



AGA0106

# Astronomia de Posição

Prof. Rogério Monteiro

# Variação das coordenadas 1

Agradecimentos: Prof. Roberto Boczko

Aula A15

# Tópicos da aula

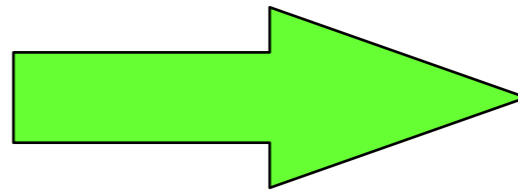
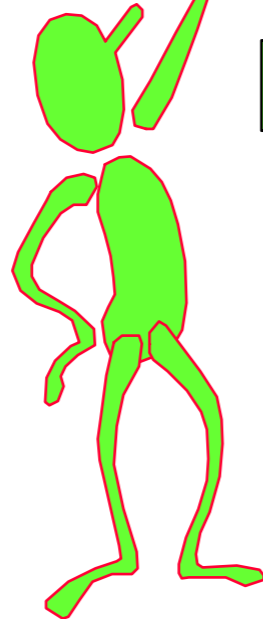
- Aberração;
- Desvio gravitacional da luz;
- Precessão e nutação;
- Movimento do polo.

# Aberração da luz

Direção  
real da  
chuva

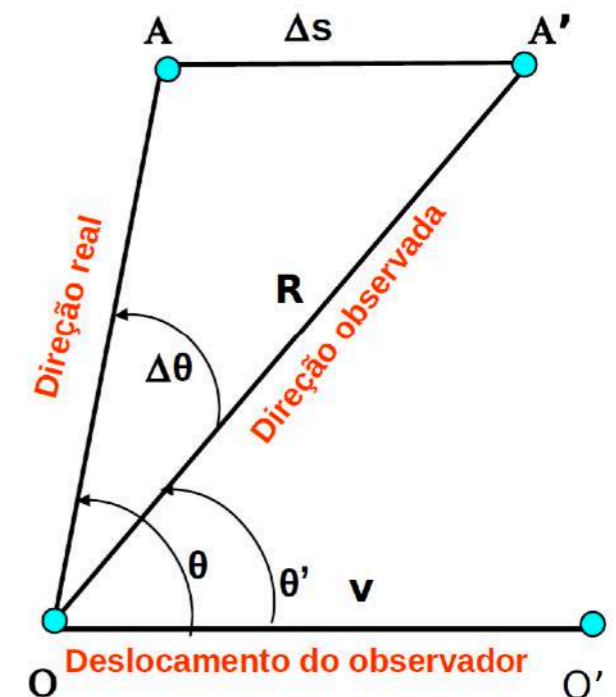


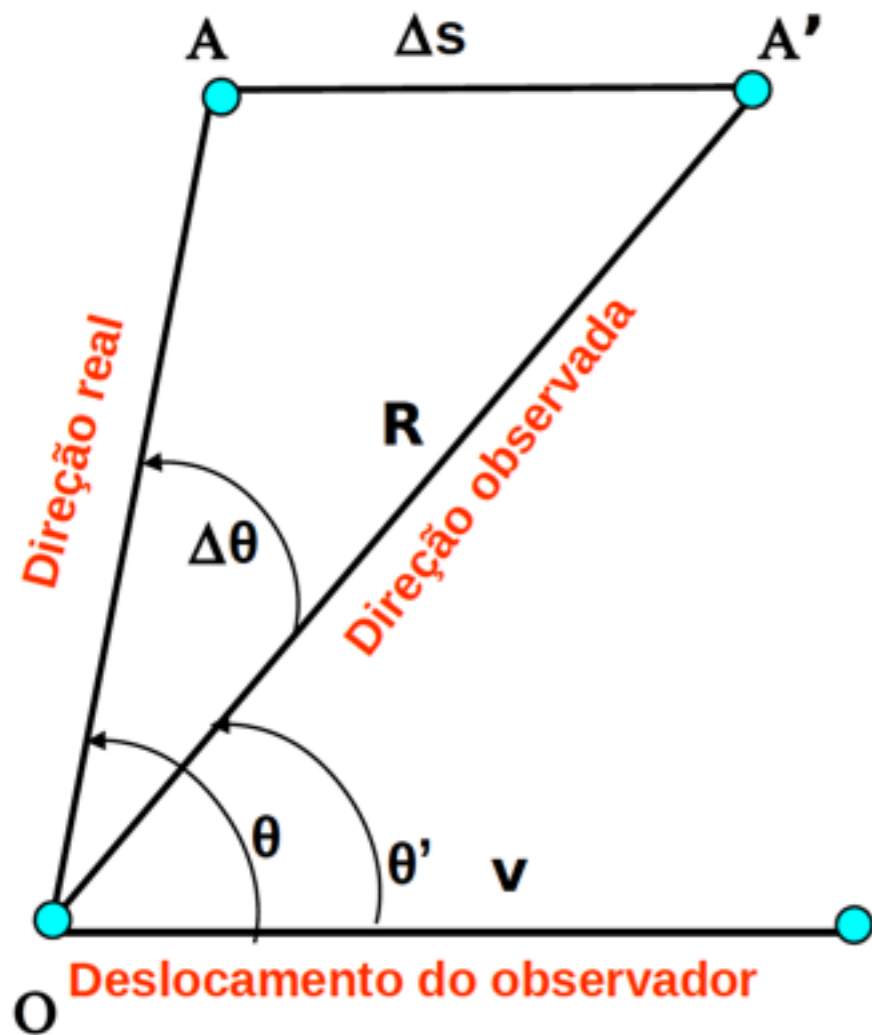
Direção  
aparente  
da chuva



Direção do  
movimento  
do observador

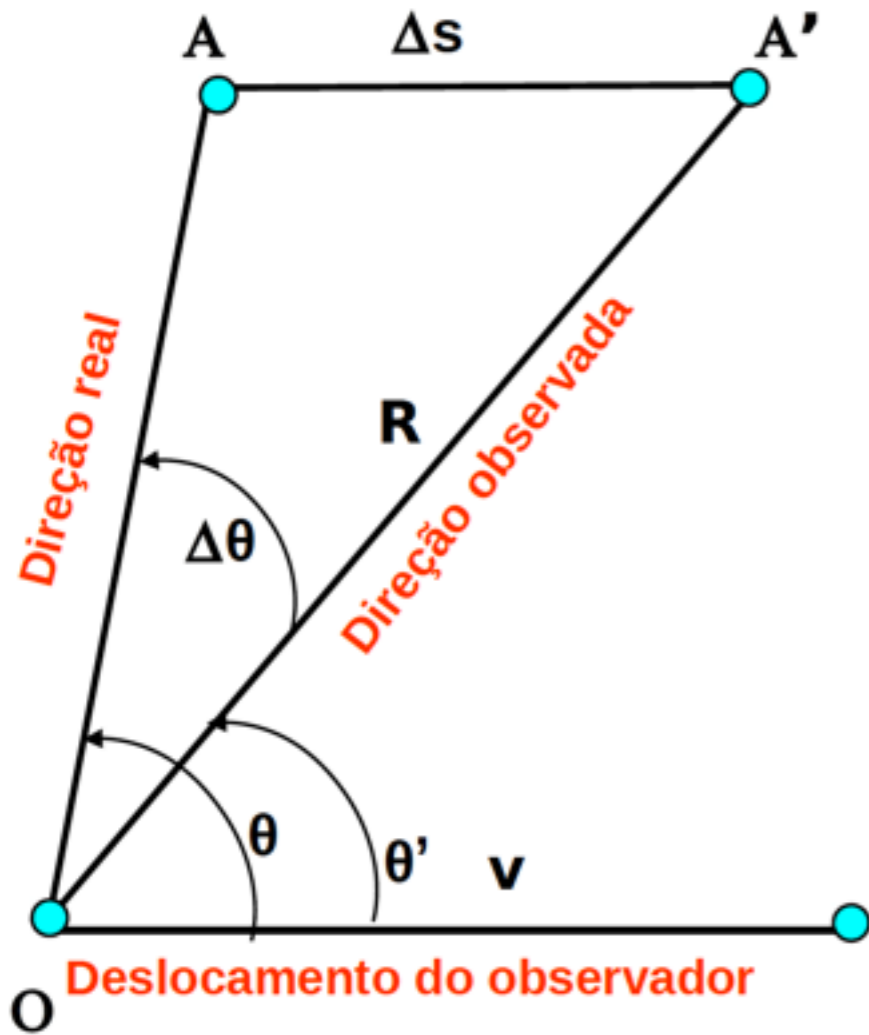
# Composição de velocidades





- $OO'$ : Deslocamento do observador quando o raio, parecendo sair de  $A'$ , o atinge em  $O$ ;
- $AA'$ : direção paralela à direção de deslocamento da Terra; a aberração não existiria se nosso planeta se deslocasse ao encontro da estrela;
- $v$ : velocidade relativa estrela - observador;
- $R$ : distância estrela - observador;
- $\Delta s$ : distância percorrida pela imagem da estrela devido à aberração.

- $\Delta t$ : intervalo de tempo entre a emissão em A e a observação da luz em O;



- A': direção em que se observa a estrela;
- $\theta'$ : ângulo entre a direção do deslocamento e a posição observada da estrela;
- A: direção em que a estrela realmente se encontrava no instante da emissão;
- $\theta$ : ângulo entre a direção do deslocamento e a posição geométrica da estrela;
- $\Delta\theta$ : ângulo da aberração

$$\Delta s = v\Delta t \quad R = c\Delta t$$

$$\frac{\Delta s}{v} = \frac{R}{c}$$

$$\kappa = \frac{v}{c}$$

$$\frac{\Delta s}{R} = \kappa$$

Aplicando a lei do seno nos triângulos AA'O e AO'O

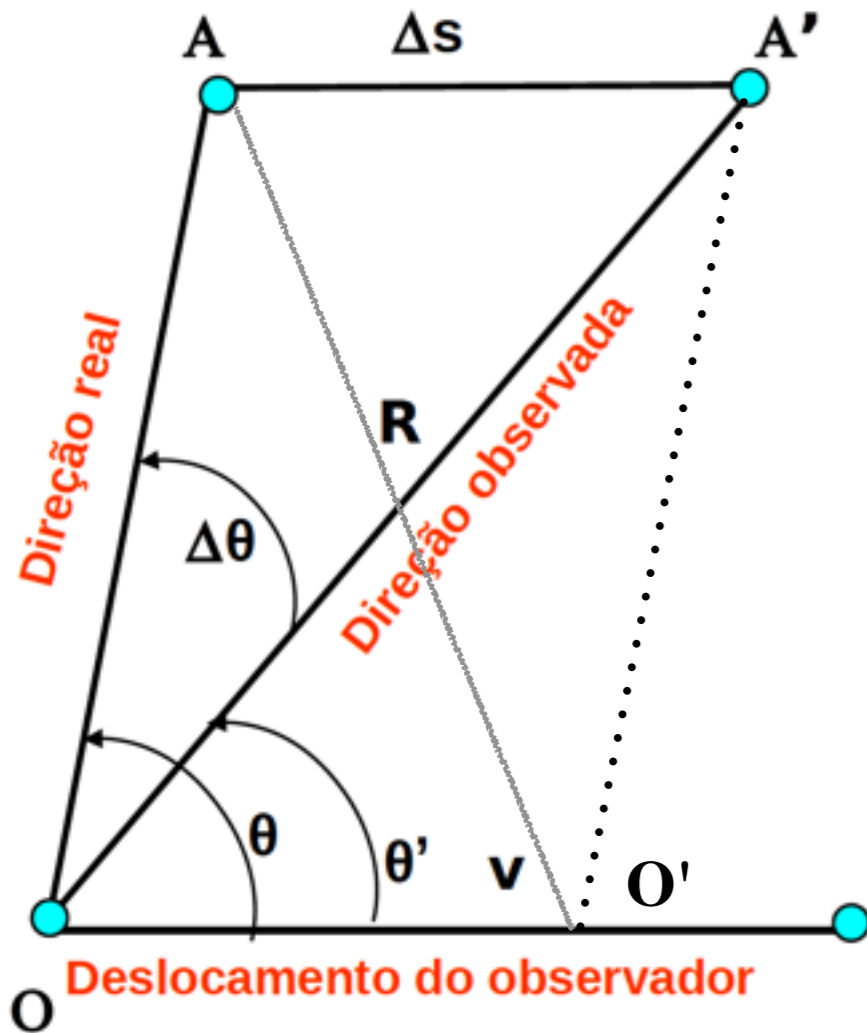
$$\frac{R}{\sin \theta} = \frac{\Delta s}{\sin \Delta \theta}$$

$$\sin \Delta \theta \sim \Delta \theta$$

$$\Delta \theta \sim \frac{\Delta s}{R} \sin \theta$$

$$\frac{\Delta s}{R} = \kappa$$

$$\Delta \theta \simeq \kappa \sin \theta$$



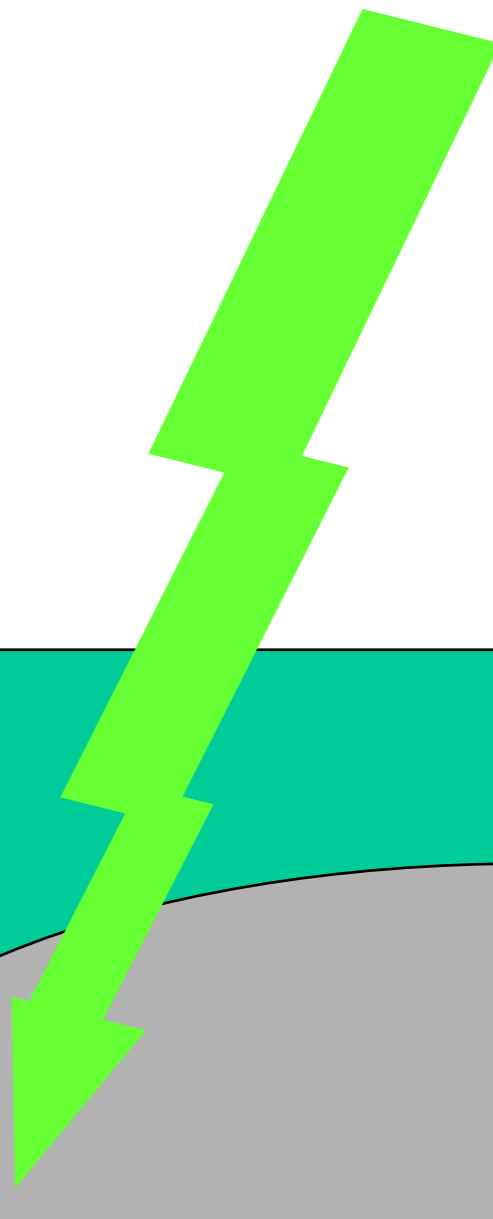
**Aberração anual**



**Posição  
real da  
estrela**

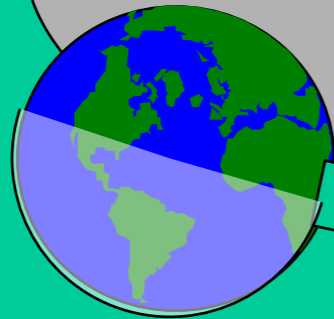
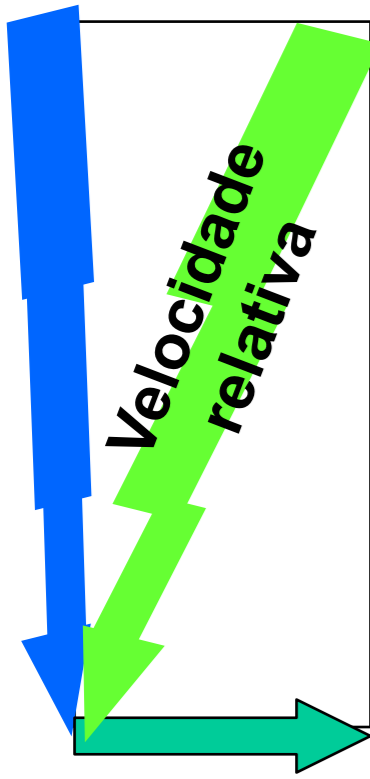


**Posição  
“observada”  
da estrela**

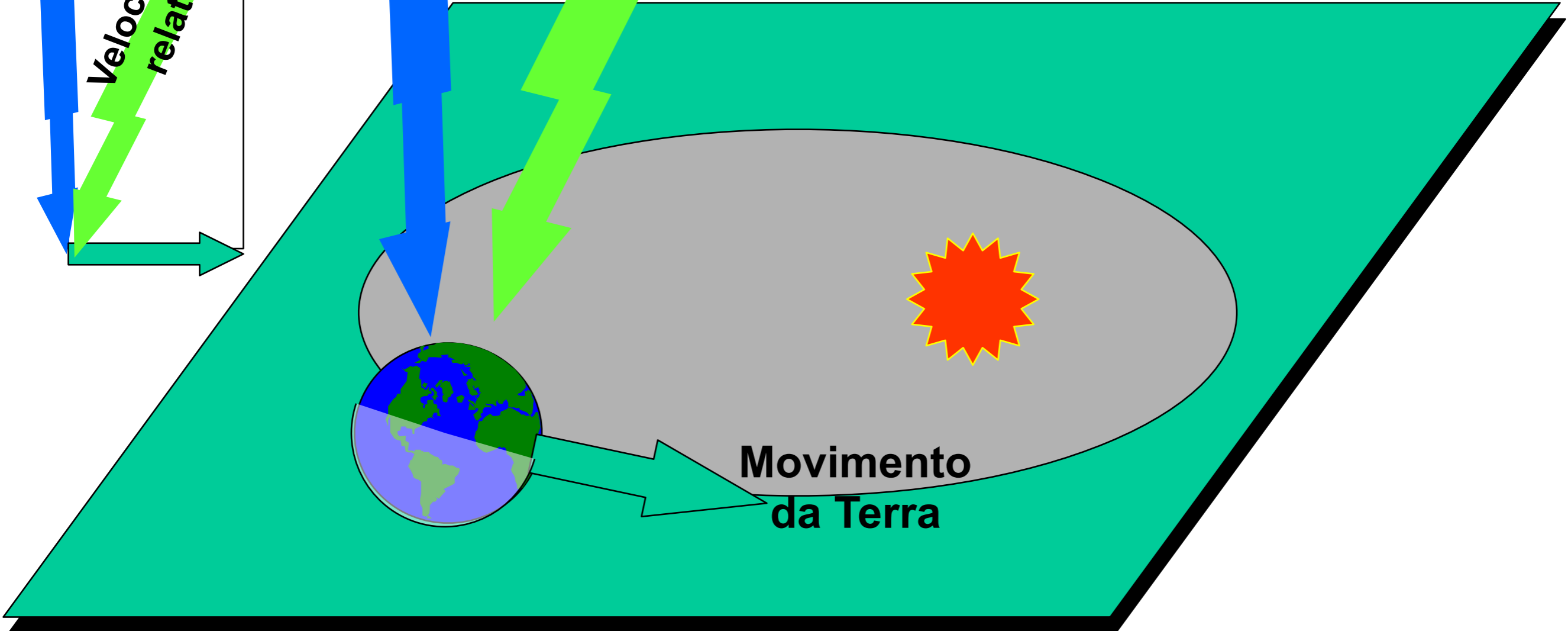
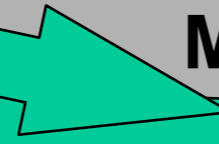


**Aberração anual  
( Bradley 1728 )**

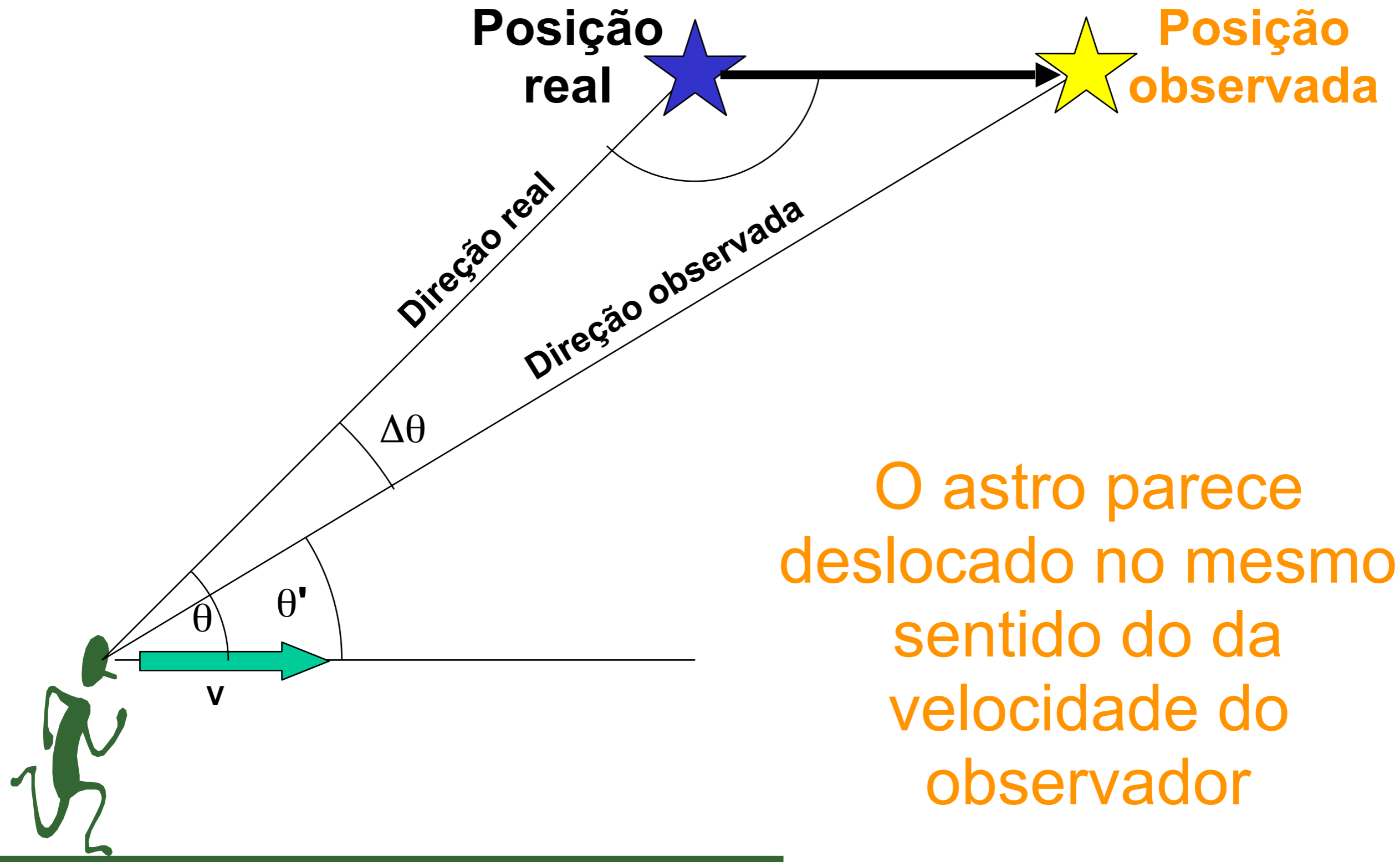
**Velocidade  
relativa**



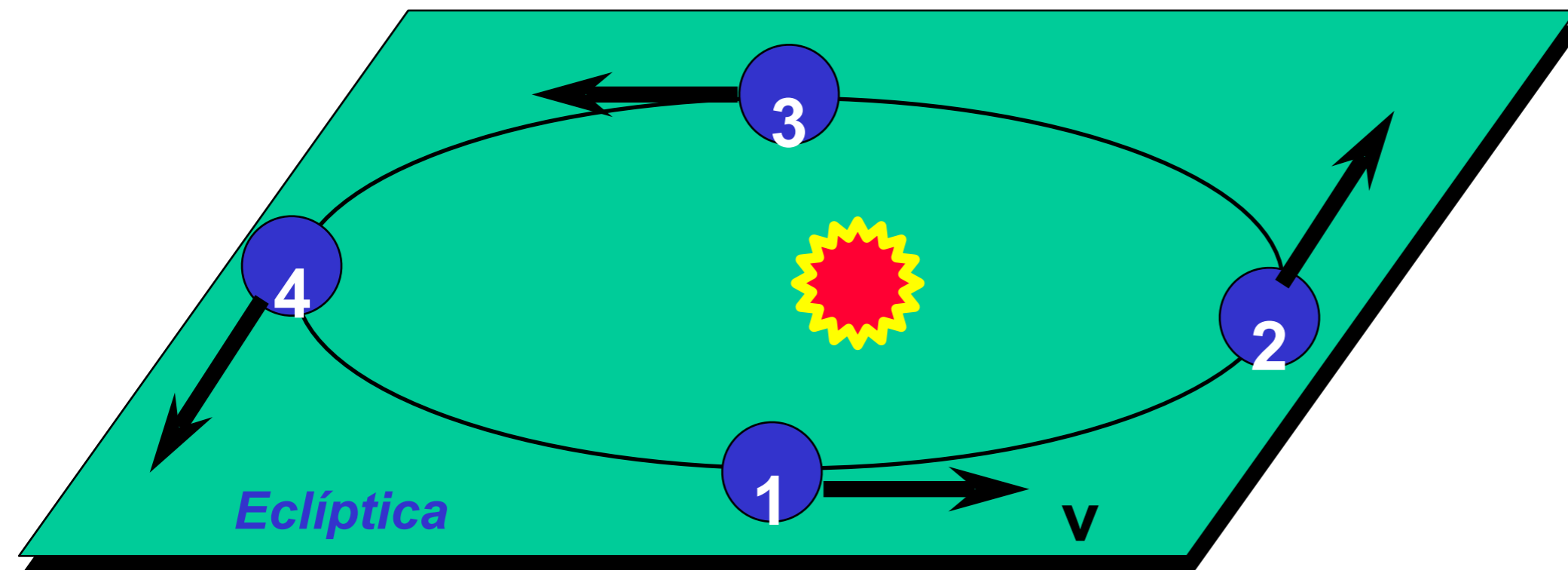
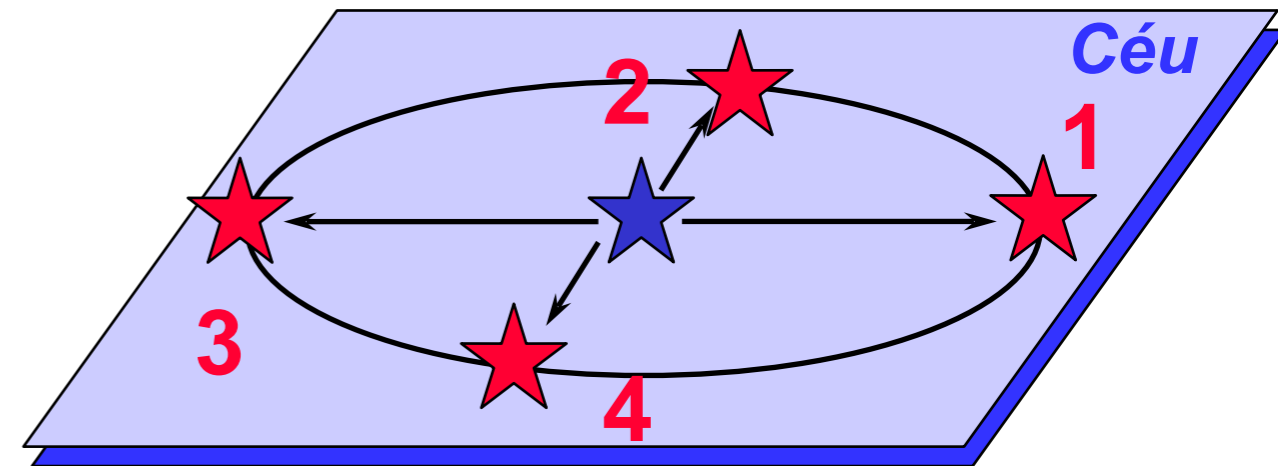
**Movimento  
da Terra**



# Direção do deslocamento do astro devido à aberração



# Efeito da aberração da luz na posição de uma estrela



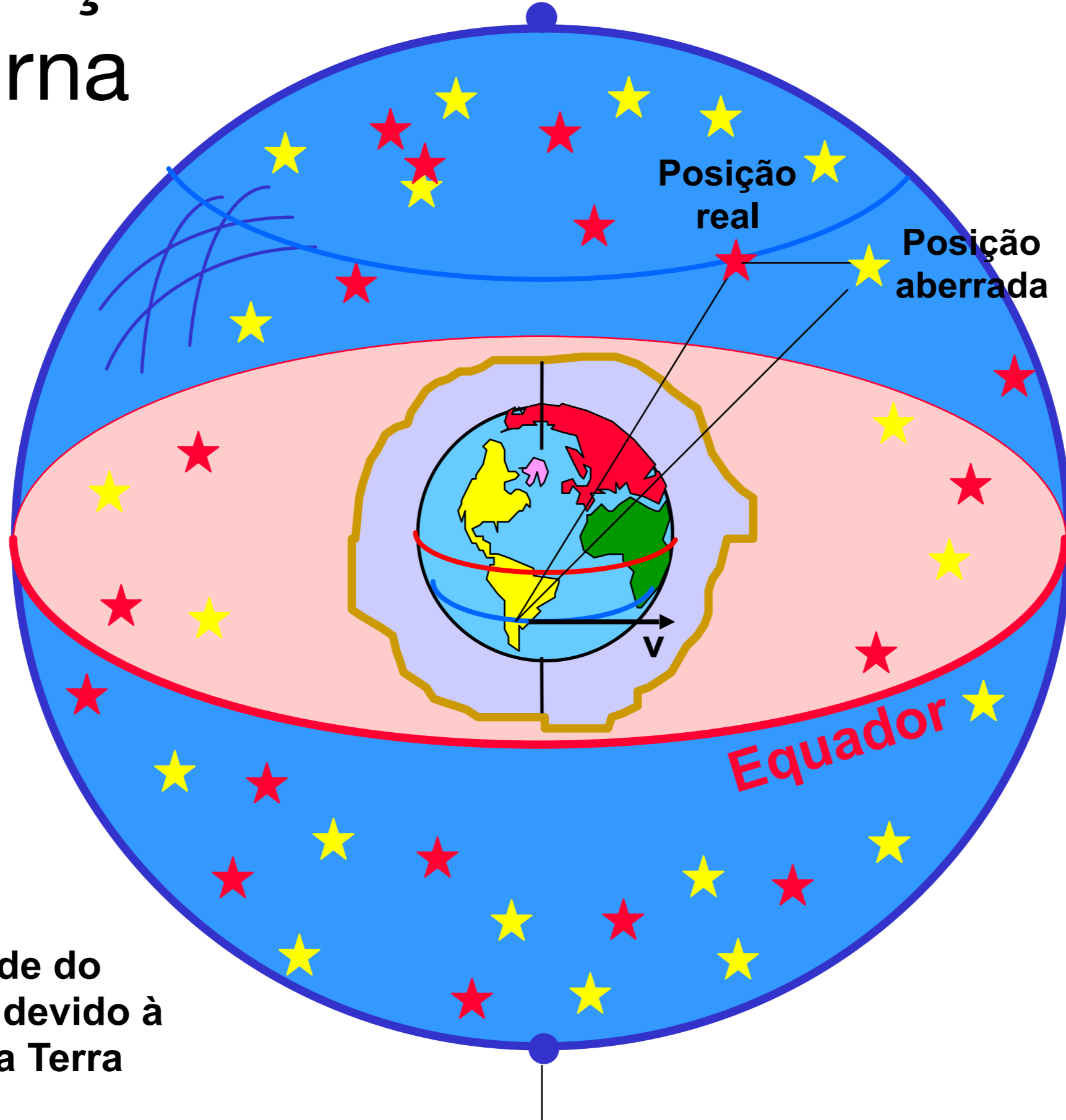
# Conclusão

A aberração anual das estrelas prova que a Terra está em movimento em torno do Sol.

# Aberração diurna

# Aberração diurna

Eixo de rotação da Terra



v:  
velocidade do observador devido à rotação da Terra

**Aberração secular**

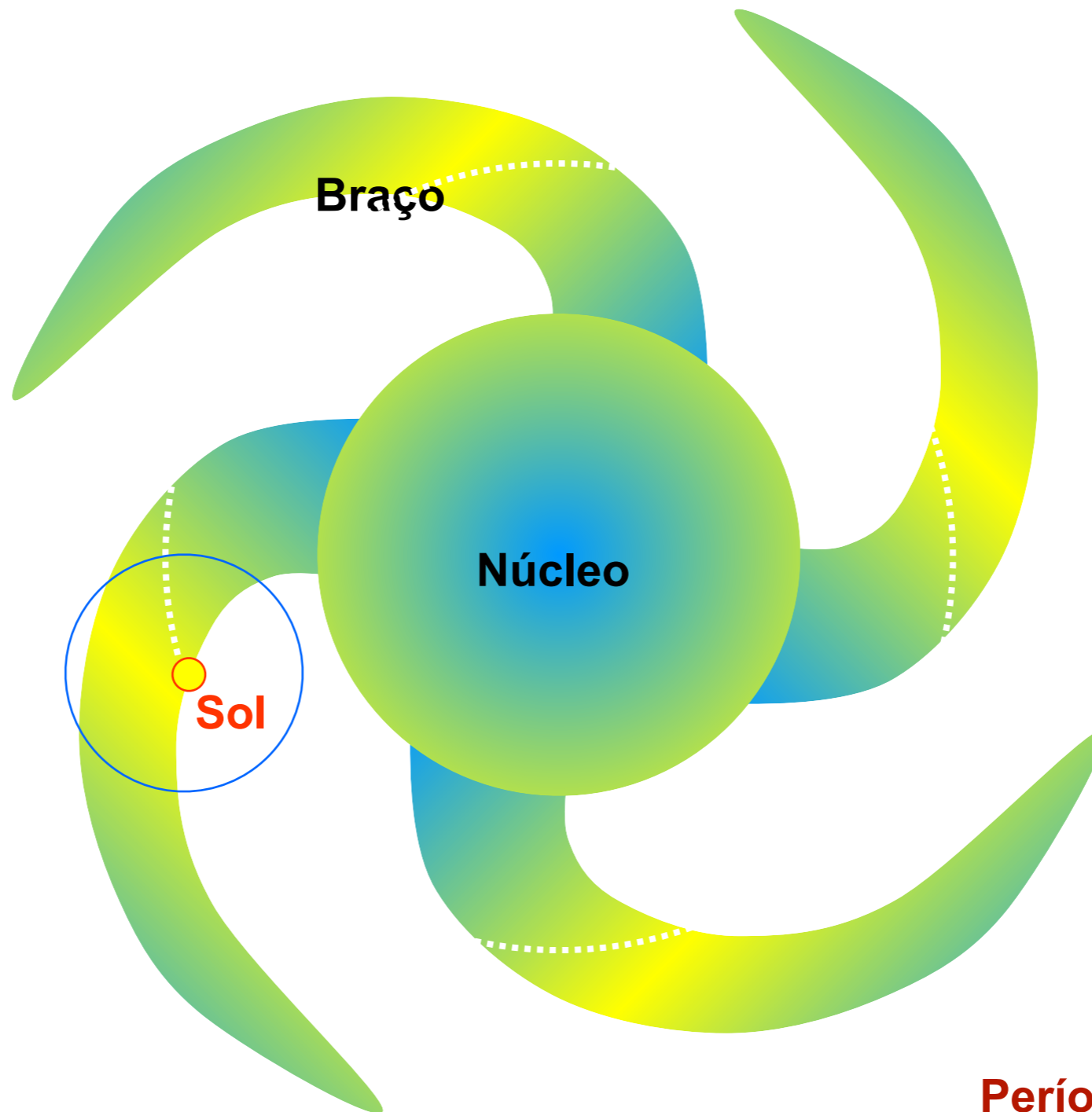
# Padrão Local de Repouso

LSR = Local Standard of Rest

Velocidade peculiar do Sol:  
16,5 km/s  
em direção do  
Ápex Solar, na  
constelação de  
Hércules

**LSR**

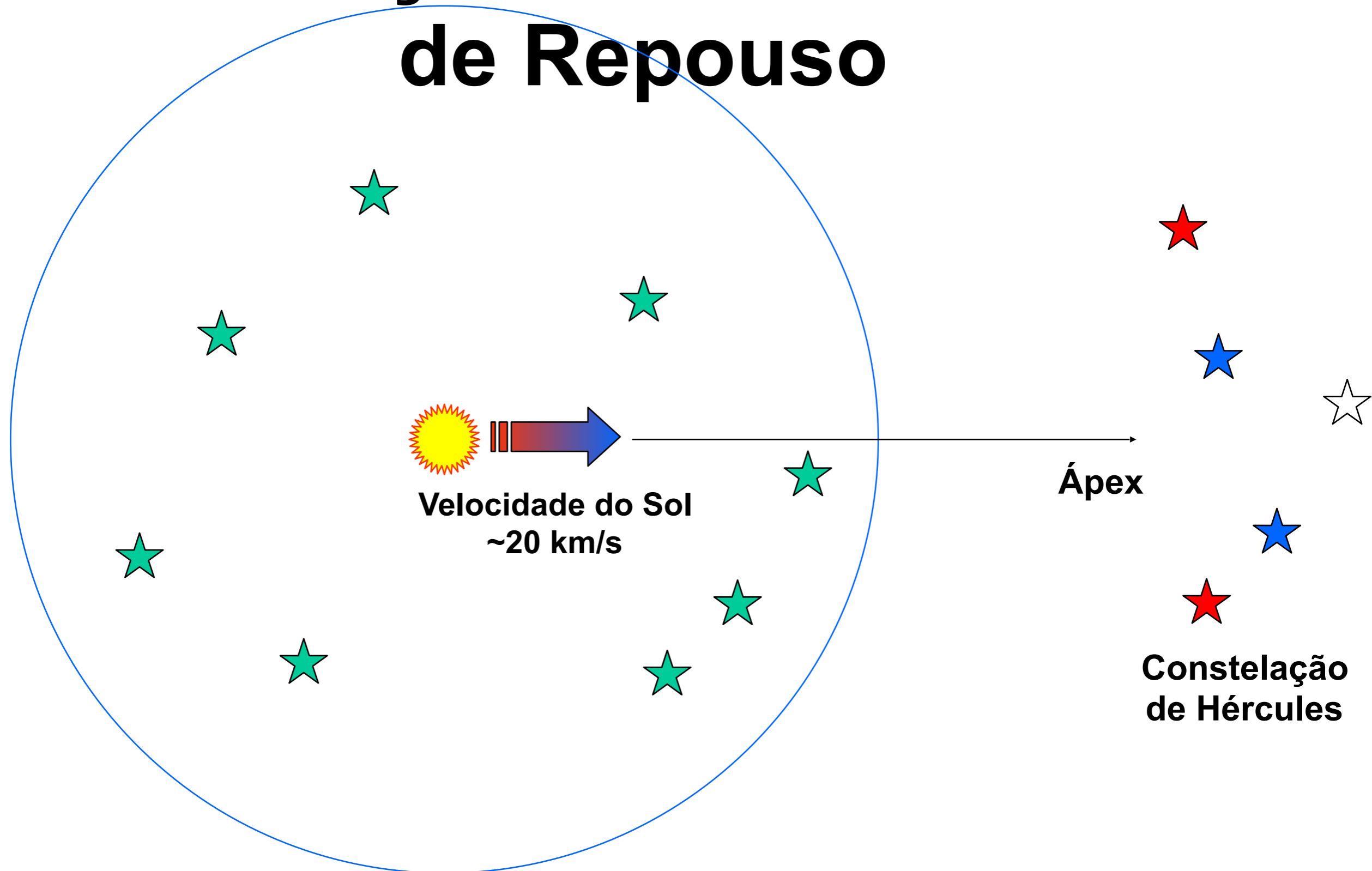
Ponto que, num instante, está centrado no Sol e move-se com movimento circular uniforme em torno do Centro Galáctico



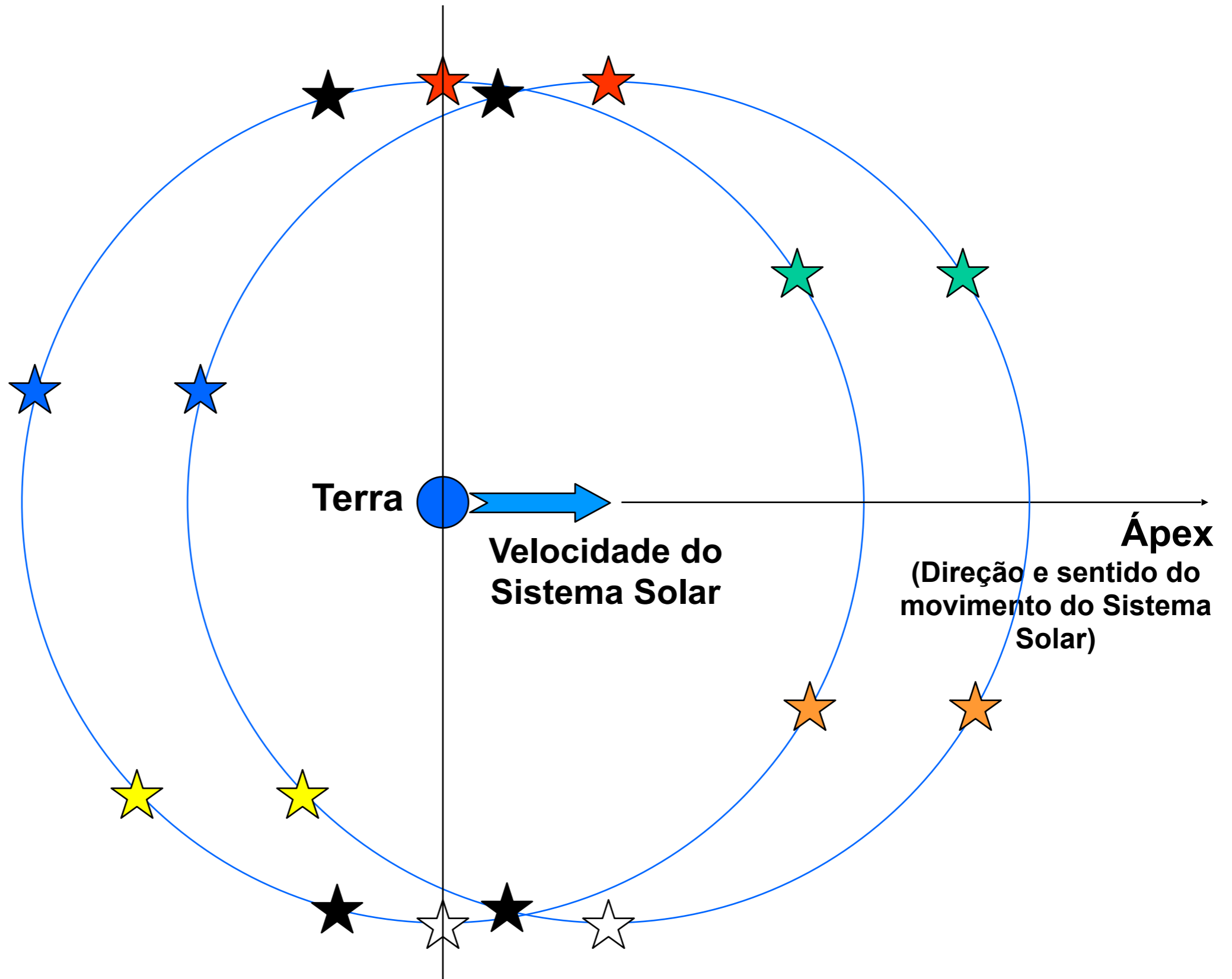
Período orbital do Sol em torno do centro galáctico:  
~250 milhões de anos

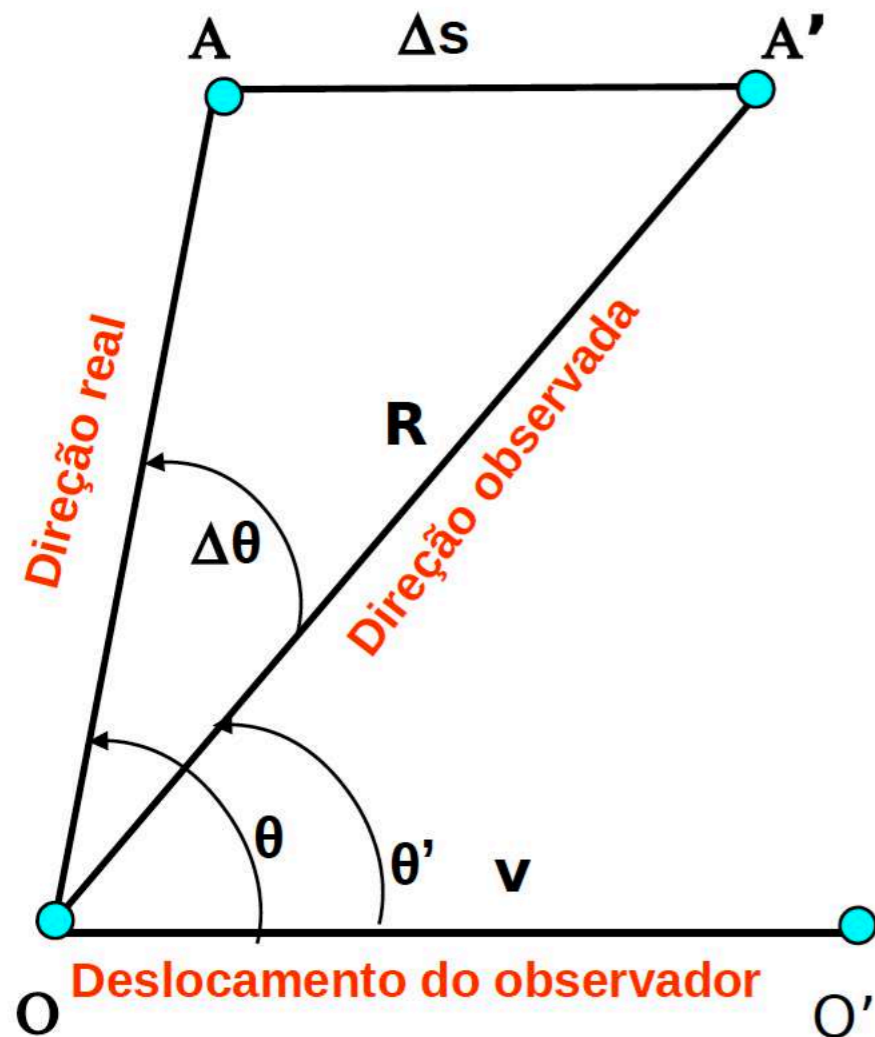


# Velocidade do Sistema Solar com relação ao Sistema Local de Repouso de Repouso



# Aberração secular



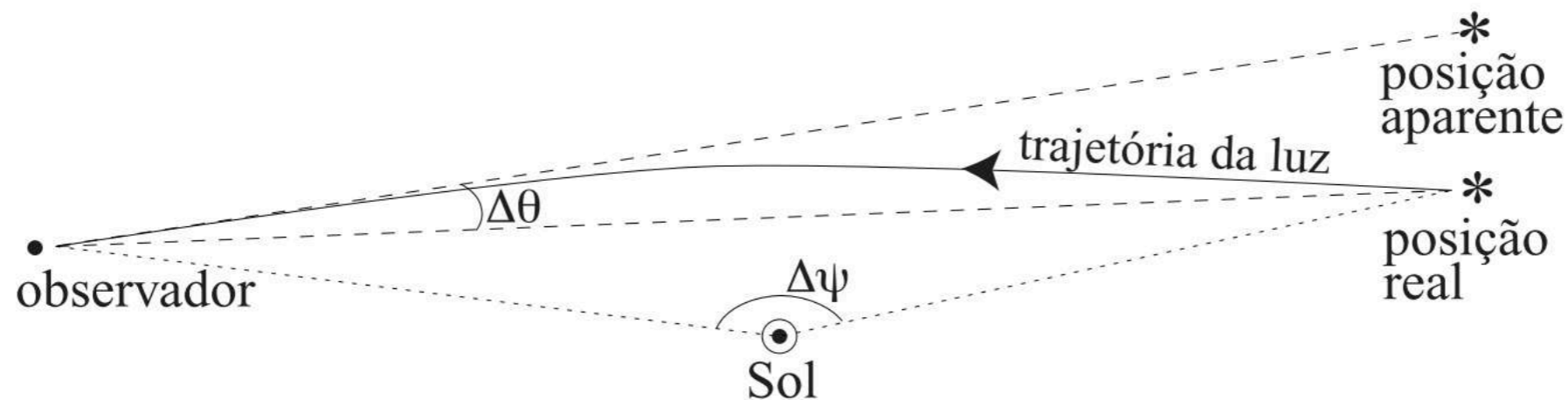


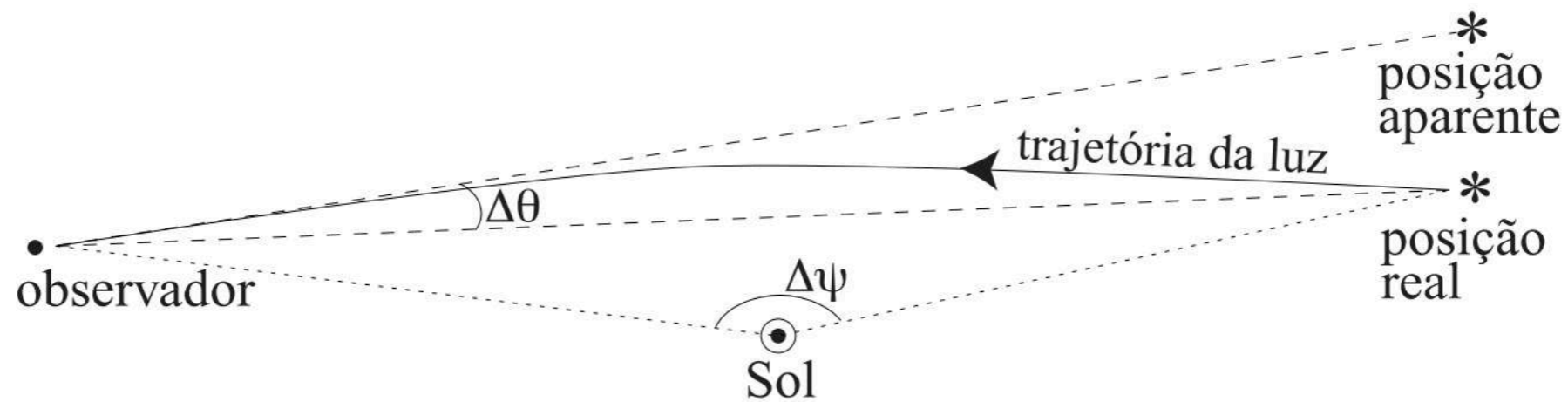
$$\Delta\theta \simeq \kappa \sin \theta$$

- $\kappa = 14''$   
Aberração secular das estrelas (movimento do Sol em torno do centro da Via Láctea, com período de  $2.5 \times 10^8$  anos)
- $\kappa = 20.4958''$   
Aberração anual das estrelas (movimento anual da órbita da Terra em torno do Sol)
- $\kappa = 0.320'' \cos \phi$   
Aberração diurna (movimento devido à rotação da Terra)

**Desvio gravitacional da luz**

- A Teoria da Relatividade Geral de Einstein mostrou que a luz é afetada pela força da gravidade;
- Este efeito foi confirmado durante um eclipse solar total em 29/05/1919 observado em Sobral-CE;
- Durante o eclipse as estrelas próximas ao Sol (em direção angular) apresentavam um desvio em relação às suas posições esperadas.





Apostila do curso de Astronomia de Posição do prof. Gastão Lima Neto

$$\Delta\theta = \frac{2GM_{\odot}}{c^2R_{\odot}} \frac{\sin\psi}{1 + \cos\psi}$$

mudança na posição aparente da estrela devido ao desvio gravitacional da luz

Se o astro está a uma distância maior que a distância Terra-Sol, definimos a elongação geocêntrica do astro:

$$D \approx 180^\circ - \psi$$

distância angular ente o Sol e o astro

$D$	$90^\circ$	$45^\circ$	$20^\circ$	$5^\circ$	$2^\circ$	$1^\circ$	$0,5$	$0,25$
$\Delta\theta$	$0,0041''$	$0,0098''$	$0,023''$	$0,093''$	$0,233''$	$0,466''$	$0,933''$	$1,866''$

Desvio gravitacional da luz em função da elongação

O campo gravitacional da Terra também afeta a trajetória da luz proveniente do astro. Entretanto, este efeito é menor que 0."0003 e pode ser desprezado.

# Precessão e nutação



# Precessão e nutação

## Causas:

Efeitos gravitacionais que deslocam os planos fundamentais de referência

## Efeitos:

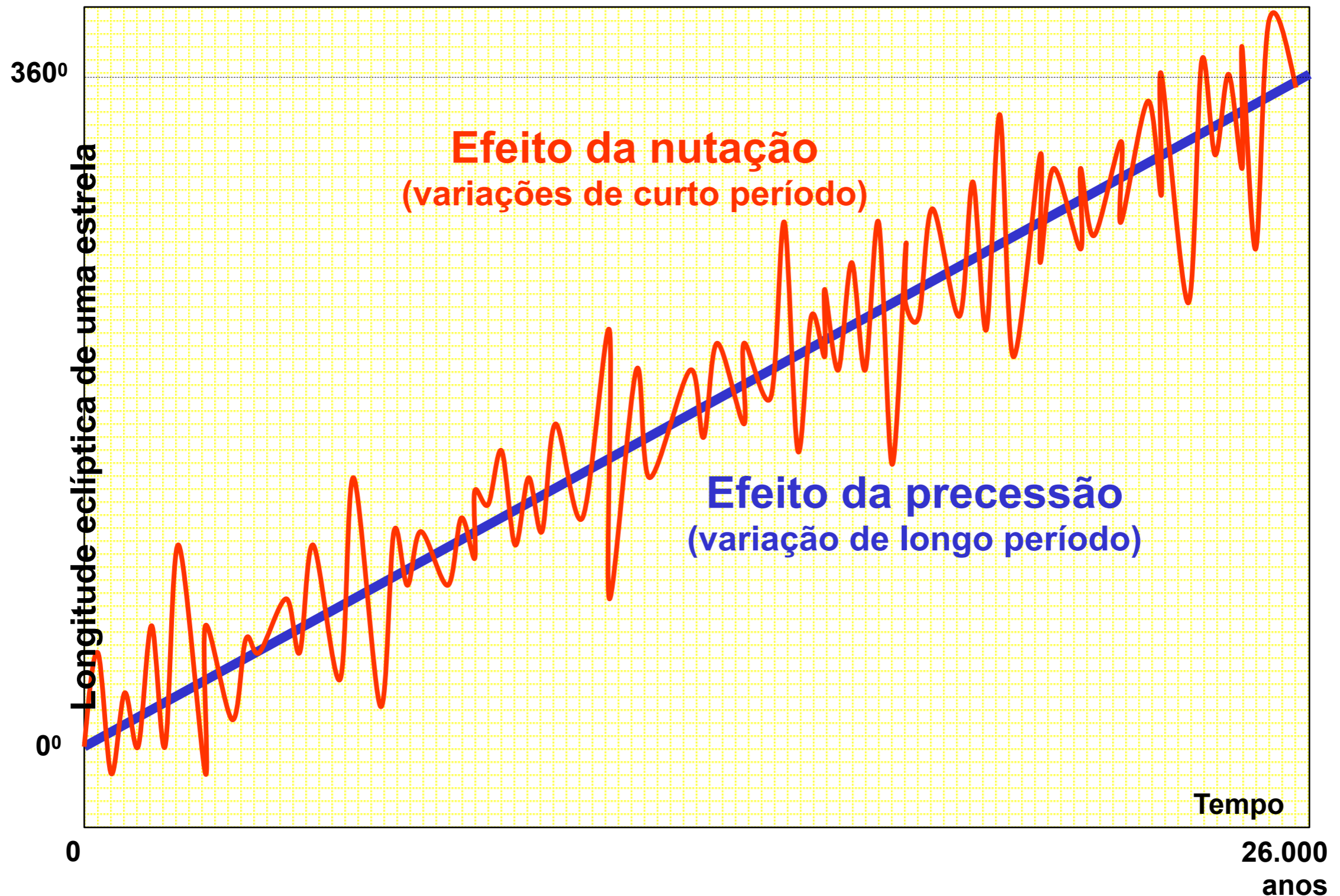
Mudanças temporais nas coordenadas de um astro

## Classificação dos efeitos:

precessão: variações de longo período

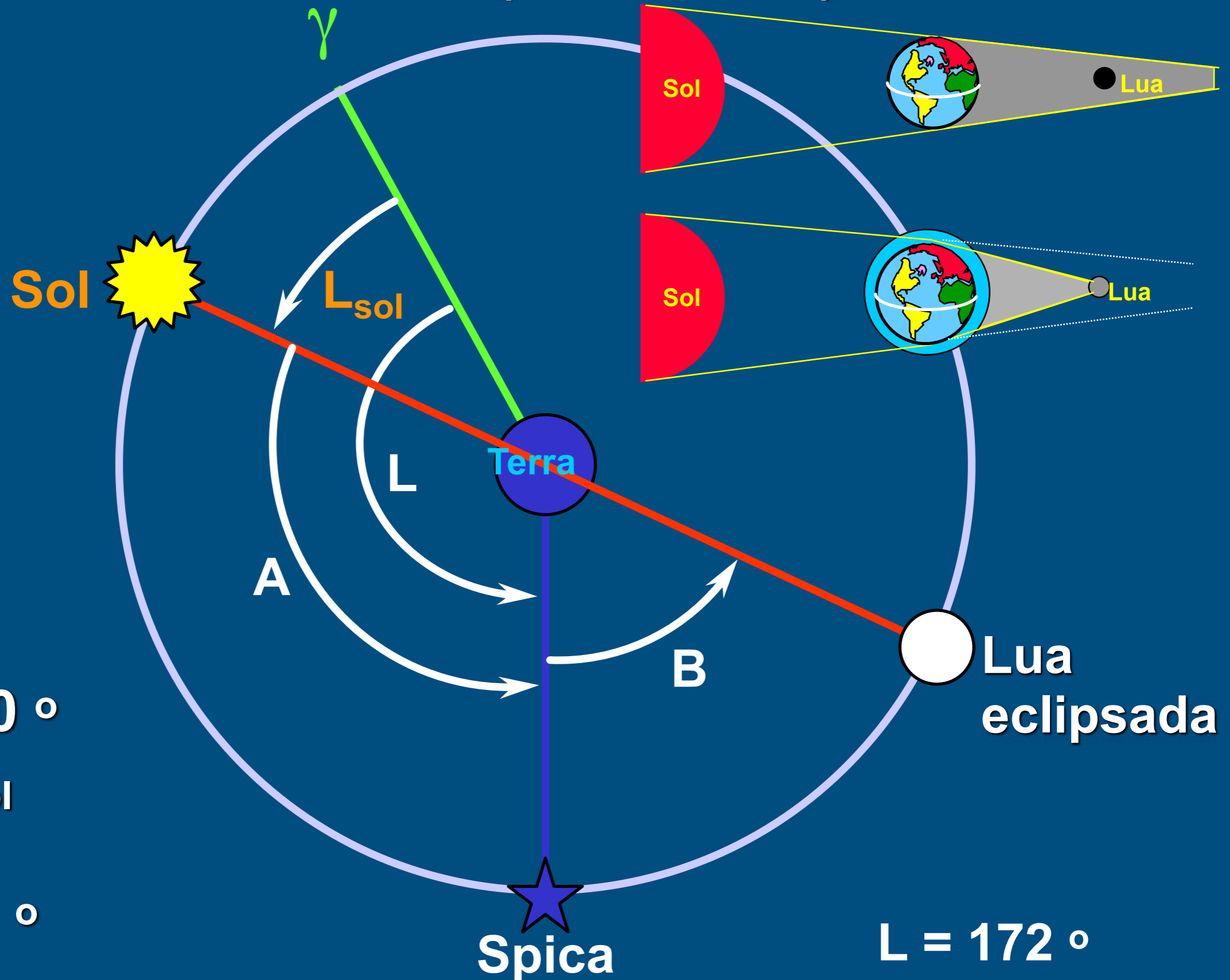
nutation: variações de curto período

# Precessão e nutação



**Precessão**

# Longitude eclíptica de Spica segundo Timocharis (273 a .C.)



$$L = L_{sol} + A$$

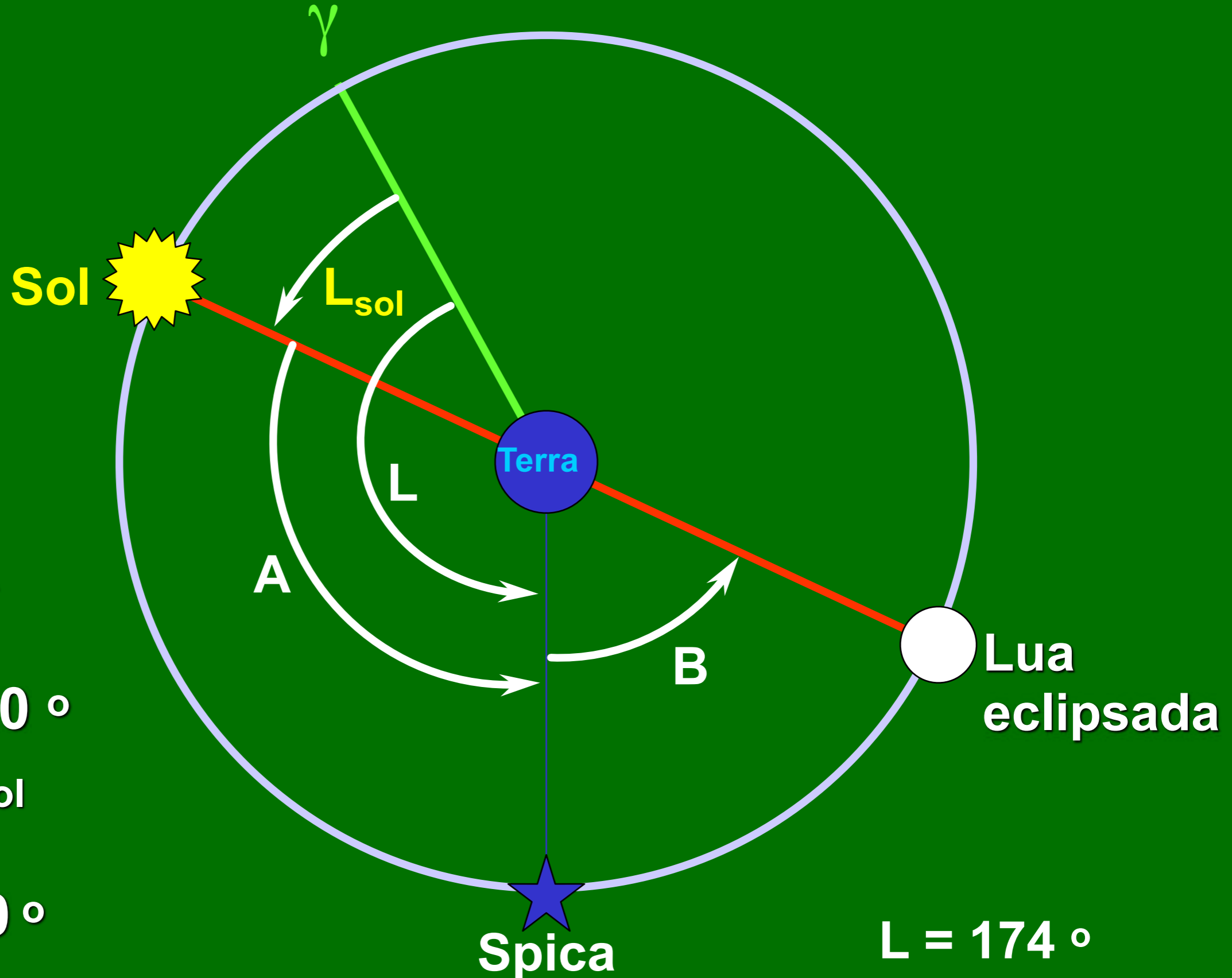
$$1 \text{ Ano} \Rightarrow 360^\circ$$

$$t - t_{IP} \Rightarrow L_{sol}$$

$$A + B = 180^\circ$$

$$L = 172^\circ$$

# Longitude eclíptica de Spica segundo Hiparcos (129 a .C.)



$$L = L_{sol} + A$$

$$1 \text{ Ano} \Rightarrow 360^\circ$$

$$t - t_{IP} \Rightarrow L_{sol}$$

$$A + B = 180^\circ$$

$$L = 174^\circ$$

# Retrogradação do Equinócio segundo Hiparcos (129 a .C.)

**Timocharis:  $172^\circ$  (273 a .C.)**

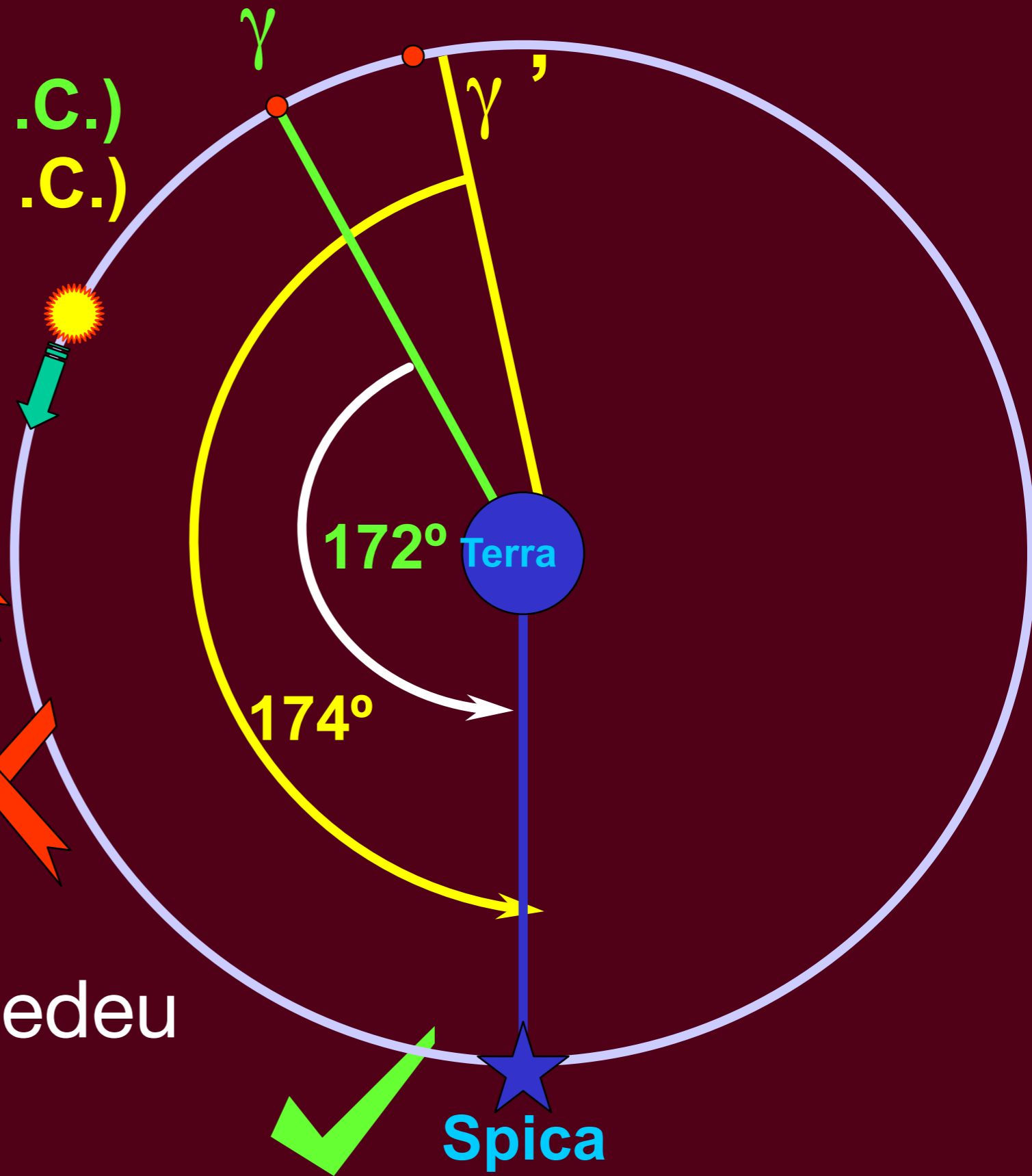
**Hiparcos :  $174^\circ$  (129 a .C.)**

## Hipóteses

Timocharis errou. 

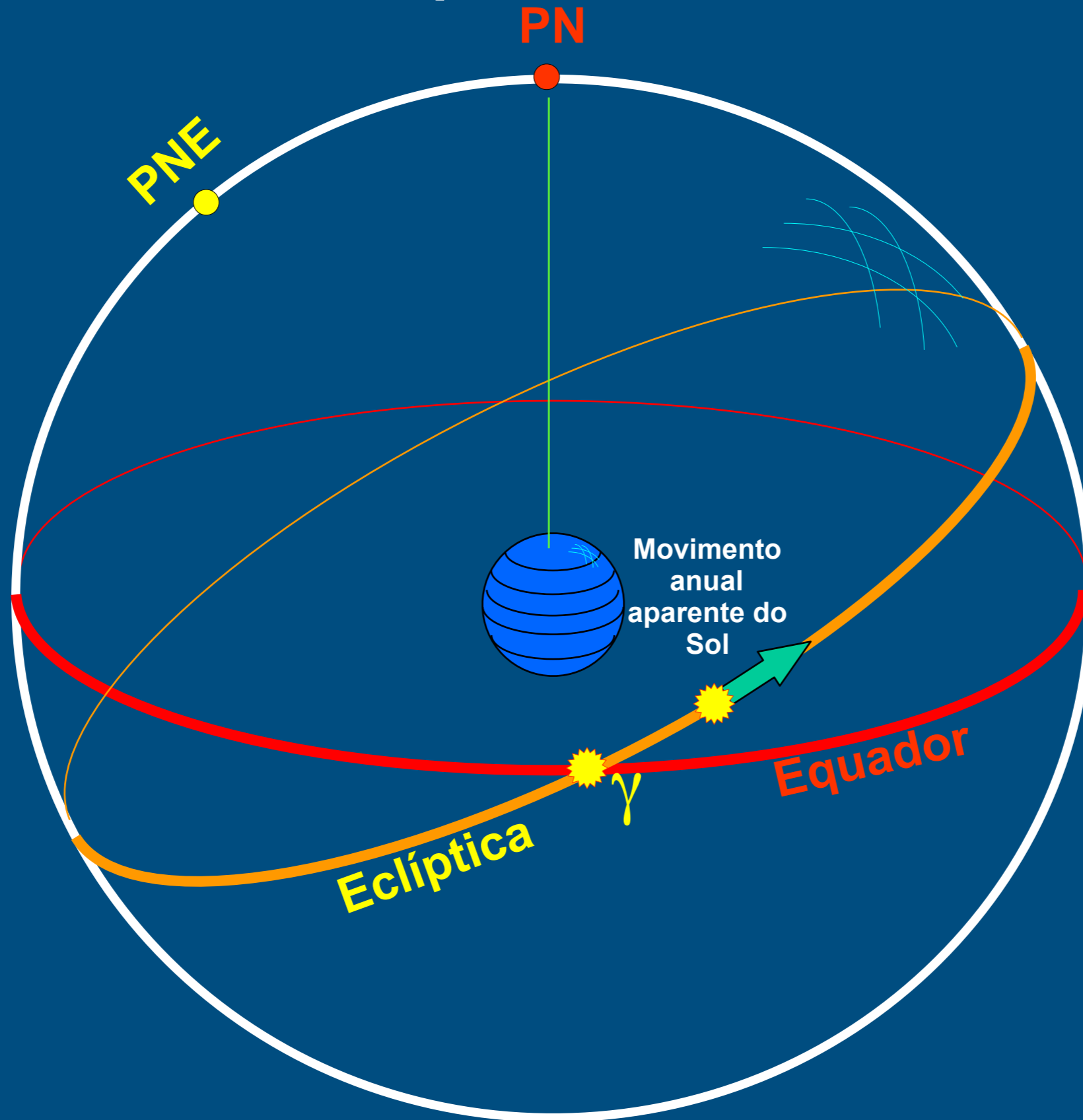
Spica se deslocou de  $2^\circ$  em 144 anos. 

O ponto Vernal retrocedeu  $2^\circ$  em 144 anos. 



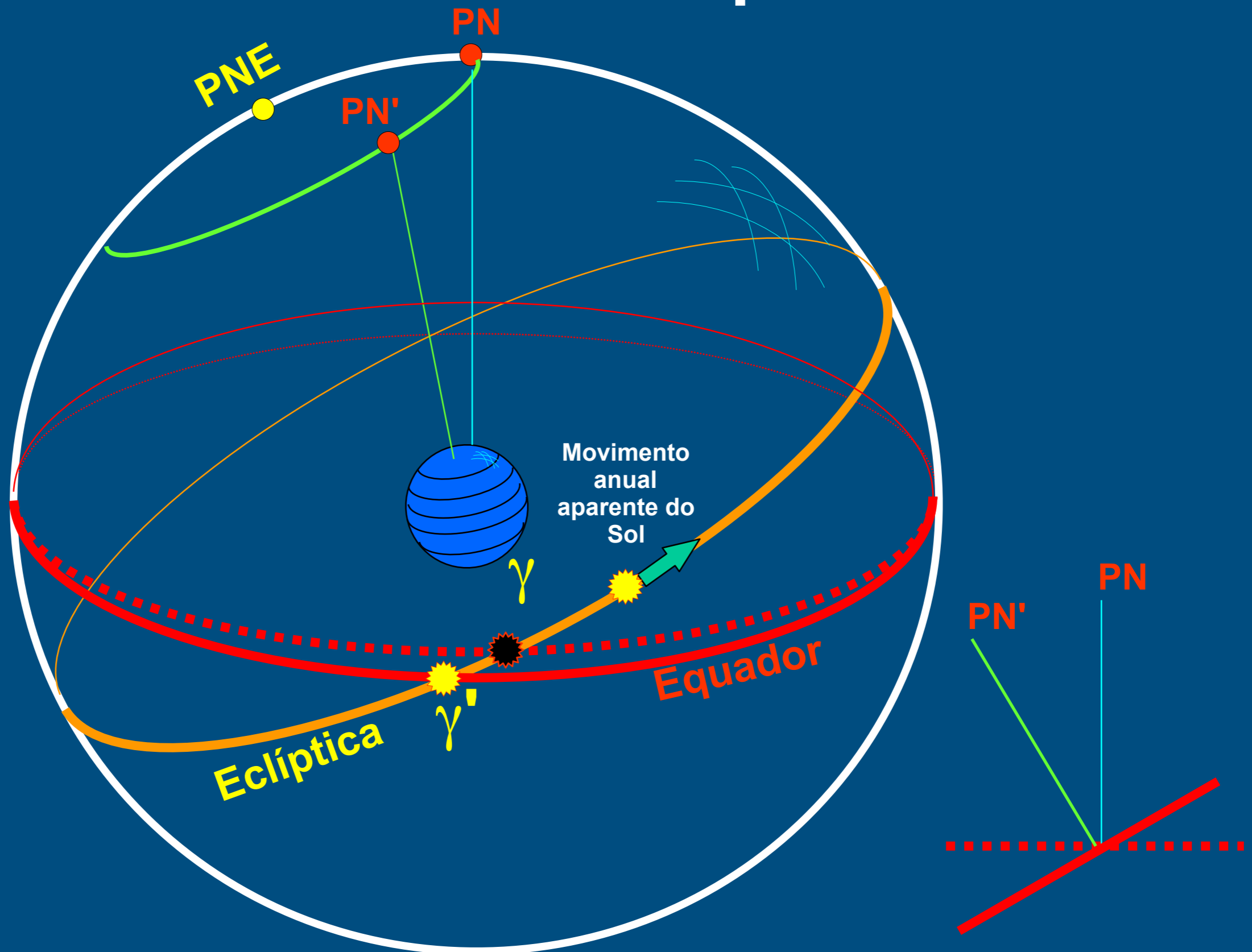
Efeitos da precessão  
luni-solar nos planos  
fundamentais de referência

# Equinócio da primavera boreal ( $\gamma$ )

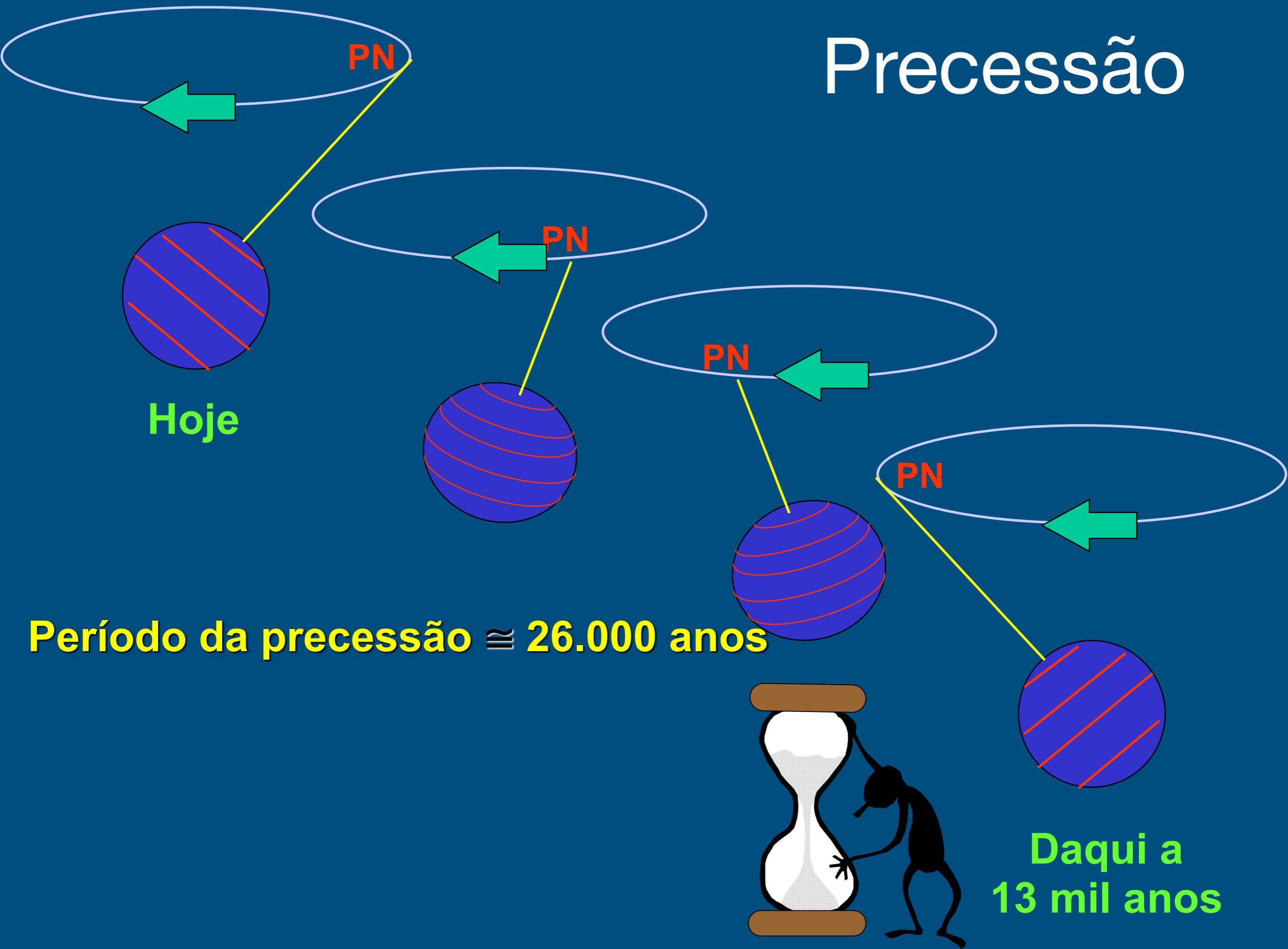




# Precessão dos equinócios

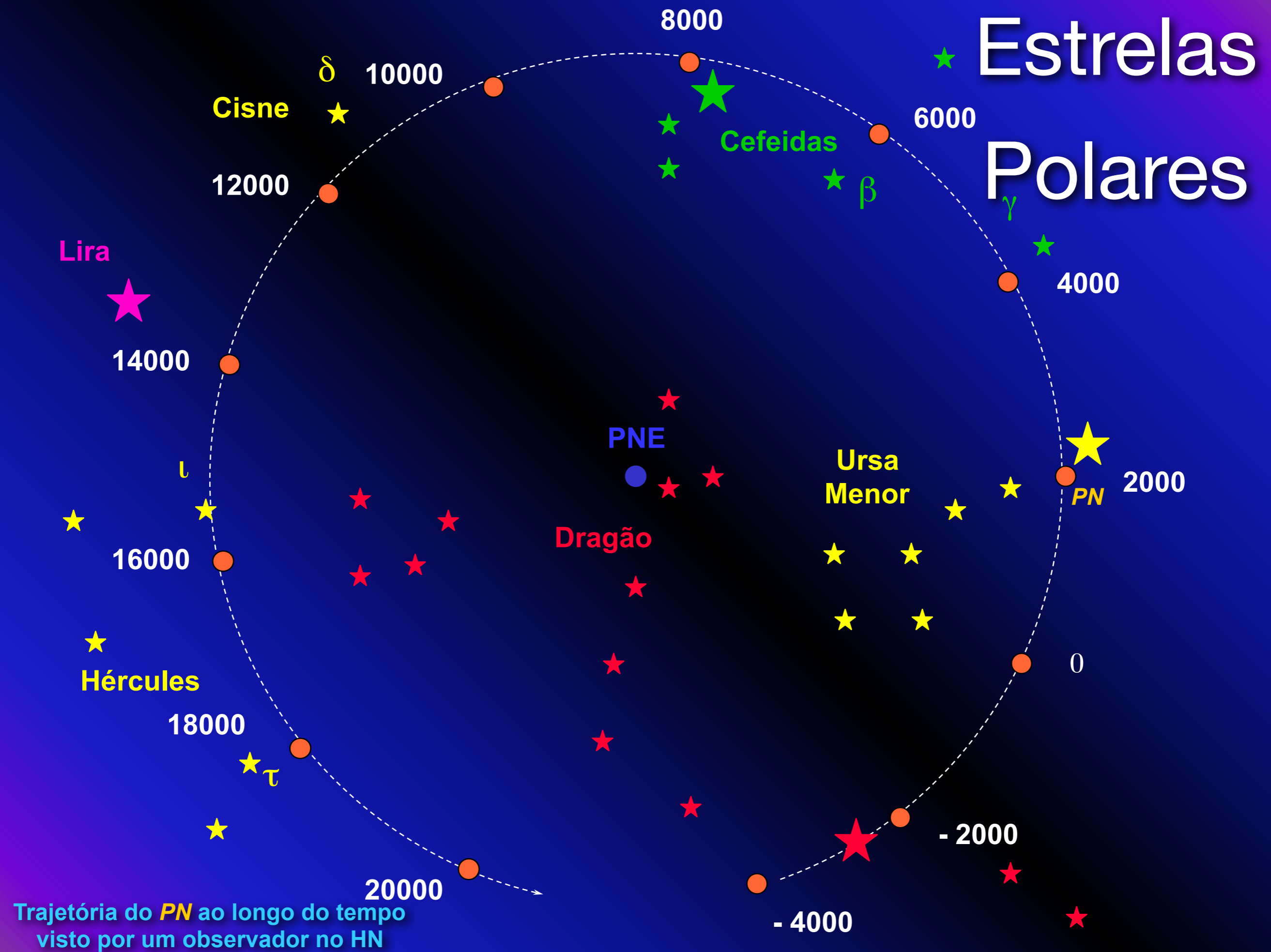


# Precessão

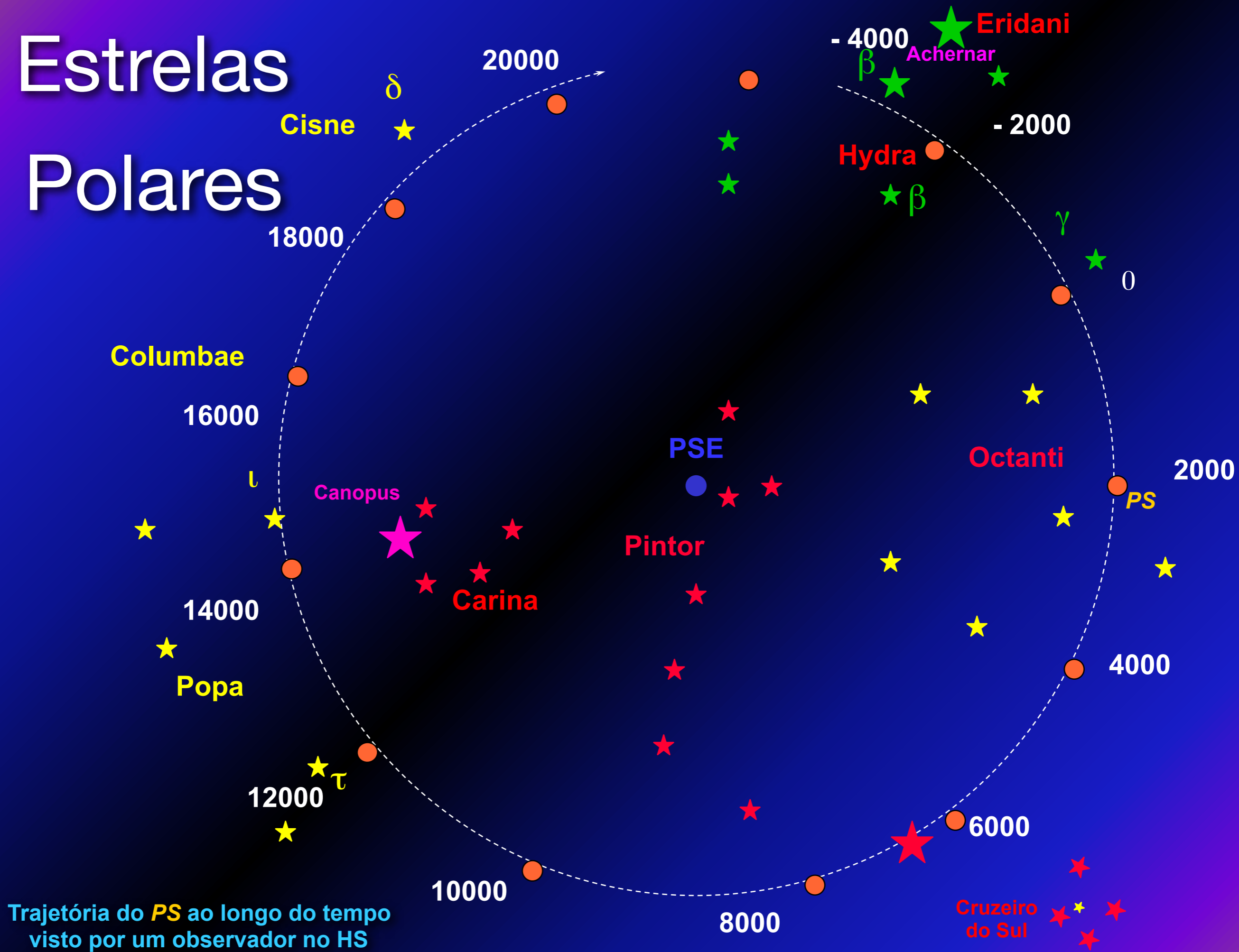


- O polo norte celeste é (PNC) atualmente encontrado nas proximidades da estrela Polaris, na constelação de Ursa Menor; por causa disso ela é conhecida como a “estrela polar”;
- No entanto há cerca de 5000 anos a estrela que se localizava no PNC era Thuban na constelação do Dragão; pode-se dizer então que a estrela Thuban era a “estrela polar” da época;
- No ano 14000, a nova “estrela polar” será Vega na constelação de Lira;
- Daqui a 26000 anos Polaris, a atual “estrela polar” voltará a indicar o PNC.

# Estrelas Polares



# Estrelas Polares

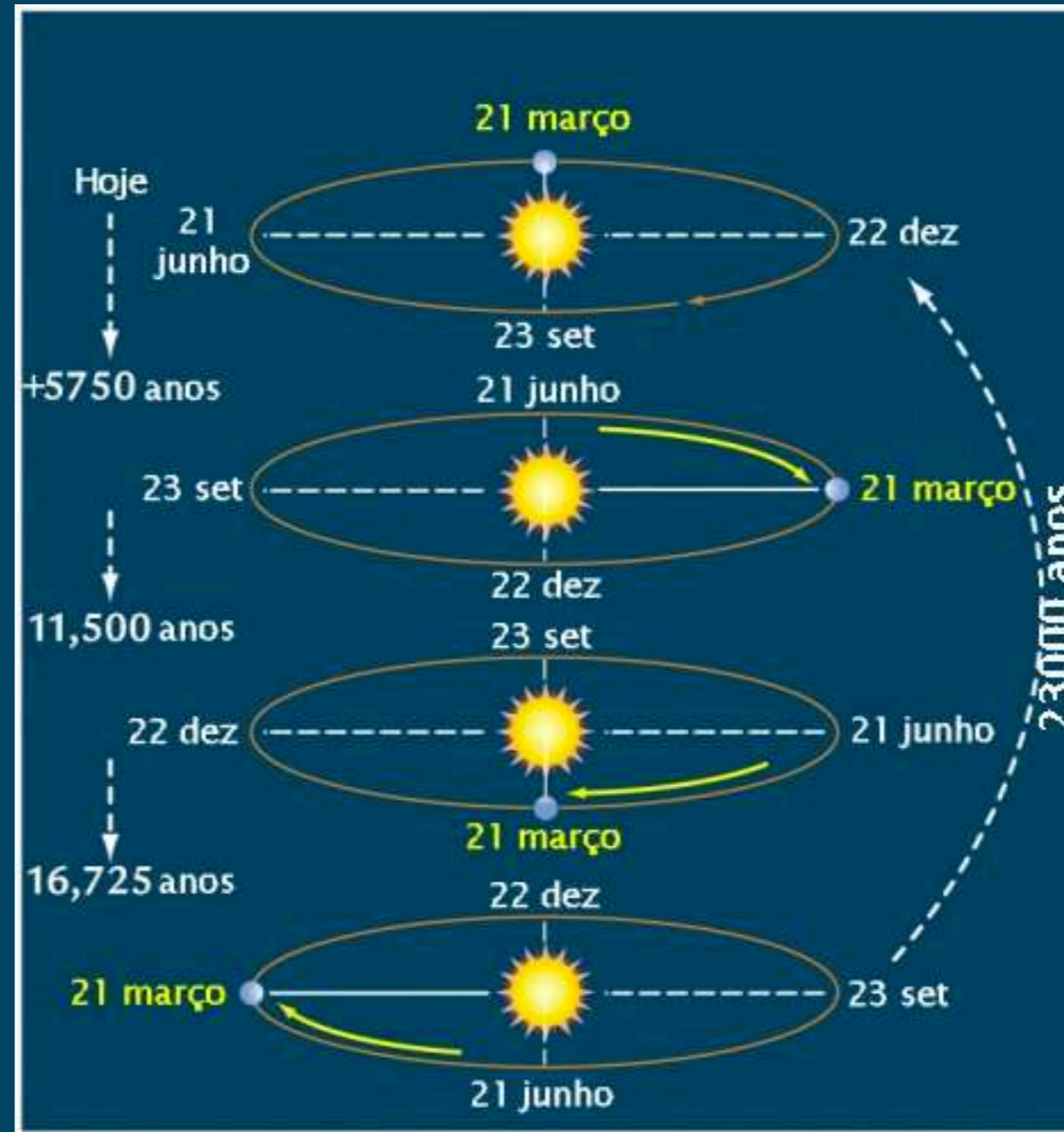


Trajetória do **PS** ao longo do tempo visto por um observador no HS

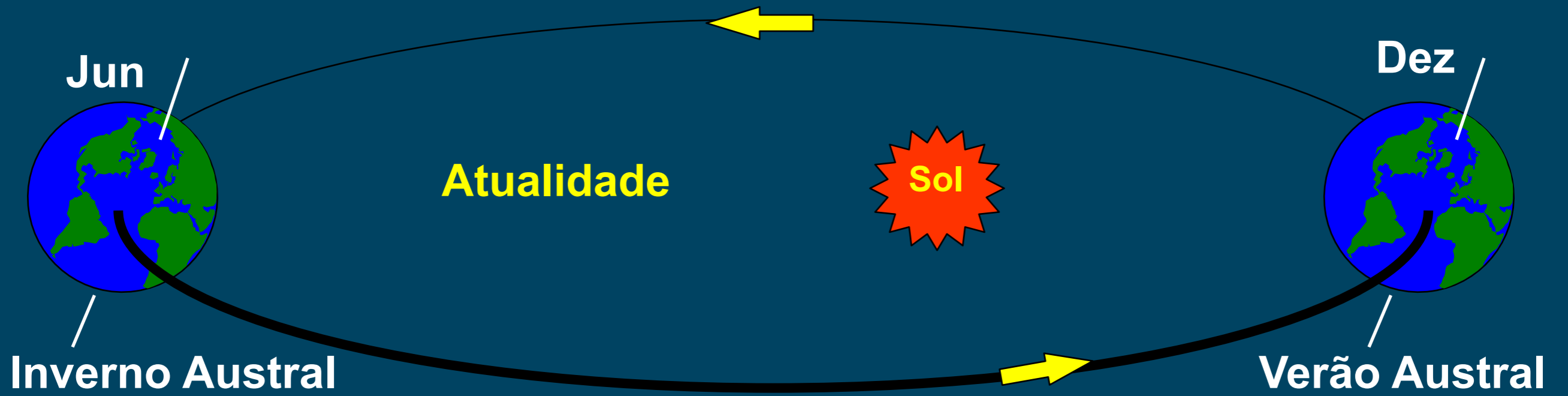
# Efeitos da precessão sobre as estações do ano

- A precessão **não tem nenhum efeito** importante sobre as estações, uma vez que o eixo da Terra mantém sua inclinação de  $23.5^\circ$  em relação ao eixo da eclíptica enquanto precessiona em torno dele;
- Como o ano do nosso calendário é baseado nos equinócios, **a primavera continua iniciando em setembro no hemisfério sul, e em março no hemisfério norte.**
- A única coisa que muda são as estrelas visíveis no céu durante a noite em diferentes épocas do ano. Por exemplo, atualmente Órion é uma constelação característica de dezembro, e o Escorpião é uma constelação característica de junho. Daqui a 13000 anos será o oposto.

# Efeitos da precessão sobre as estações do ano







# Efeitos da precessão sobre as estações do ano





**Causa da precessão**

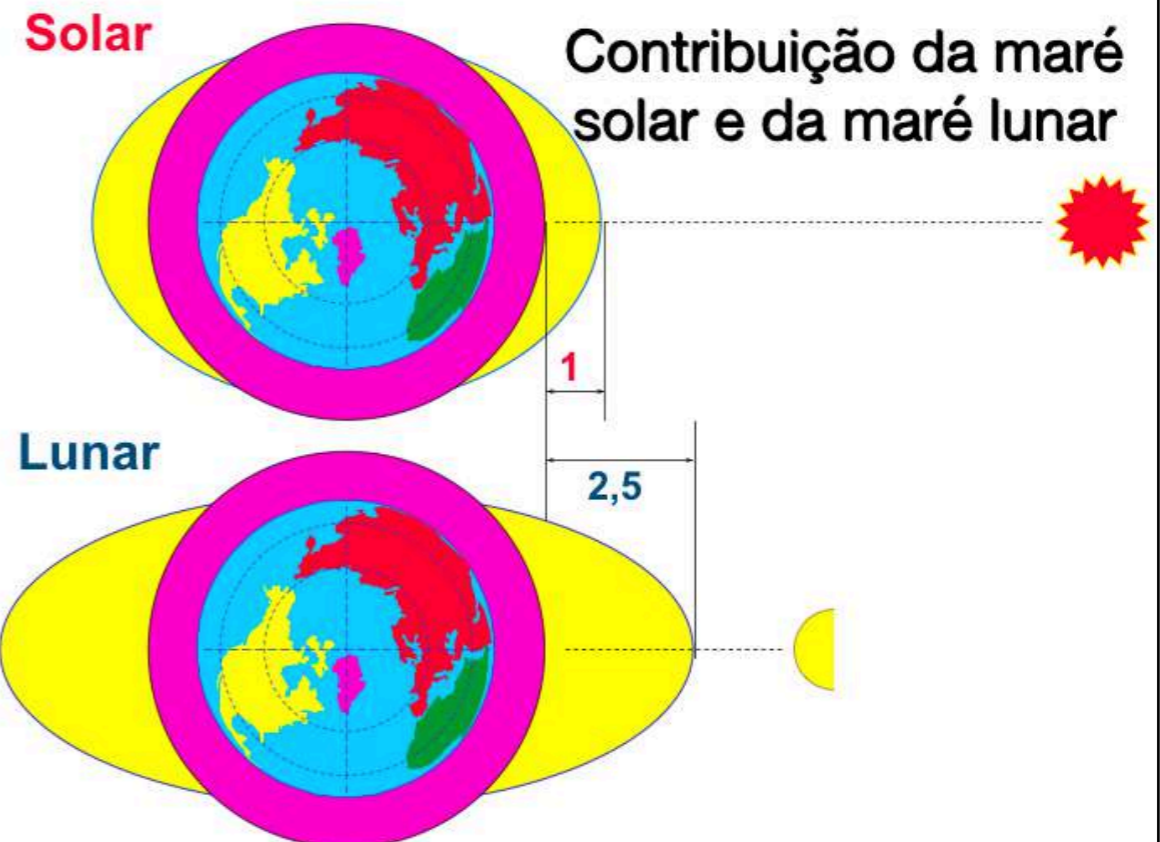
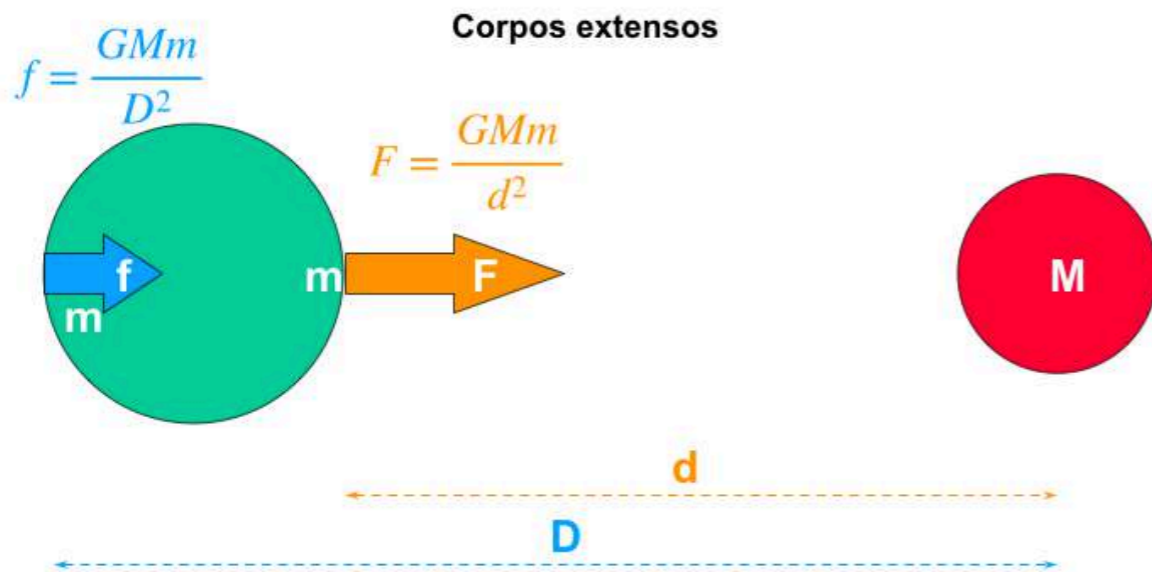
# Causa da precessão

## Forças de maré:

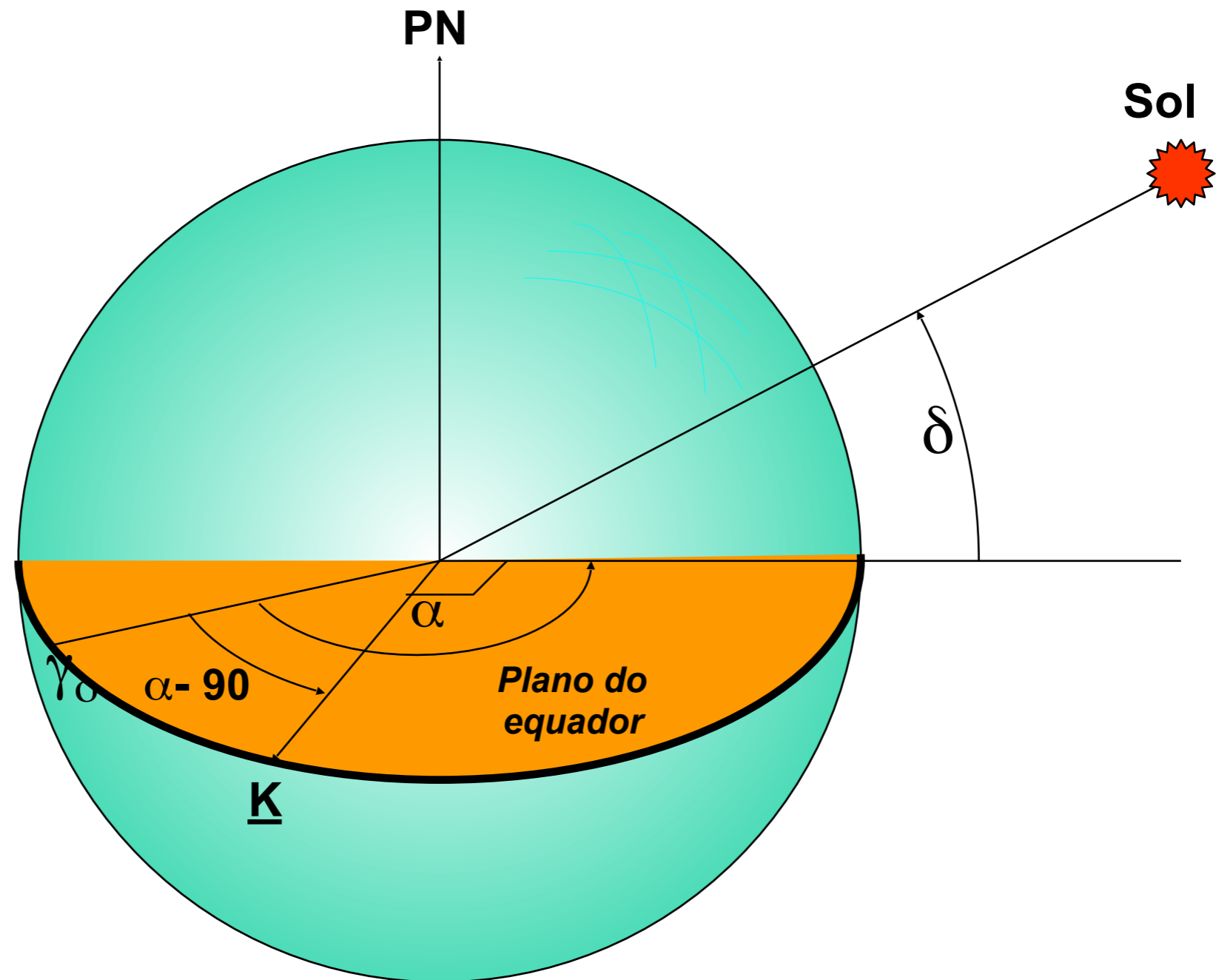
forças gravitacionais diferenciais causadas principalmente pela Lua e pelo Sol

vide Av14

### Atração gravitacional da Lua sobre a Terra



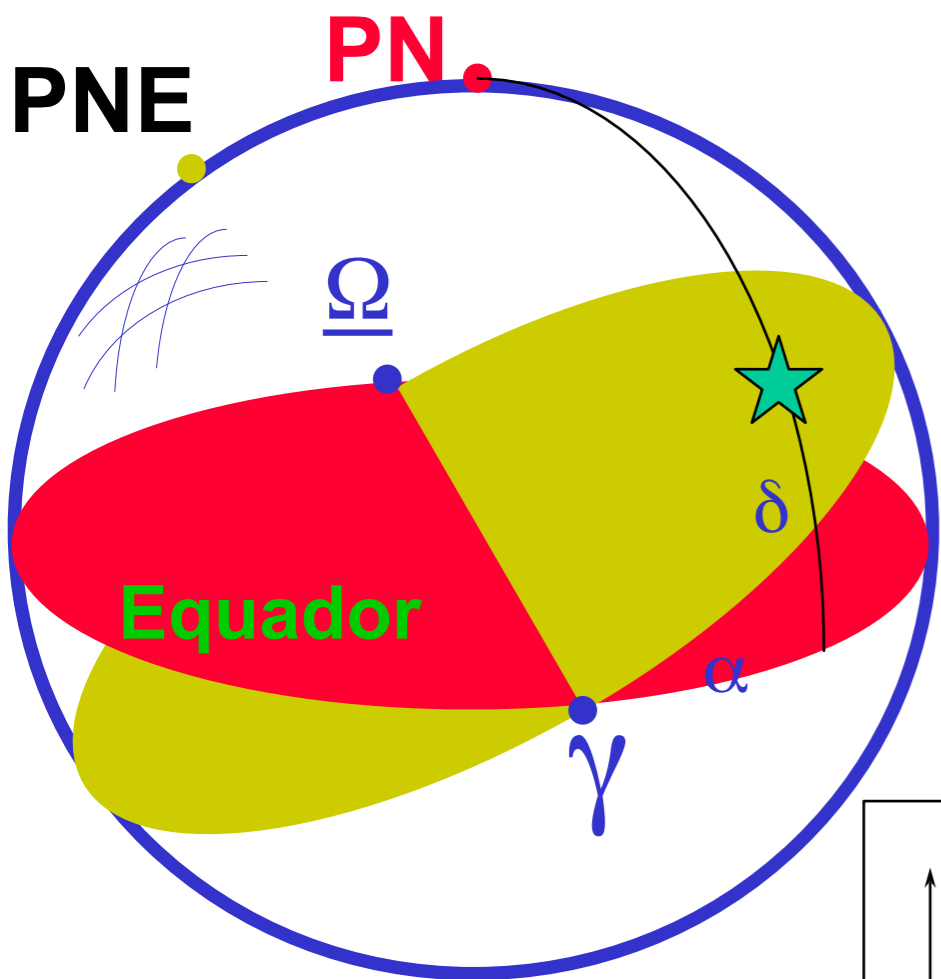
# Torques agentes na Terra



$\underline{K}$  = torque exercido pelo Sol sobre a Terra suposta rígida

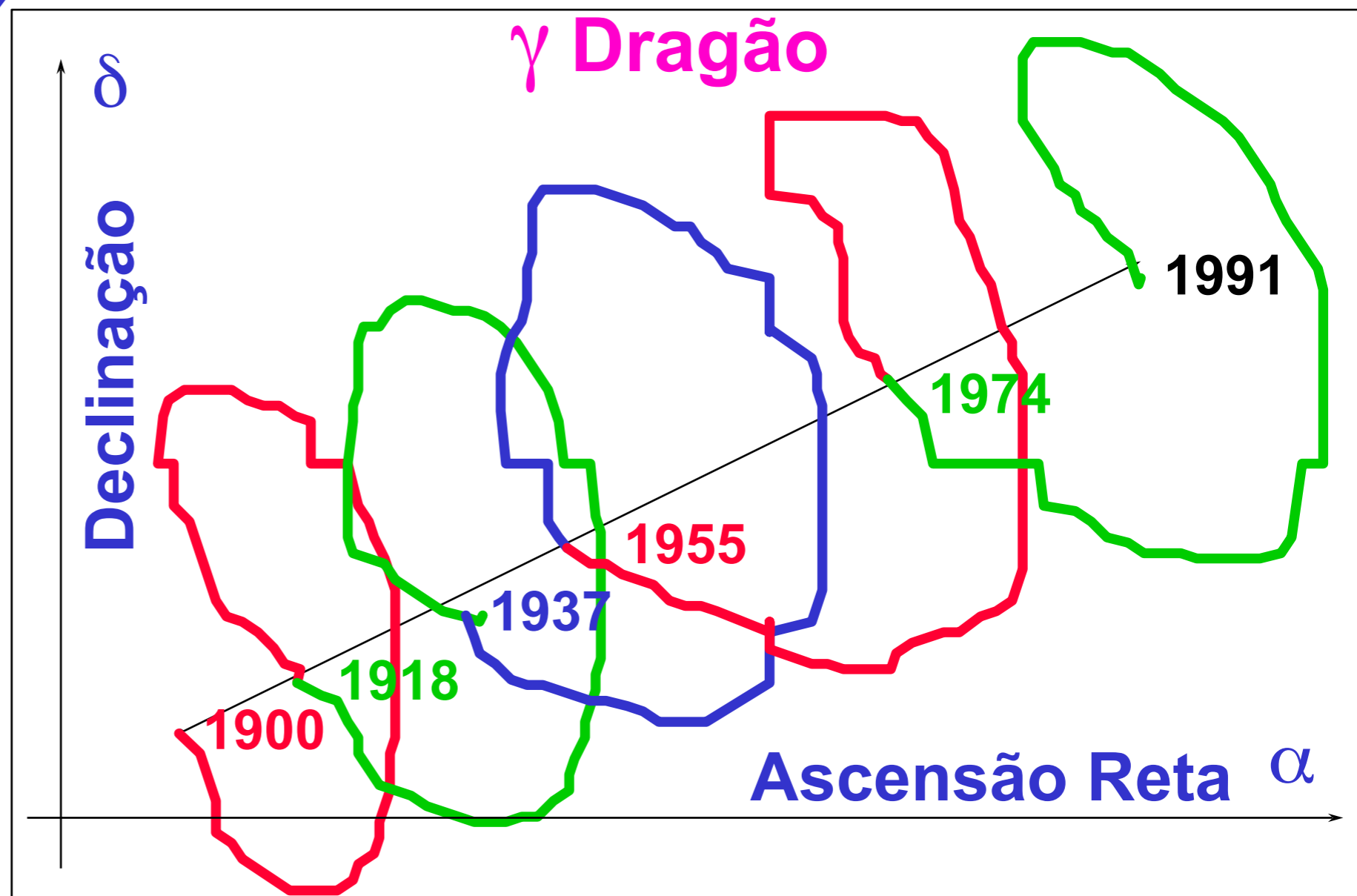
$$K \propto K_0 \cdot \text{sen } 2\delta$$

**Nutação**



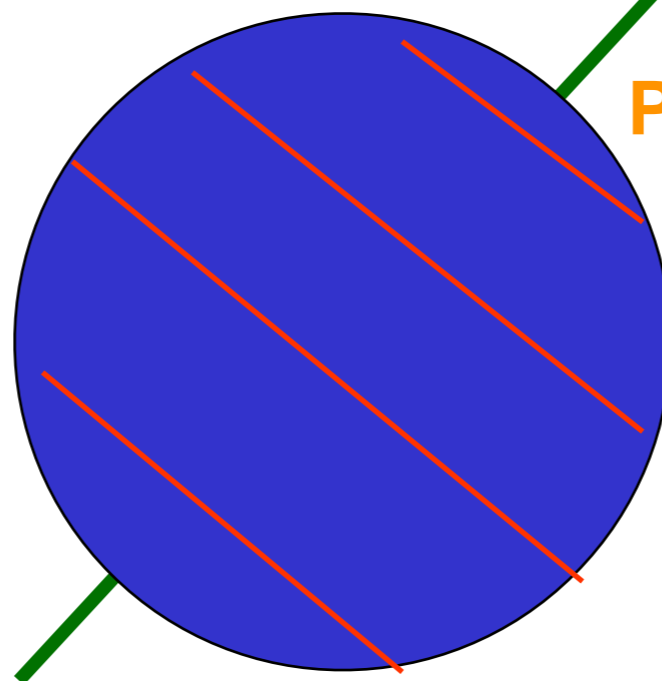
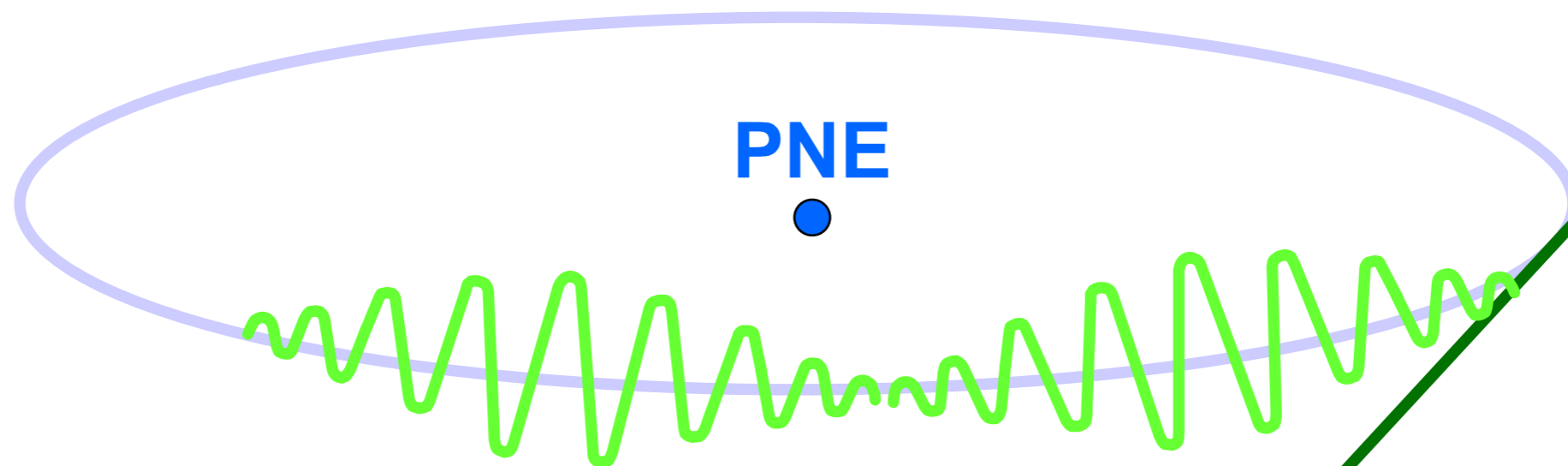
# Nutação

(Bradley, 1748)



$T_{\text{principal}} = 18,6 \text{ anos}$

# Nutação



**PN**

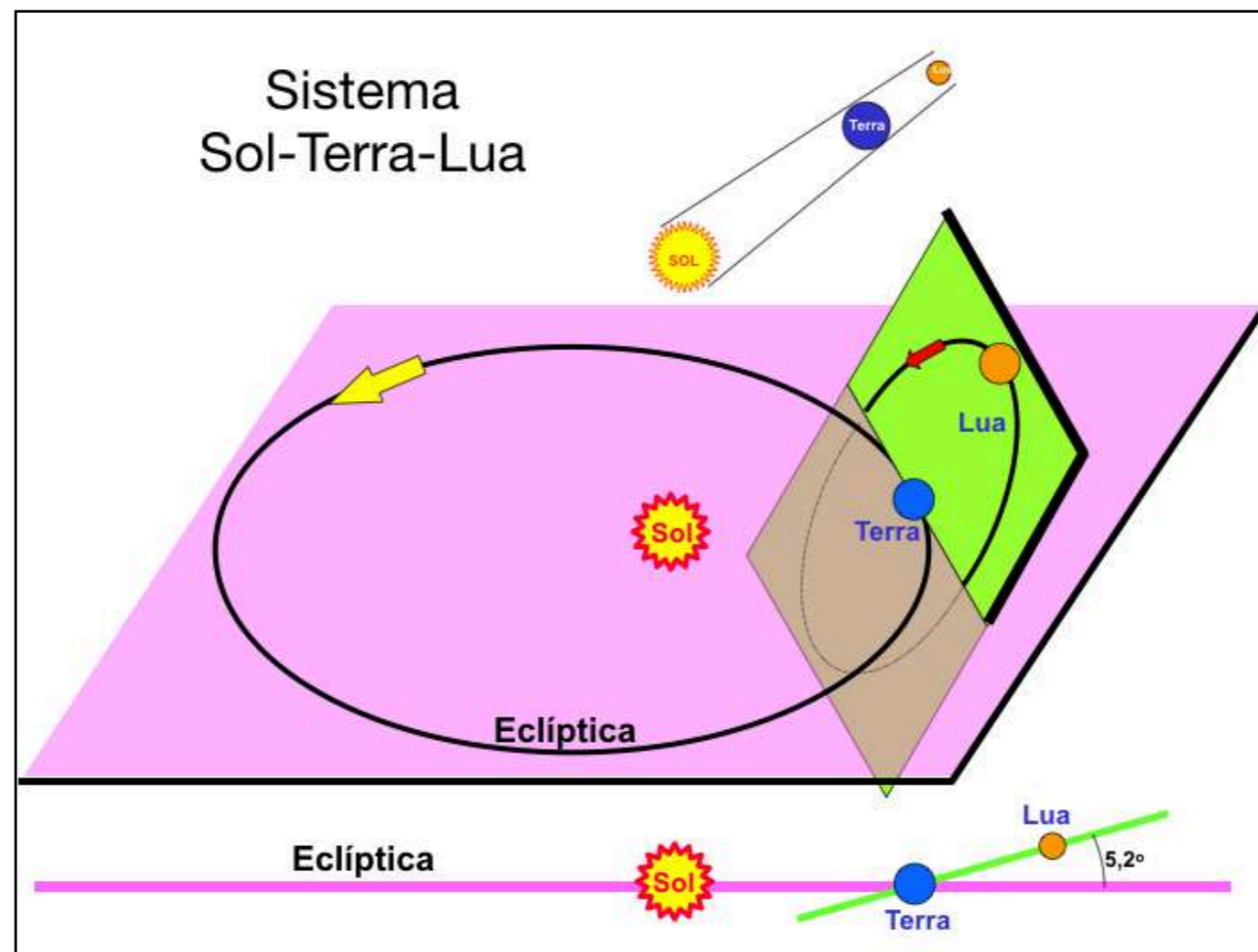
**Nutação**

É a flutuação dos planos de referência em torno de um plano médio.

Costuma-se dizer que a nutação é a parte oscilatória de pequeno período.

- Movimento oscilatório do eixo de rotação da Terra;
- Componente de pequeno período da precessão;
- Amplitude de 18" e período de 18.6 anos;
- A Terra realiza mais de 1300 ciclos de nutação durante um período.

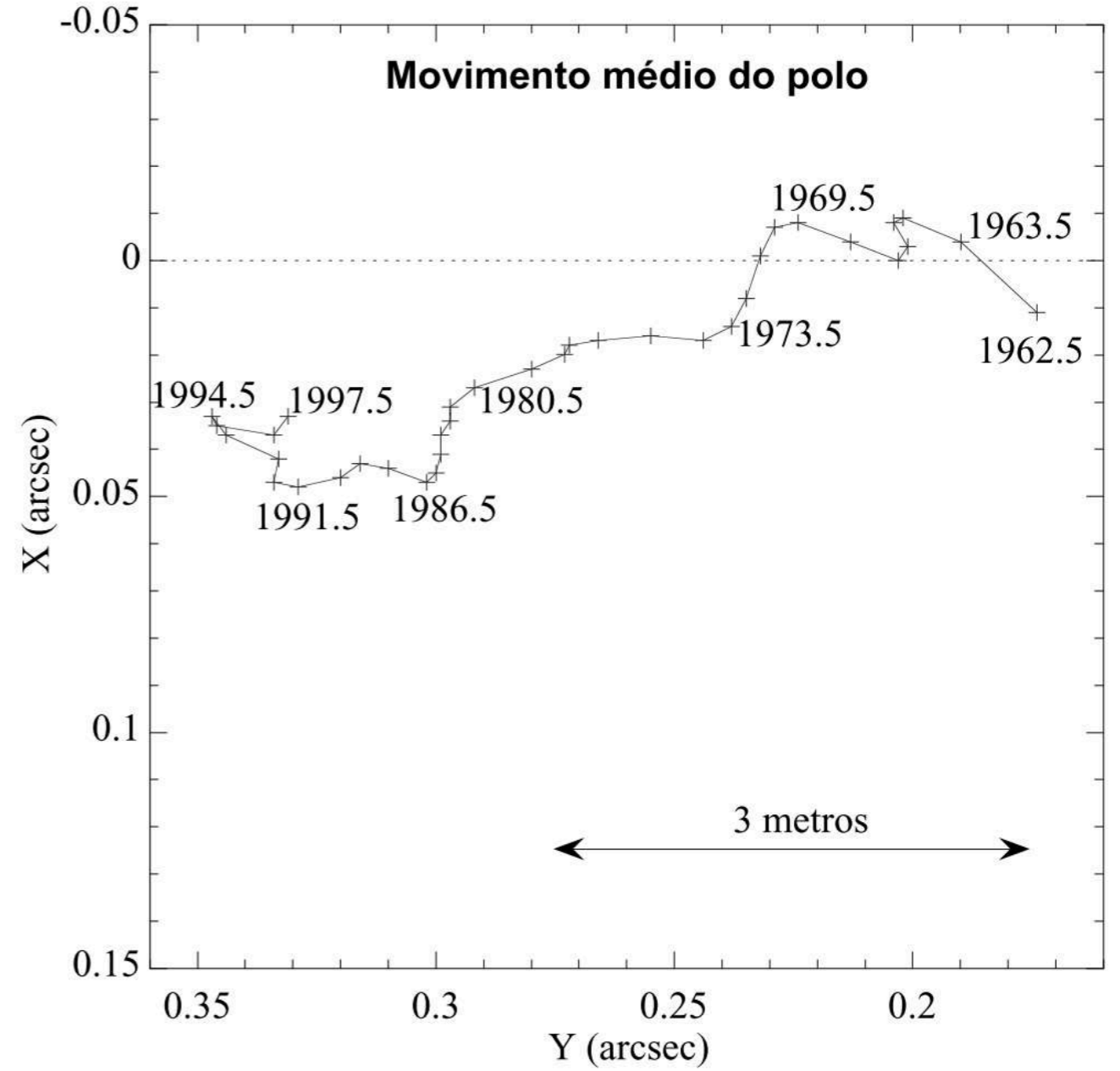
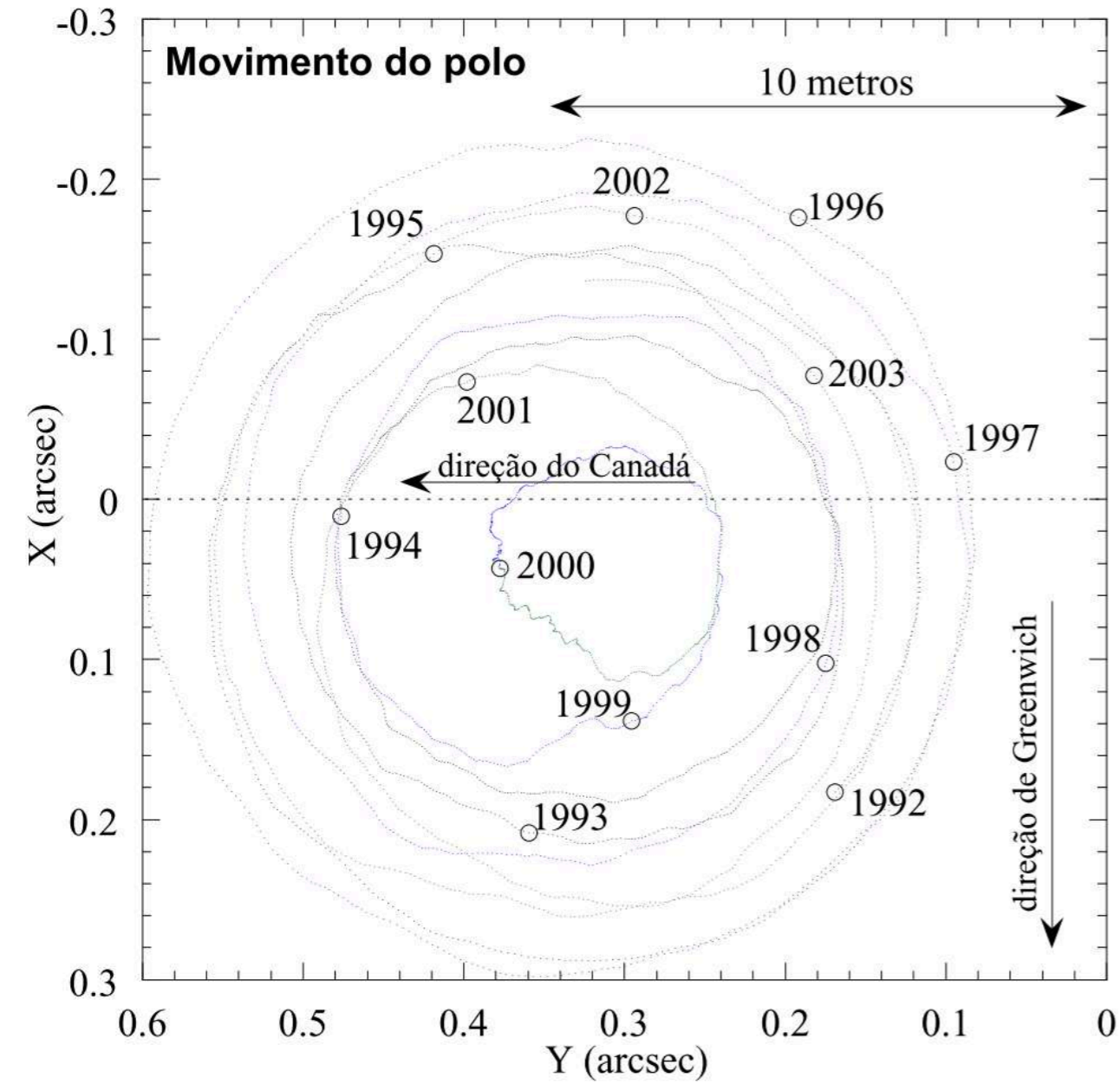
- Como a Lua e o Sol movem-se abaixo e acima do plano equatorial da Terra, há variações periódicas nos torques induzidos em nosso planeta;
- Isso faz o que o eixo de rotação “bamboleie”.





**Movimento do polo**

- A Terra não é uma esfera perfeita;
- Uma implicação direta deste fato é que a direção do eixo de rotação não é exatamente a mesma que o eixo de simetria da Terra;
- Diferente da precessão e nutação, este fenômeno não depende da ação dos outros astros e é intrínseco à Terra;
- O movimento dos polos só foi medido em 1891;
- A distância entre o polo definido pelo eixo de rotação instantâneo e o eixo de simetria nunca é superior a **20 metros** (ou alguns décimos de segundo de arco);
- A correção do movimento do polo é muito pequena, mas é feita para corrigir o tempo universal, resultando no tempo UT1.



**continua...**



