

Fundamentos de Astronomia e Astrofísica

Movimento Anual do Sol, Fases da Lua e Eclipses

Rogério Riffel

e-mail: riffel@ufrgs.br

<http://www.if.ufrgs.br/~riffel>

Sala: N106

Livro texto: **Astronomia e Astrofísica – Kepler de Souza Oliveira Filho e Maria de Fátima Oliveira Saraiva**

Hipertexto: <http://www.astro.if.ufrgs.br>

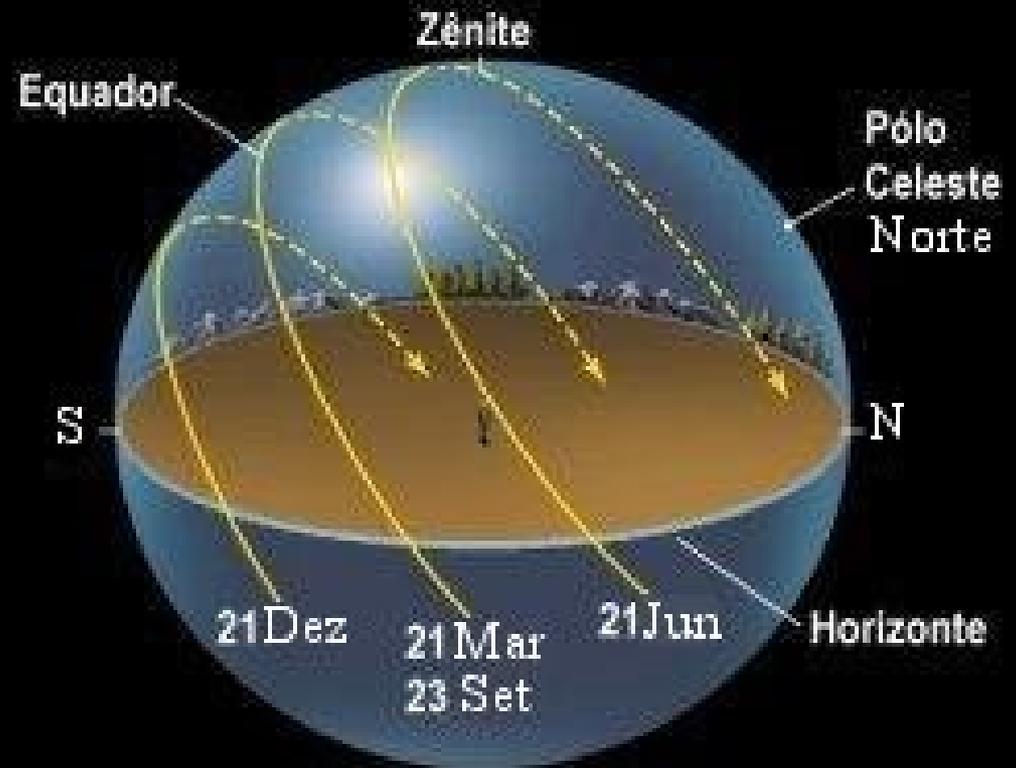
Sol, Terra e Lua



Movimento Diurno do Sol

Relembrando a aula passada

- De leste para oeste;
- O círculo diurno do Sol varia de dia para dia;
- O Sol da meia noite.



Movimento Anual do Sol

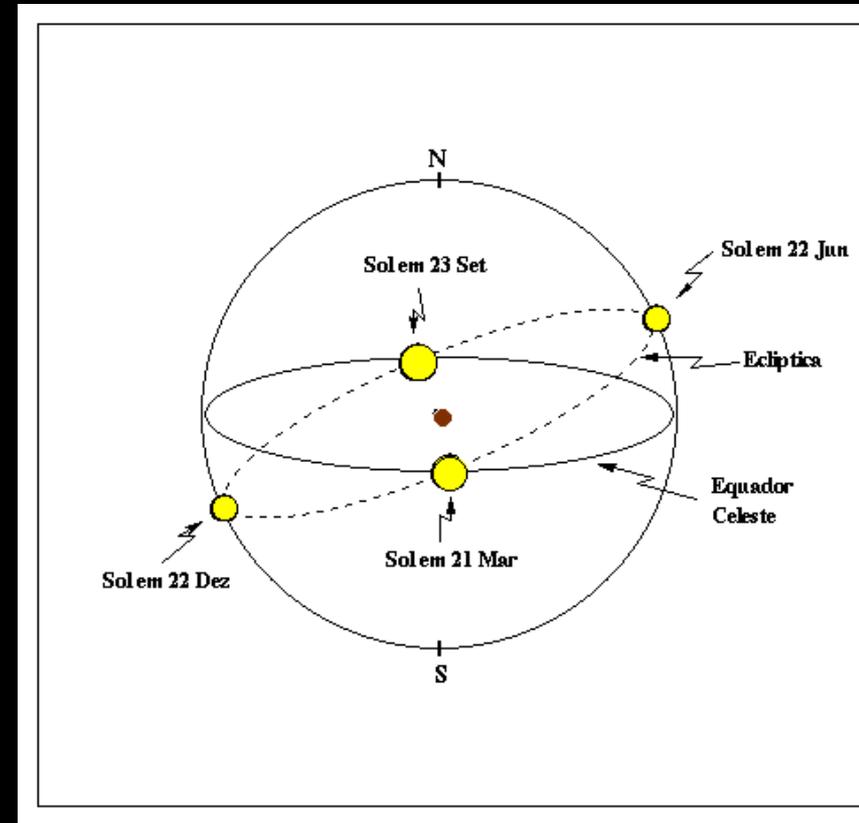
Como reflexo da translação da Terra em torno do Sol, o Sol descreve uma trajetória na esfera celeste ao longo do ano - **a eclíptica**.

Plano orbital da Terra \neq Equador terrestre \rightarrow Plano trajetória aparente do Sol \neq Equador celeste

Plano orbital da Terra tem uma inclinação de $23^{\circ}27'$ em relação ao equador da Terra.



A trajetória aparente do Sol apresenta a mesma inclinação em relação ao equador celeste (obliquidade da eclíptica = $23^{\circ}27'$)

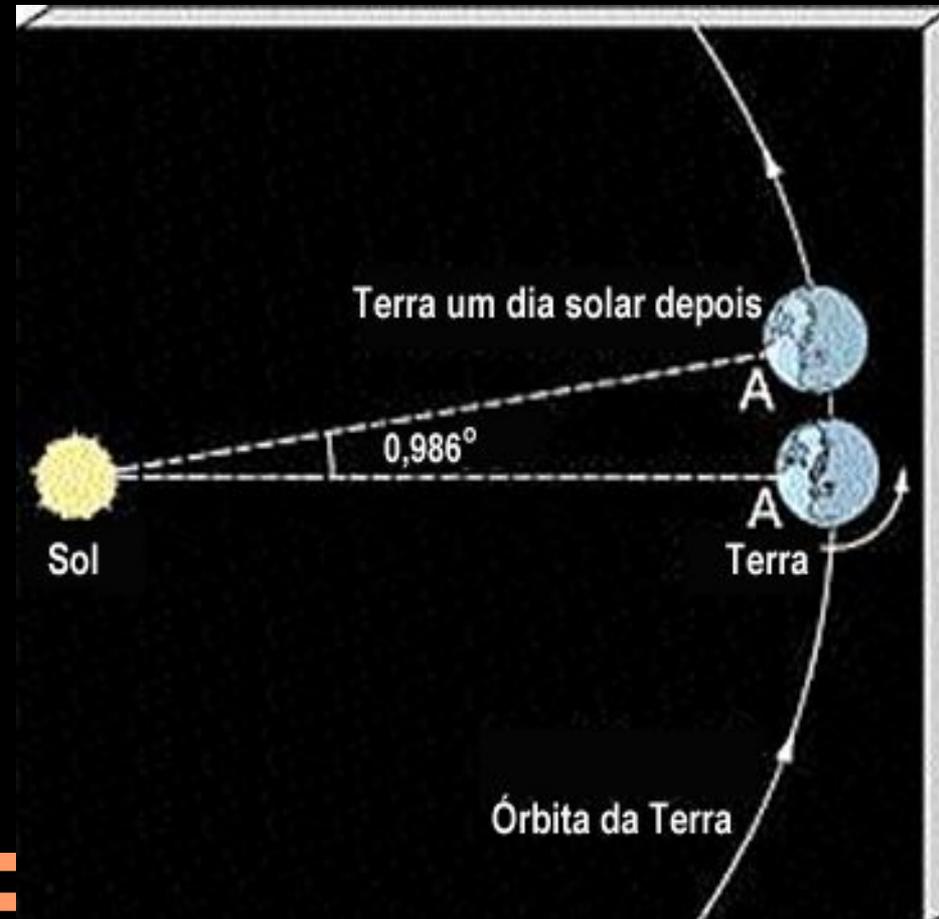


Movimento diurno do Sol

Dia solar: toma como referência o sol. Dura 24h.

Dia sideral: toma como referência uma estrela fixa. Dura ~ 23h56m.

O Sol sobe/desce $\sim 1^\circ$ no céu em 24h, devido ao movimento de translação da Terra.



O movimento anual do Sol em Porto Alegre

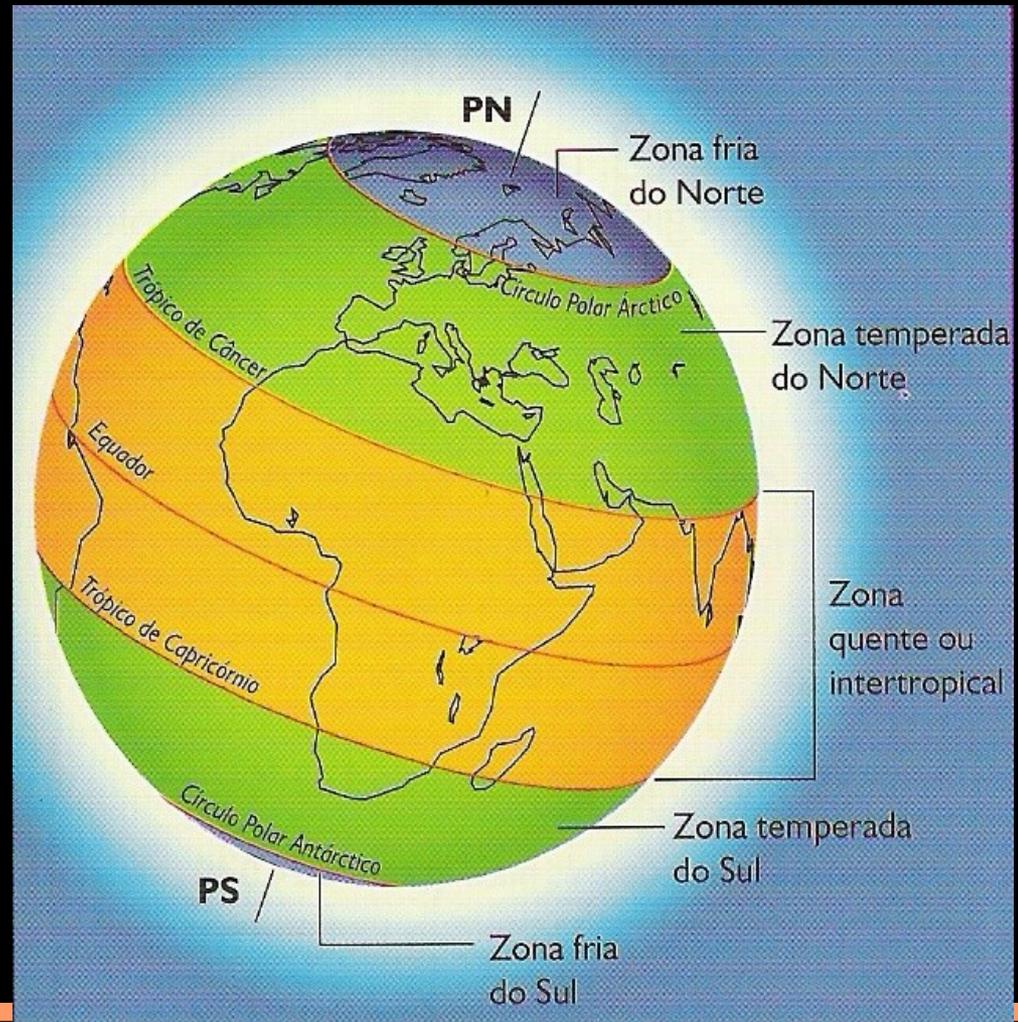
(veja: <http://astro.if.ufrgs.br/dia.htm>)

$$H_{\text{inv}} = 90 - (\Phi_{\text{lugar}} + 23)$$

$$H_{\text{ver}} = 90 - (\Phi_{\text{lugar}} - 23)$$

Para POA: $\Phi \sim 30^\circ$

$$Z = \pm (\delta - \Phi)$$



O movimento anual do Sol em Porto Alegre

(veja: <http://astro.if.ufrgs.br/dia.htm>)

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

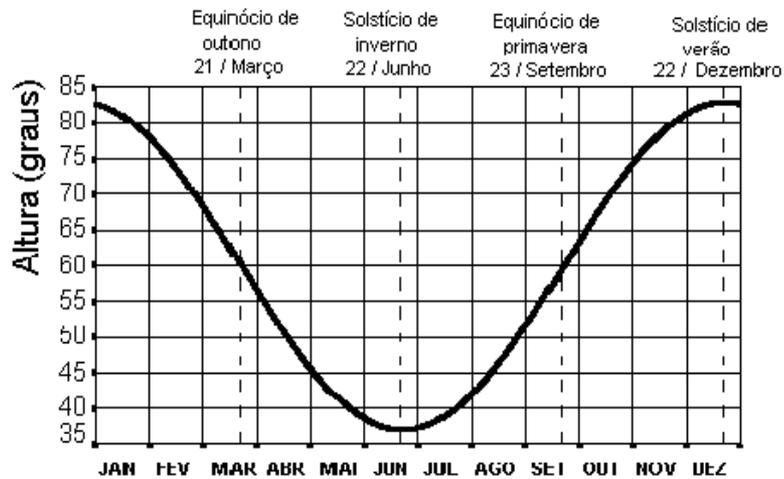
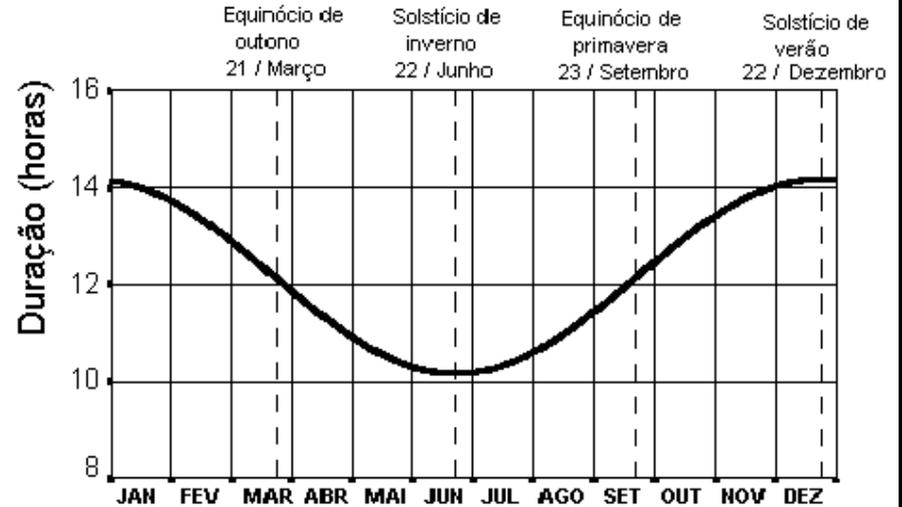


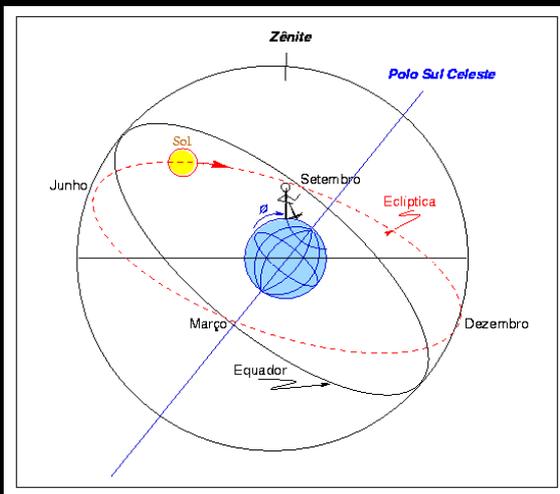
Figura 3 - Duração do dia em Porto Alegre.



Movimento Anual do Sol

Será que o Sol se põe sempre no ponto cardeal oeste?

Qual é a causa das estações do ano?



Por do Sol em Porto Alegre em diferentes épocas do ano

O ponto do horizonte oeste onde o Sol se põe varia em direção ao sul de junho a dezembro, e em direção ao norte de dezembro a junho.



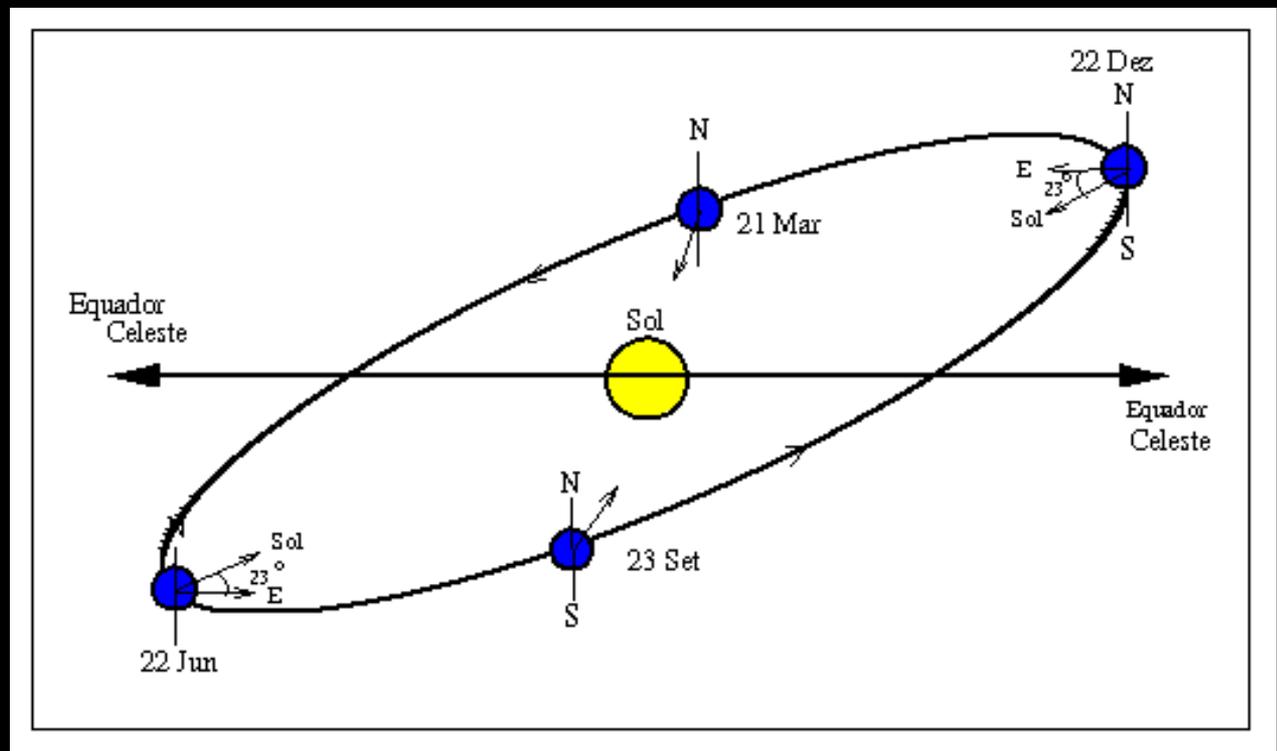
Fotos por Maria de Fátima Saraiva

As Estações do Ano

Causas: Translação da Terra em torno do Sol

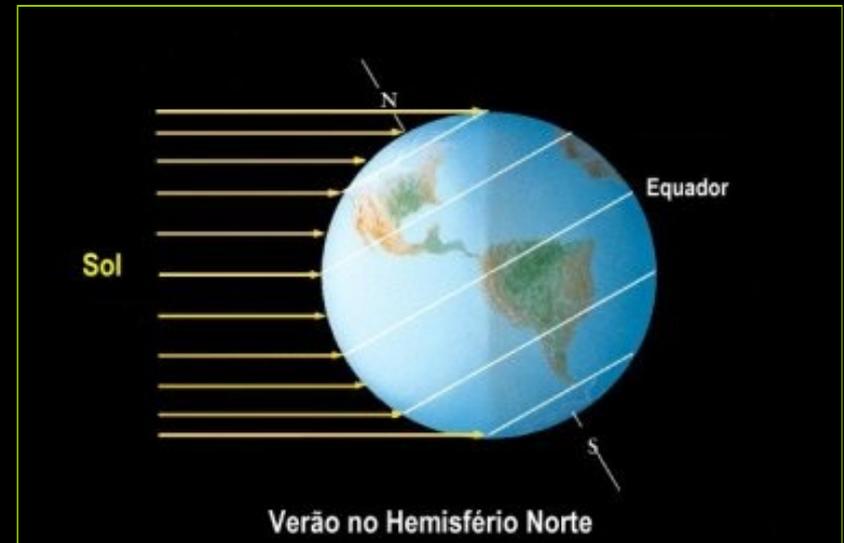
Inclinação do plano orbital da Terra em relação ao equador

(obliquidade da eclíptica $\neq 0$)



As Estações do Ano

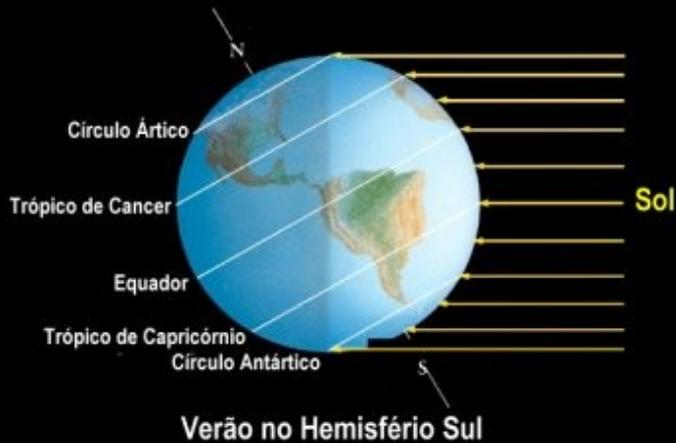
Resultado: Em certas épocas do ano, o **hemisfério norte** está mais voltado para o Sol, e se aquece mais durante o dia; em outras épocas, o **hemisfério sul** está mais voltado para o Sol .



No **solstício de junho** o Sol incide diretamente no **trópico de Câncer**;

No **solstício de dezembro** o sol incide diretamente no **trópico de Capricórnio**.

Posições características do Sol

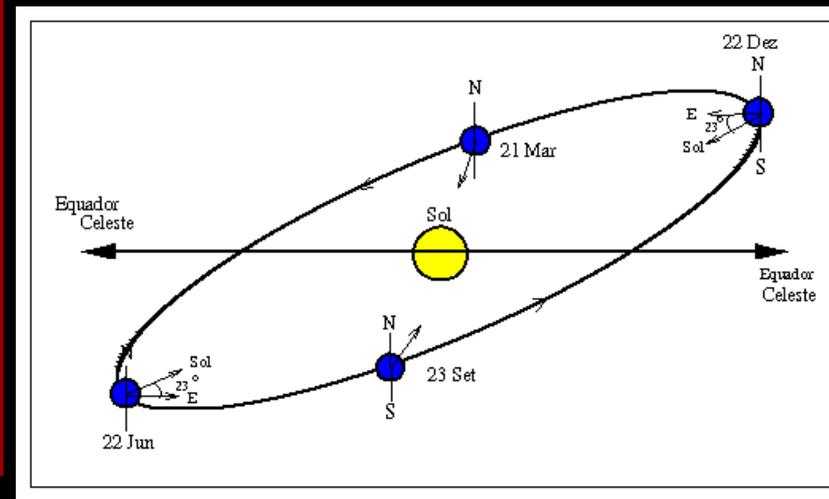


~ **21 Mar.:** O Sol cruza o Equador, indo de Hemisfério Sul para o Hemisfério Norte;
Equinócio de **Outono** (**Primavera**) no **HS** (**HN**).

~ **22 Jun.:** O Sol está na máxima declinação norte, incidindo diretamente na região do Trópico de Câncer na Terra;
Solstício de **Inverno** (**Verão**) no **HS** (**HN**).

~ **23 Set.:** O Sol cruza o Equador, indo de Hemisfério Norte para o Hemisfério Sul;
Equinócio de **Primavera** (**Outono**) no **HS** (**HN**).

~ **22 Dez.:** O Sol está na máxima declinação sul, incidindo diretamente na região do Trópico de Capricórnio na Terra;
Solstício de **Verão** (**Inverno**) no **HS** (**HN**).



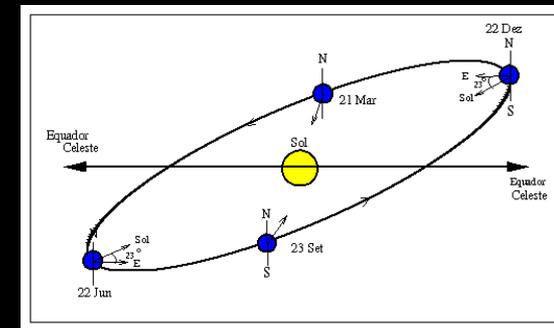
Estações em diferentes latitudes

- A órbita da Terra em torno do Sol é uma elipse e a distância da Terra ao Sol varia somente 3% sendo menor em Janeiro.
- Lembrar que o Hemisfério Norte também está mais próximo do Sol, e é inverno lá.
- A causa das estações do ano é a inclinação do eixo de rotação da Terra com relação à sua órbita!

• No Equador, as estações do ano são muito parecidas: O Sol fica 12h acima do horizonte e 12 abaixo.

• A única diferença é a altura máxima: o Sol cruza o meridiano $23^{\circ}27'$ ao N do Zênite em ~22 Jun. e o meridiano $23^{\circ}27'$ ao S do Zênite em ~22 Dez.

• A medida que se afasta do Equador, as estações ficam mais acentuadas e as diferenças tornam-se máximas nos pólos.



Insolação

Constante Solar: A quantidade de energia solar que chega, por unidade de tempo e por unidade de área, a uma superfície perpendicular aos raios solares, à distância média Terra-Sol.

Vale: 1367 W/m^2 , medido por satélites logo acima da atmosfera terrestre.

- Devido à rotação da Terra, a energia média incidente no topo da atmosfera, por unidade de área e por unidade de tempo, é aproximadamente $1/4$ da constante solar.
- A atmosfera reflete 39% da radiação, de forma que apenas 61% é usada no aquecimento da Terra.

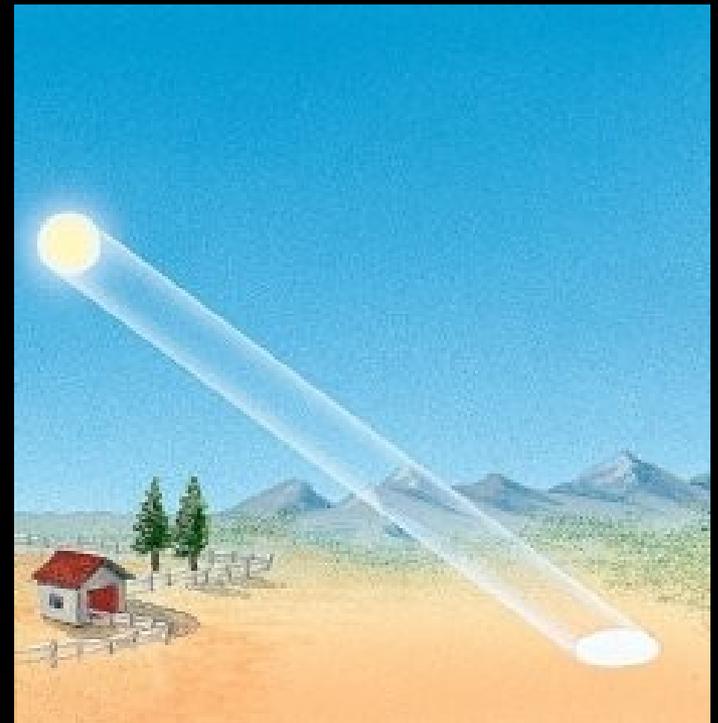
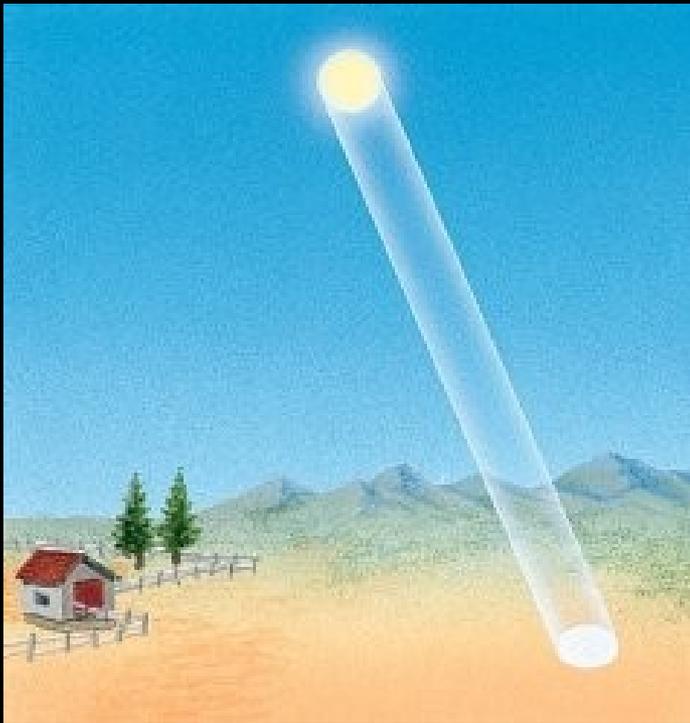
Energia média que chega perpendicularmente à superfície da Terra, por unidade de tempo e por unidade de área  **$0.61 \times 1/4 \times 1367 \approx 208 \text{ W/m}^2$**

No Quadro.

Insolação

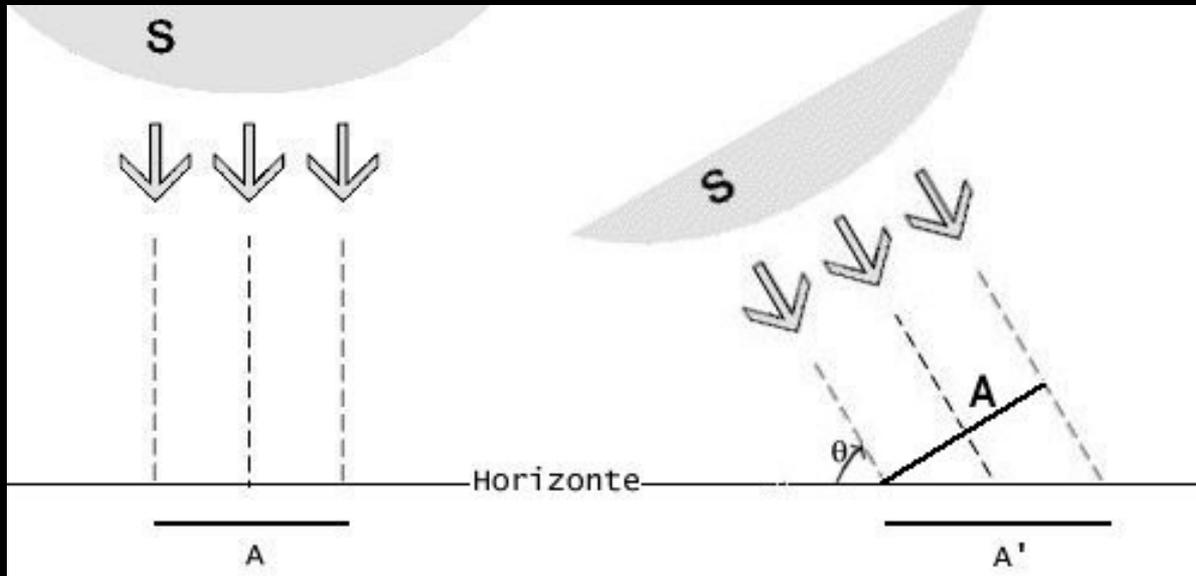
Insolação Solar: Quantidade de energia por unidade de área e por unidade de tempo que chega em um determinado lugar da superfície da Terra,

$$I = E_z/A$$



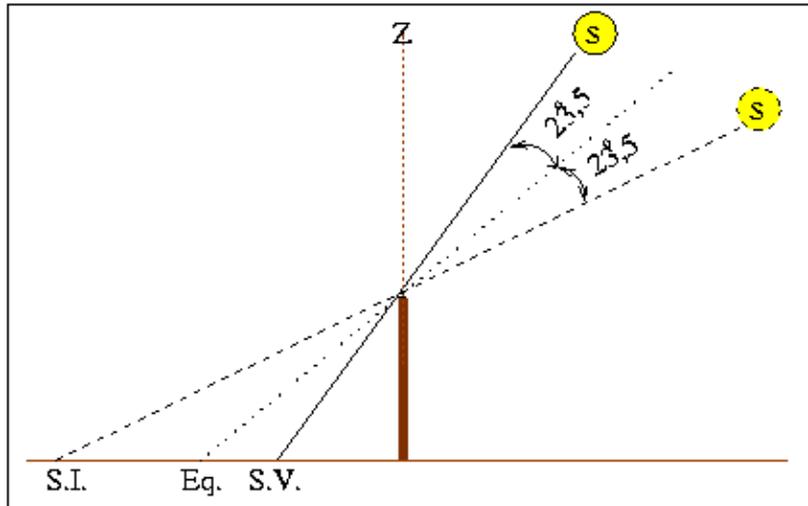
A insolação depende da área em que a energia solar é distribuída!

Insolação



$$A' = A / \sin \theta$$

Insolação em Porto Alegre



Porto Alegre: Latitude = 30°

Meio dia no SV (~21 Dez.)

$$z_v = (30^\circ - 23,5^\circ) = 6,5^\circ \text{ do Zênite}$$

$$\theta_v = 90^\circ - 6,5^\circ = 83,5^\circ \text{ do horizonte}$$

Meio dia no SI (~21 Jun.)

$$z_i = (30^\circ + 23,5^\circ) = 53,5^\circ \text{ do Zênite}$$

$$\theta_i = 90^\circ - 53,5^\circ = 36,5^\circ \text{ do horizonte}$$

$$I_v/I_i = (E_z/A_v)/(E_z/A_i) = \text{sen}\theta_v/\text{sen}\theta_i = 0,99/0,59 = 1,68$$

A insolação em Porto Alegre é 68% maior no verão do que no inverno!

Insolação em Porto Alegre

- Levando em conta a variação da distância da Terra ao Sol (3%):

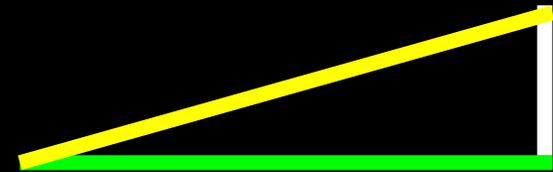
$$E_z = \frac{E_{\odot}}{4\pi D_{\otimes\odot}^2}$$

$$\frac{I_{\text{afélio}}}{I_{\text{periélio}}} = 0,97^2 = 0,94$$

- Em janeiro (periélio), a insolação solar é 6% maior do que em junho (afélio). Este pequeno efeito é contrabalançado pela maior concentração de água no Hemisfério Sul.
- Além da insolação, a duração do dia, que é de 14h 10m no Solstício de Verão e 10h 10m no Solstício de Inverno, em Porto Alegre, contribui nas estações do ano.

A Lua

- Sua distancia é de 384 000 km (medido por um feixe de laser, ~ 60 Raios da Terra);
- Diâmetro aparente médio da Lua é de 31'5" ($0,518^\circ$) – o mesmo do Sol;
- $D = 384\ 000 * \text{sen}(0,518^\circ) = 3476 \text{ km};$
- Sua massa é 1/81 da massa da Terra;
- A medidas em que a Lua se move em torno da Terra ela passa por um ciclo da fases, durante a qual sua forma parece variar gradualmente.



$$\text{Sen}(\theta) = \text{Diâmetro}/\text{distancia}$$



A Lua

- Inclinação da órbita em relação à órbita da Terra: 5°

Diâmetro aparente \approx diâmetro aparente do Sol $\approx 0,5^\circ$

Move-se $360^\circ/27,3\text{dias} = \sim 13^\circ/\text{dia}$ para leste

Como o Sol move-se 1° ($360^\circ/365\text{d}$) por dia para leste, logo a lua move-se $12^\circ/\text{dia}$ para leste em relação ao Sol.

- A lua cruza o meridiano local ~ 50 minutos mais tarde que no dia anterior.



Fases da Lua

- **Lua Nova:** A face iluminada não pode ser vista da Terra.
 - A lua está na mesma direção do Sol (está no céu durante o dia);
 - Nasce ~6h e se põe ~18h.
- **Lua Quarto-Crescente:** Metade do disco iluminado pode ser visto da terra.
 - Vista do HS a forma lembra a letra C e no HN a letra D;
 - Lua e Sol vistos da Terra, estão separados de 90° ;
 - A Lua está a leste de Sol, que portanto ilumina seu lado oeste;
 - Nasce ~meio-dia e se põe ~meia-noite.
- **Lua Cheia:** Toda a face iluminada da Lua está voltada para a Terra. Diâmetro aparente médio da Lua é de $31'5''$ ($0,518^\circ$) – o mesmo do Sol;
 - Lua e Sol vistos da Terra, estão em direções opostas;
 - Nasce ~18h e se põe ~6h do dia seguinte.
- **Lua Quarto-Minguante:** Metade do disco iluminado pode ser visto da Terra.
 - Vista do HS a forma lembra a letra D e no HN a letra C;
 - A Lua está a oeste do Sol, que ilumina seu lado leste;
 - Nasce ~meia-noite e se põe ~meio-dia.

Fases da Lua

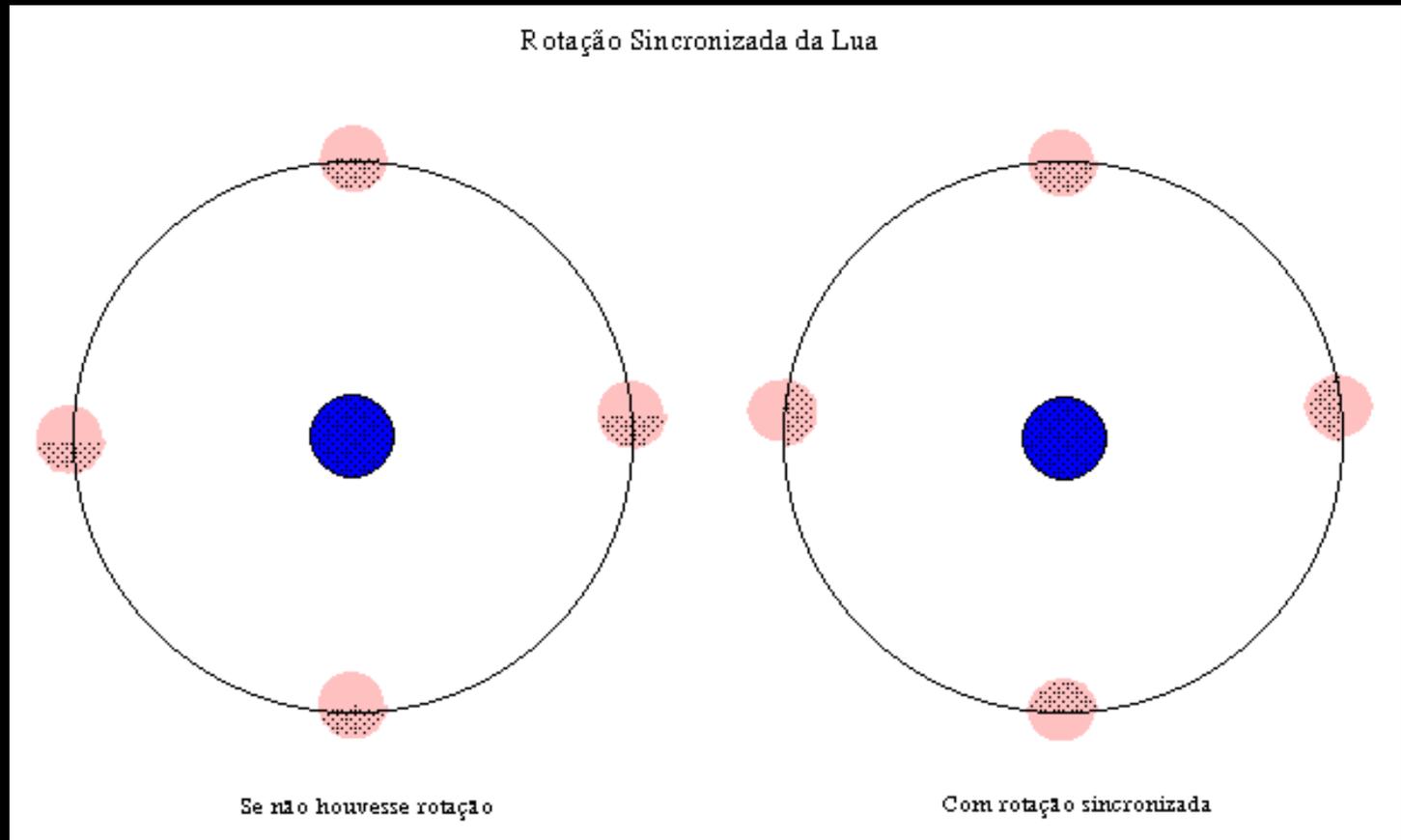
Agosto 2008

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



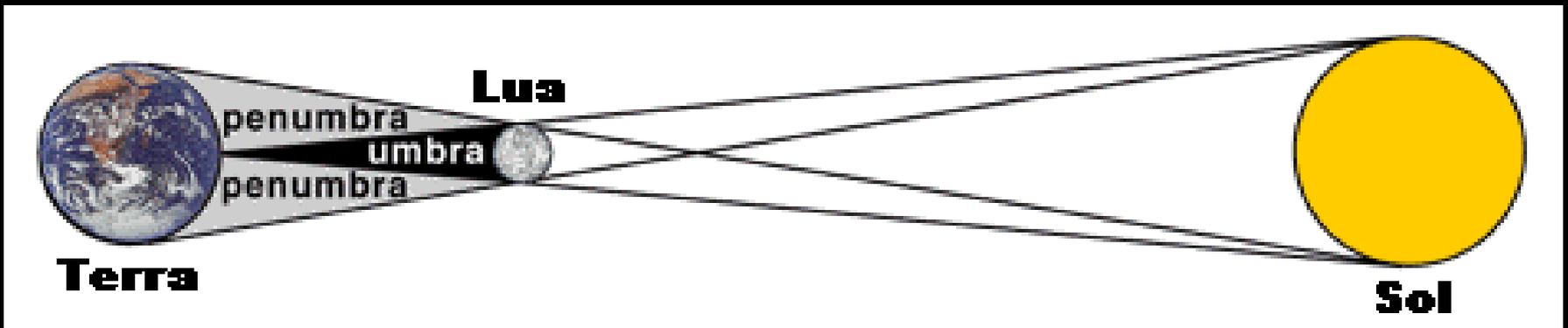
Rotação da Lua

- A lua tem rotação sincronizada com a translação;
- Mantém sempre a mesma face voltada para a Terra.



Eclipses

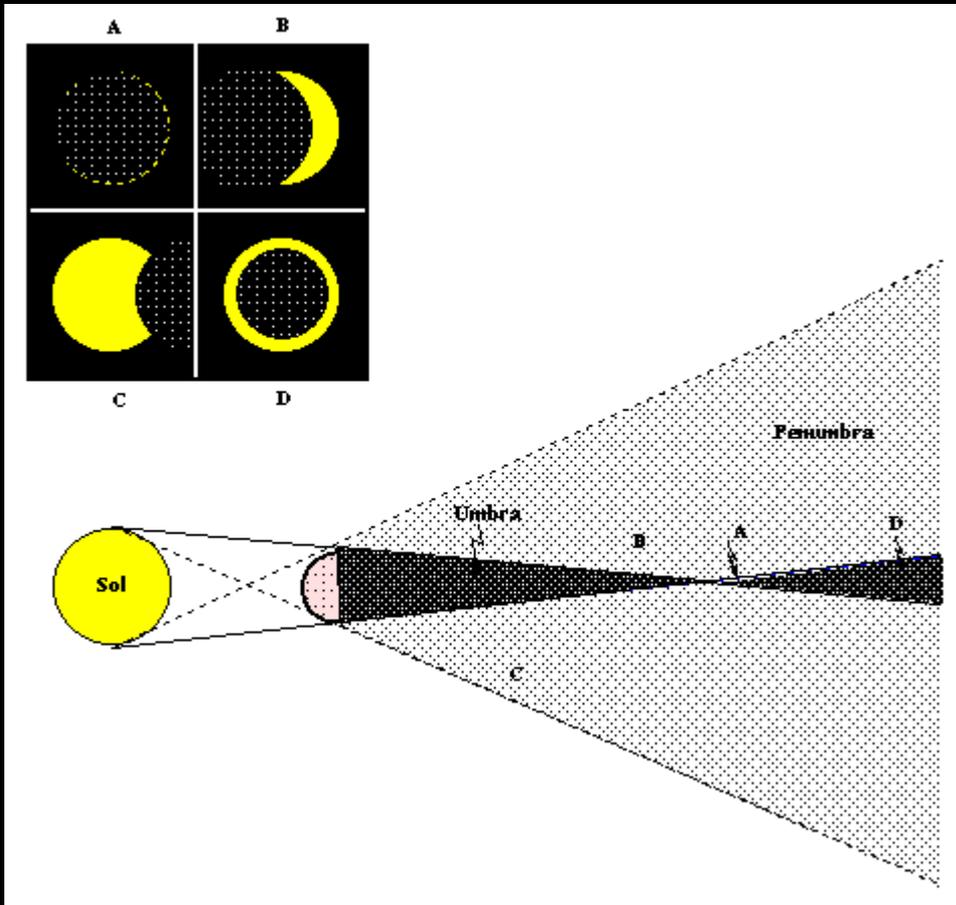
- Os eclipses acontecem quando ocorre o alinhamento entre Sol, Terra e Lua, de forma que **a sombra da Lua atinge a Terra (eclipse solar)** ou a **Lua fique na sombra da Terra (eclipse lunar)**.



Umbra: região da sombra que não recebe luz de nenhum ponto da fonte.

Penumbra: região da sombra que recebe luz de alguns pontos da fonte.

Eclipse Solar



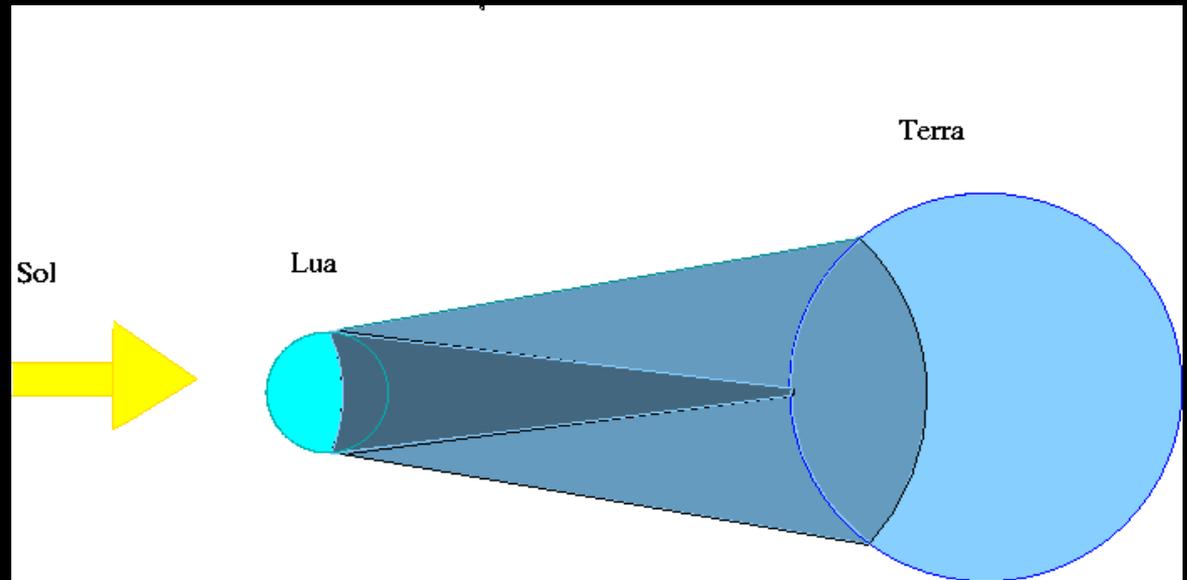
Eclipse solar total: acontece na faixa da Terra varrida pela umbra.

Eclipse solar parcial: acontece nas duas faixas (mais largas) da Terra varridas pela penumbra.

Eclipse solar anular: acontece quando a Terra é atingida pelo prolongamento da umbra. A Lua está próxima de seu apogeu.

Eclipse Solar

- Durante um eclipse solar, a umbra da Lua na Terra tem sempre menos que 270 km de largura.



- A sombra se move a pelo menos 34 km/min para Leste, devido a órbita da Lua em torno da Terra, o máximo de um eclipse dura no máximo 7,5 min.
- Um eclipse solar só é visível em uma estreita faixa sobre a Terra, chamada **caminho do eclipse**.
- Em uma região de aproximadamente 3000 km de cada lado do caminho do eclipse, ocorre um eclipse parcial.

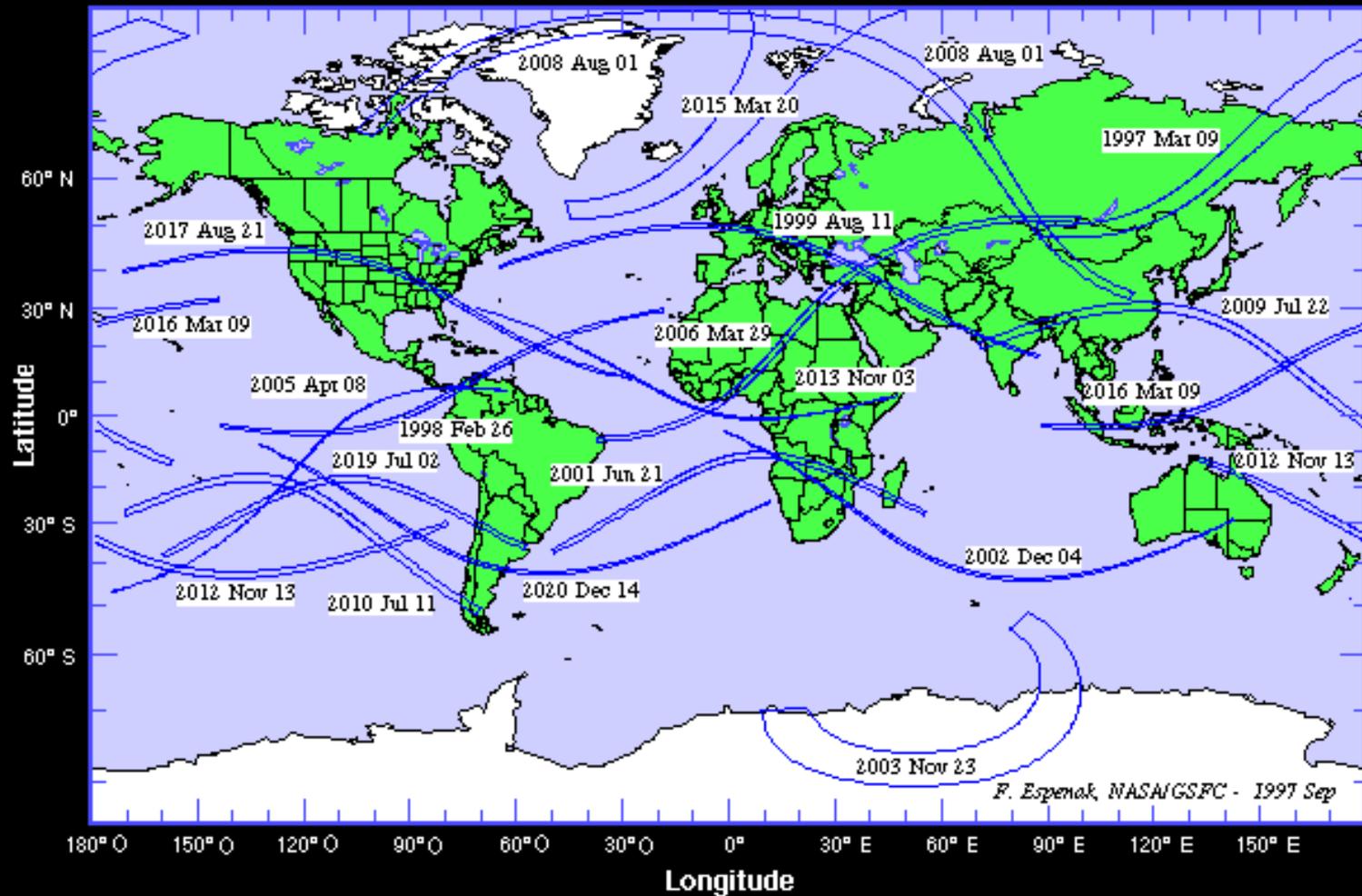
Geometria da Sombra nos eclipses:

Lembrete: é extremamente perigoso olhar o Sol diretamente. Qualquer exposição acima de 15 segundos danifica permanentemente o olho sem apresentar dor (veja: <http://astro.if.ufrgs.br/eclipses/eclipse.htm>)

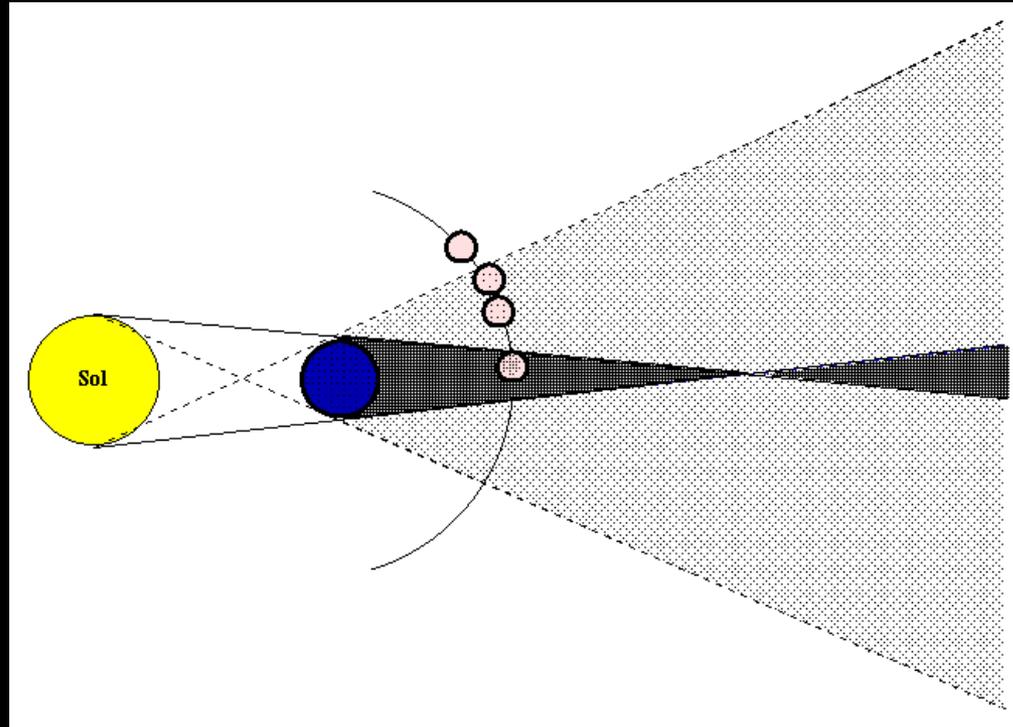


Eclipse Solar

Eclipses solares totais : 1996 - 2020



Eclipse Lunar



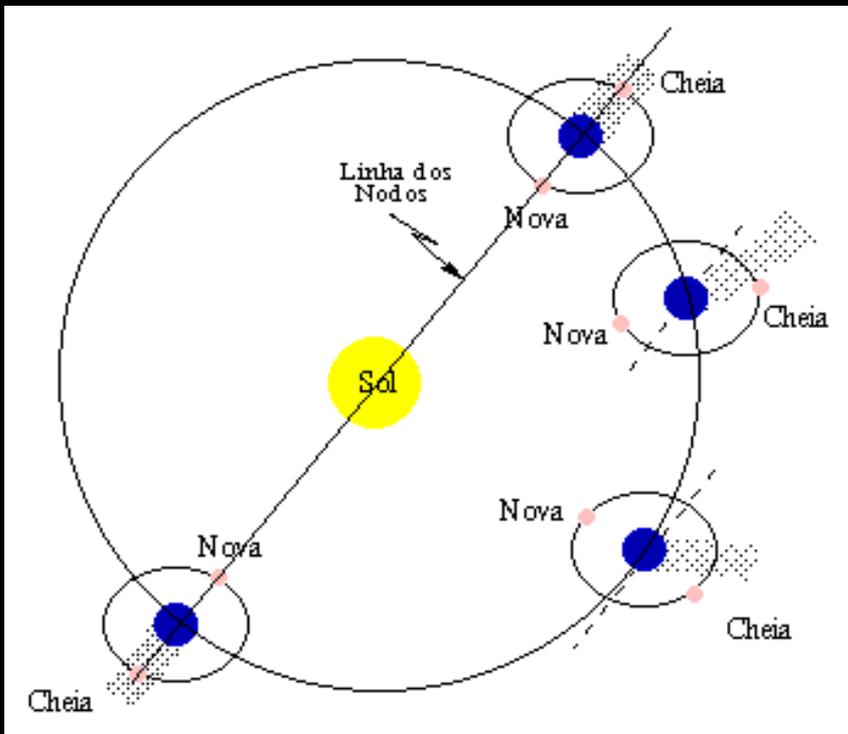
Eclipse total: A Lua fica inteiramente imersa na umbra da Terra.

Eclipse parcial: Parte da Lua passa pela umbra da Terra.

Eclipse penumbral: A Lua passa somente pela penumbra.

Temporada dos eclipses

- Se o plano orbital da Lua coincidisse com o plano da eclíptica, um eclipse solar ocorreria a toda Lua Nova e um eclipse Lunar a toda Lua Cheia;
- O plano está inclinado em 5,2 graus e portanto a Lua precisa estar próxima da linha dos nodos para ocorrer um eclipse;



Linha dos Nodos: linha de intersecção do plano da órbita da Terra em torno do Sol com o plano da órbita da Lua em torno da Terra.

Temporada dos eclipses

- Só ocorrem eclipses quando a Lua está na fase de Lua Cheia ou Nova, e quando o Sol está sobre a *linha dos nodos*.
- Solar total $< 10,3^\circ$; Lunar total $< 4,6^\circ$.
- As épocas do ano em que a Lua está próxima das linhas dos nodos são **as temporadas dos eclipses**.
- Em cada temporada ocorrem de um a três eclipses (2 solares e 1 lunar) e as temporadas estão separadas por 173 dias;
- Em um ano ocorrem no mínimo 2 eclipses (solares) e no máximo 7 (5 solares e 2 lunares ou 4 solares e 3 lunares).

