- Ocorrem somente na fase Nova.
- Durante um eclipse a Lua lança um cone de sombra sobre a Terra.
- A região de sombra também é chamada de *umbra*.



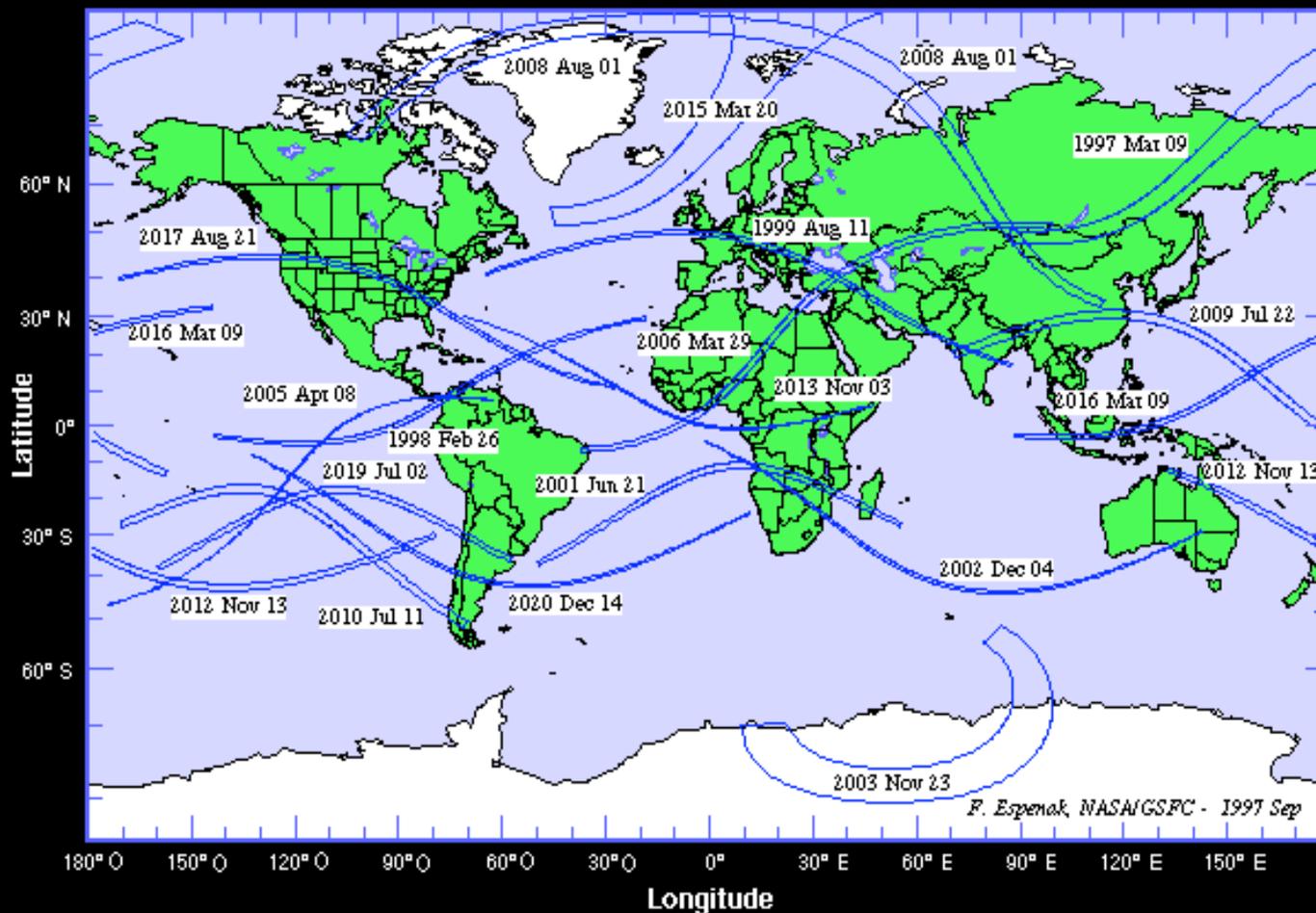
Devido aos movimentos relativos da Terra e da Lua, durante o eclipse solar, o cone de sombra “corre” sobre a superfície terrestre.

- O diâmetro da umbra sobre a superfície terrestre é de, no máximo, 270 km.
- A velocidade da umbra é de cerca de 34 km/min para leste.
- Conseqüentemente, a duração máxima de um eclipse solar é de cerca de 7 minutos.

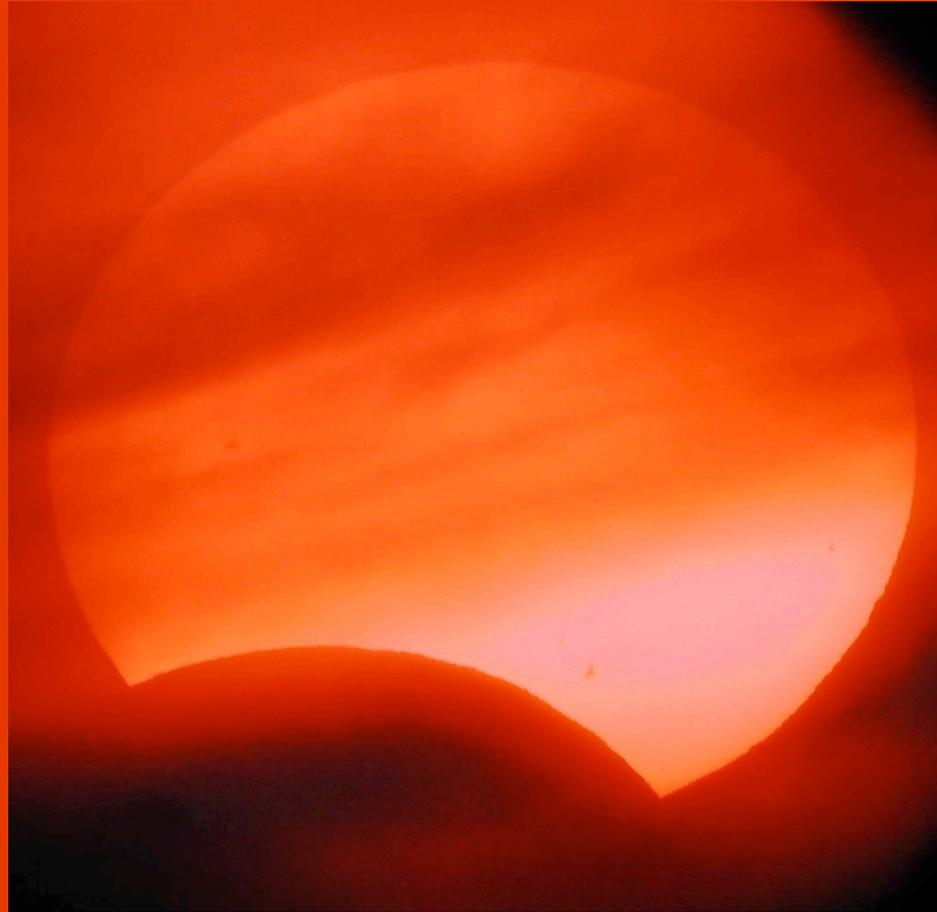


Trajetórias cobertas pelo cone de sombra, de 1996 a 2020

Eclipses solares totais : 1996 - 2020



Tipos de eclipse solar



Eclipse Total

- É visto por um observador localizado dentro da umbra.
- A Lua oculta totalmente o disco solar.



Região de Totalidade





12:45 UT+3



12:57 UT+3



13:09 UT+3



13:21 UT+3



13:33 UT+3



13:45 UT+3



13:55 UT+3



13:57 UT+3



13:59 UT+3



14:09 UT+3



14:21 UT+3



14:33 UT+3



14:45 UT+3

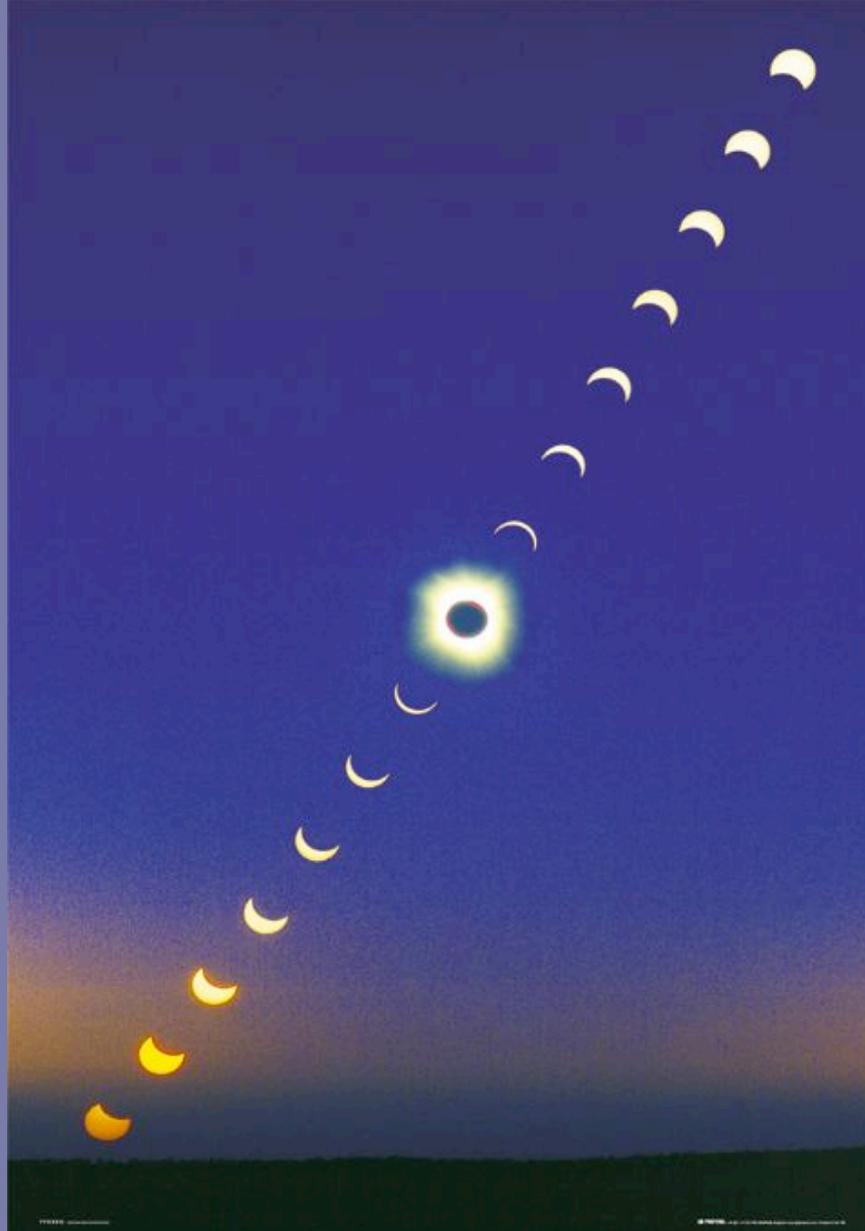


14:57 UT+3



15:09 UT+3

Odd Høydalsvik ©



Início do eclipse

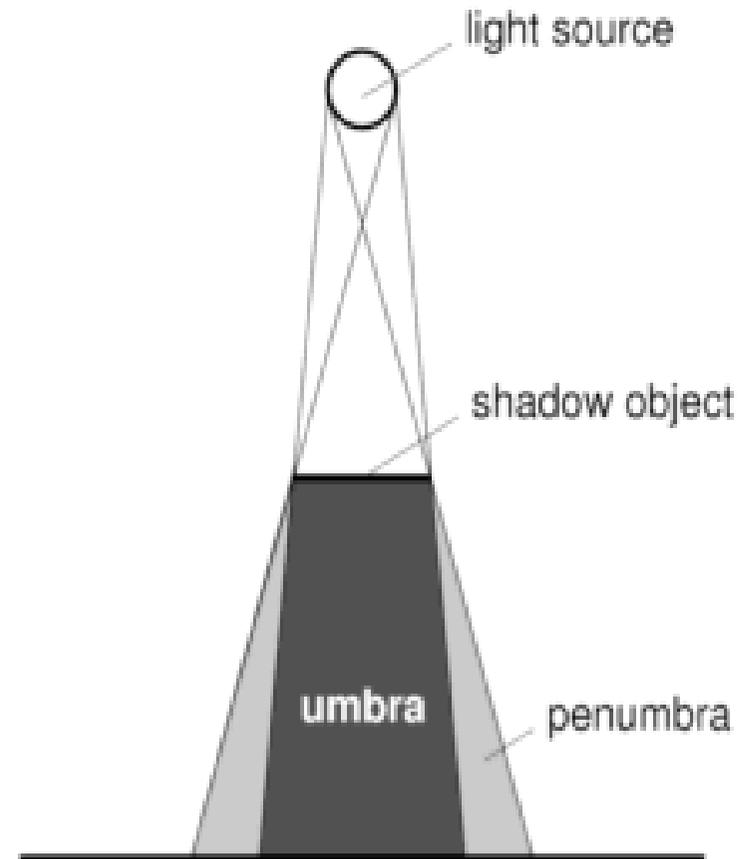
**(Quase)
final do eclipse**

- A ocultação da fotosfera pela Lua permite-nos ver uma camada do Sol denominada *Corona* ou *Coroa Solar*.
- Normalmente, essa camada é ofuscada pelo brilho da fotosfera.
- A temperatura na *Corona* é de 1 – 2 milhões °C e o gás é altamente ionizado.



Eclipse Solar *Parcial*

- Um eclipse solar é visto como PARCIAL quando o observador encontra-se dentro da penumbra, mas fora da umbra.
- Uma parte do disco solar pode ser vista pelo observador.



- Quanto mais distante estiver o observador do centro da sombra, menor será a “intensidade” do eclipse.

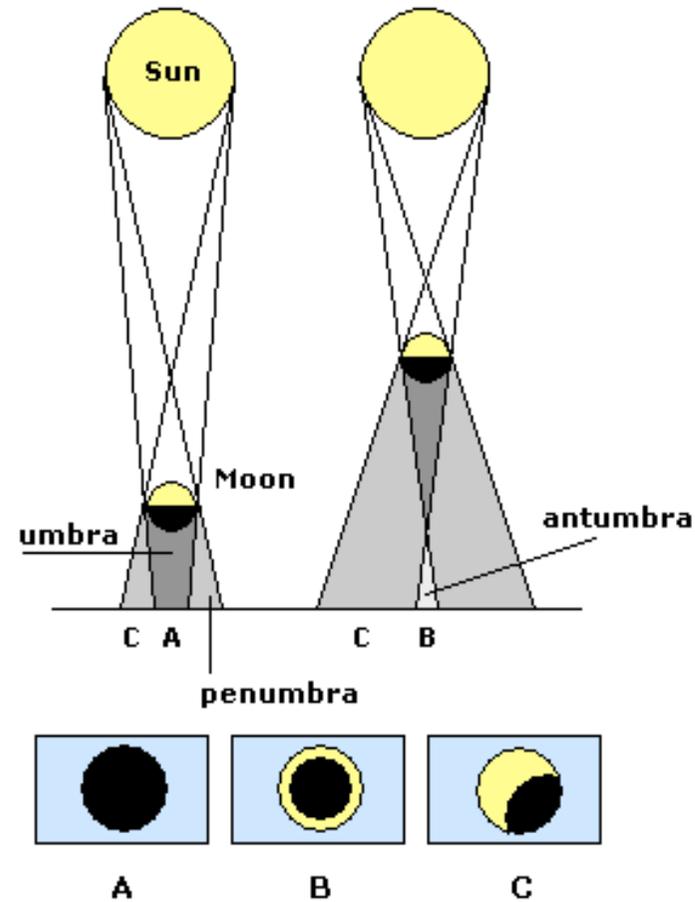


Aspecto de um eclipse parcial



Eclipse solar anular

- Ocorre quando a Lua encontra-se próxima ao seu apogeu. Como está mais distante da Terra seu diâmetro aparente é menor.
- Sendo o diâmetro aparente da Lua menor que o do Sol (cerca de 1/2 grau), ela não encobre totalmente o disco solar.



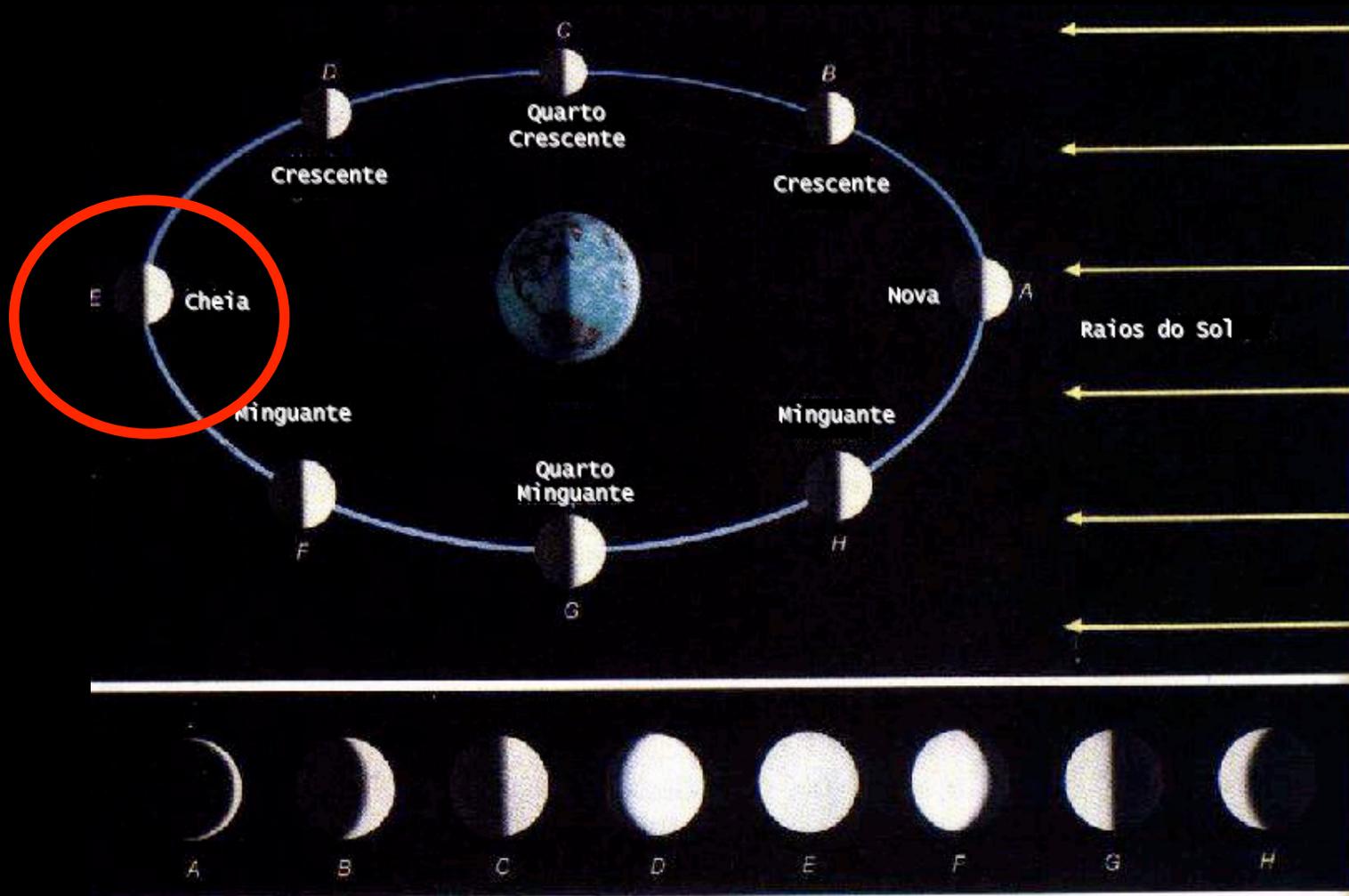
Aspecto de um eclipse anular

- O Sol é visto como um anel de luz brilhando em torno do disco lunar.

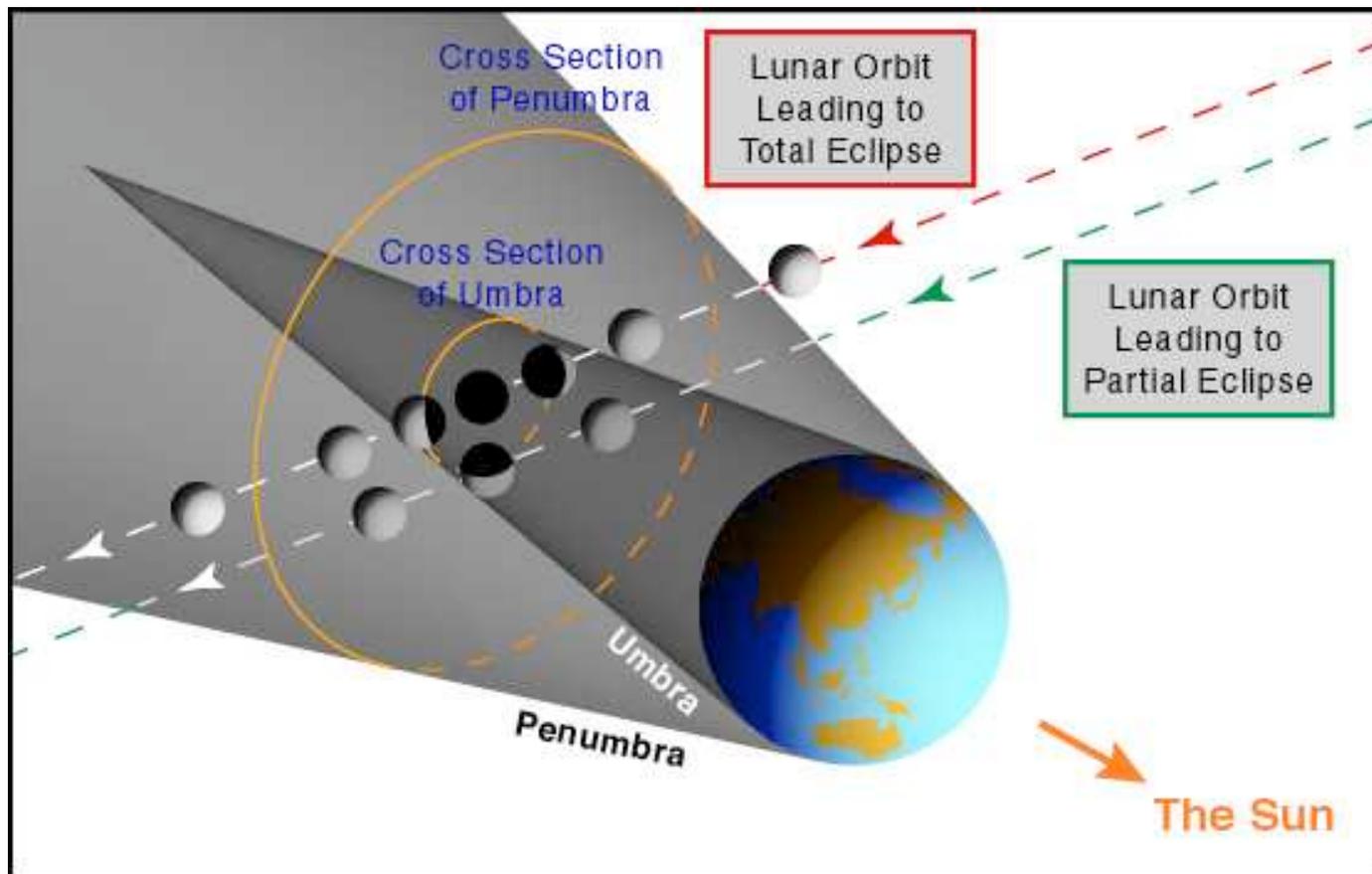


Eclipses lunares

- Ocorrem quando há o alinhamento Sol-Terra-Lua.

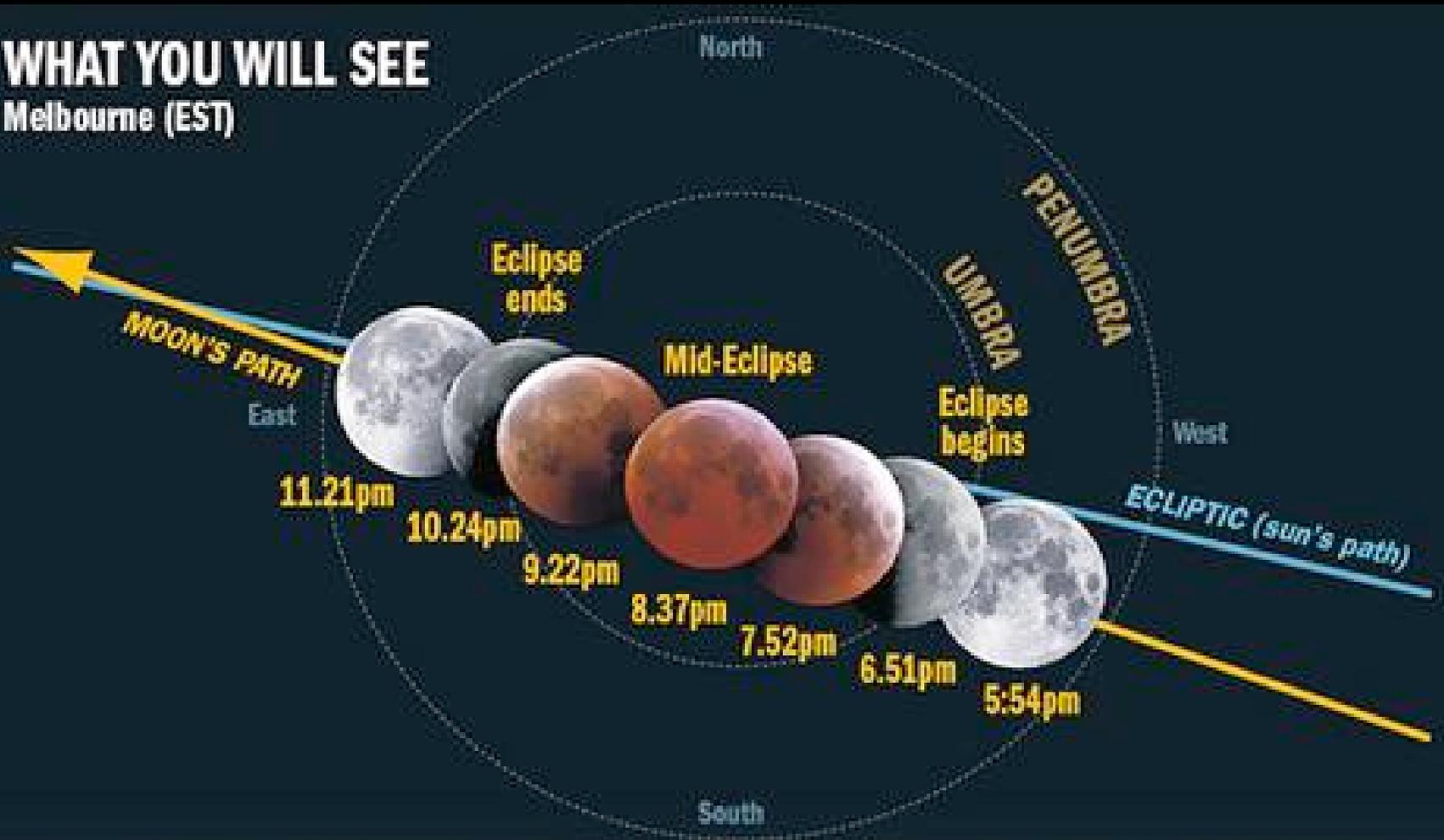


Durante um eclipse lunar, a Terra lança um cone de sombra no espaço. A Lua, ao percorrer sua órbita, penetra nesse cone de sombra.



WHAT YOU WILL SEE

Melbourne (EST)



Mesmo que a Lua esteja totalmente imersa na região de sombra, ela pode ser iluminada pela radiação solar espalhada pela atmosfera terrestre.

Portanto, a Lua durante um eclipse lunar total nunca fica totalmente escura, mas apresenta uma coloração avermelhada.



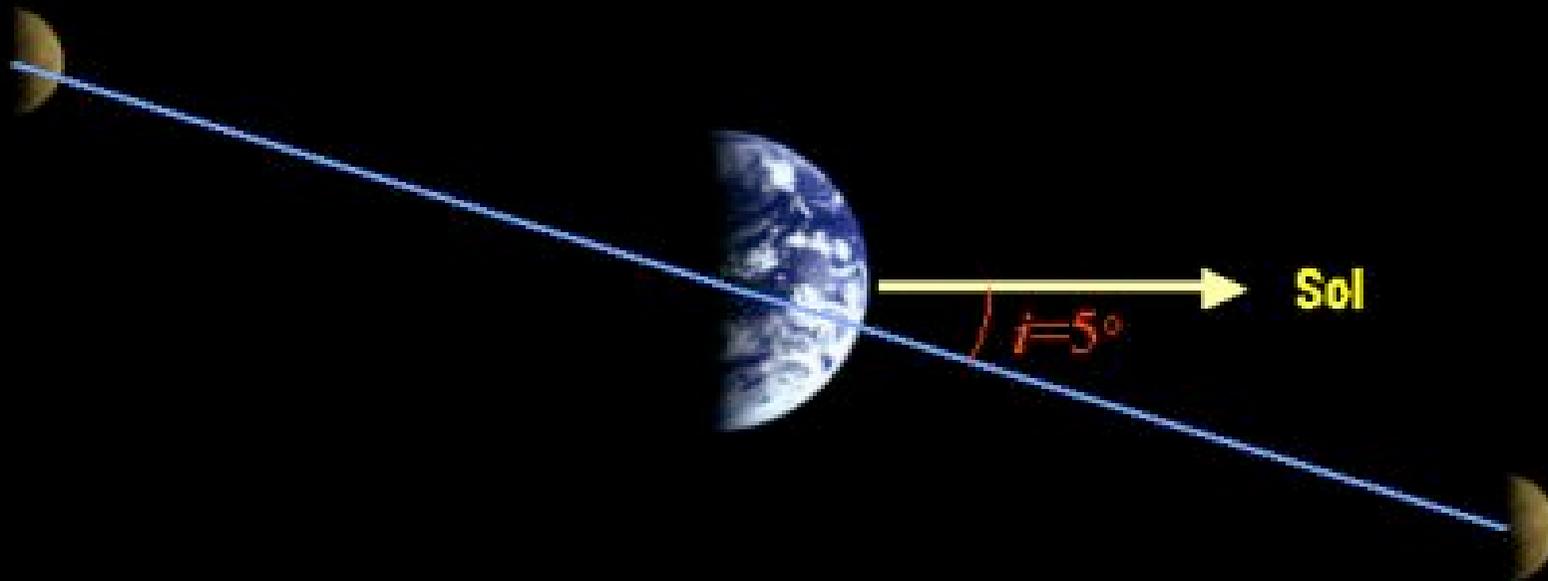
Por que não ocorrem eclipses a cada lunação?

Eclipses solares e lunares ocorrem somente nas fases Nova e Cheia, respectivamente.

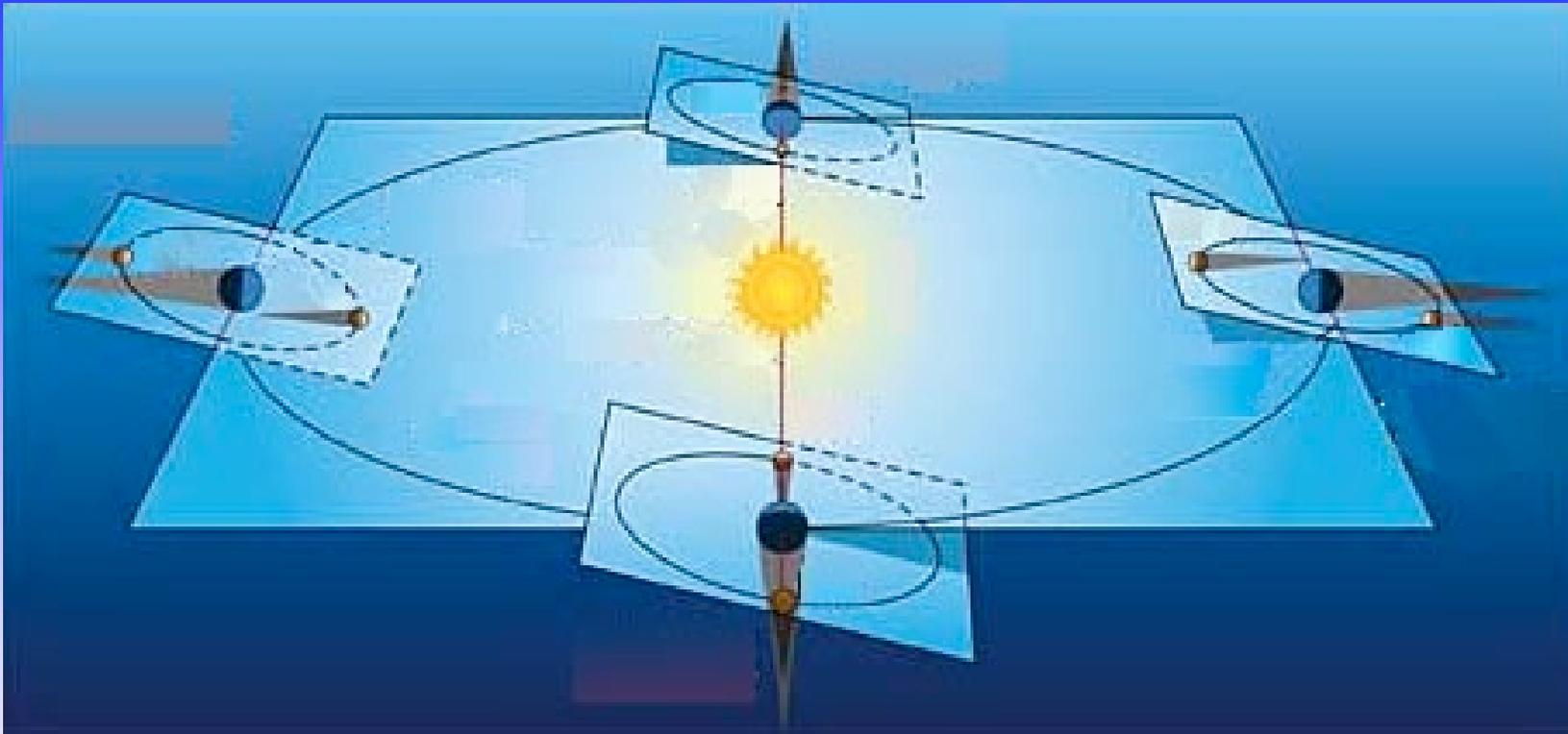
As lunações ocorrem a cada $29 \frac{1}{2}$ dias.

A cada ano, ocorrem somente 2 eclipses do Sol e 2 da Lua, em média!

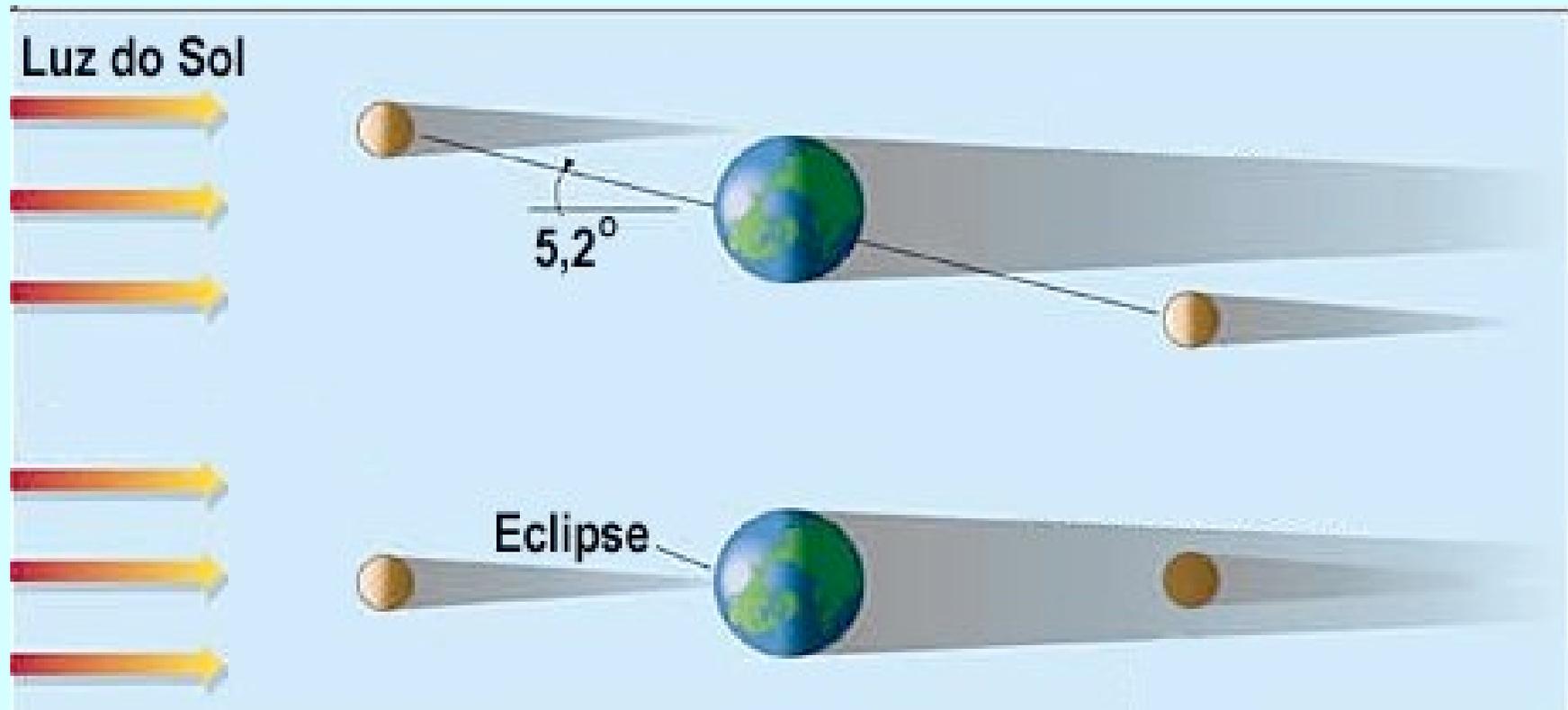
Motivo: o plano da eclíptica é inclinado cerca de 5° com relação ao plano orbital lunar.



Os eclipses (solares e lunares) ocorrem somente quando a Lua cruza o plano da eclíptica próximo ao instante de Lua Nova.



Na ocasião do eclipse, Sol, Terra e Lua estão localizados no mesmo plano

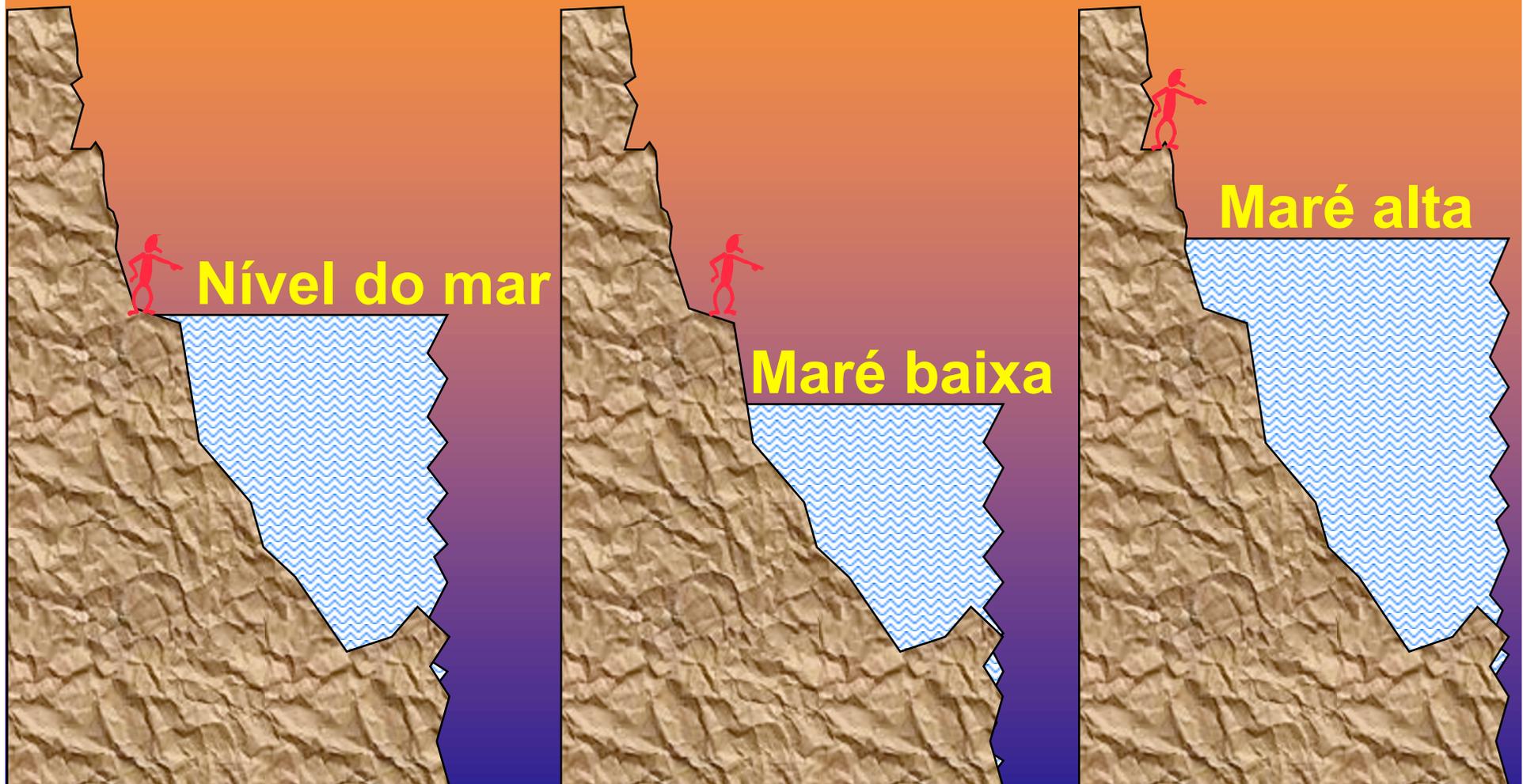


As Marés

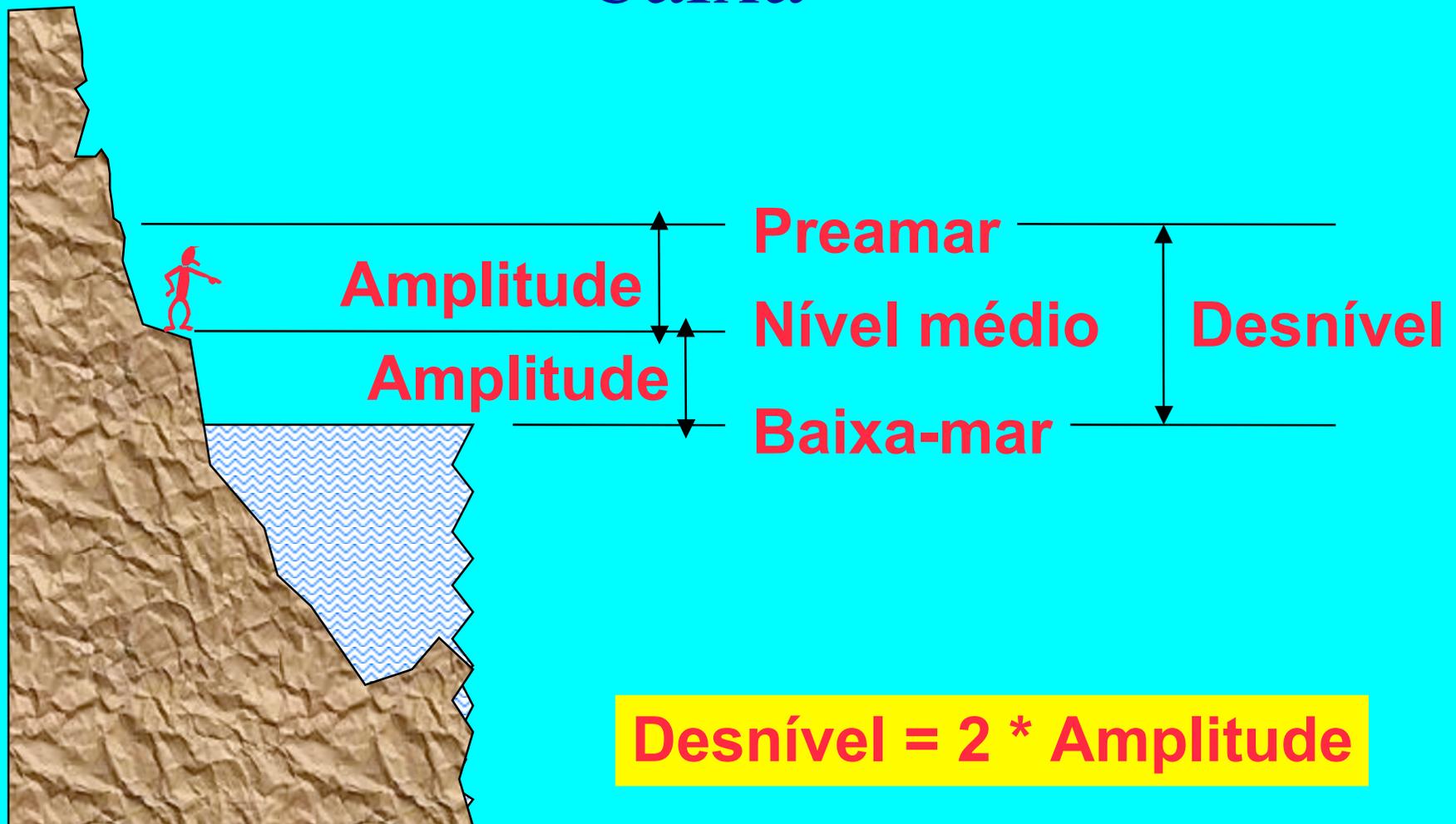
Roberto Bockzo – IAG/USP

Roberto Ortiz - EACH/USP

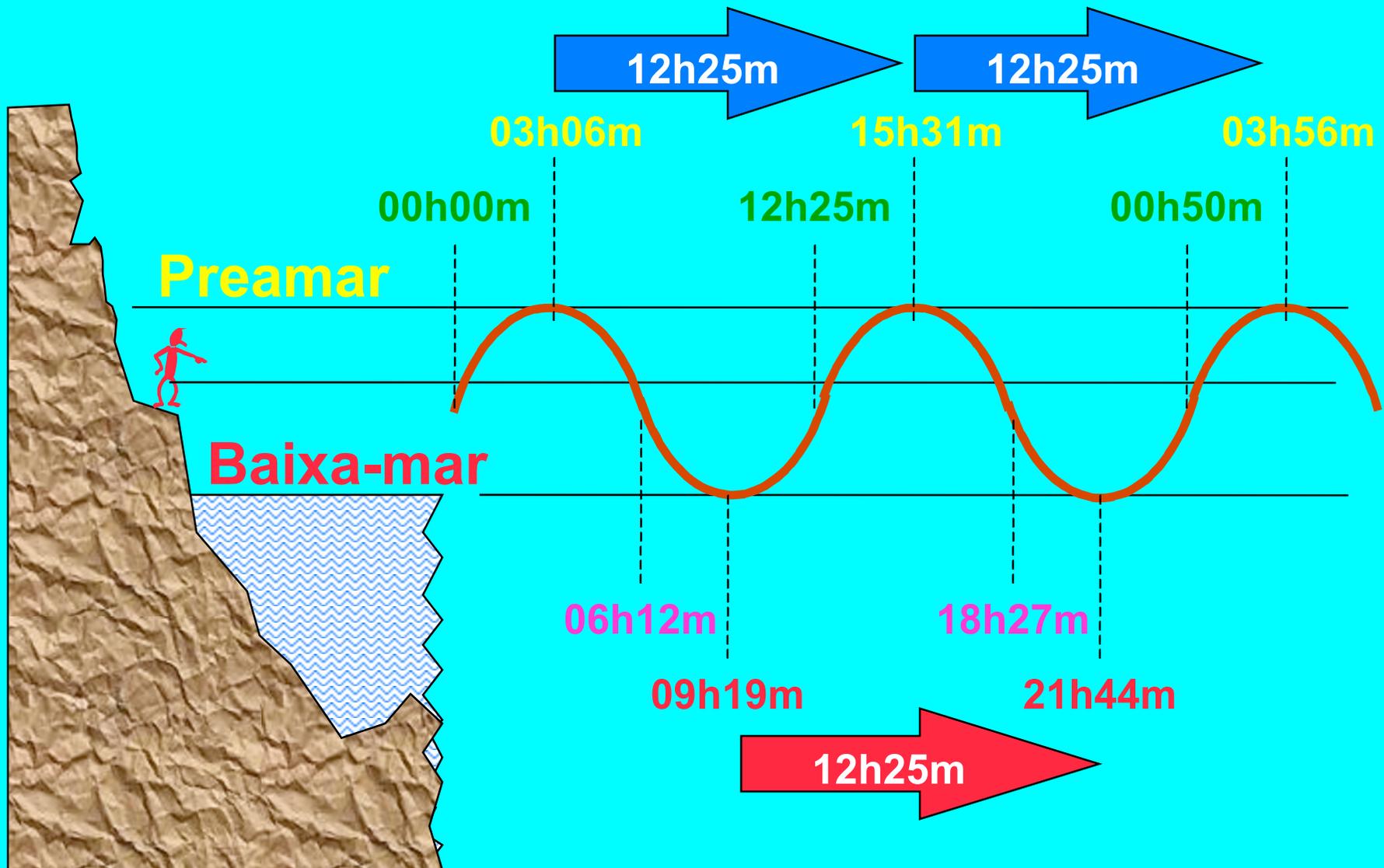
Observando o nível do mar



Desnível entre as marés alta e baixa

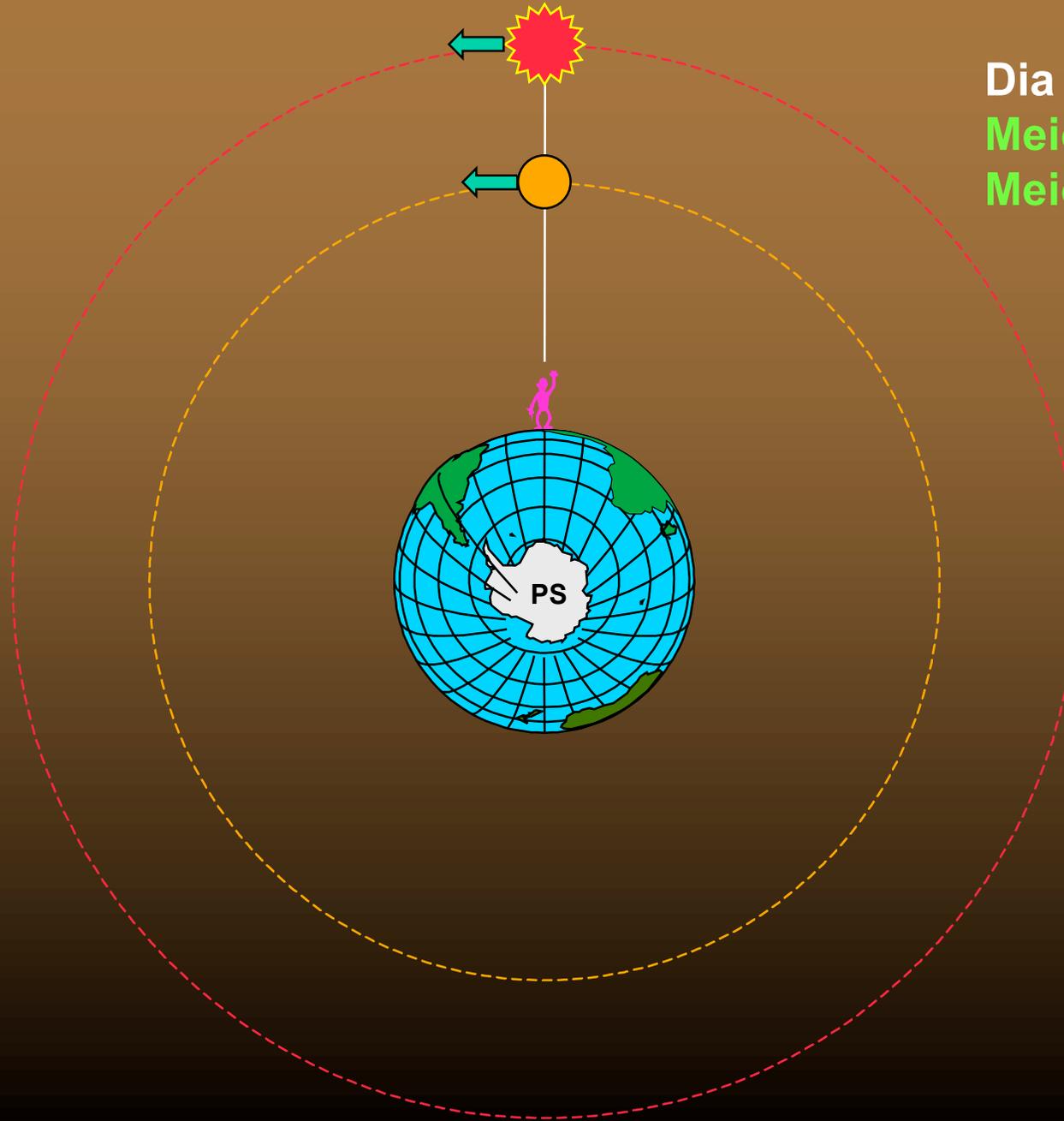


Intervalo de tempo entre marés



Períodos relacionados à maré

Dia Solar e Dia Lunar



Dia 1

Meio-dia solar ☑

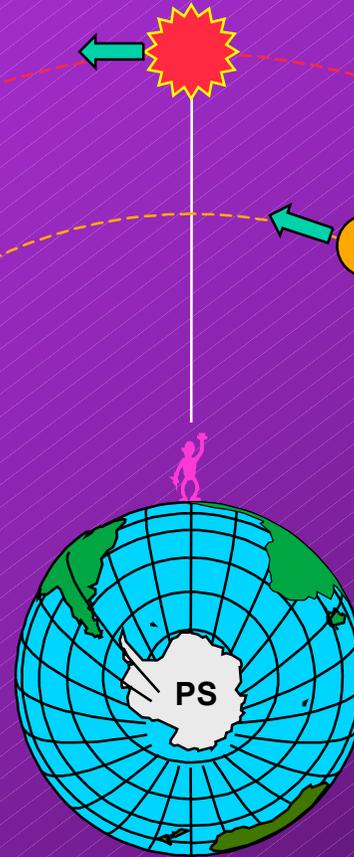
Meio-dia lunar ☑

Dia Solar e Dia Lunar

Dia 2

Meio-dia solar

Meio-dia lunar



Dia Solar
24h00m00s

Dia Solar e Dia Lunar

Dia 2

Meio-dia solar

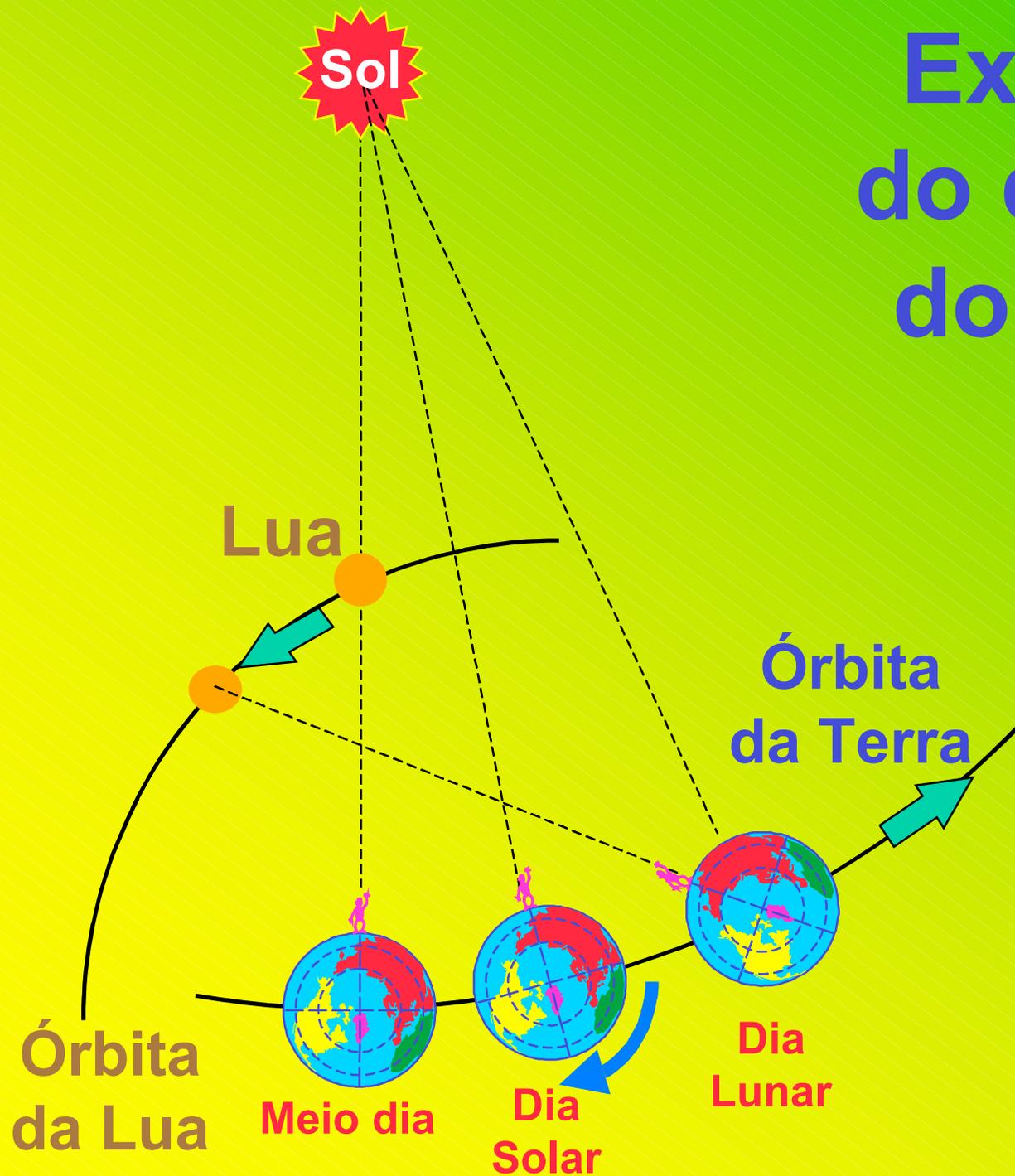
Meio-dia lunar



Dia Solar
24h00m00s

Dia Lunar
24h50m28s

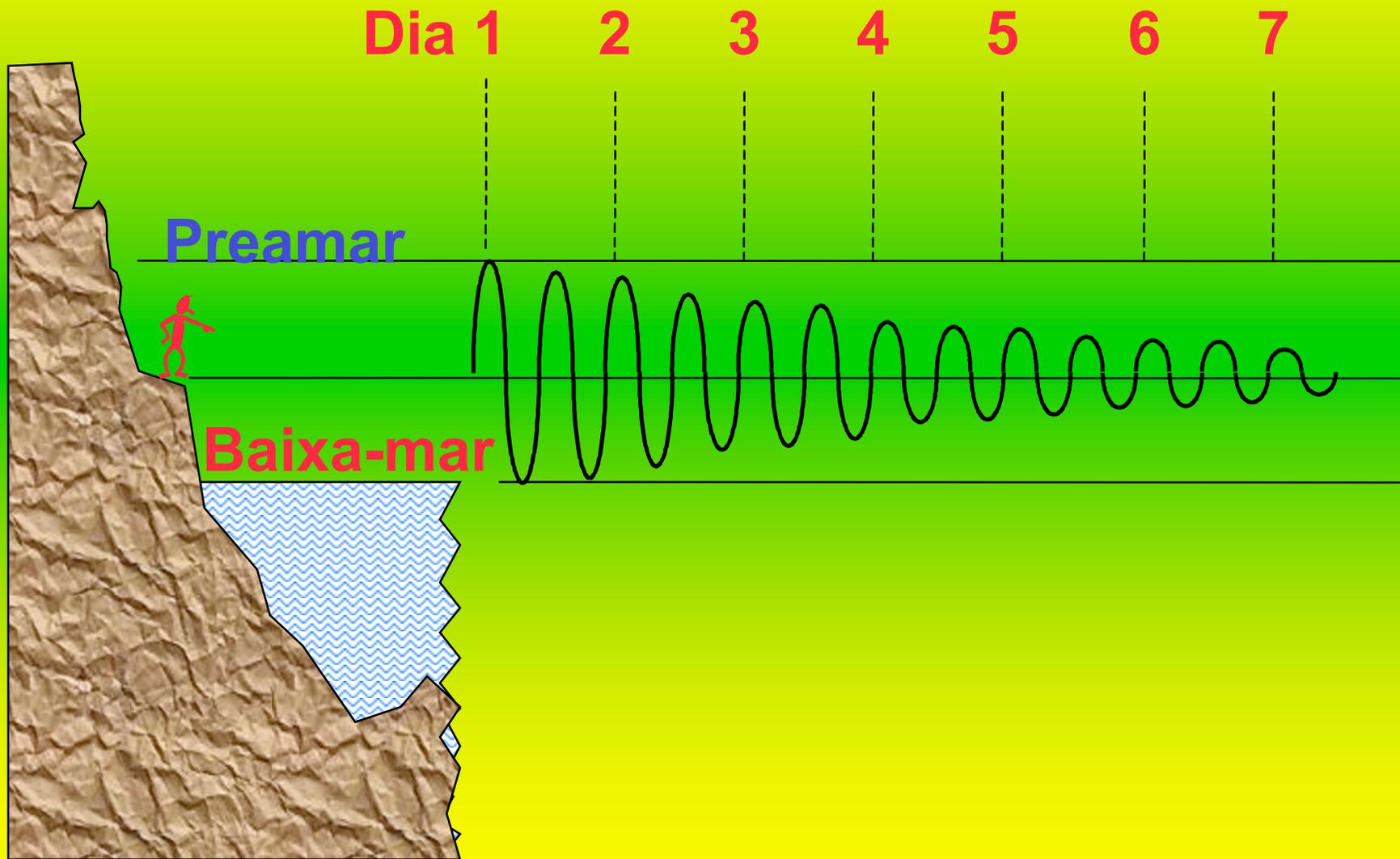
Explicação do dia solar e do dia lunar



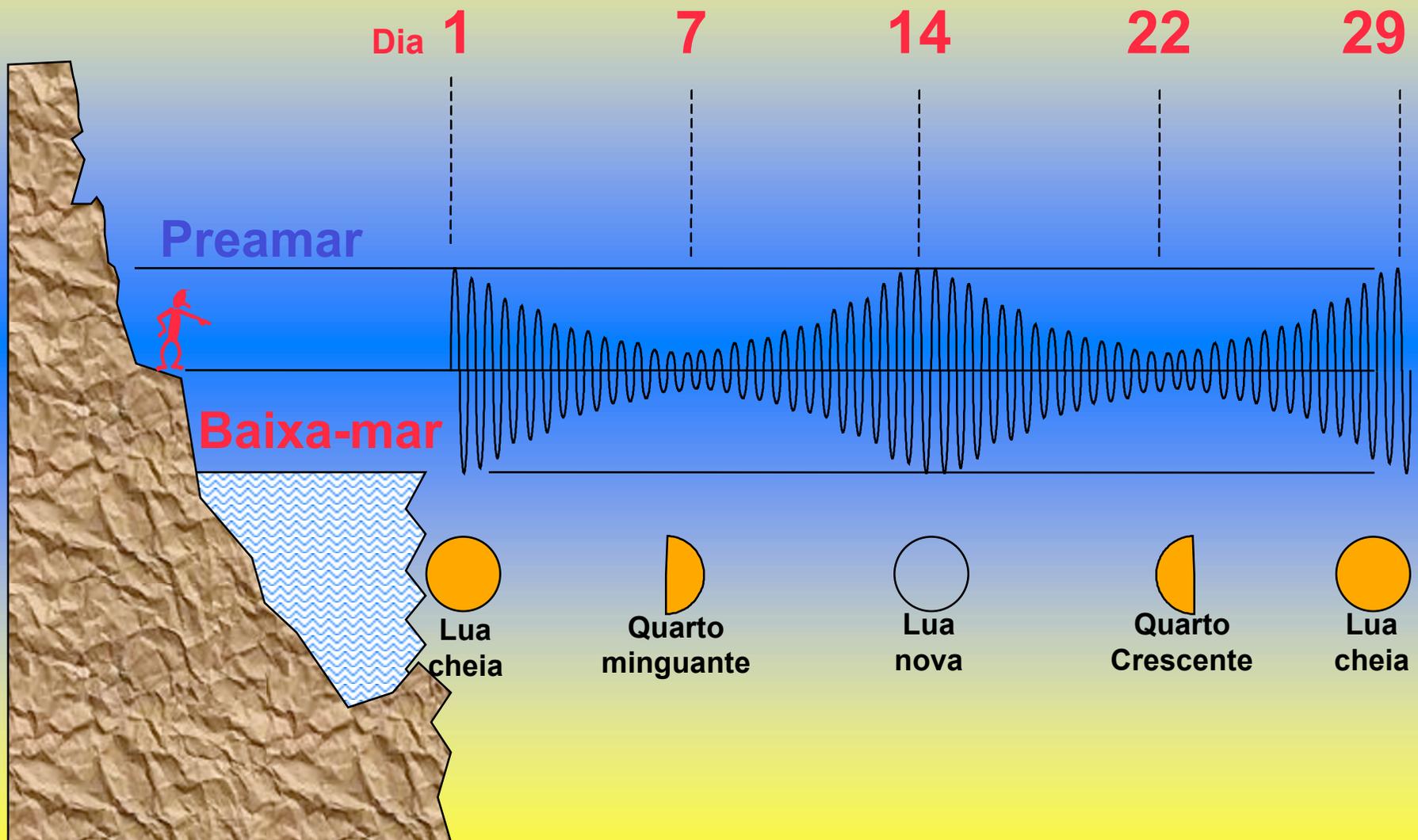
Dia Solar
24h00m00s

Dia Lunar
24h50m28s

Mudança diária no nível da maré

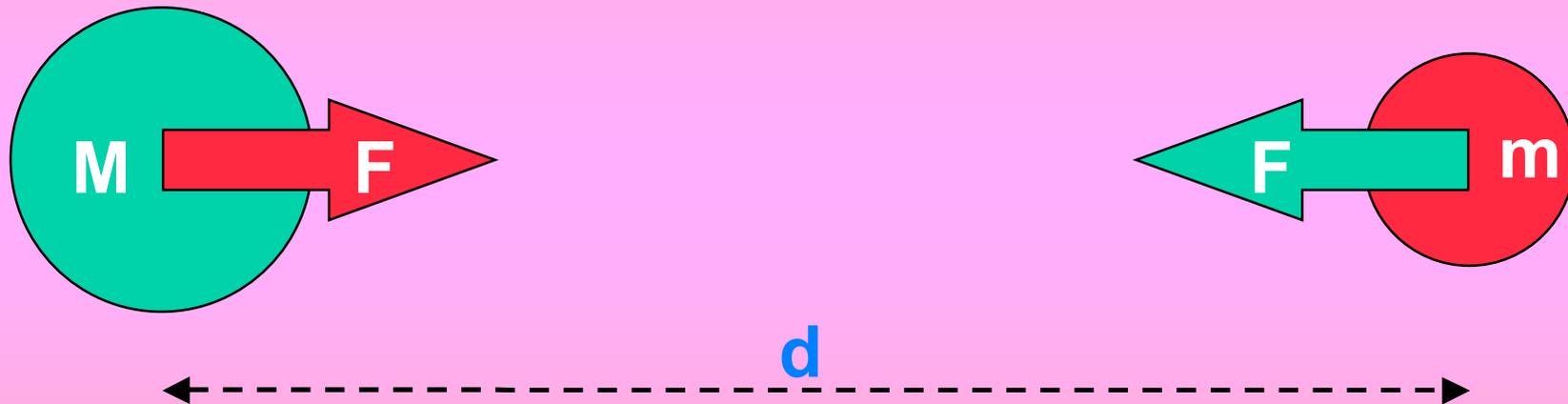


Influência da fase da Lua sobre a altura da maré



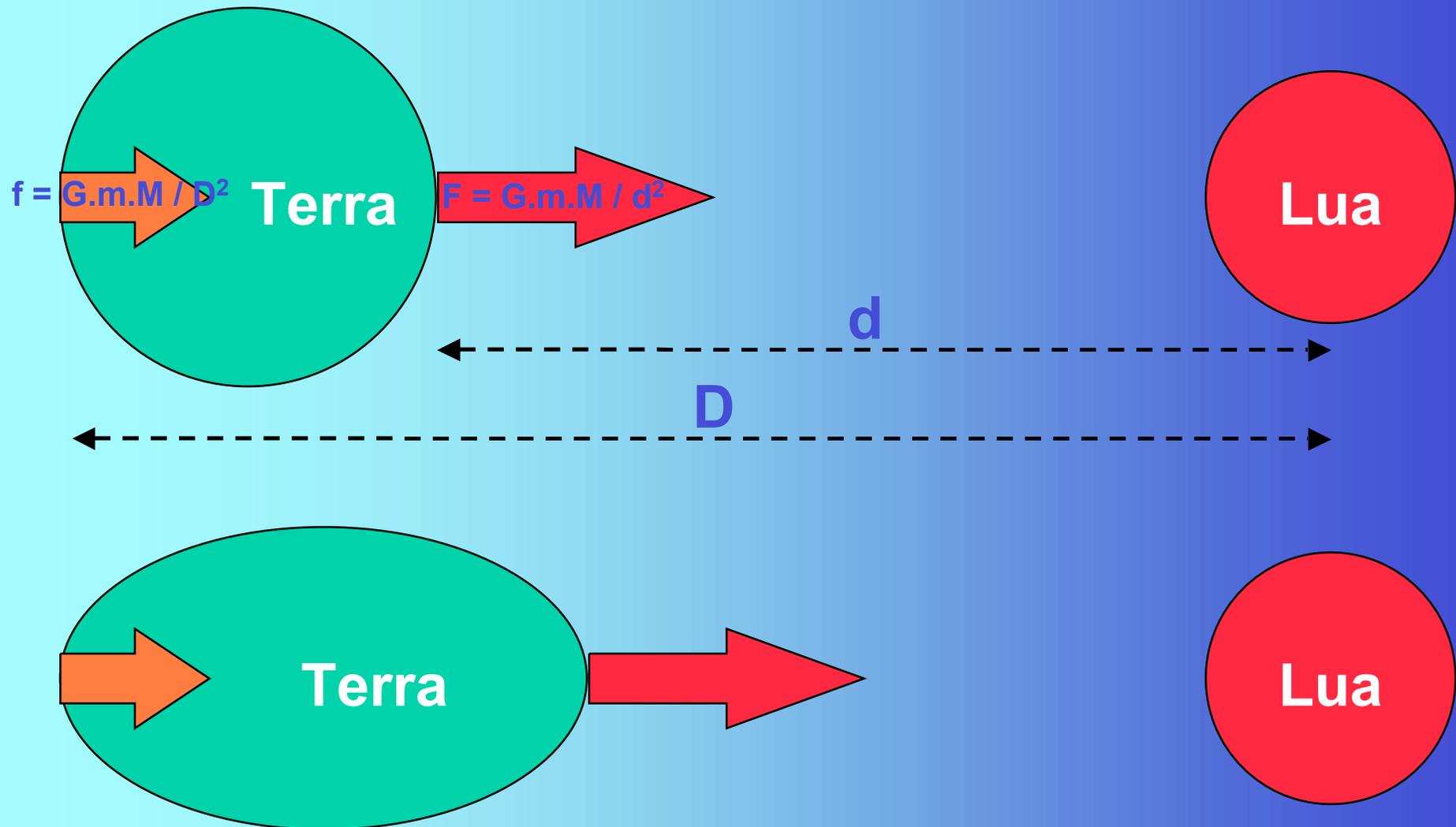
Causas da maré

Atração Gravitacional (Newton)



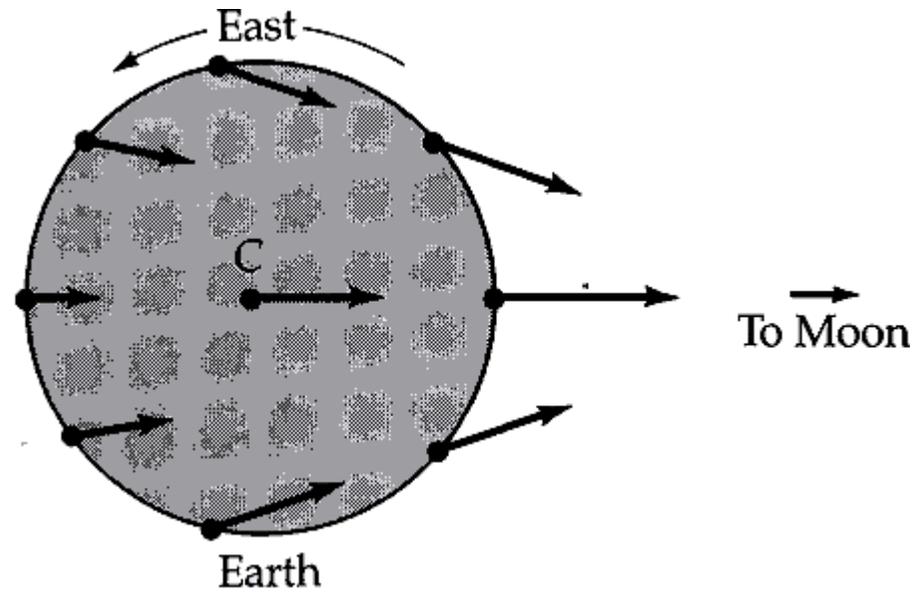
$$F = G.m.M / d^2$$

A atração da Lua não age igualmente sobre todos os pontos da Terra



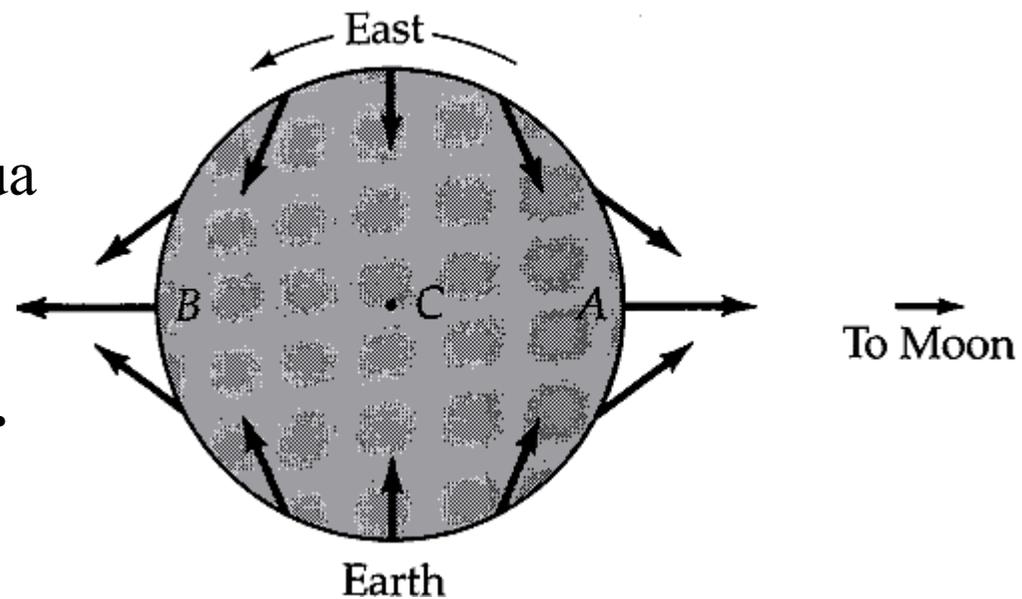
Força exercida pela Lua sobre diversos pontos da Terra.

Referencial no centro de massa Terra-Lua.

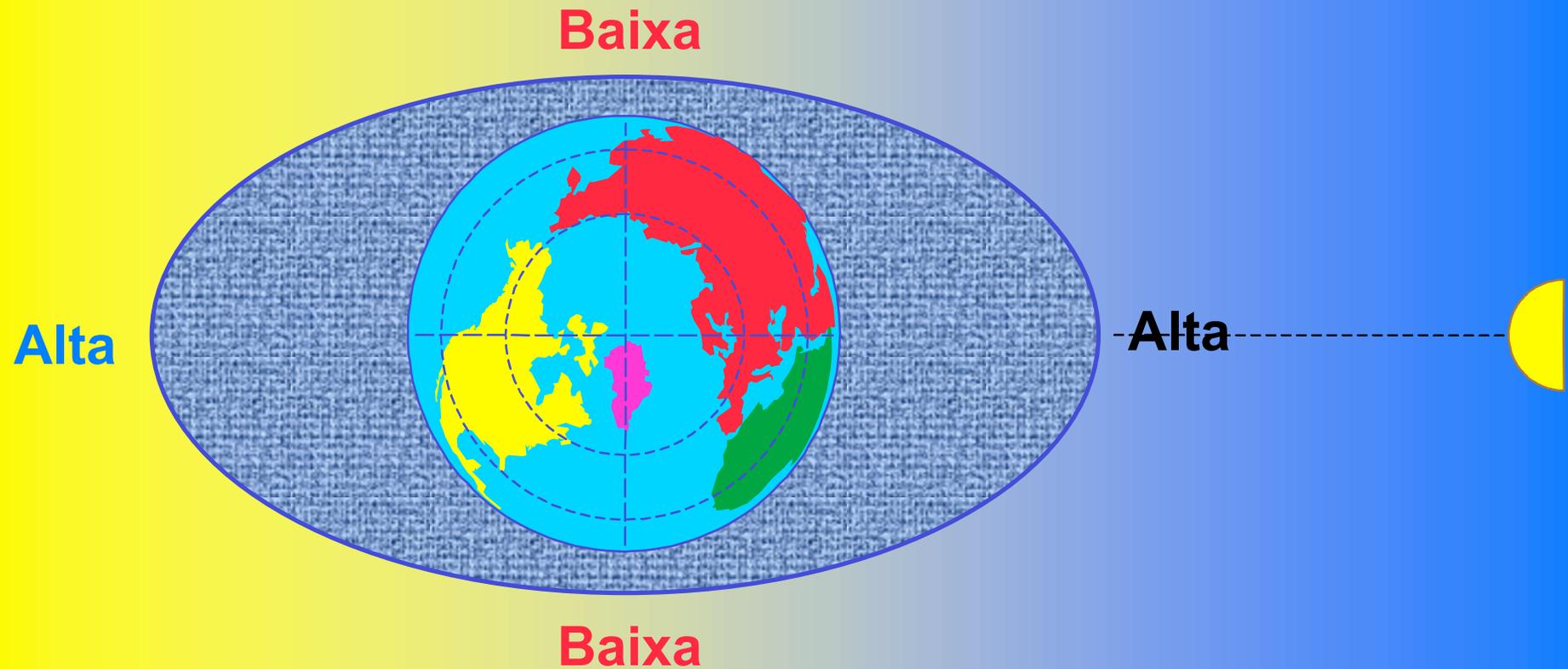


Força exercida pela Lua sobre diversos pontos da Terra.

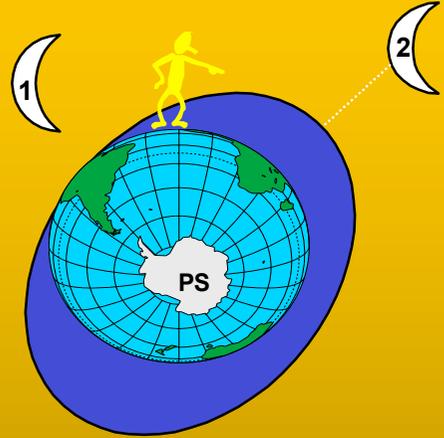
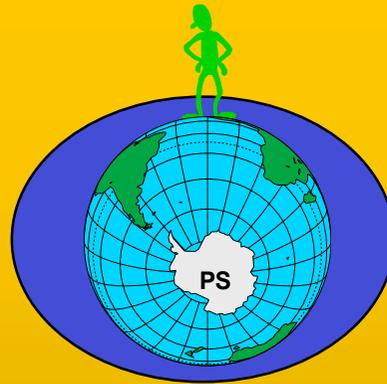
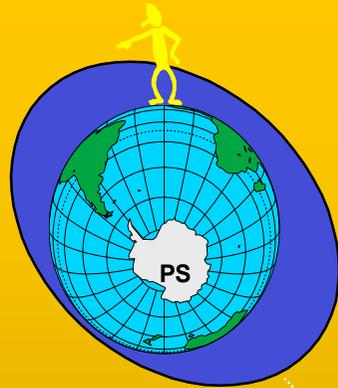
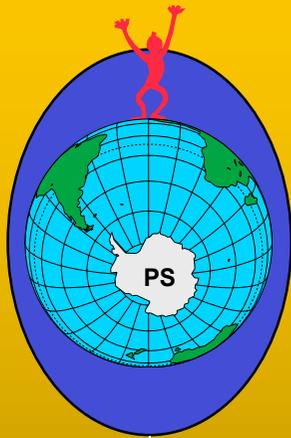
Referencial na Terra.



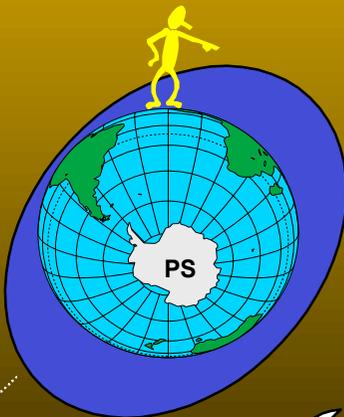
Configuração instantânea das marés na superfície da Terra



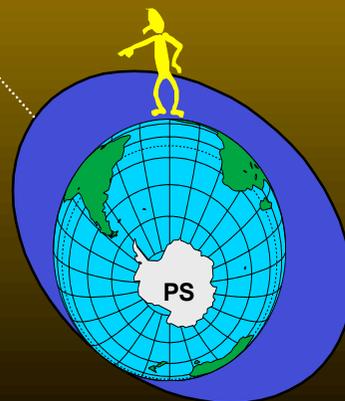
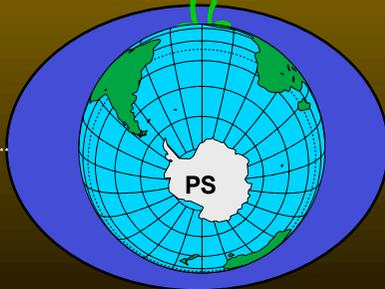
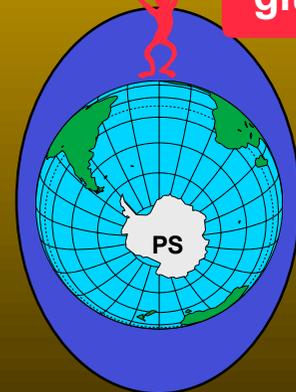
Glub-
glub...



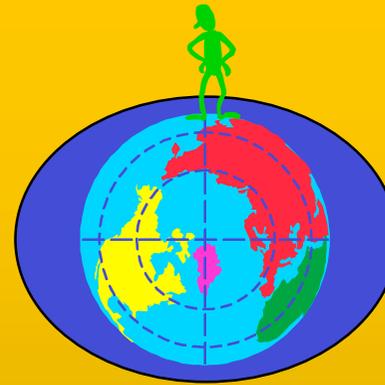
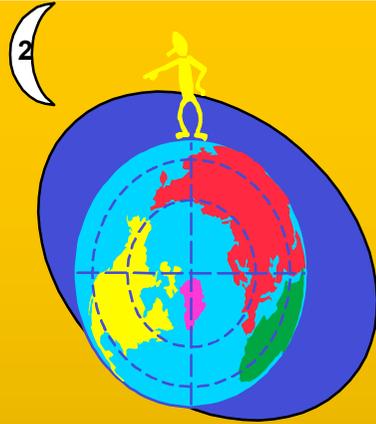
Seqüência da Maré



Glub-
glub...



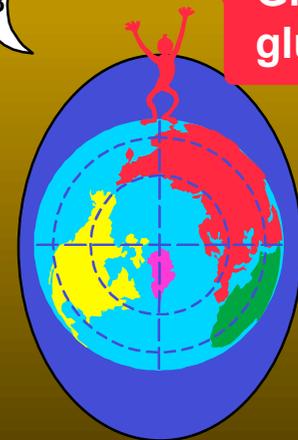
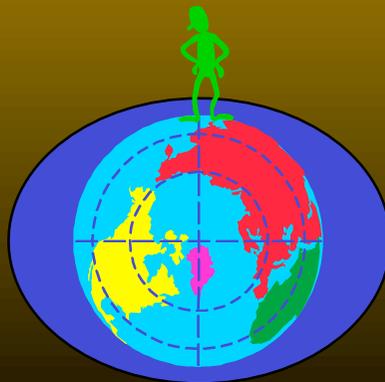
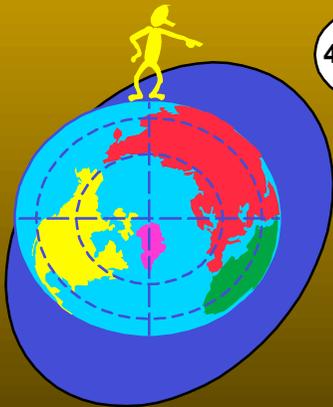
Glub-glub...

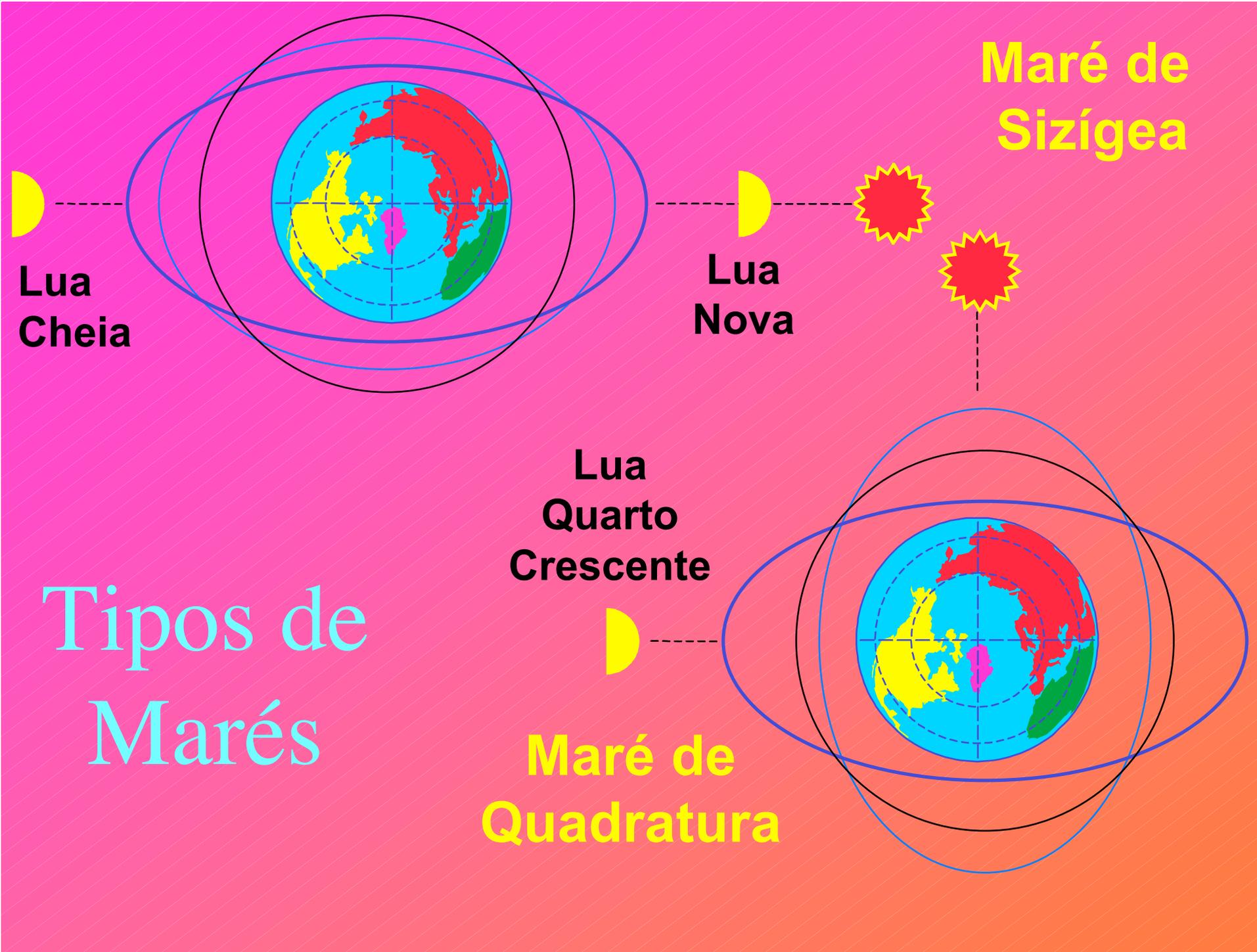


Seqüência da Maré



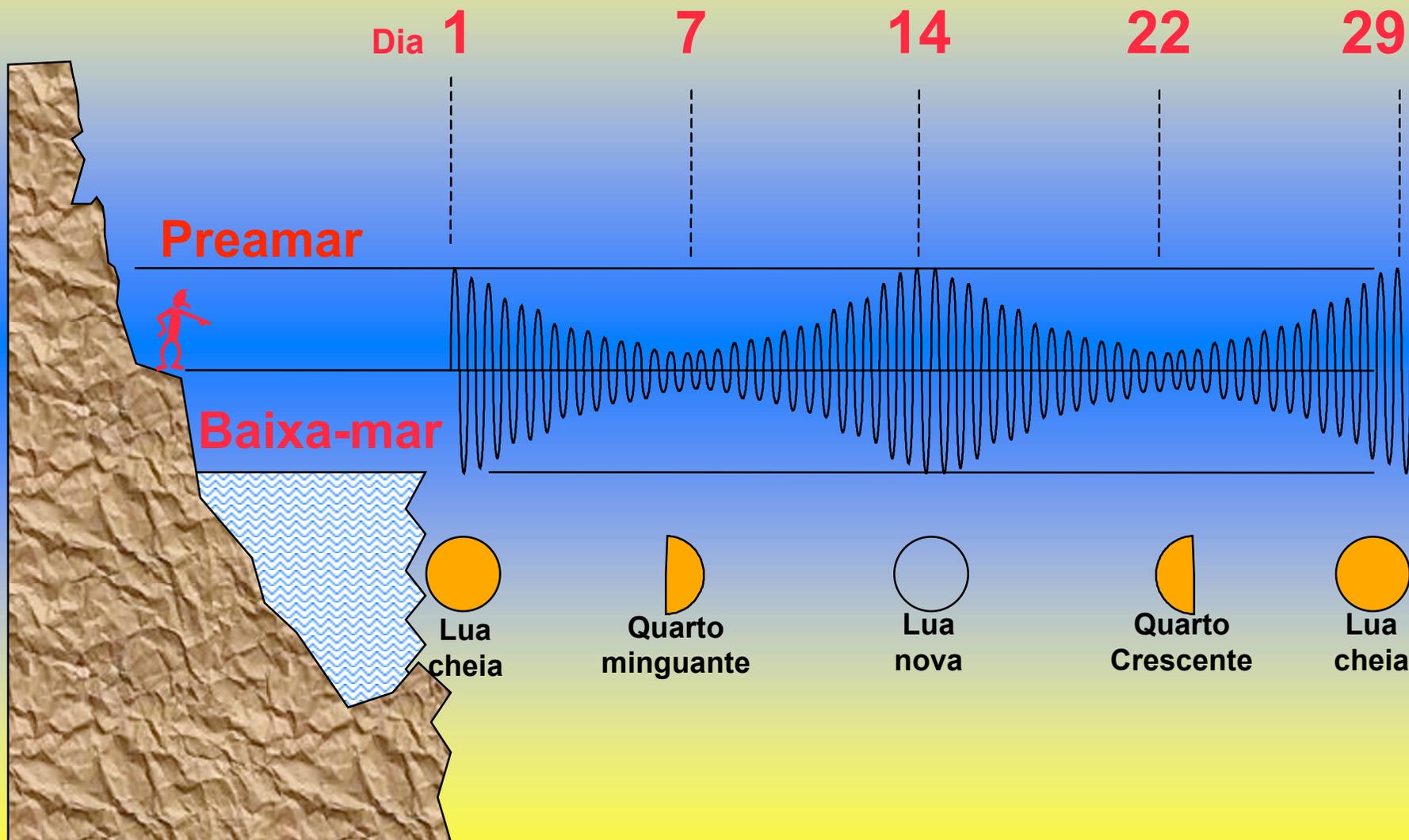
Glub-glub...





Maré de Sizígea: dias 1 e 14

Maré de Quadratura: dias 7 e 22



Amplitude da maré



- A amplitude das marés depende de diversos fatores: coordenadas geográficas, profundidade do oceano, correntes marítimas, etc.
- Em mares “fechados” o fenômeno das marés tende a ser menos intenso, devido à restrição do fluxo de água.

- No mar Mediterrâneo, por exemplo, as marés são sutis.



Maiores marés do Mundo



**As maiores amplitudes
de maré do mundo
ocorrem na Baía de Fundy,
Canadá.**

**Elas atingem desnível
de 16 metros.**



As marés e os seres vivos

- O Manguezal é um ecossistema mixto, que localiza-se próximo ao litoral e rios.
- A água do mar é misturada à água doce dos rios.
- As marés fazem com que essas áreas sejam periodicamente secas e inundadas.



- As espécies que ali vivem estão especialmente adaptadas para a mudança seco/úmido causada pelas marés.



Nota:

Parte dos slides desta apresentação foram gentilmente fornecidos pelos Profs. Roberto Boczko (IAG/USP) e Roberto Ortiz (EACH/USP).