

# Medindo o Tempo

**J. Meléndez, baseado/R. Boczko**

**IAG - USP**

# O que é Tempo?

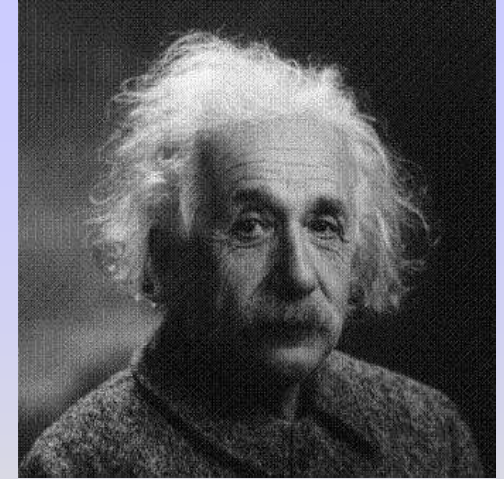


**Tempo é tempo, né?**

**Se o tempo não passasse, não  
haveria saudade ...**

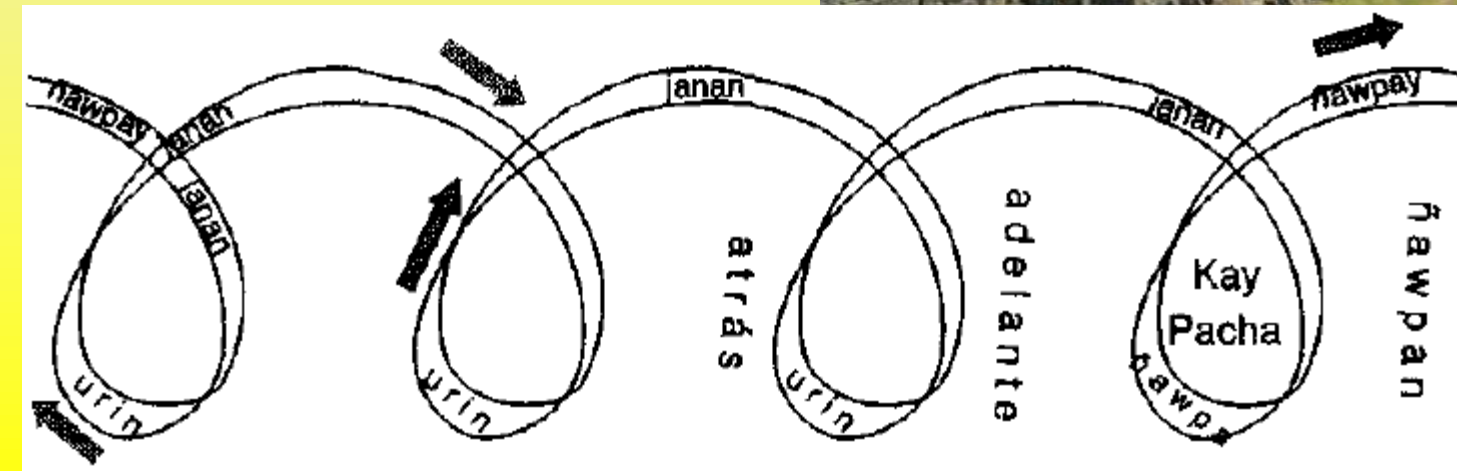
# Espaço-Tempo

Einstein

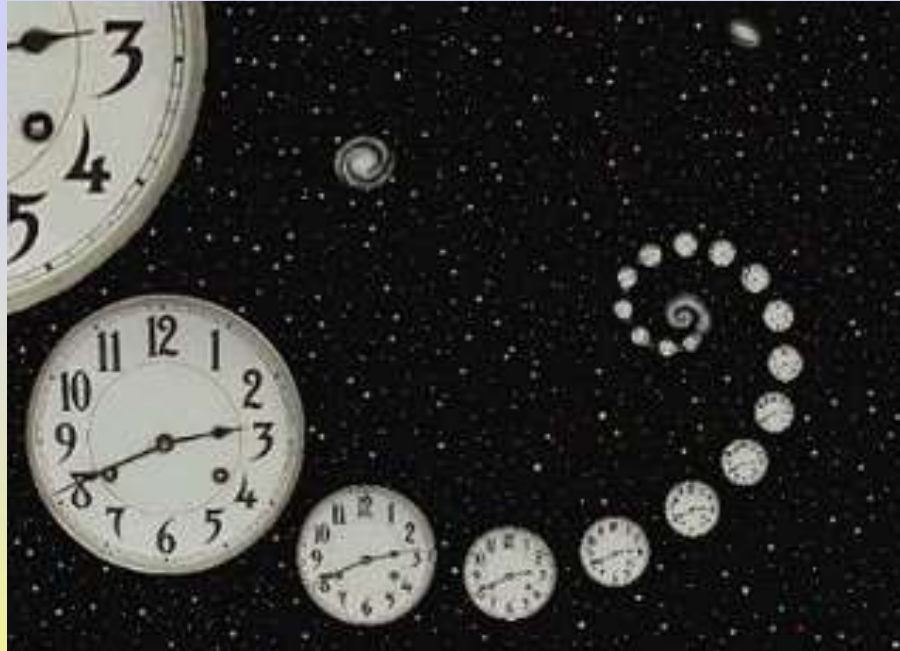


## Incas

Espaço e Tempo:  
**PACHA**

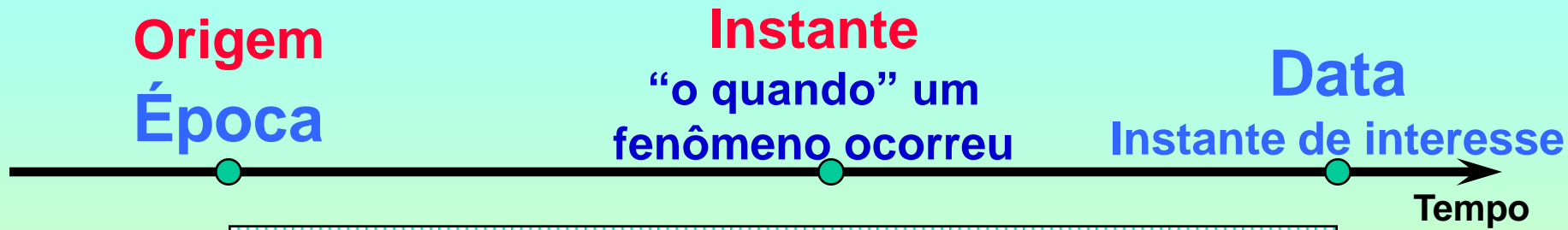


# Definição de Tempo



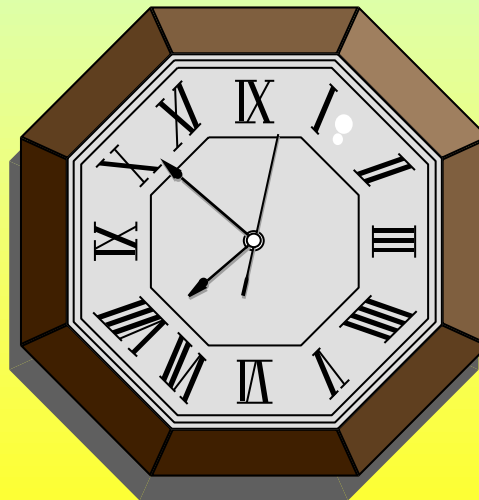
Em Astronomia vamos nos interessar em medir instantes e intervalos de tempo, sem nos preocuparmos com a verdadeira natureza do Tempo.

# Definição dos Elementos de uma Escala de Tempo



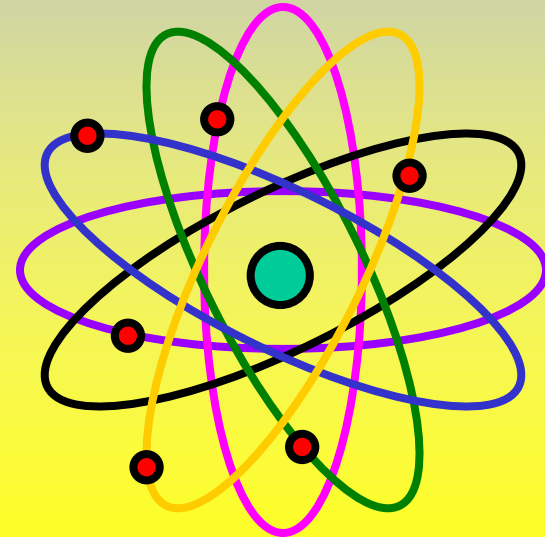
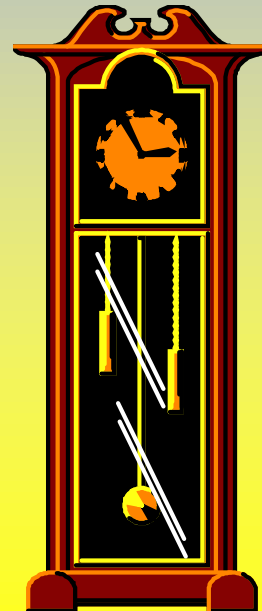
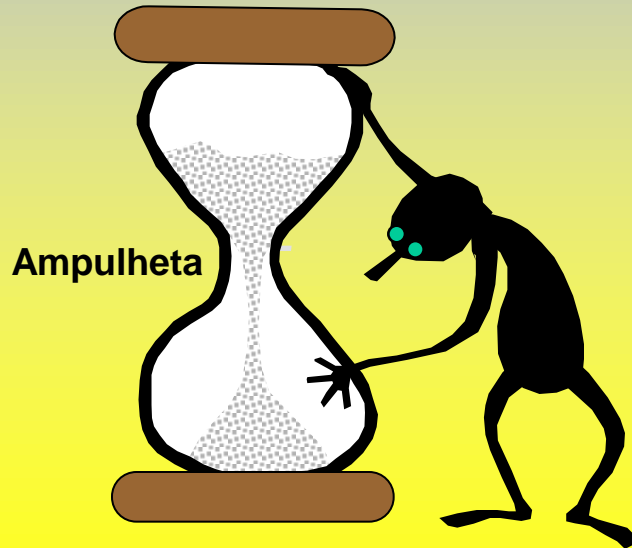
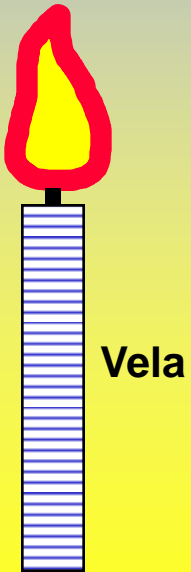
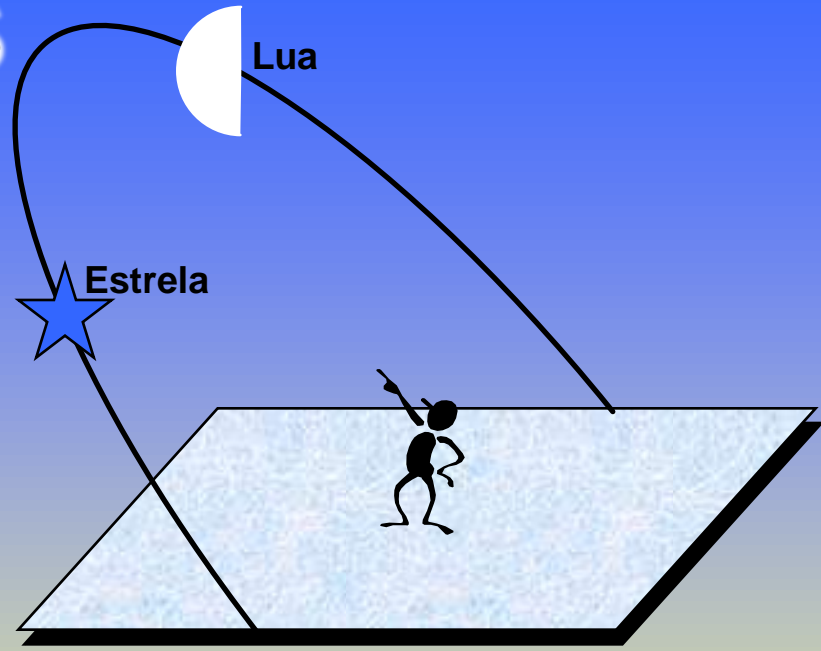
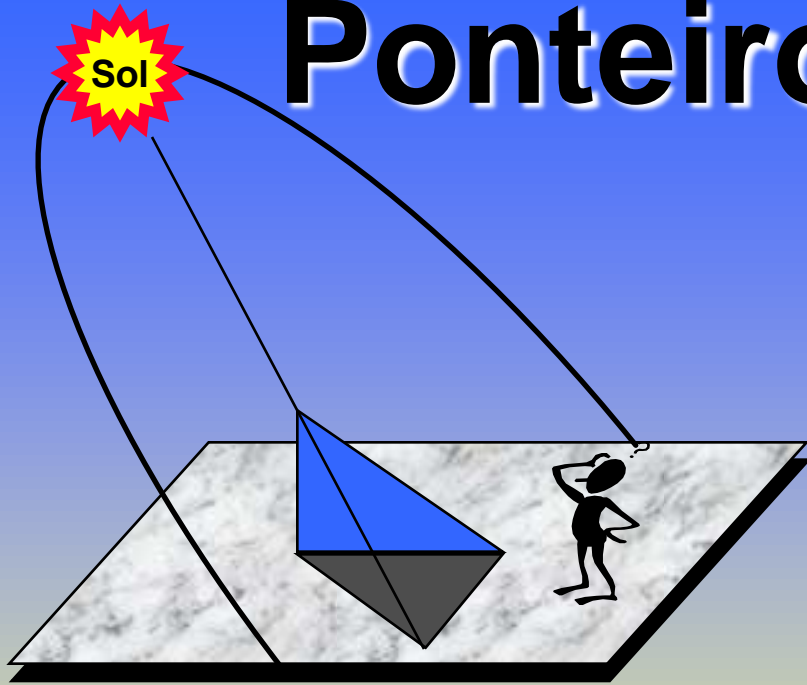
Unidade

**Relógio**  
(materialização de um  
medidor de tempo)



**Ponteiro**  
(Visível com o passar do tempo)

# Ponteiros



# Movimentos naturais relacionados com as escalas de tempo

Alternância do dia e da noite



Tempo Universal (Solar)



Rotação da Terra



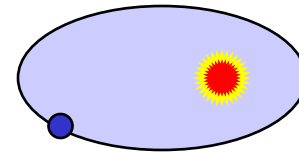
Tempo Sideral



Movimentos dos planetas do Sistema Solar



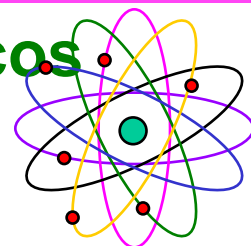
Tempo Dinâmico



Fenômenos Quânticos

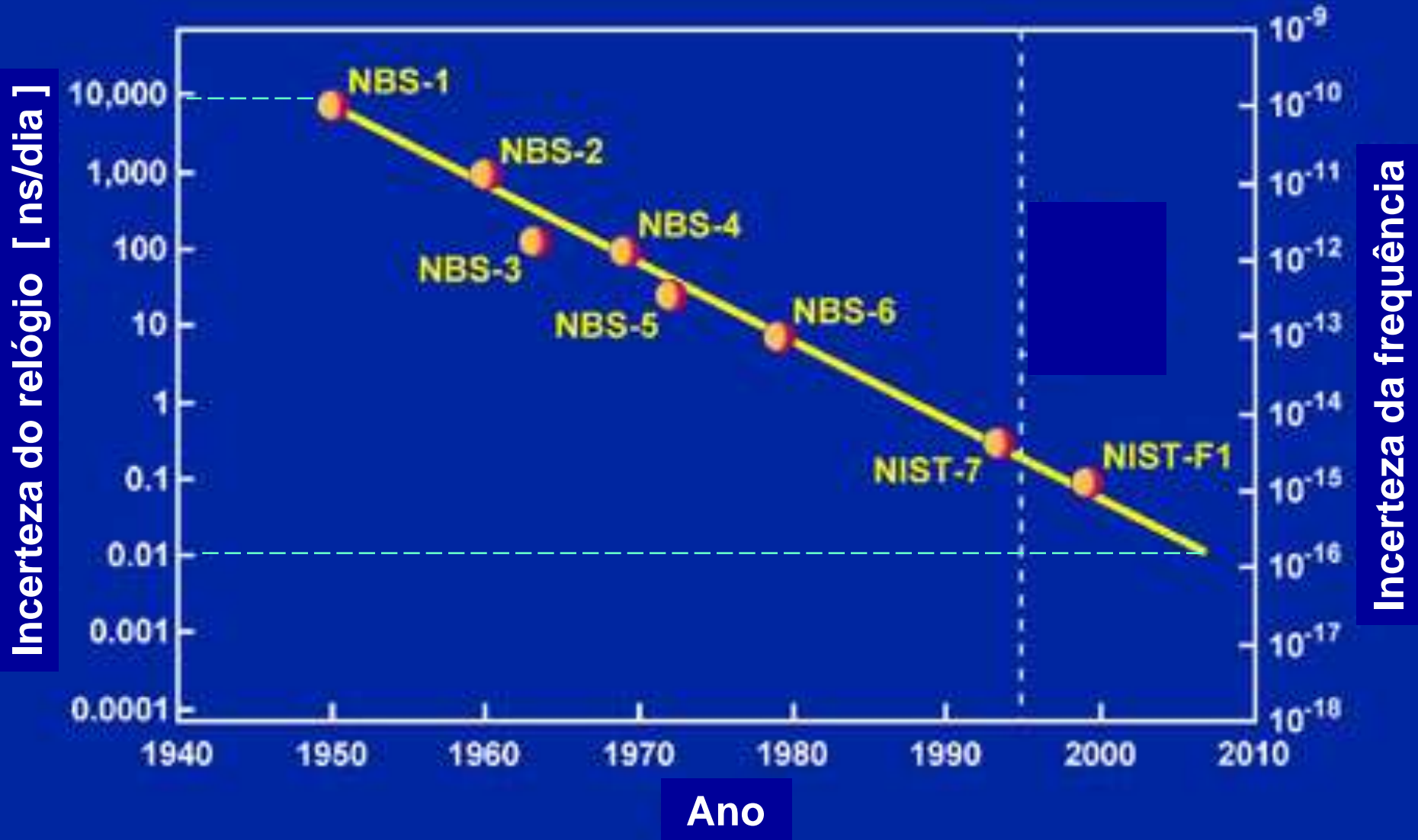


Tempo Atômico





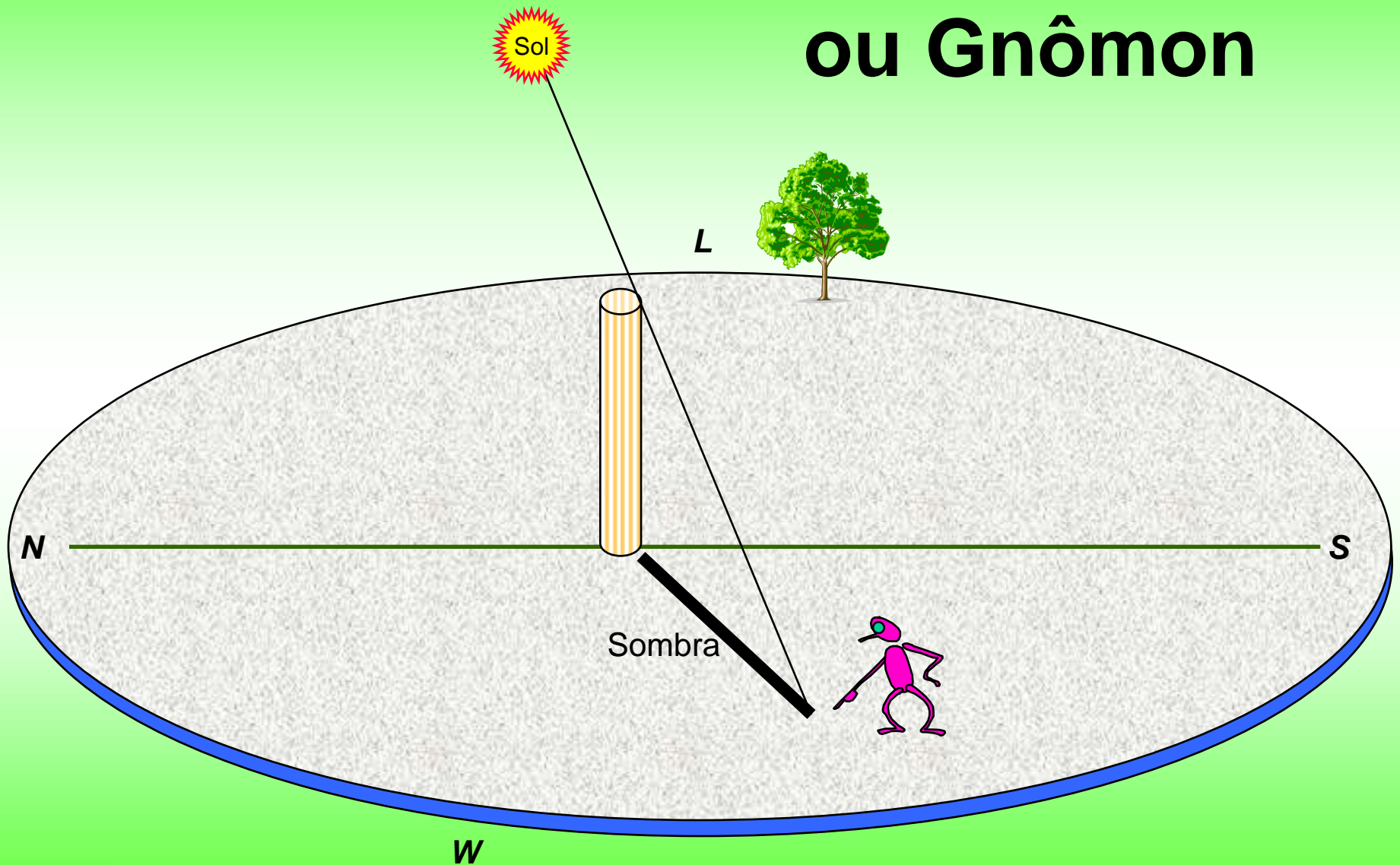
# Evolução da precisão dos relógios atômicos



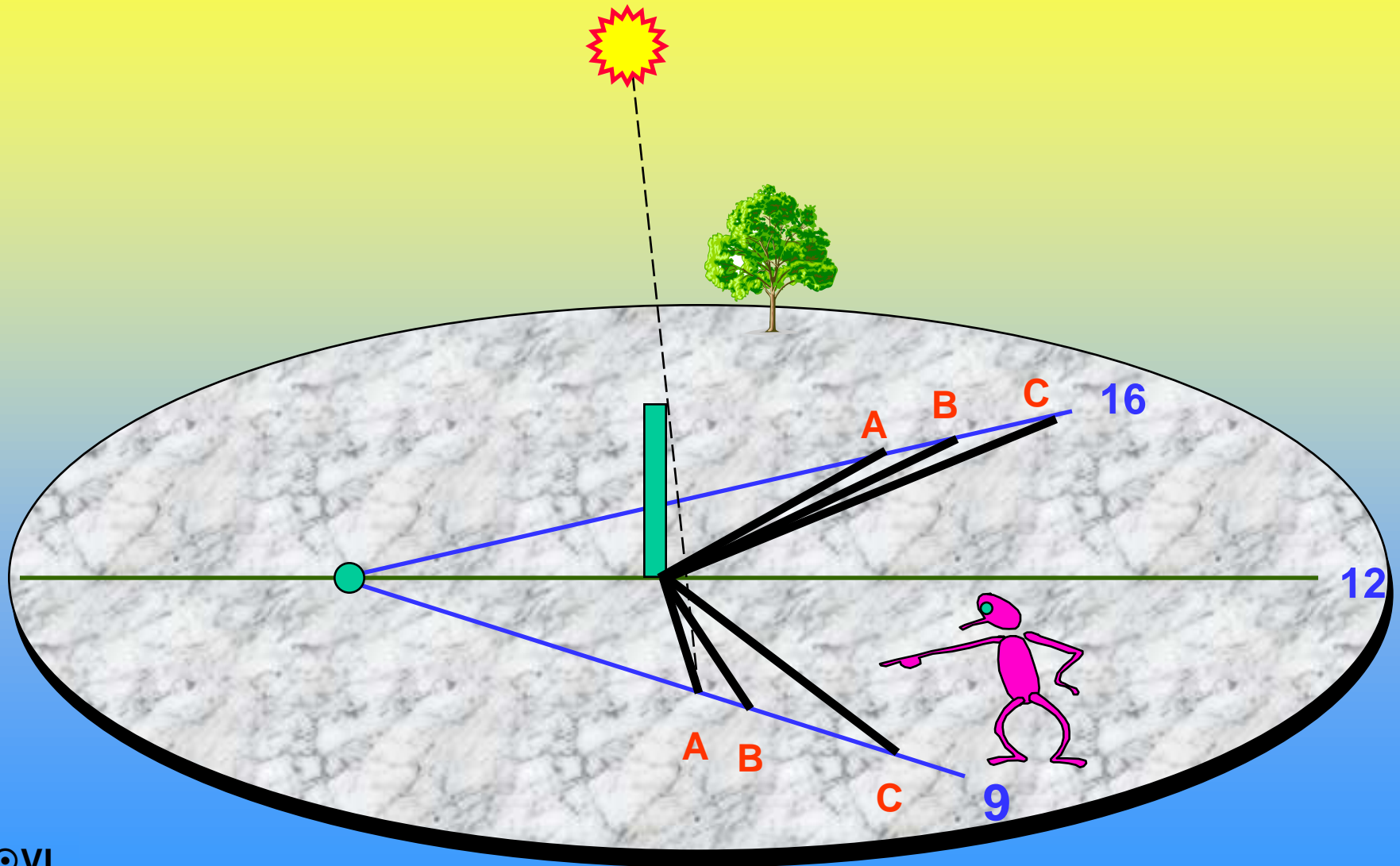


**Relógios de sol**

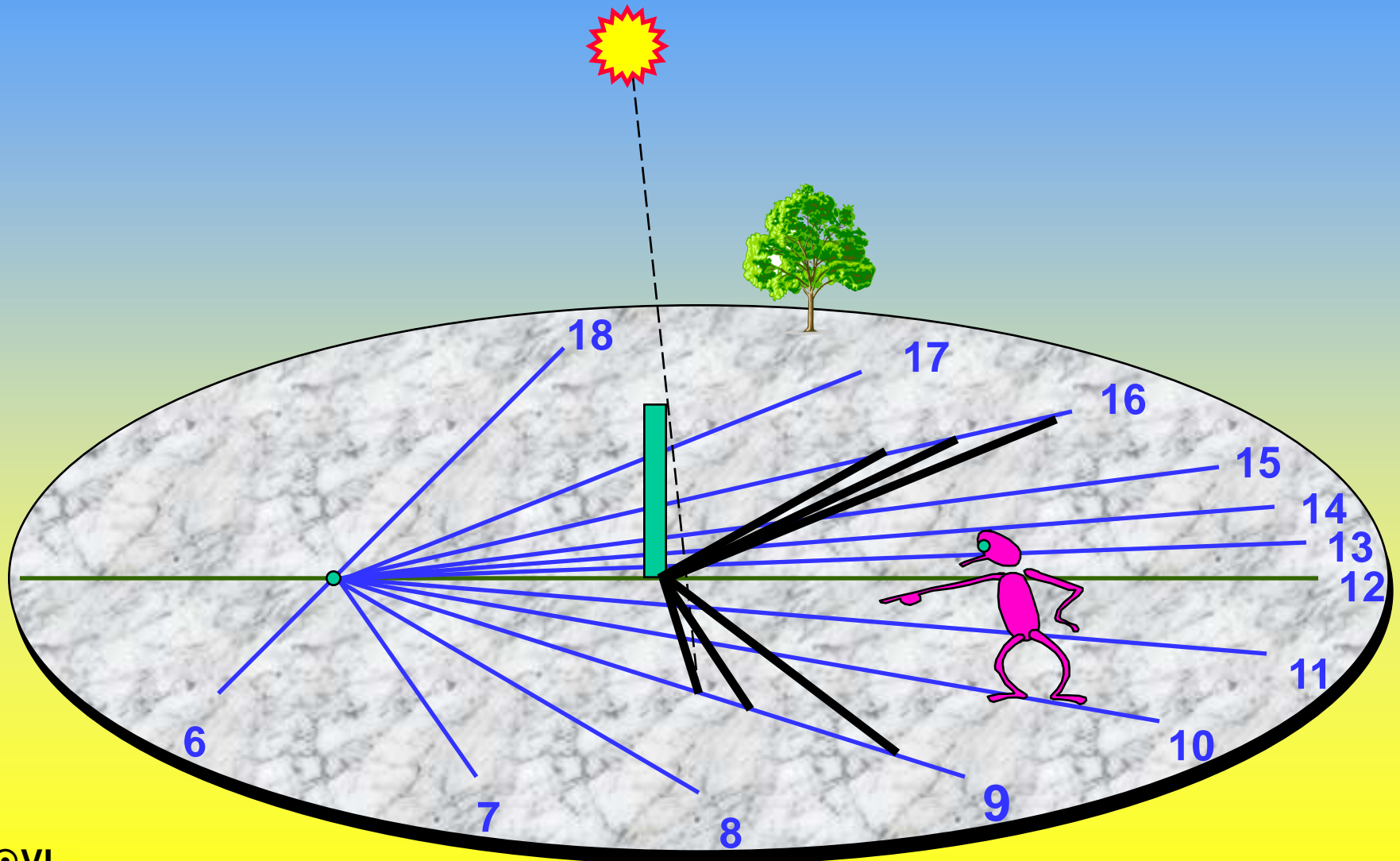
# Relógio de Sol ou Gnômon



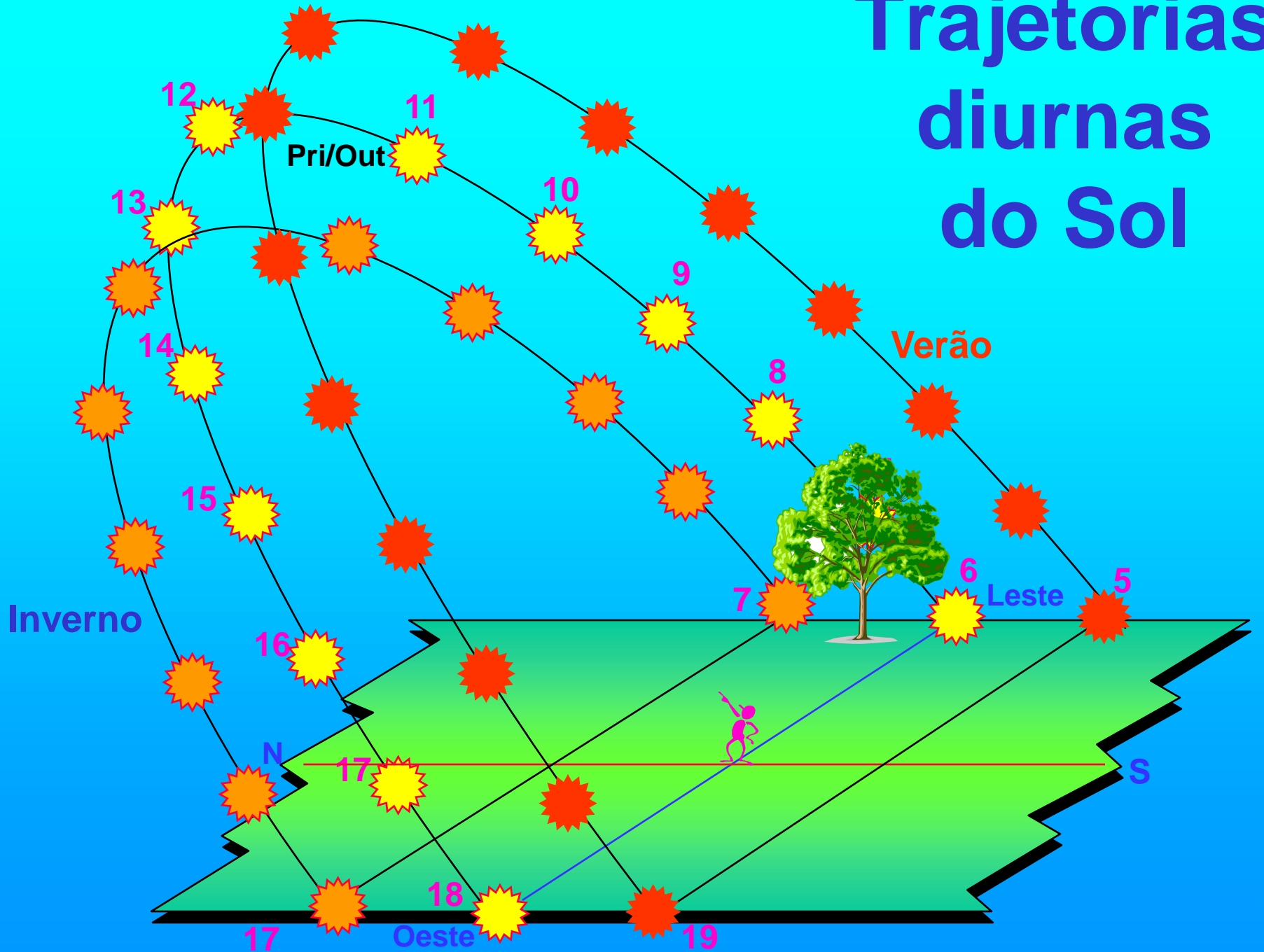
# Gnômon: relógio de Sol



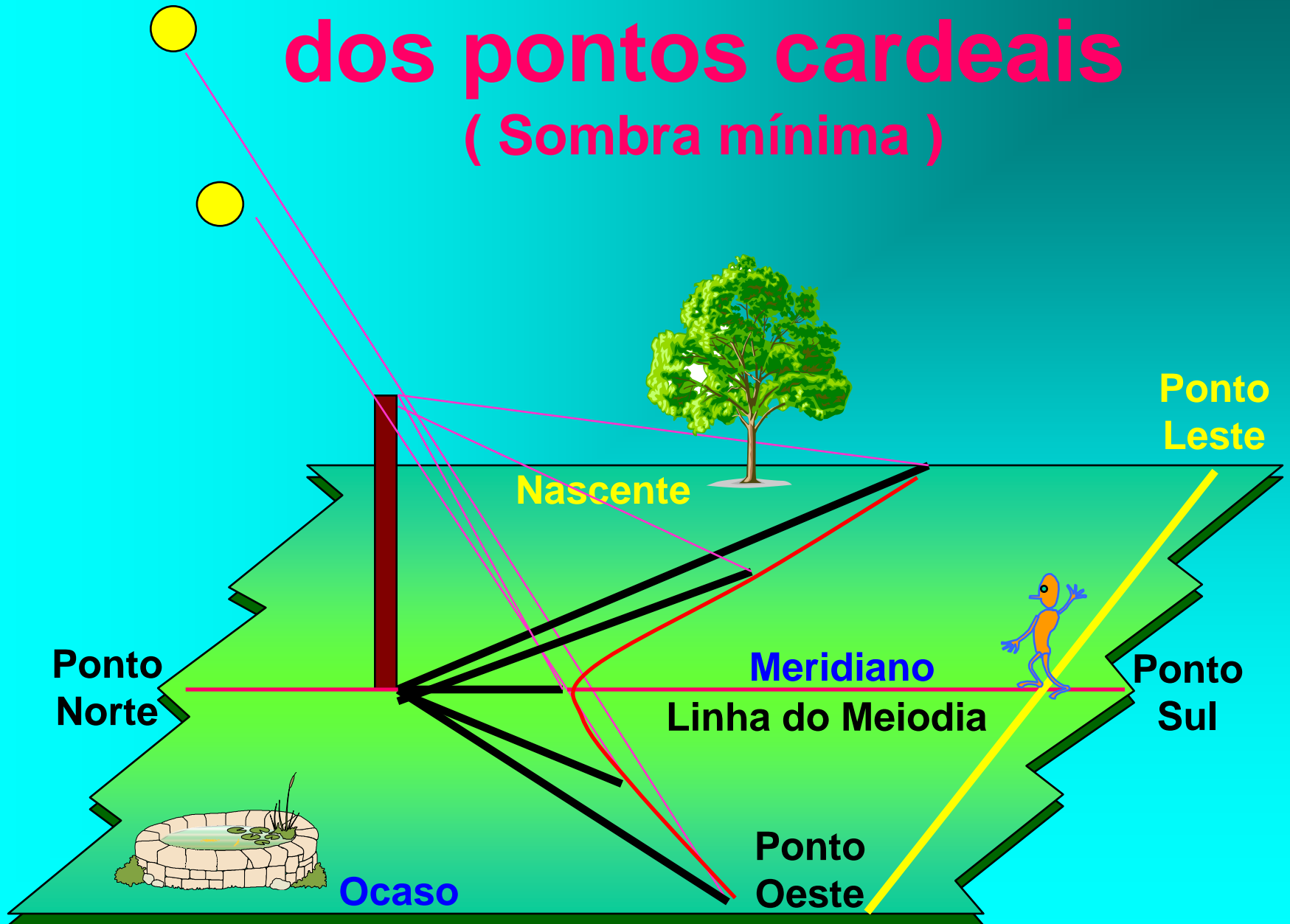
# Gnômon: relógio de Sol



# Trajetoórias diurnas do Sol



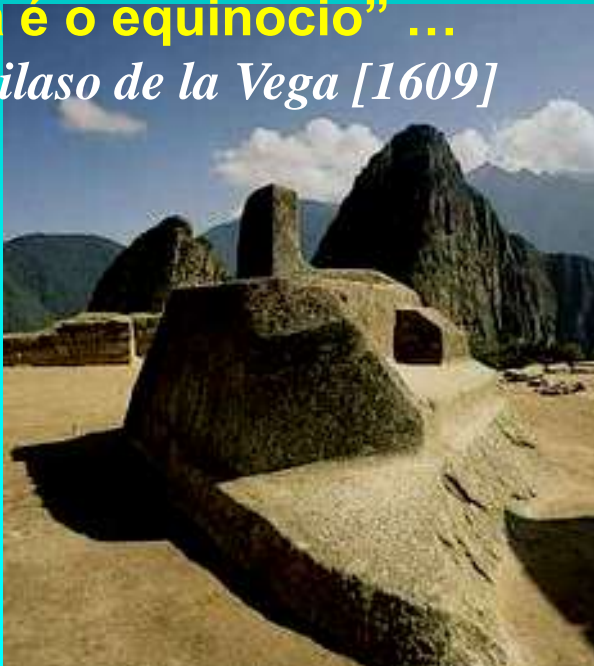
# Determinação do meridiano e dos pontos cardeais ( Sombra mínima )



# Equinócios pelos Incas

“... Para determinar o equinócio eles tem magníficas colunas de pedras erguidas nos templos do Sol ... quando a sombra cai exactamente ao longo da linha da saída à posta do Sol, e o Sol não faz sombra, eles sabem que esse dia é o equinócio” ...

*Garcilaso de la Vega [1609]*



*Bauer & Dearborn  
Astronomy and  
Empire in the  
Ancient Andes, 1995*

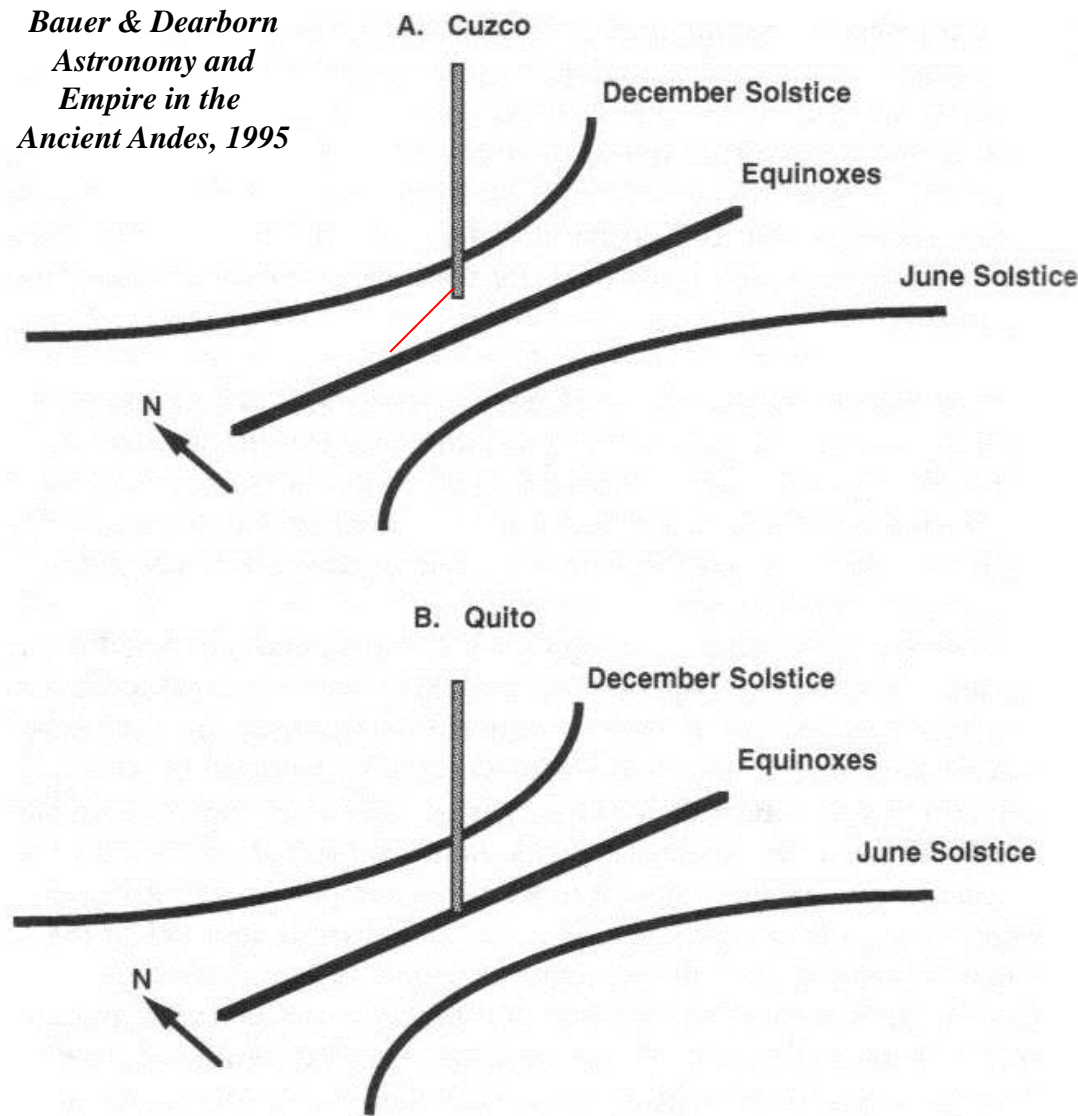
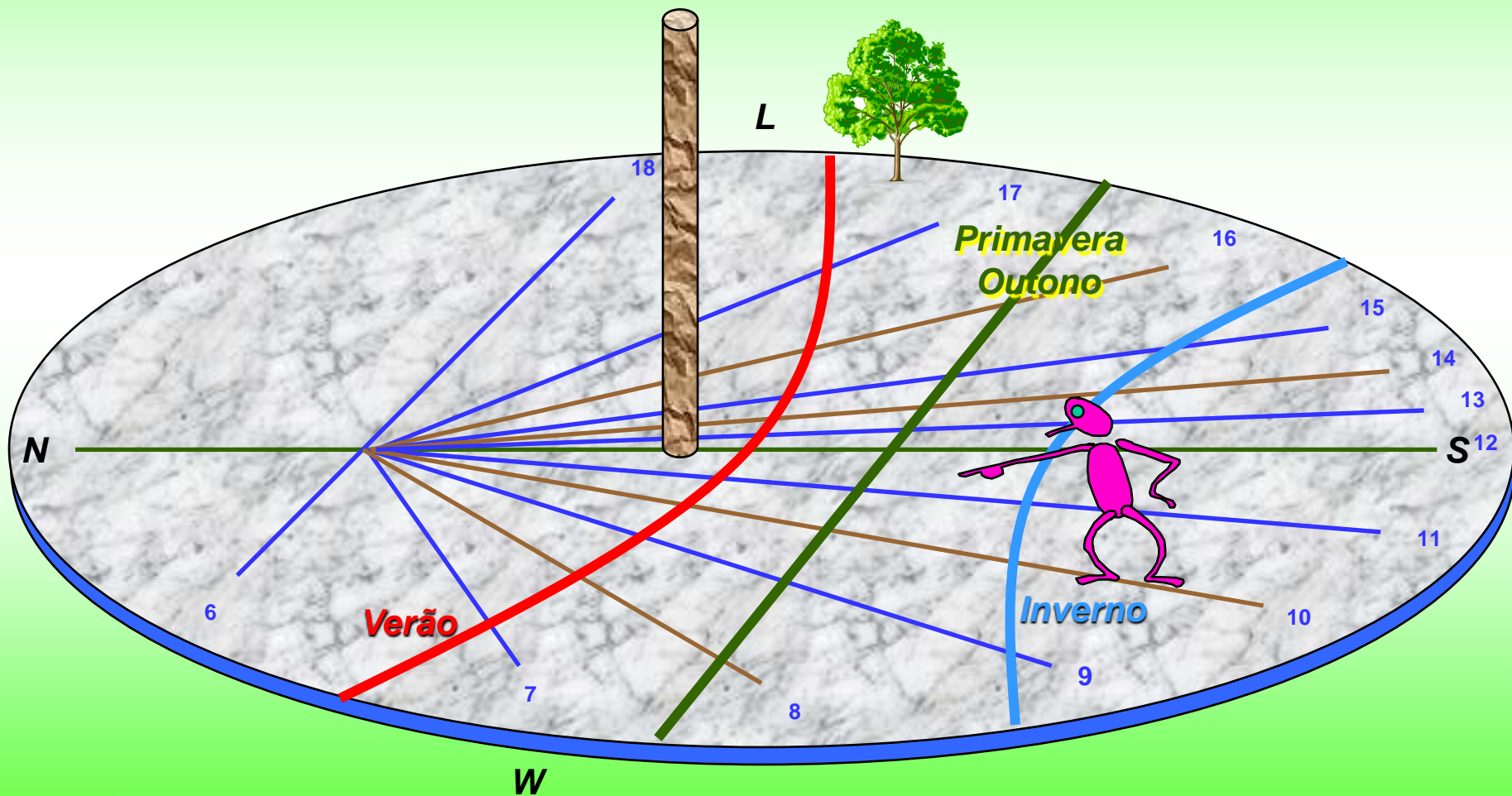


Figure 1. The shadows cast by a vertical gnomon on the solstices and equinoxes. As the sun moves across the sky, the shadow of a gnomon traces a path across the ground. Garcilaso de la Vega claimed that the Inca in Cuzco “knew that the day was the equinox” when the shadow cast by a column traversed a straight east-west line. The Inca also knew that on the equinox in Quito the sun passed directly overhead, casting no shadow at noon. Garcilaso de la Vega further claimed that for this reason the columns in Quito “were held in the greatest veneration”



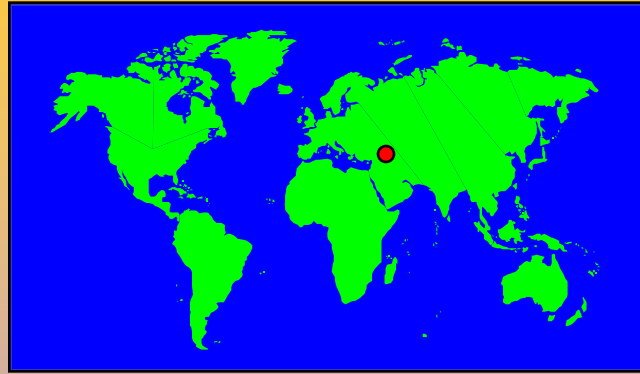
# Trajatórias diurnas da sombra nos equinóccios e nos solstícios



# Ponteiros não celestes

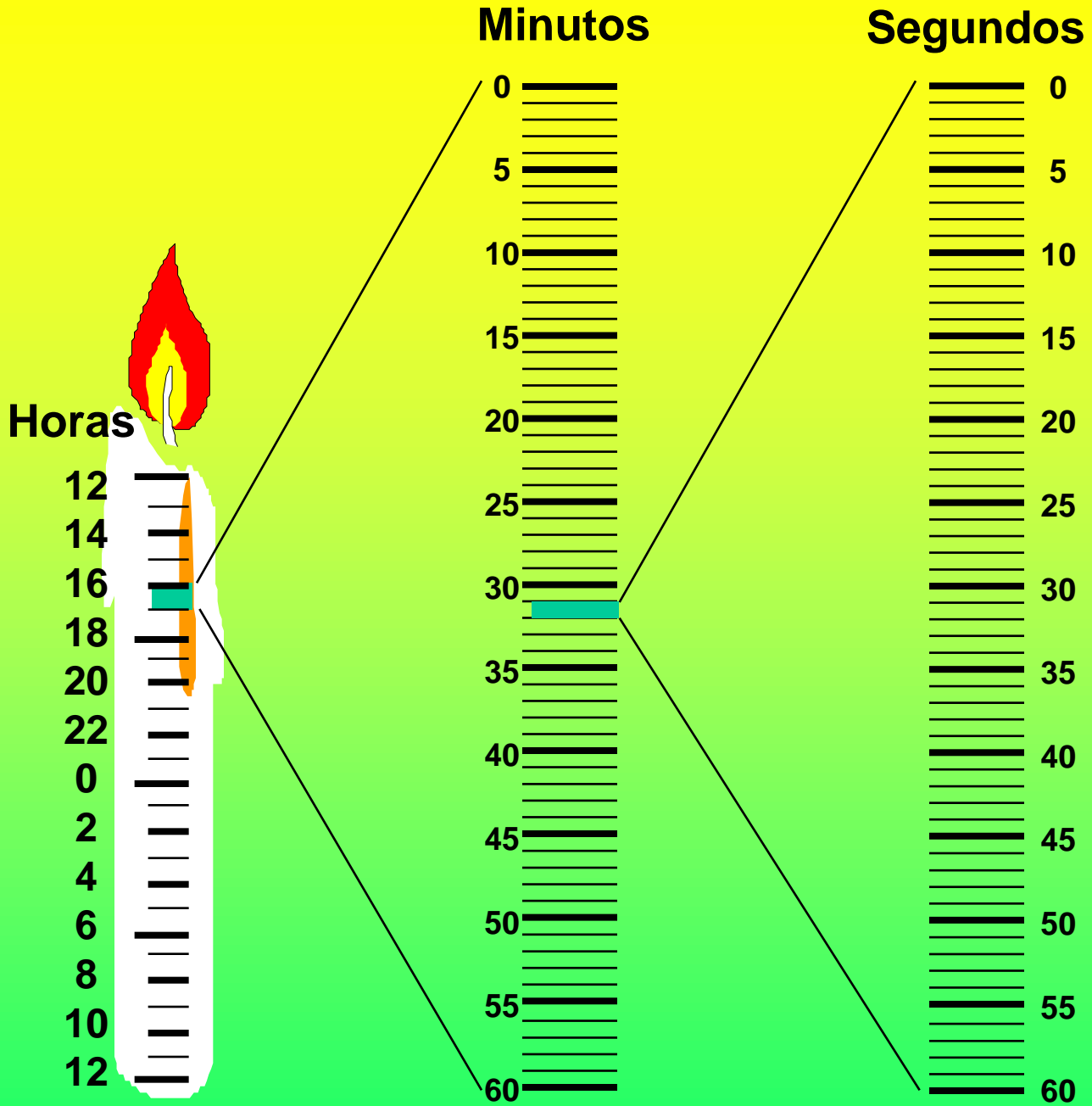
- Vela
- Ampulheta
- Clepsidra
- Relógio de Pêndulo
- Relógio mecânico

# Relógio de Vela



**Babilônicos  
e Caldeus**

Sistema Sexagesimal  
(60)  
(12 = 60 / 5)  
Dia = 12 + 12 horas



# Minutos e segundos

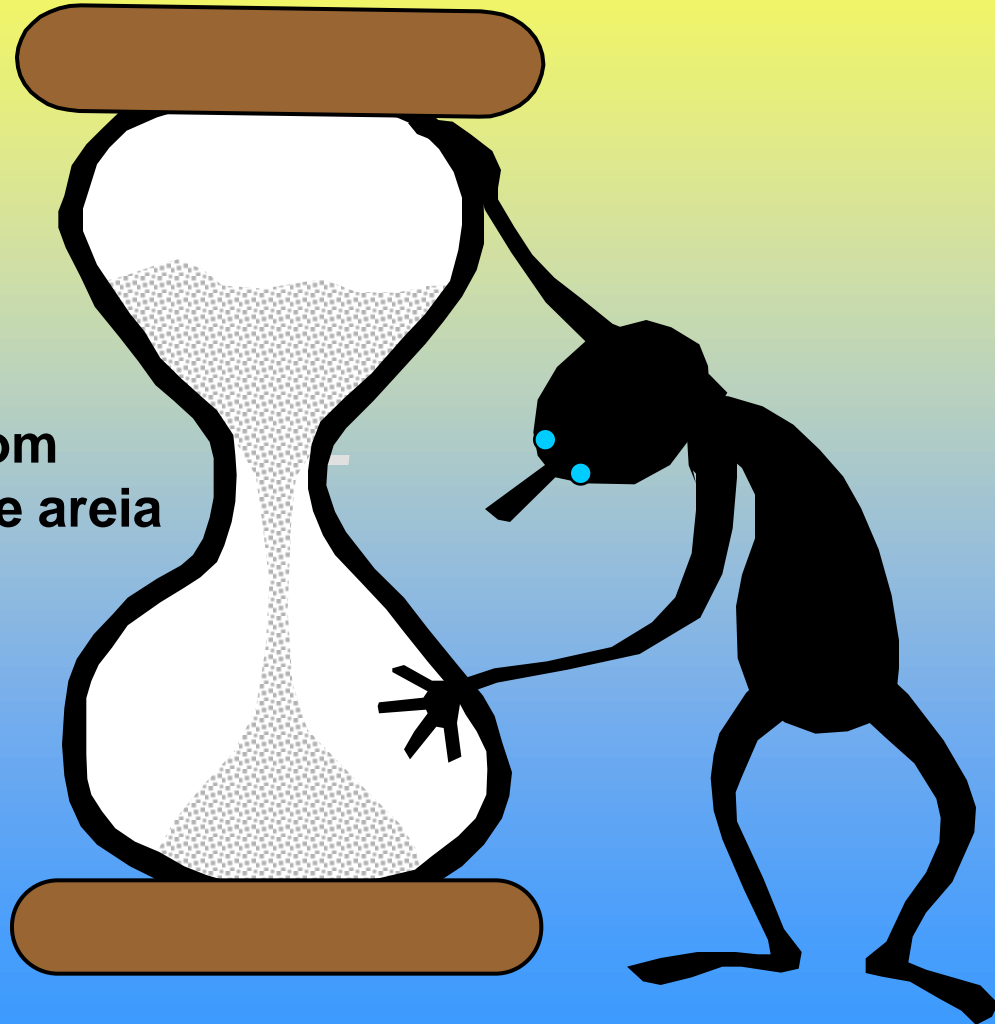


**Romanos**  
 Minuto (pequeno)  
 Segundo Minuto

# Ampulheta

Relógio com  
escoamento de areia

Dificuldade:  
Escoamento e  
deposição não  
uniformes



# Clepsidra

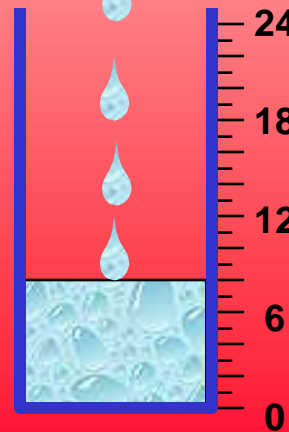
Reservatório de reposição para manter o nível do outro constante

Nível constante

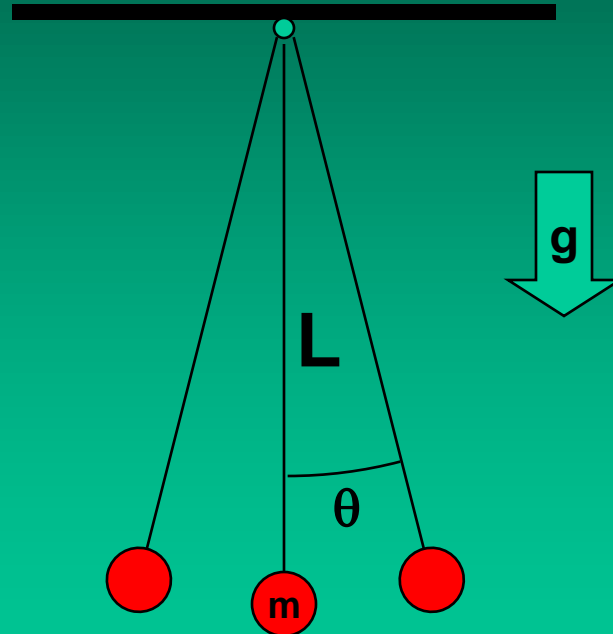
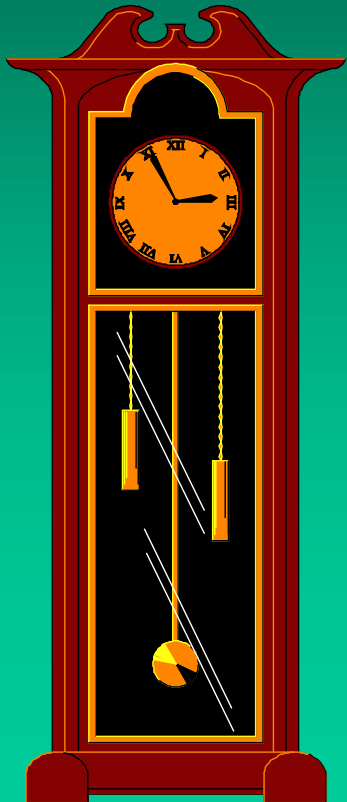
$h$

Relógio com escoamento de água

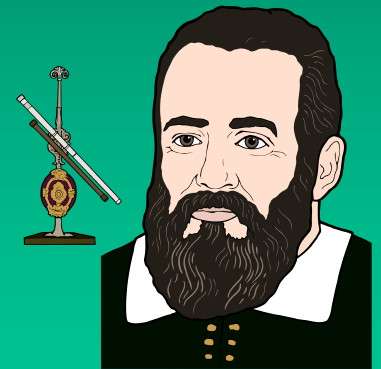
$v$



# Relógio de pêndulo



$$T = 2\pi\sqrt{L/g}$$



Galileu

$$T \approx 2\sqrt{L}$$

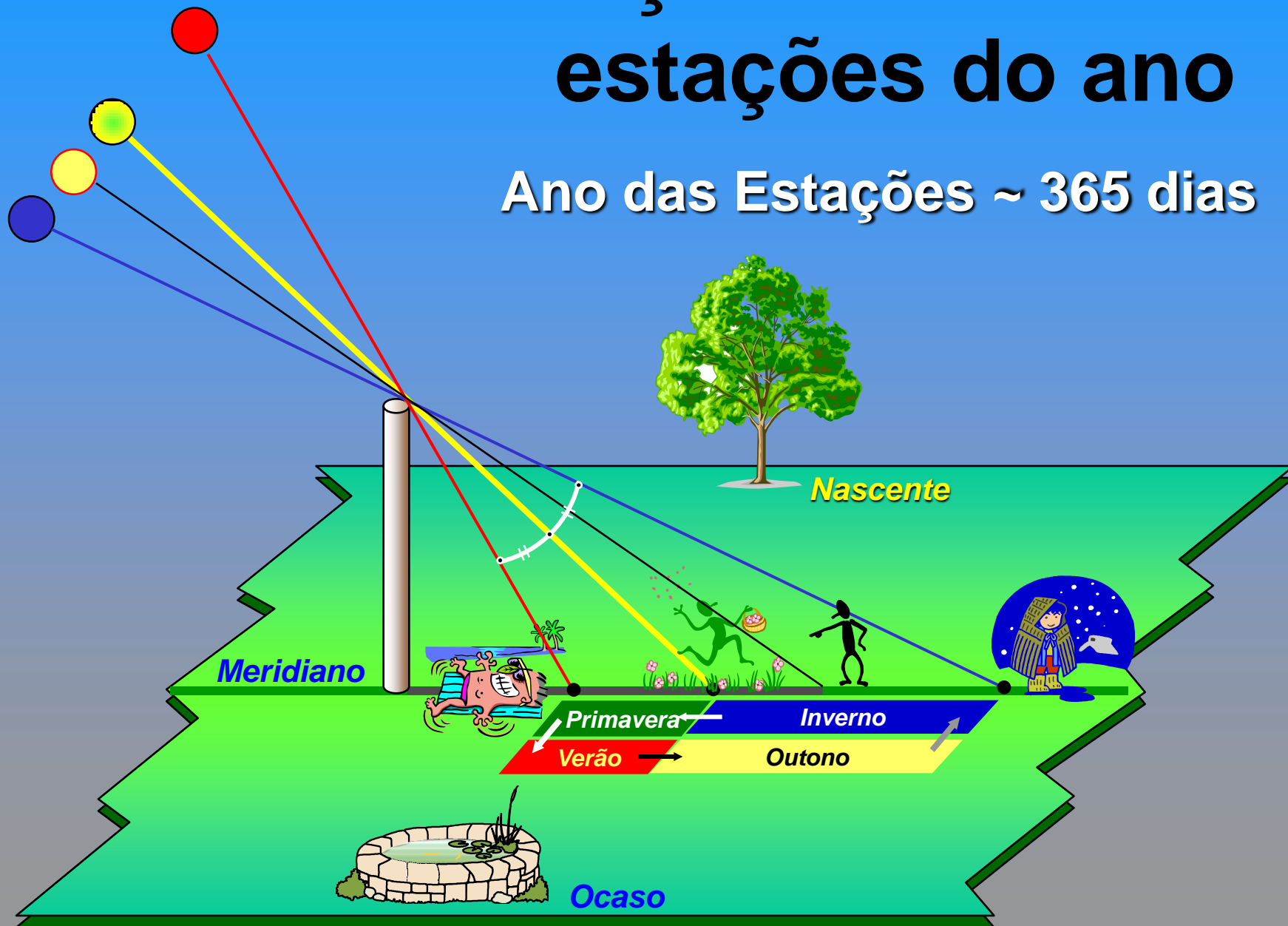
[s] [m]



**Ano**

# Noção de ano e de estações do ano

Ano das Estações ~ 365 dias



# Ano Trópico ou Ano das Estações

Primavera

Verão

Outono

Inverno

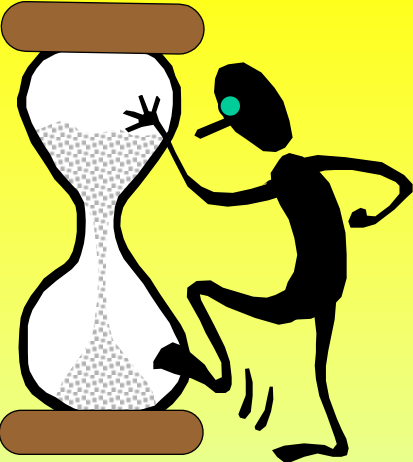
Ano Trópico

365,242199 dias

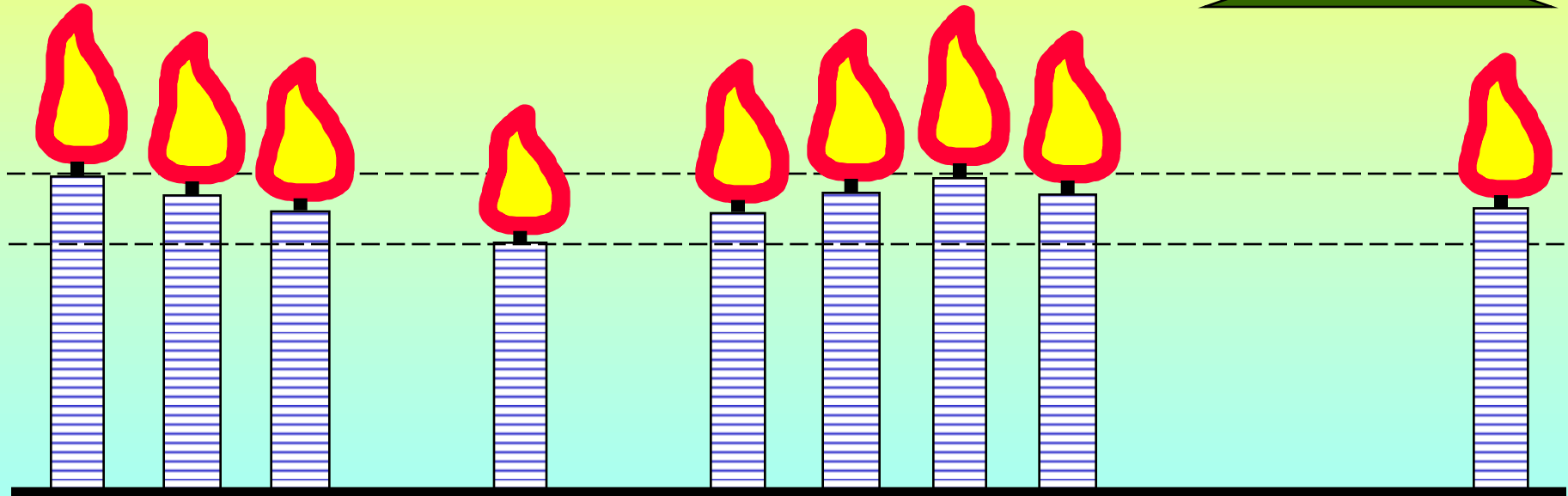
365 d 05 h 48 m 46 s

# **Variação no “comprimento” do Dia**

# Dia Médio



Vela de  
1 dia



1

2

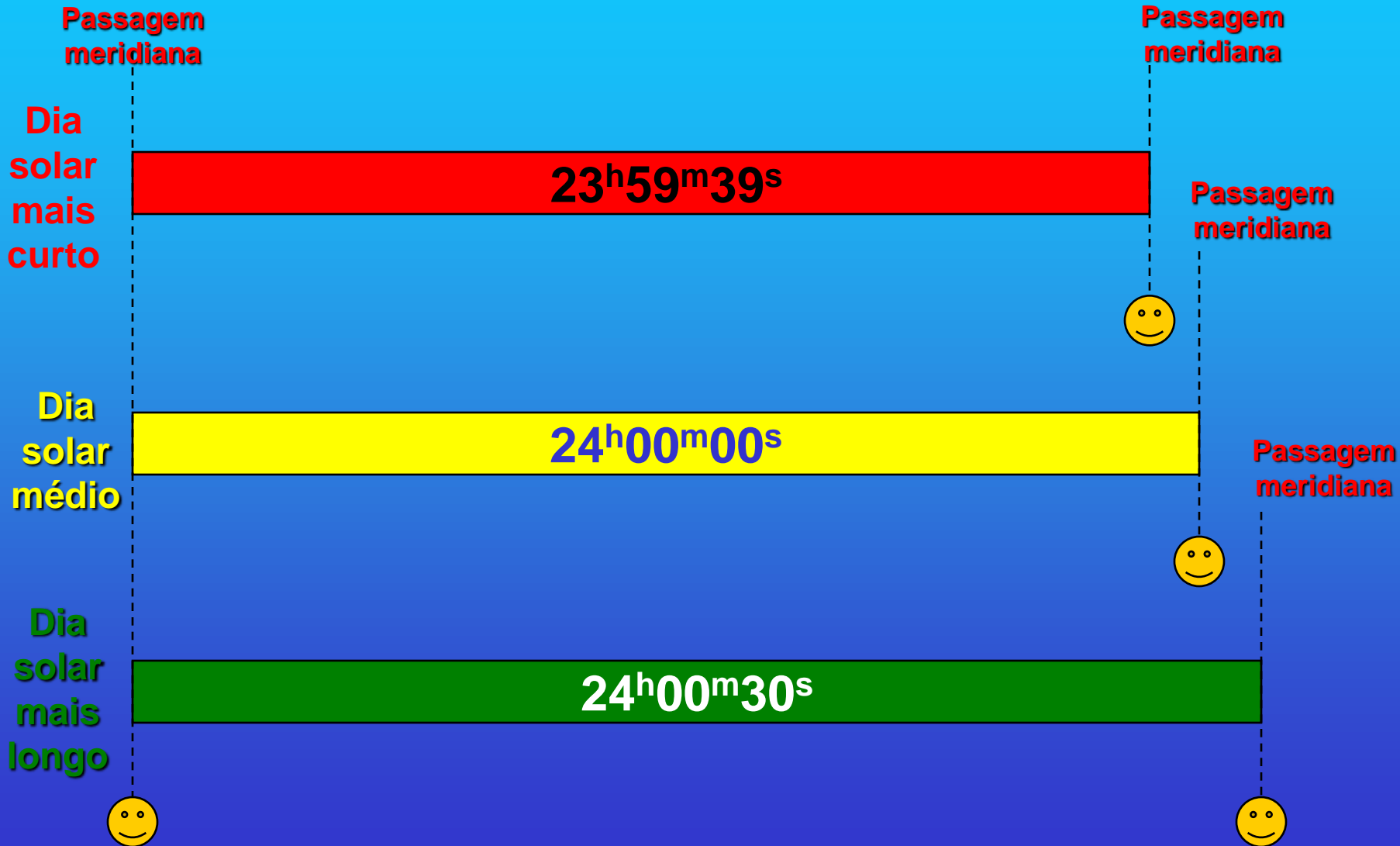
3

183

365

Vela  
Média  
(24 h)

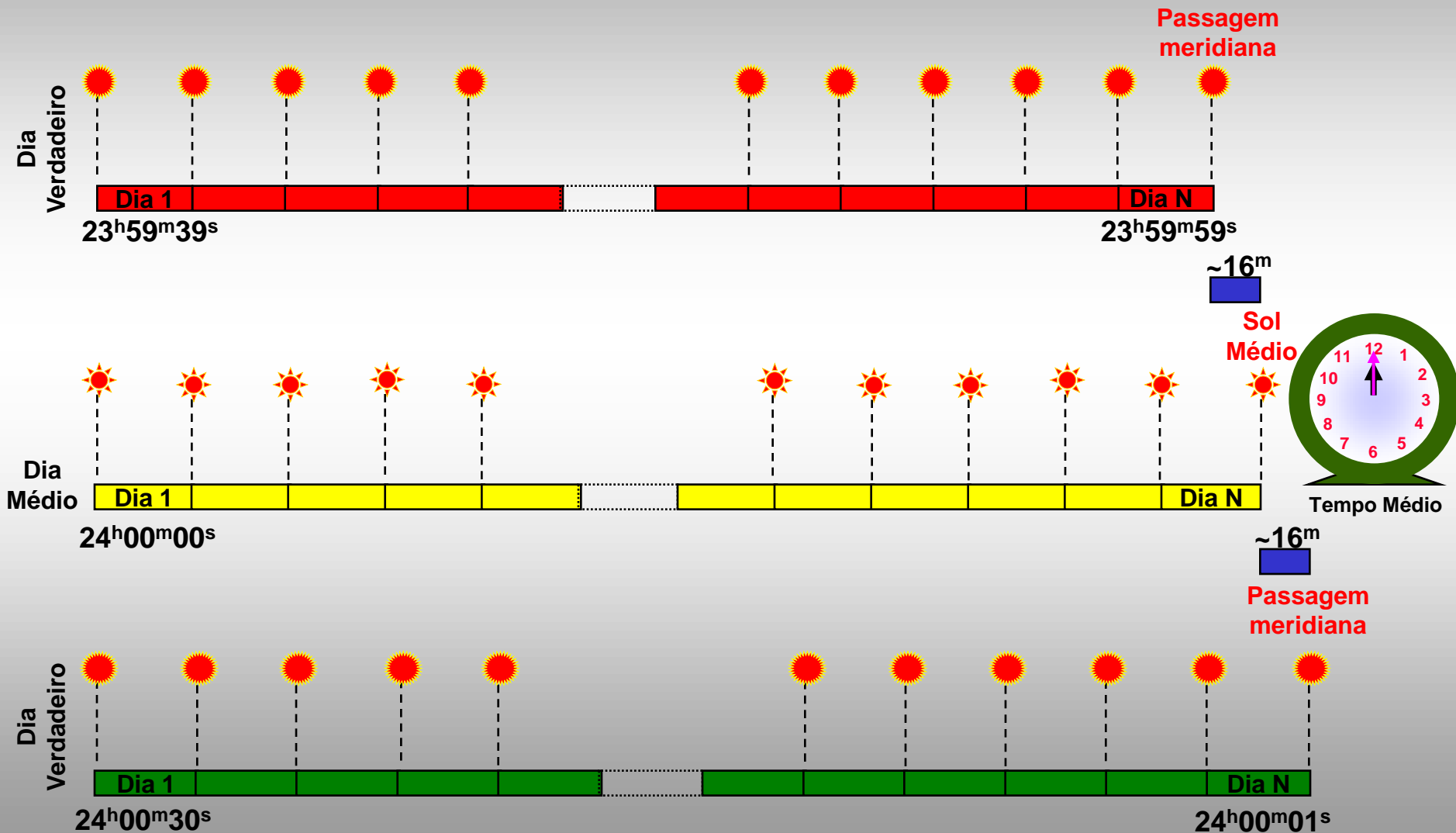
# Duração do Dia Solar Verdadeiro



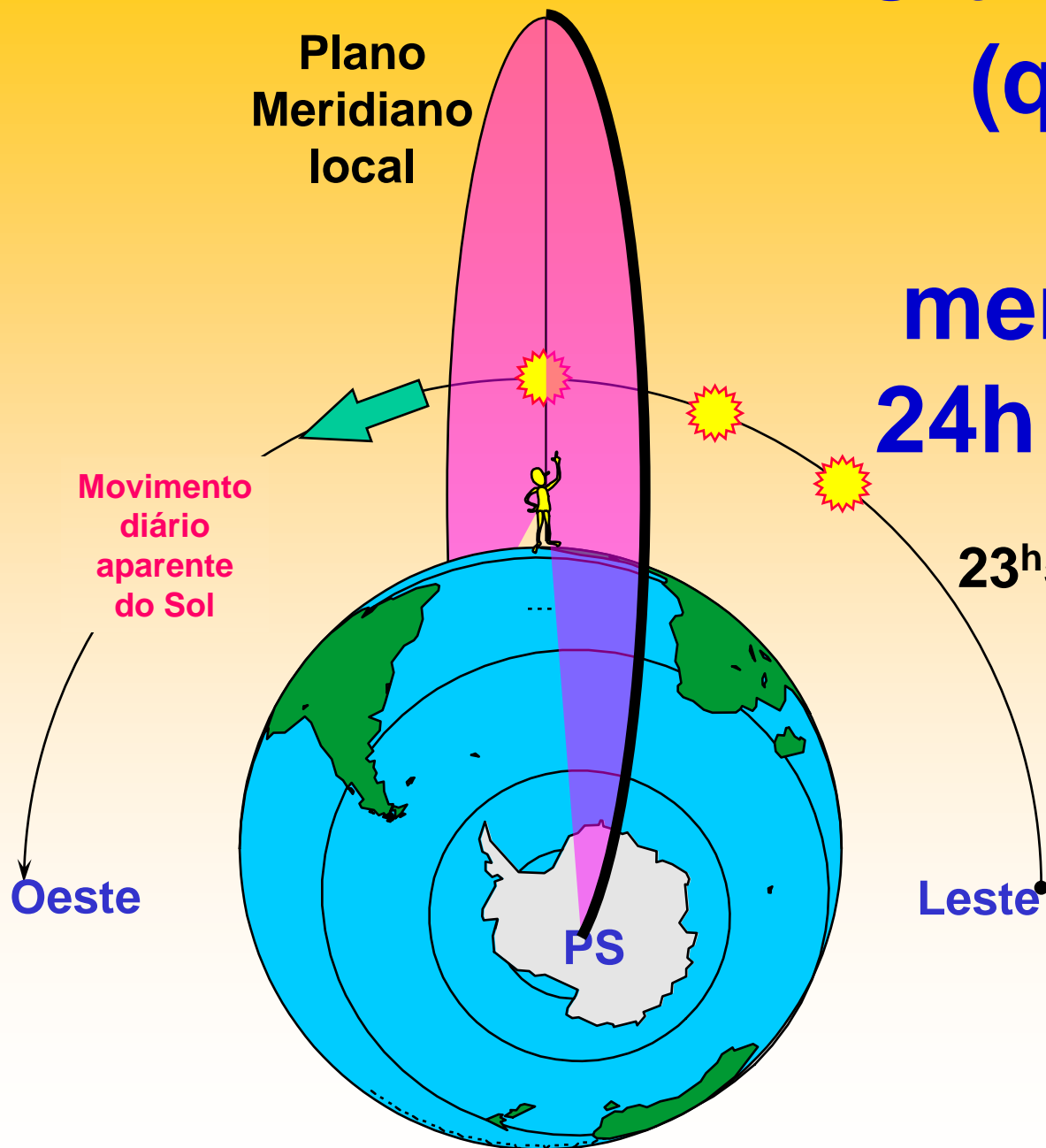
**Defasagem entre  
hora verdadeira  
e  
hora média**



# Dia solar verdadeiro e médio



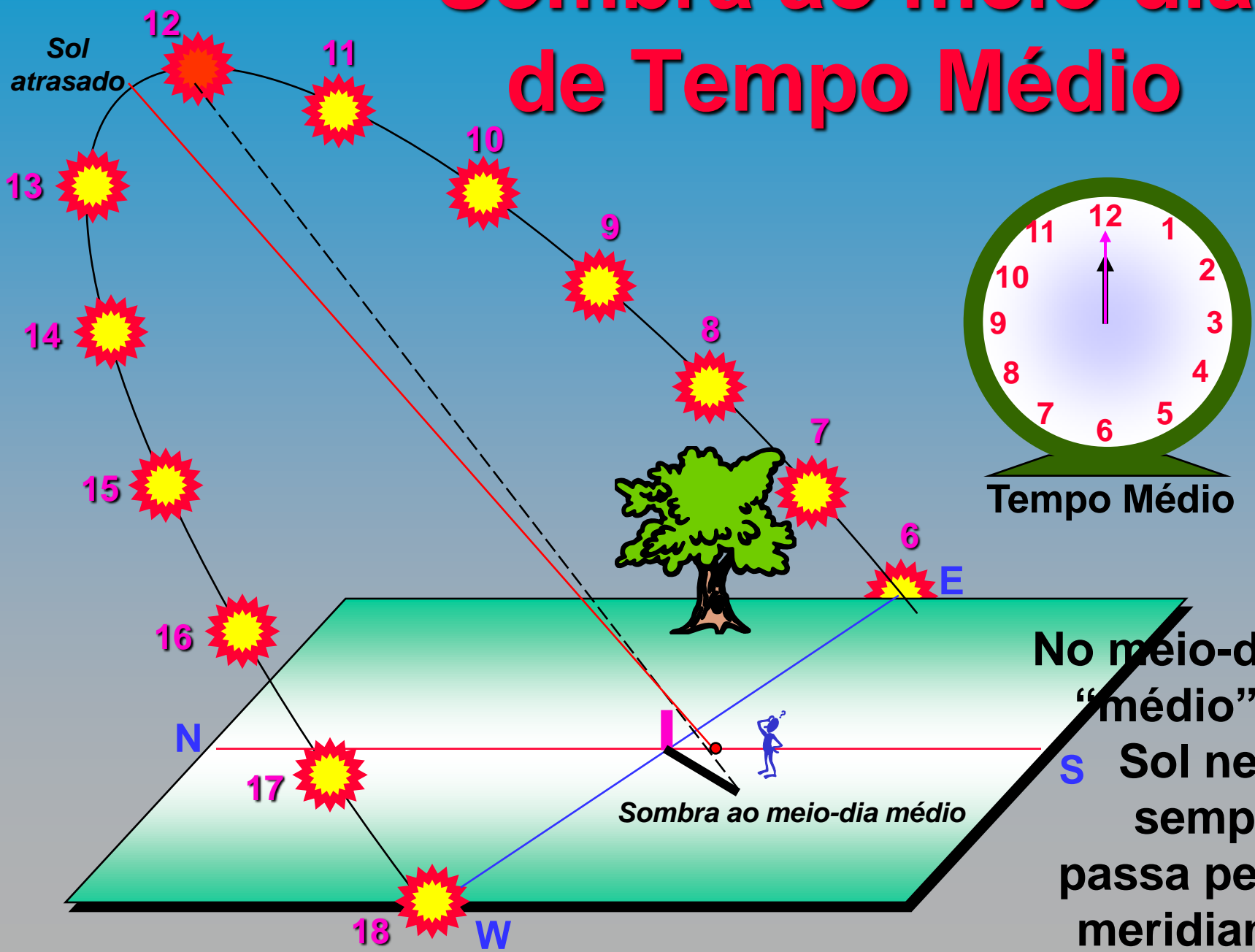
O dia verdadeiro  
(quando o Sol  
passa pelo  
meridiano) é de  
24h 00m 00s em  
**MÉDIA**



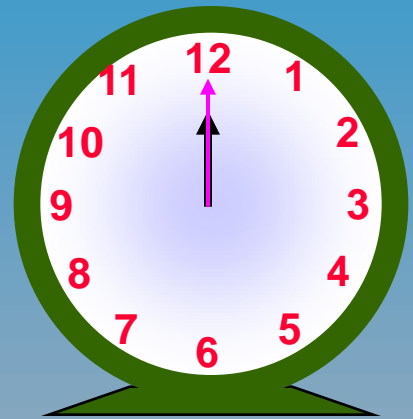
23<sup>h</sup>59<sup>m</sup>39<sup>s</sup>  
24<sup>h</sup>00<sup>m</sup>00<sup>s</sup>  
24<sup>h</sup>00<sup>m</sup>30<sup>s</sup>



# Sombra ao meio-dia de Tempo Médio



Sol atrasado

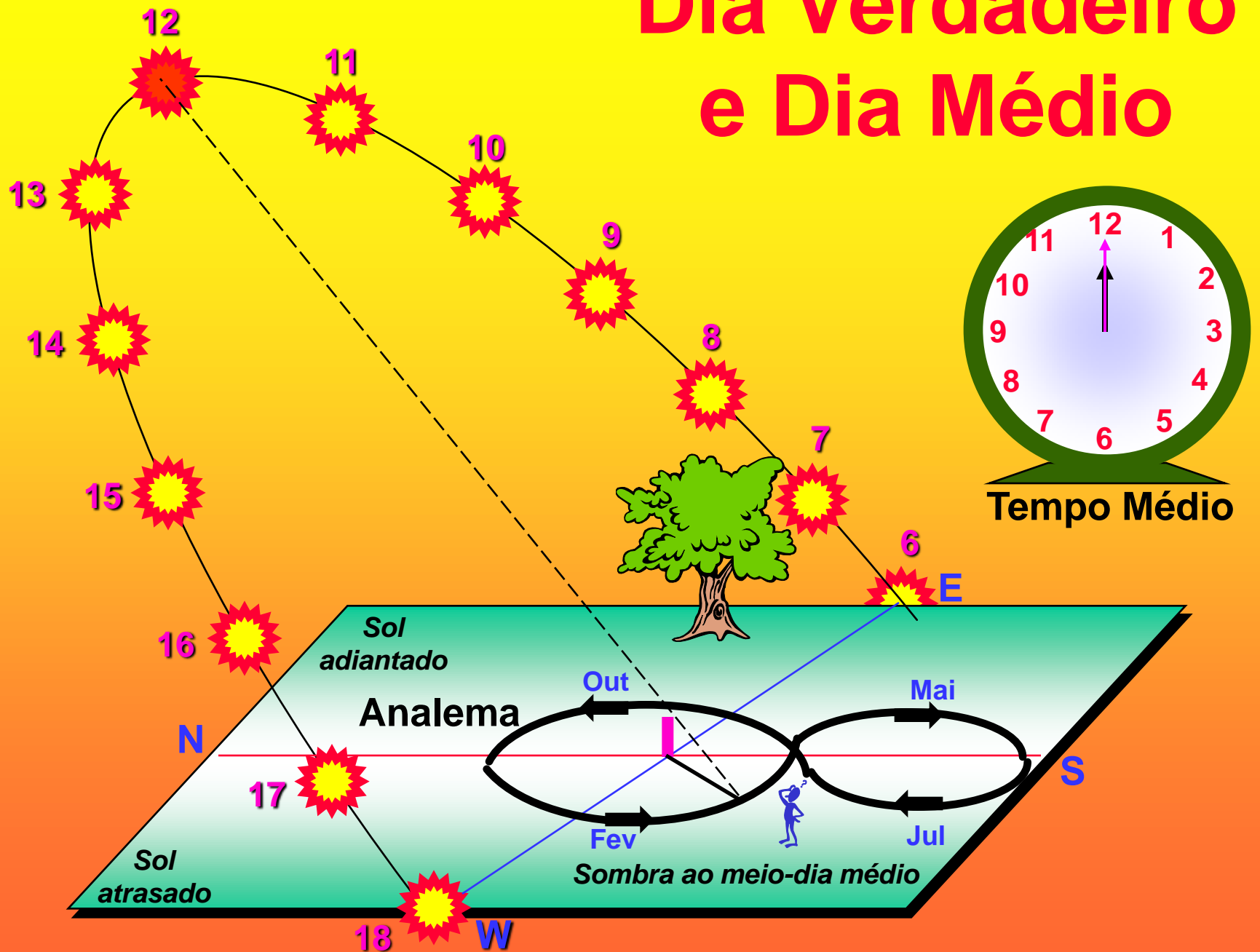


Tempo Médio

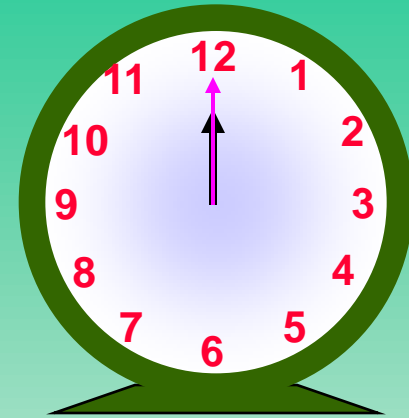
No meio-dia “médio” o Sol nem sempre passa pelo meridiano

Sombra ao meio-dia médio

# Dia Verdadeiro e Dia Médio



# Analema e Equação do Tempo



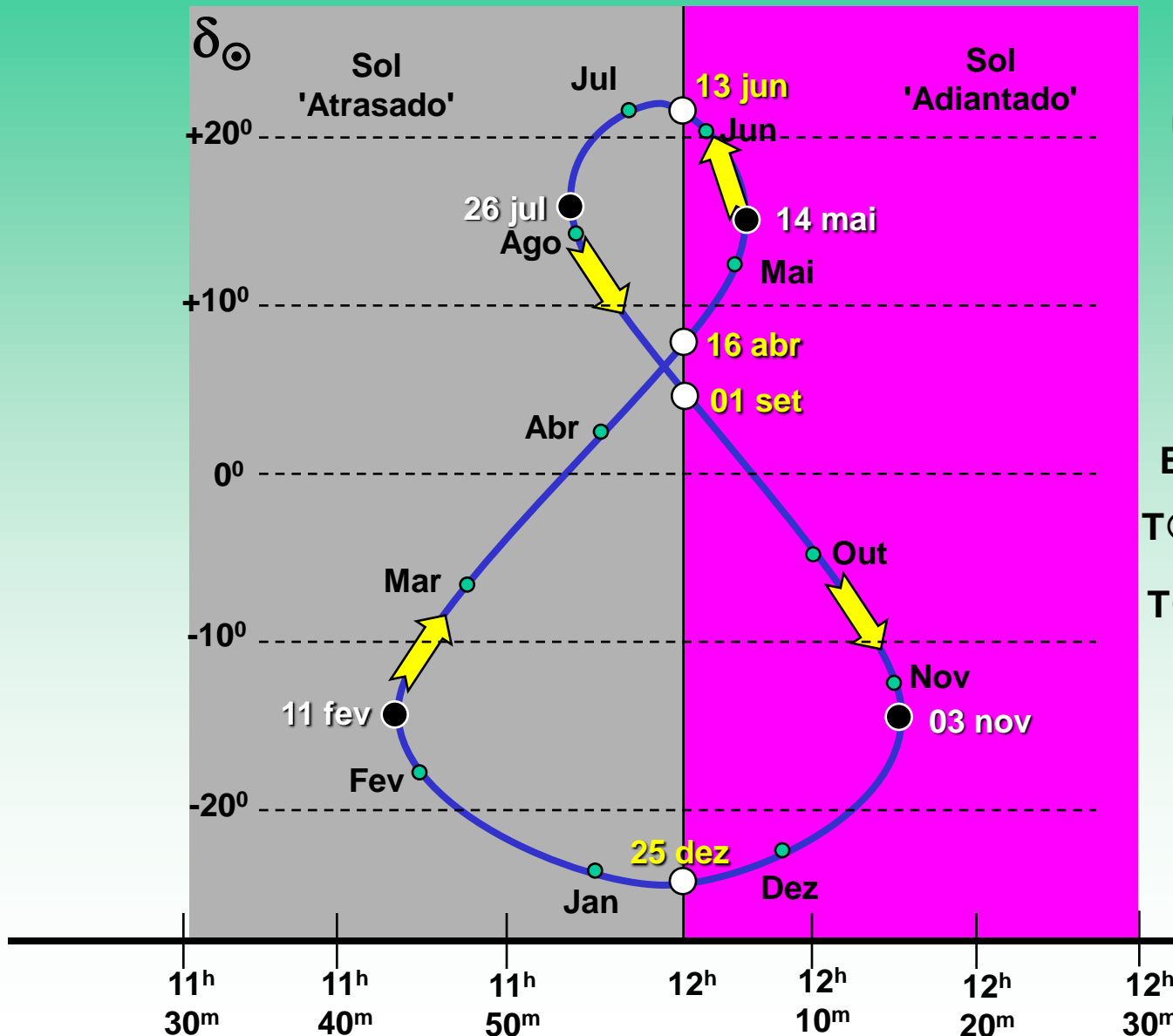
Tempo Médio

$$Eq.T = T_{\odot VL} - T_{\odot ML}$$

$$T_{\odot VL} = T_{\odot ML} + Eq.T$$

$$T_{\odot ML} = T_{\odot VL} - Eq.T$$

Tempo solar verdadeiro  
local ao meio-  
dia de tempo  
solar médio

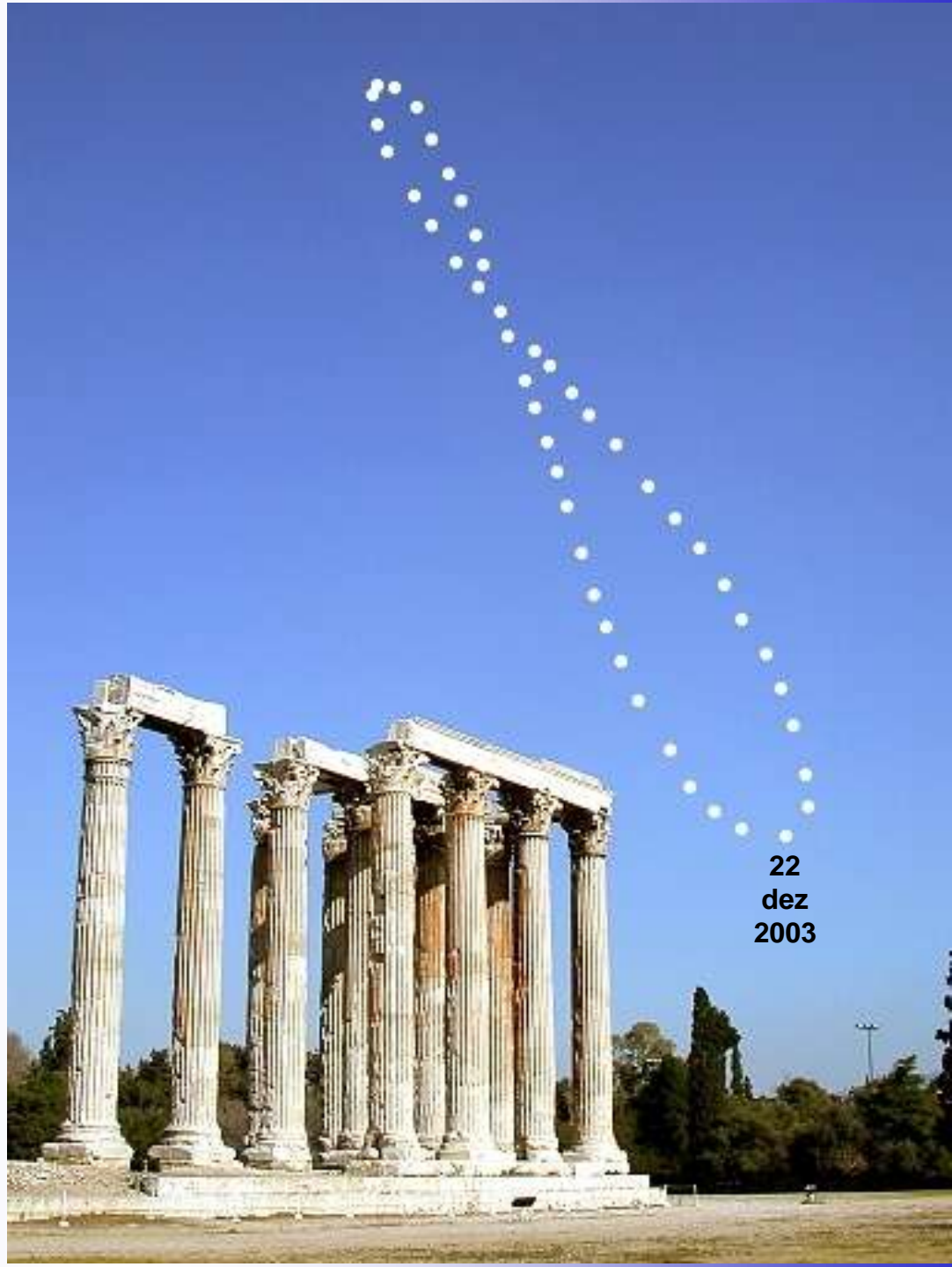


# Analema obtido em Atenas

Olímpia

Corinto

Templo de Zeus

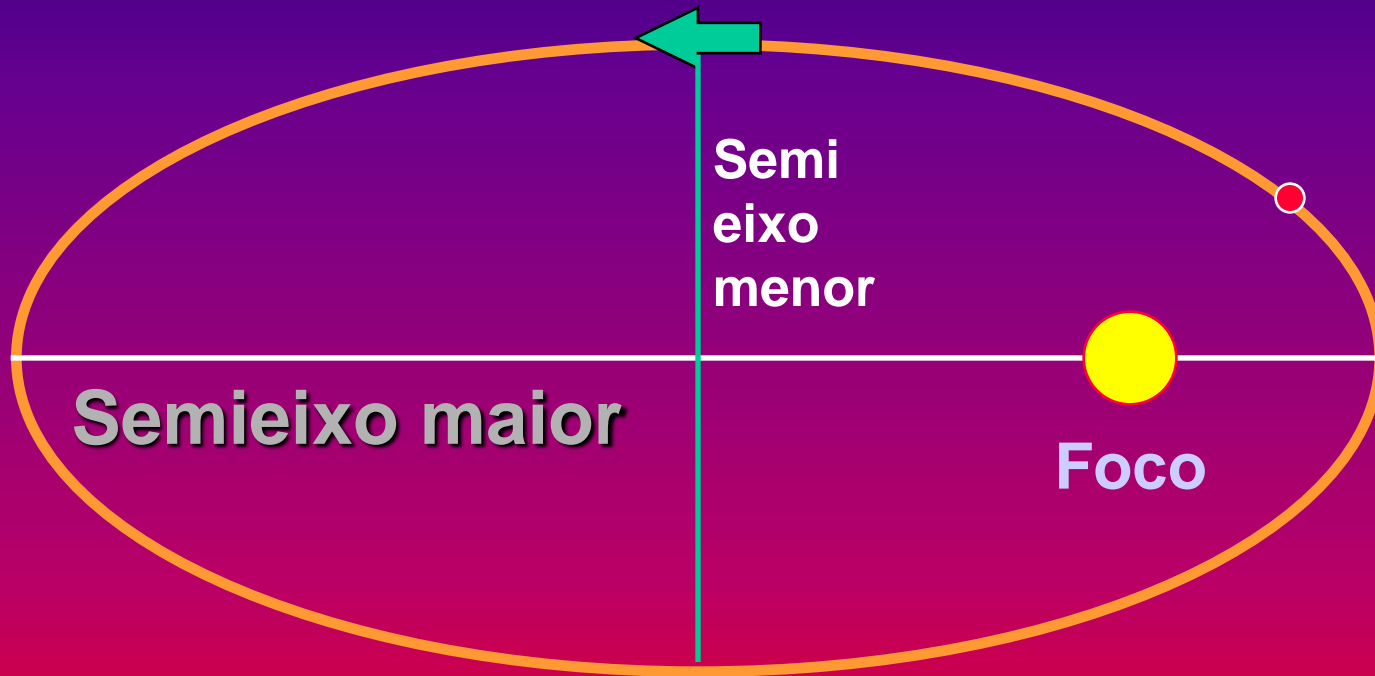


22  
dez  
2003

**Causa do Analema**



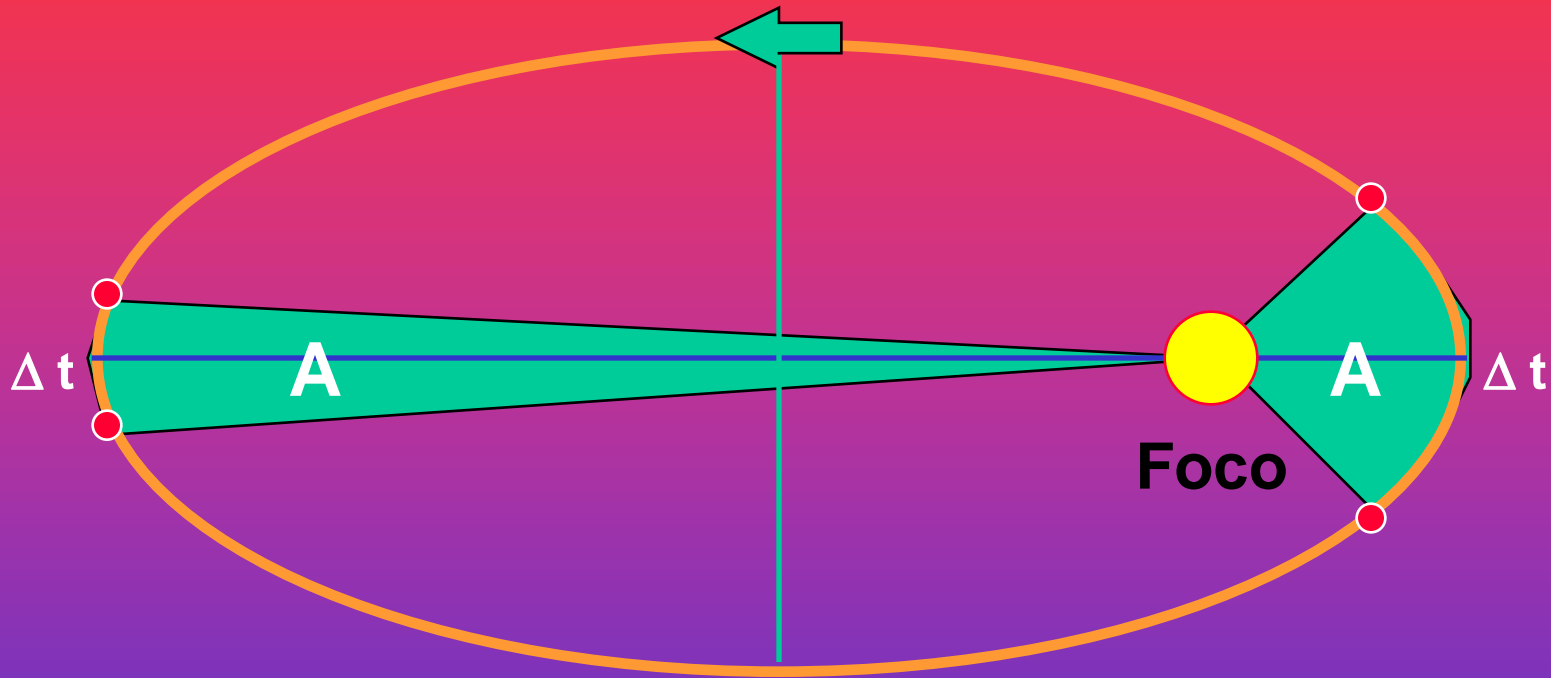
# Primeira Lei de Kepler ( 1571 - 1630 )



Um corpo ligado a outro gravitacionalmente gira em torno dele numa órbita elíptica, sendo que um deles ocupa o foco da elipse.

# Segunda Lei de Kepler

( 1571 - 1630 )

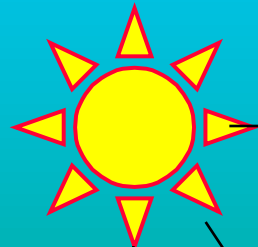


**Um corpo ligado a outro gravitacionalmente gira em torno dele, com seu raio vetor varrendo áreas iguais em tempos iguais.**

**Sol ainda  
não chegou  
no meridiano.  
(sol atrasado)**

12h00m00s  
do dia seguinte

$x$



$x$

12h00m00s

- Rotação : “uniforme”
- Translação: variável



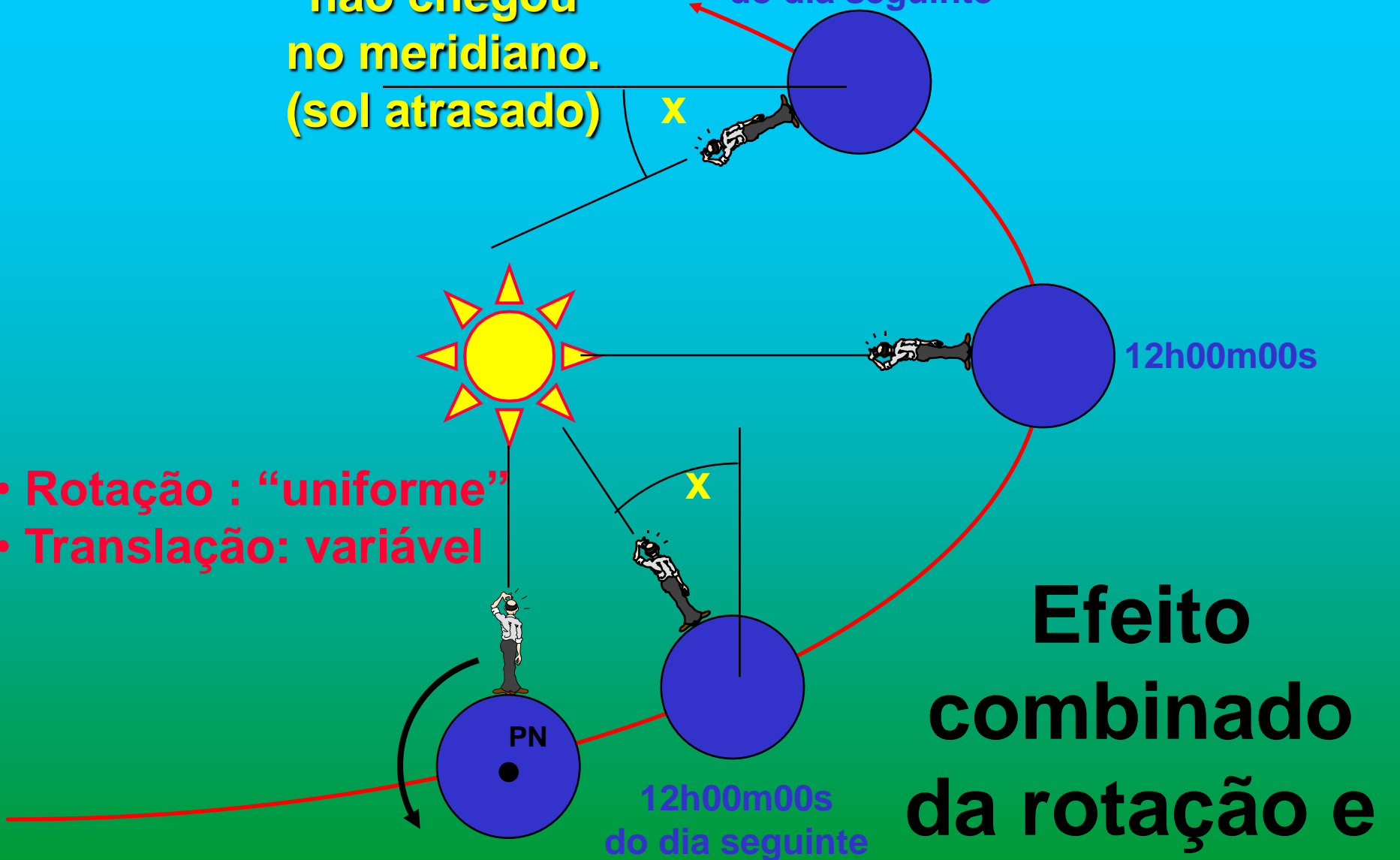
PN

12h00m00s  
do dia seguinte

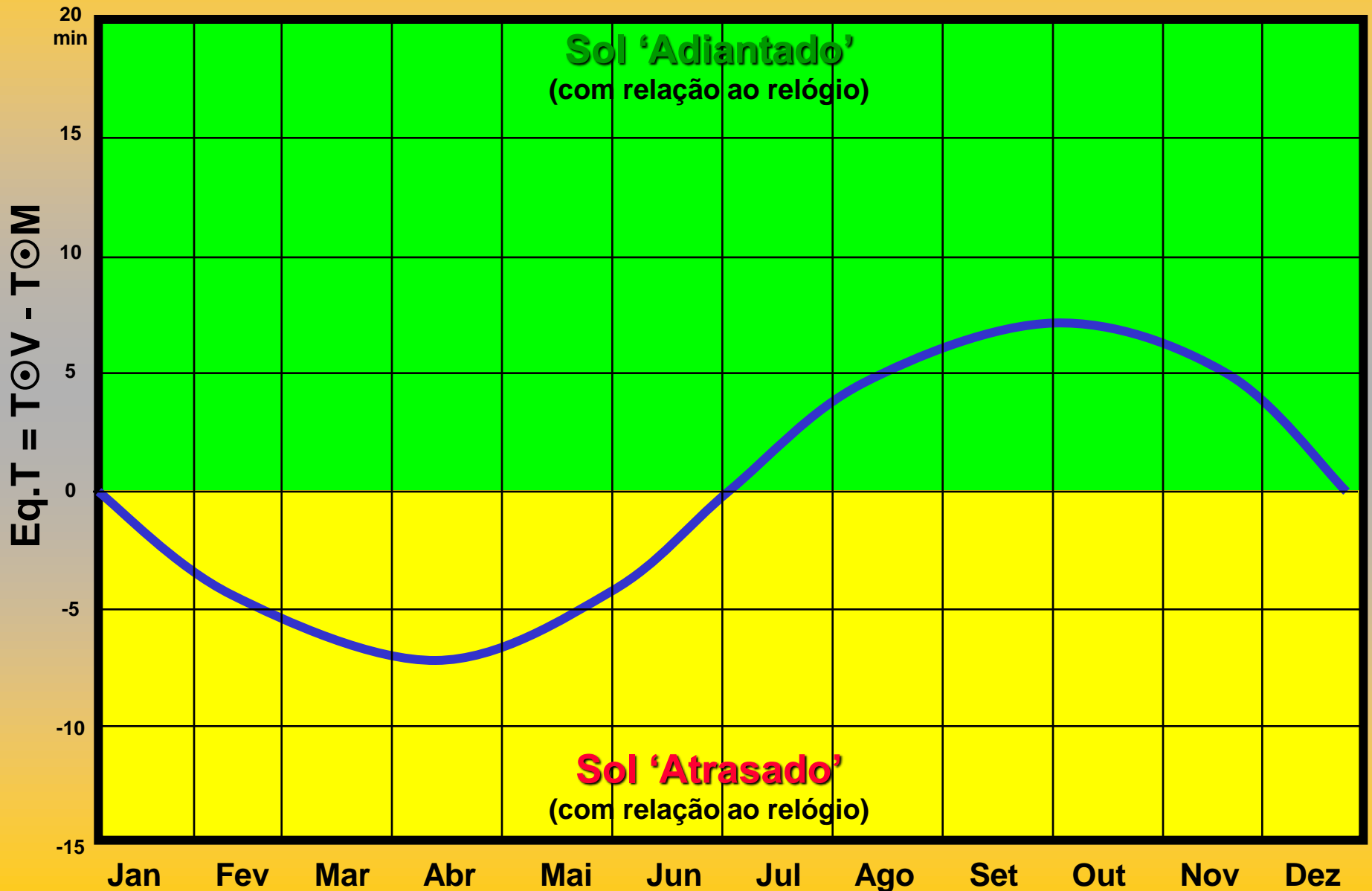
12h00m00s

**Sol no Meridiano**

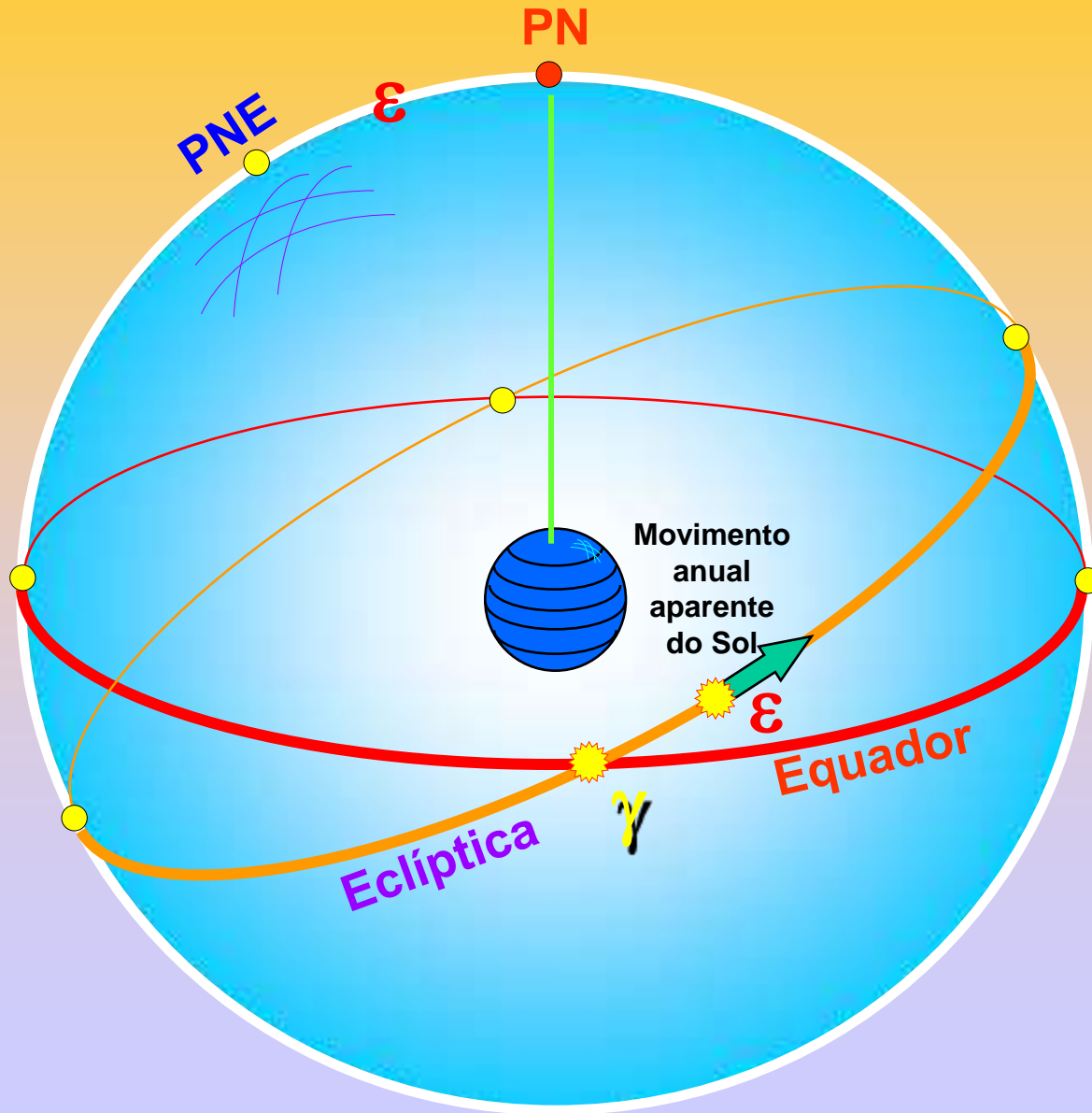
**Efeito  
combinado  
da rotação e  
da translação**



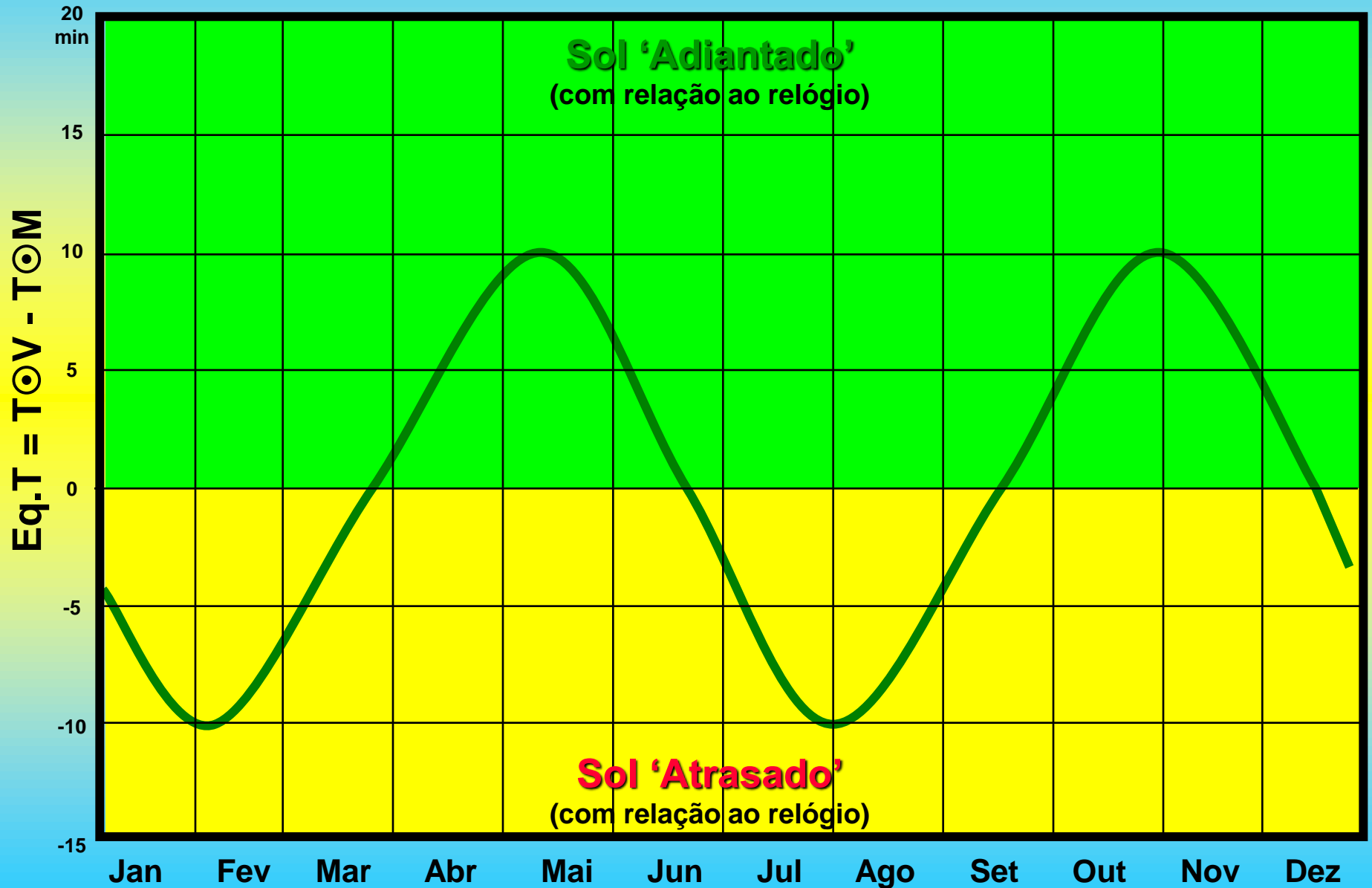
# Influência da excentricidade na Eq.T



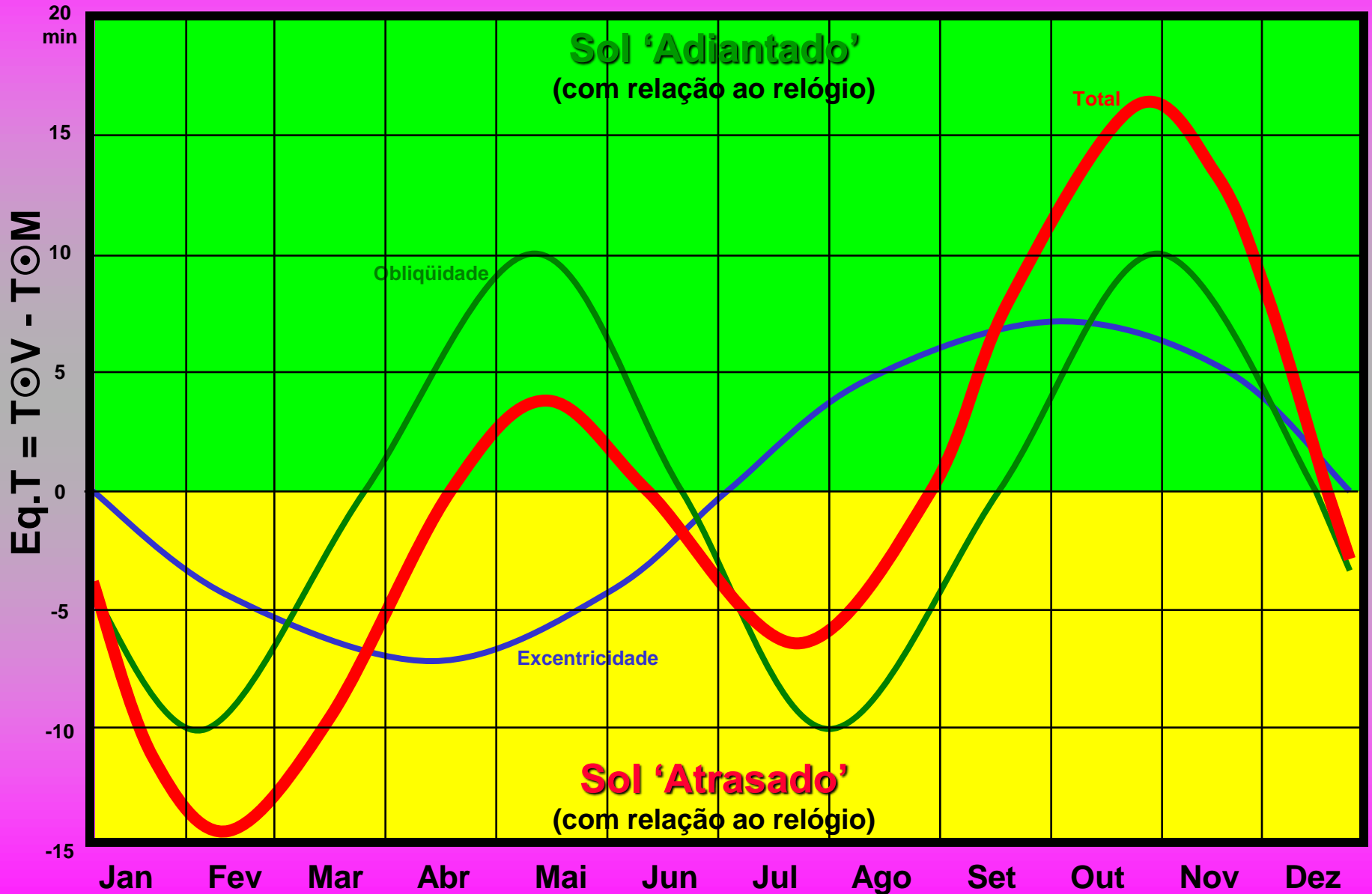
# Influência da obliquidade $\epsilon$



# Influência da obliquidade na Eq.T



# Influência total na Eq.T



**Qual o período de  
rotação da Terra ?**



# Raios quase paralelos

Estrela muito distante

Estrela distante

Estrela próxima

Estrela muuuuito distante!



Estrela distante

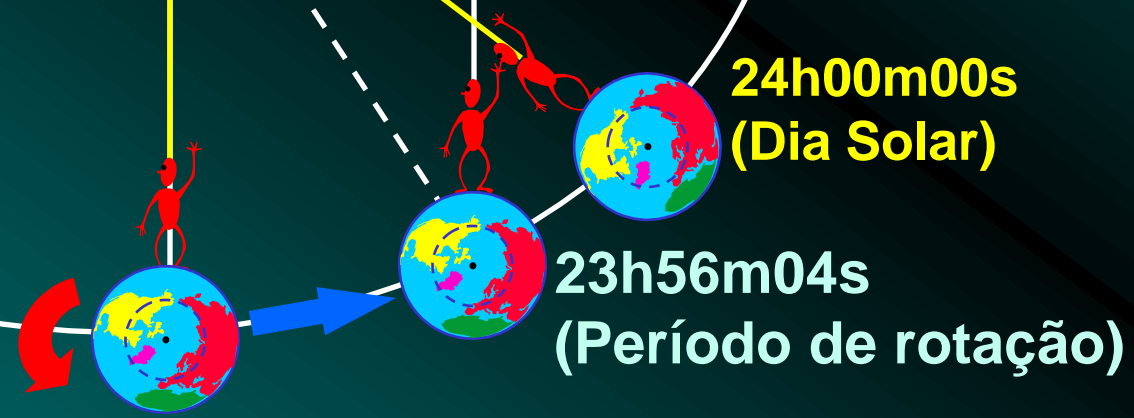


# Dia Solar

e

# Rotação da Terra

Dia solar é a consequência da rotação e da translação da Terra

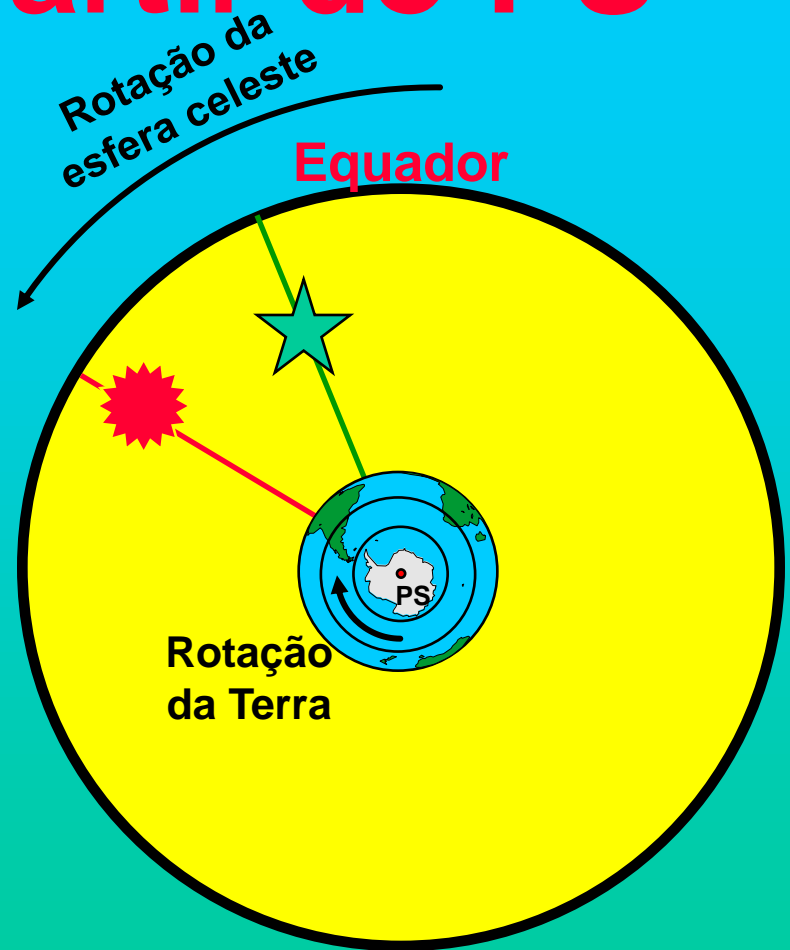
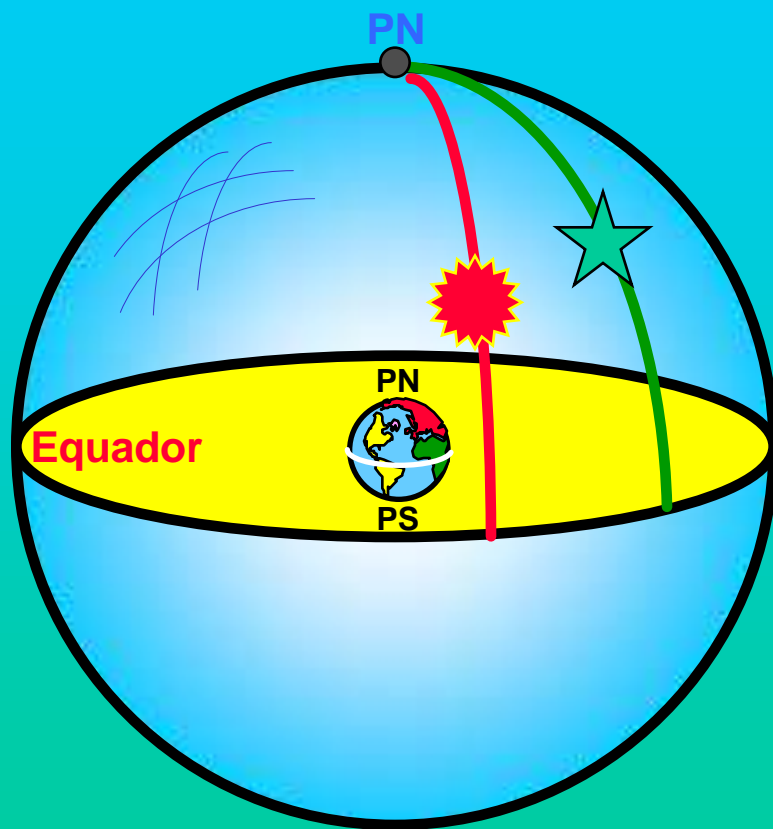


24h00m00s  
(Dia Solar)

23h56m04s  
(Período de rotação)

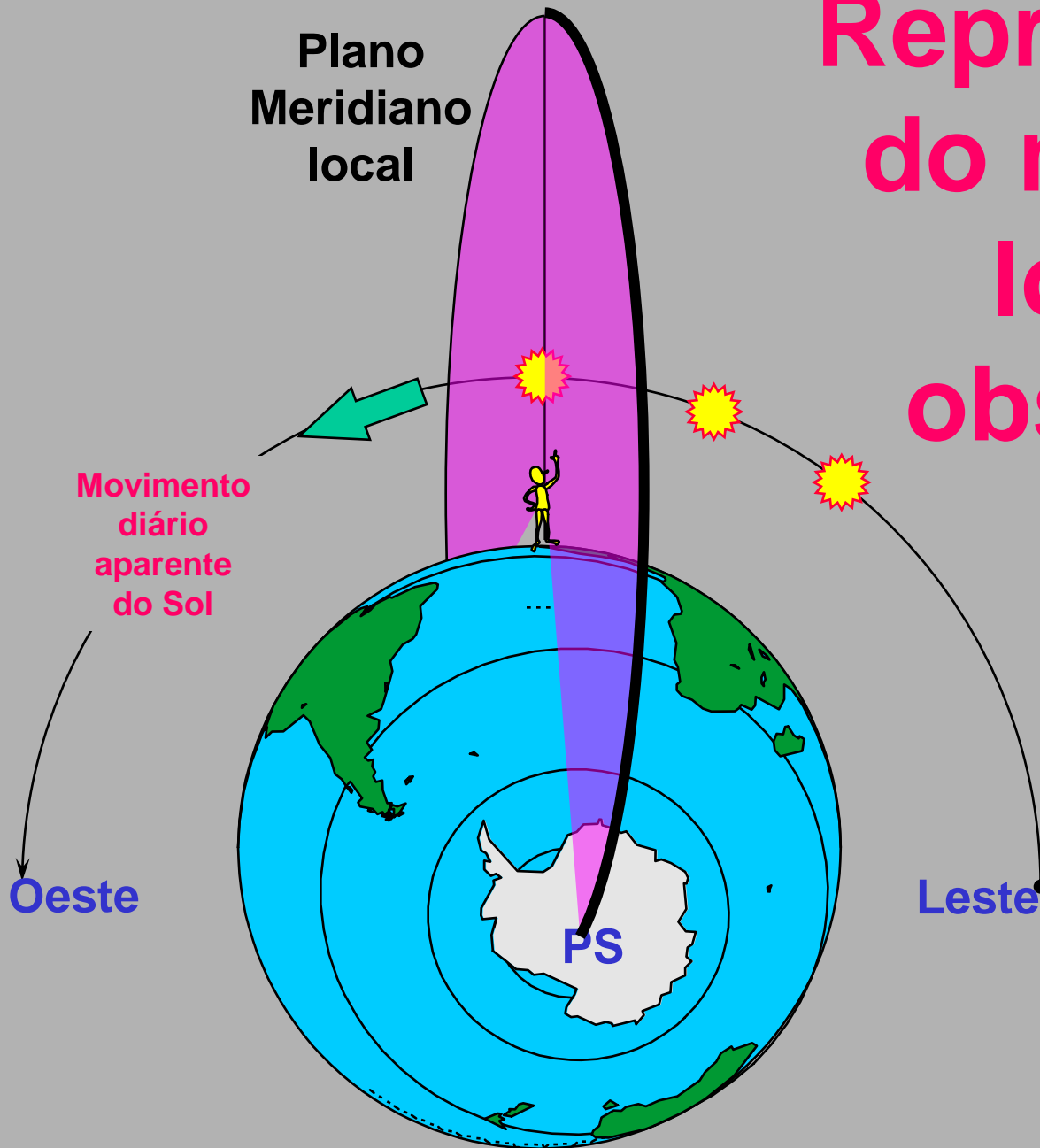
# **Representação convencional**

# Projeção no plano do equador a partir do PS

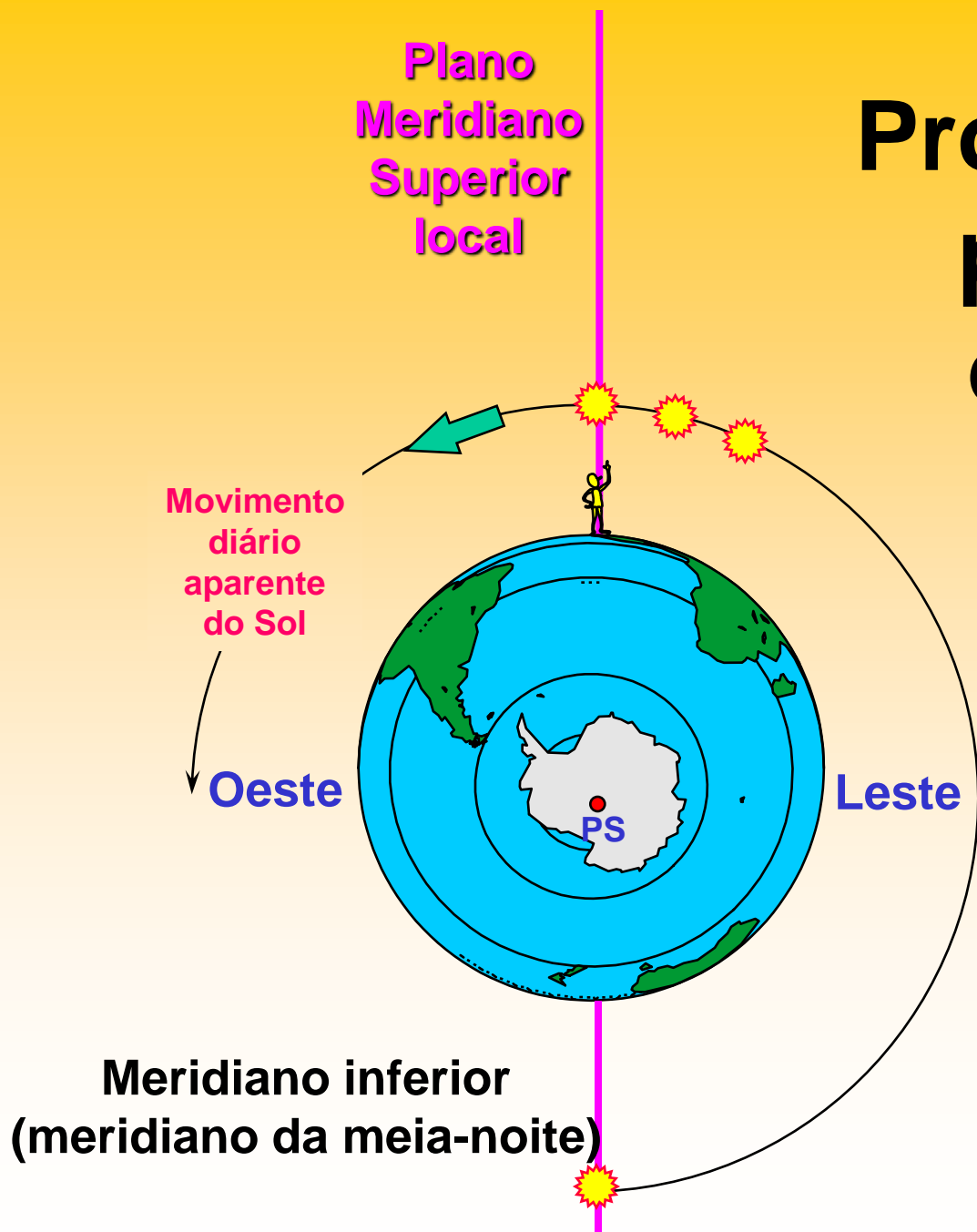


↑  
Visão a partir da  
direção do Pólo Sul

# Representação do meridiano local do observador

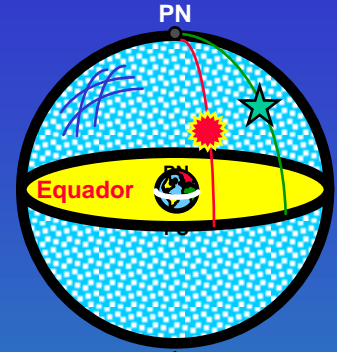
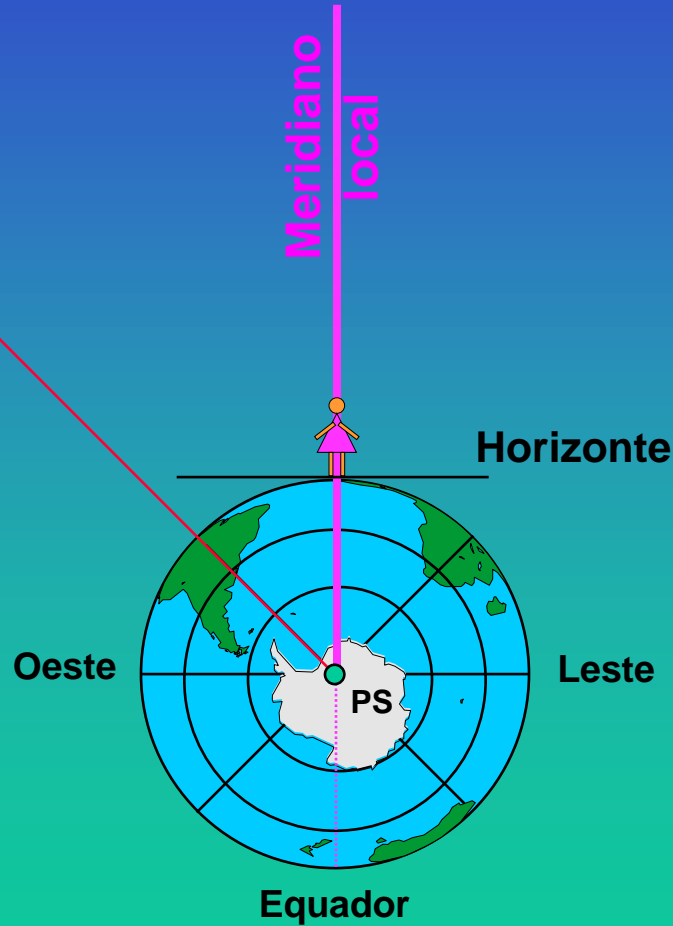


# Projeções no plano do equador



# Representação do observador

Movimento diurno aparente do Sol



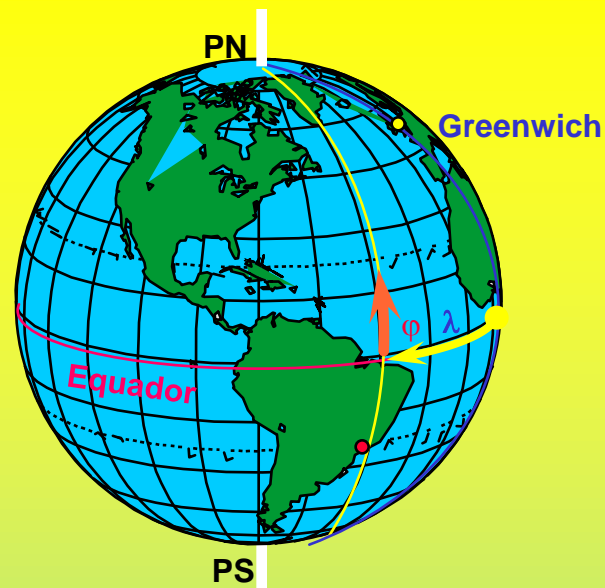
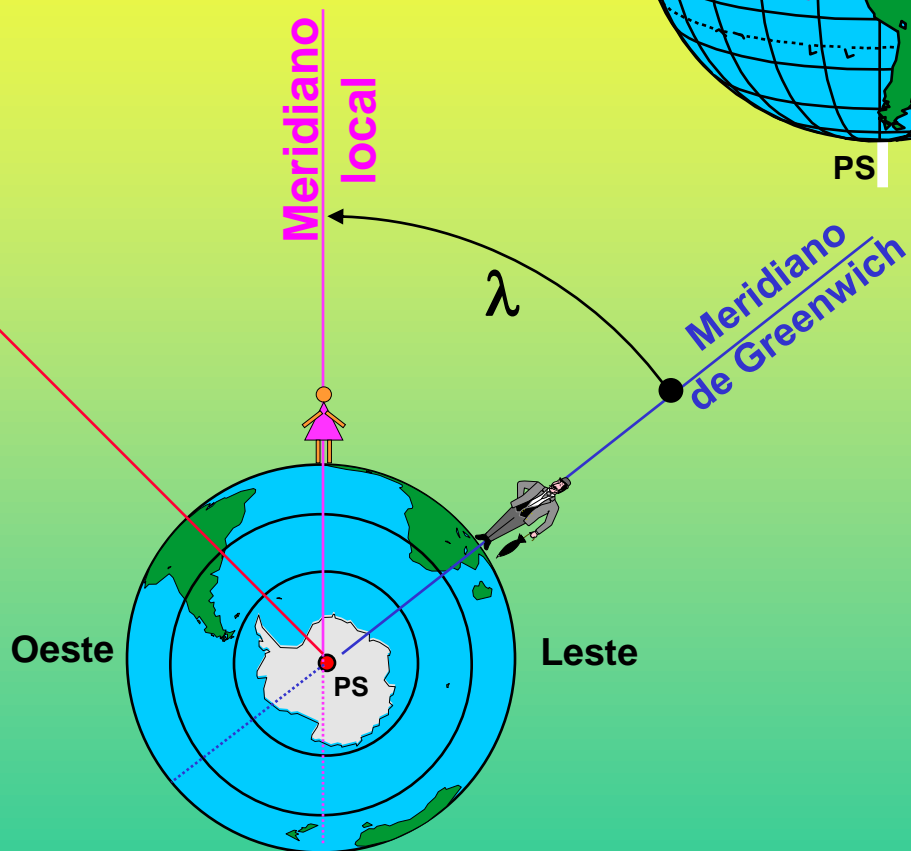
↑  
Visão a partir da direção do Pólo Sul

# Representação com Greenwich

Movimento diurno aparente do Sol



$\lambda$  = Longitude geográfica do local





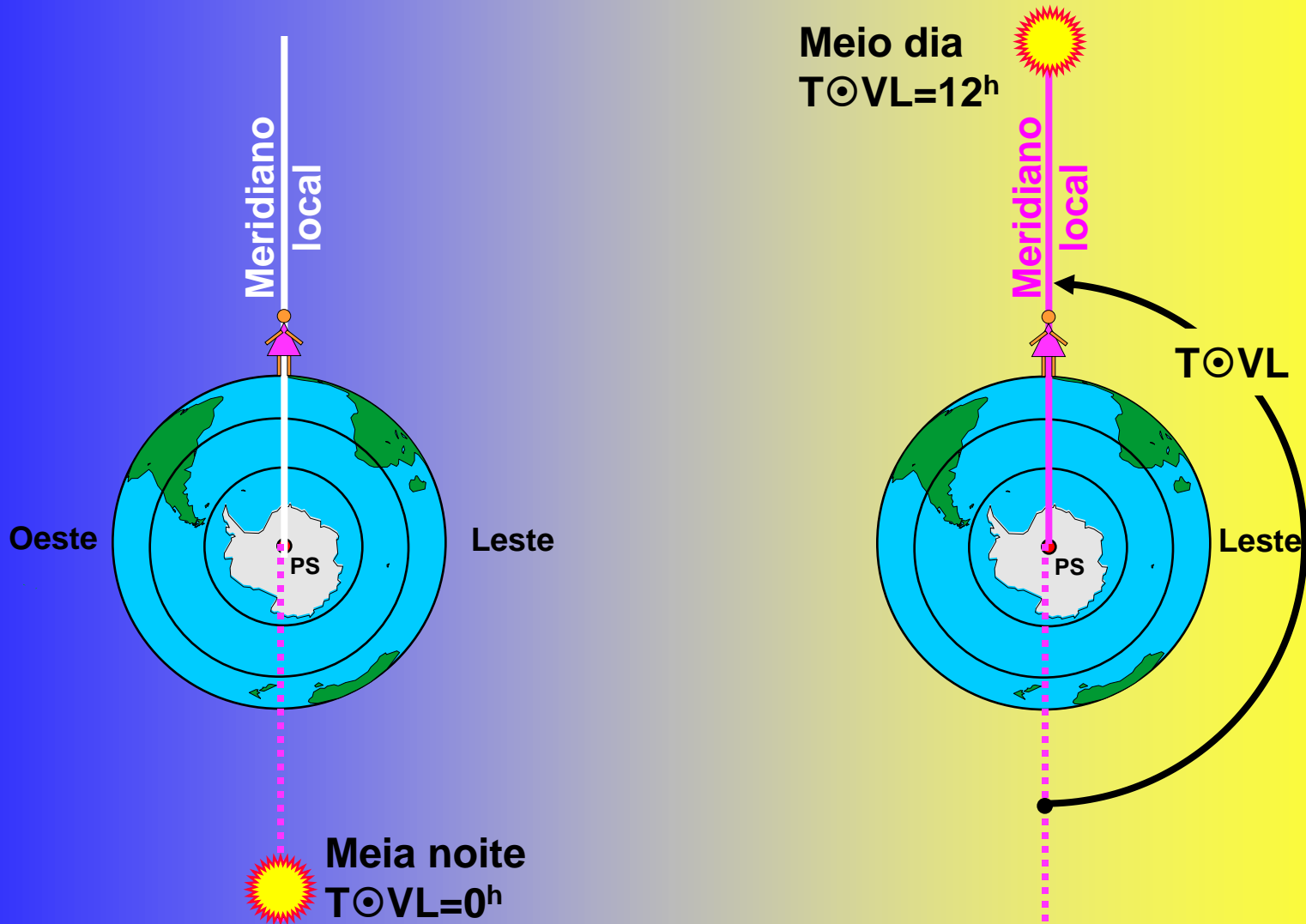
# Tempo Solar Verdadeiro

Sol



**T $\odot$ VL: significa Tempo  
Solar Verdadeiro Local**

# Meio dia e meia noite Verdadeiros Locais



# Tempo Solar Verdadeiro Local

Movimento diurno aparente do Sol



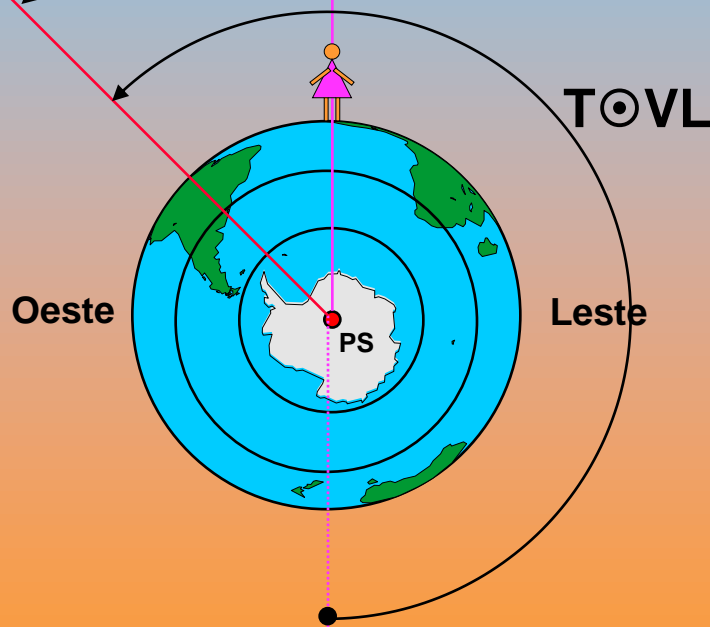
$H\odot V$  (ângulo horário)

$T\odot VL - 12^h$

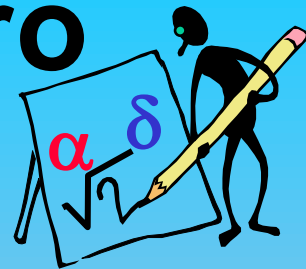
Meridiano local

$$T\odot VL - 12^h = H\odot V$$

$$T\odot VL = H\odot V + 12^h$$



# Tempo Solar Verdadeiro Local



Movimento diurno aparente do Sol



$H_{\odot V}$

$T_{\odot VL} - 12^h$

O Sol foi observado com ângulo horário de  $45^{\circ}30'15''$  num dado local. Qual o tempo solar verdadeiro local nesse instante?

$$T_{\odot VL} = H_{\odot V} + 12^h$$

$$H_{\odot V} = 45^{\circ}30'15''$$

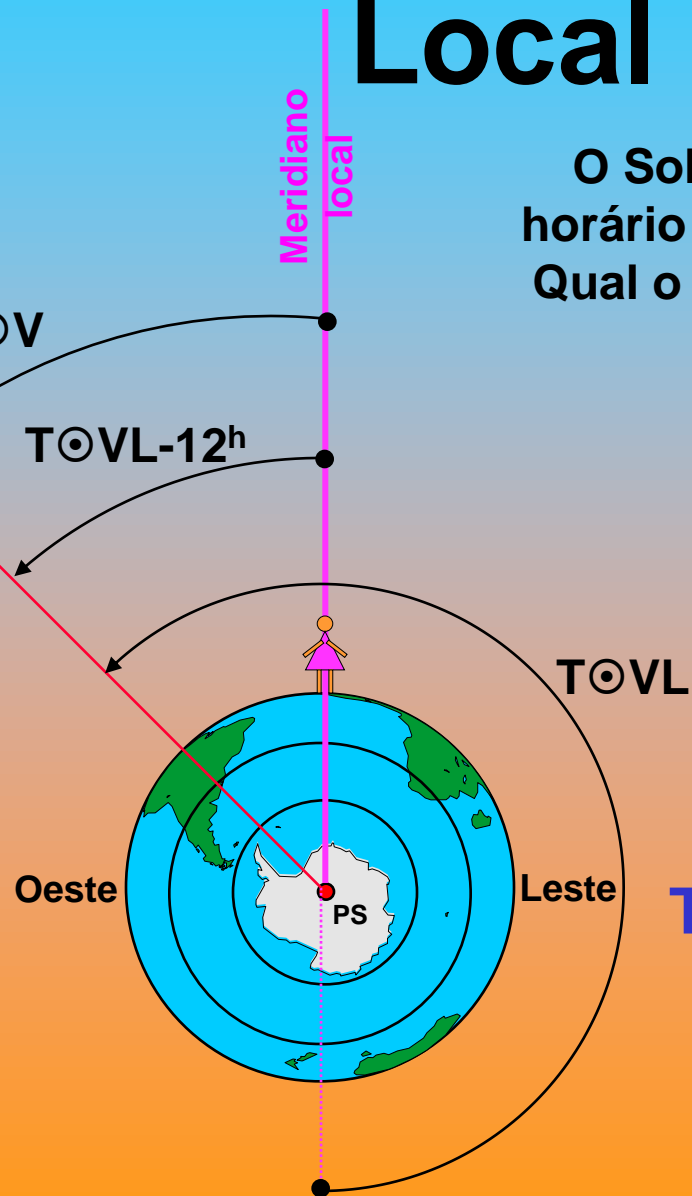
$$H_{\odot V} = 45,50416666...^{\circ}$$

$$H_{\odot V} = 3,03316666...^h$$

$$H_{\odot V} = 03^h02^m01^s$$

$$T_{\odot VL} = 03^h02^m01^s + 12^h$$

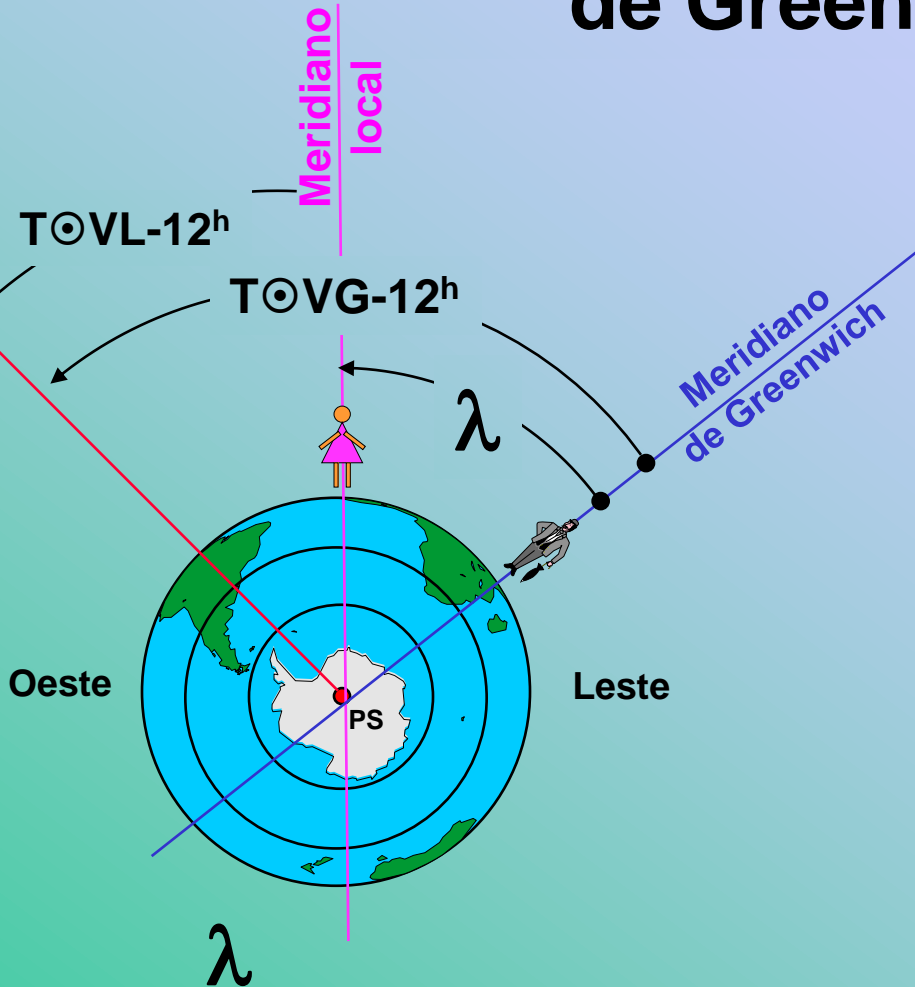
$$T_{\odot VL} = 15^h02^m01^s$$



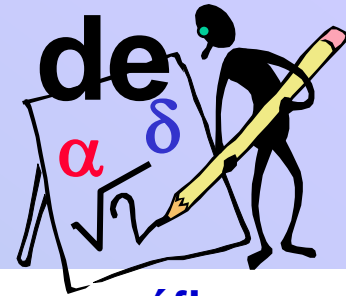
# Tempo Solar Verdadeiro de Greenwich

$\lambda$  : positivo ao oeste de Greenwich

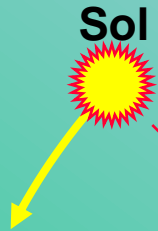
Movimento diurno aparente do Sol



# Tempo Solar Verdadeiro de Greenwich



Movimento diurno aparente do Sol



$T_{\odot VG} - 12^h$

$T_{\odot VL} - 12^h$

Meridiano local

Meridiano de Greenwich

$\lambda$

Oeste

Leste

PS

$\lambda$

Num local de longitude geográfica  $03^h04^m05^s$ , a oeste de Greenwich, o tempo solar verdadeiro local era de  $15^h02^m01^s$ . Qual o tempo solar verdadeiro em Greenwich nesse instante?

$$\lambda = 03^h04^m05^s$$

$$T_{\odot VL} = 15^h02^m01^s$$

$$(T_{\odot VG} - 12^h) = (T_{\odot VL} - 12^h) + \lambda$$

$$T_{\odot VG} = T_{\odot VL} + \lambda$$

$$T_{\odot VG} = 15^h02^m01^s + 03^h04^m05^s$$

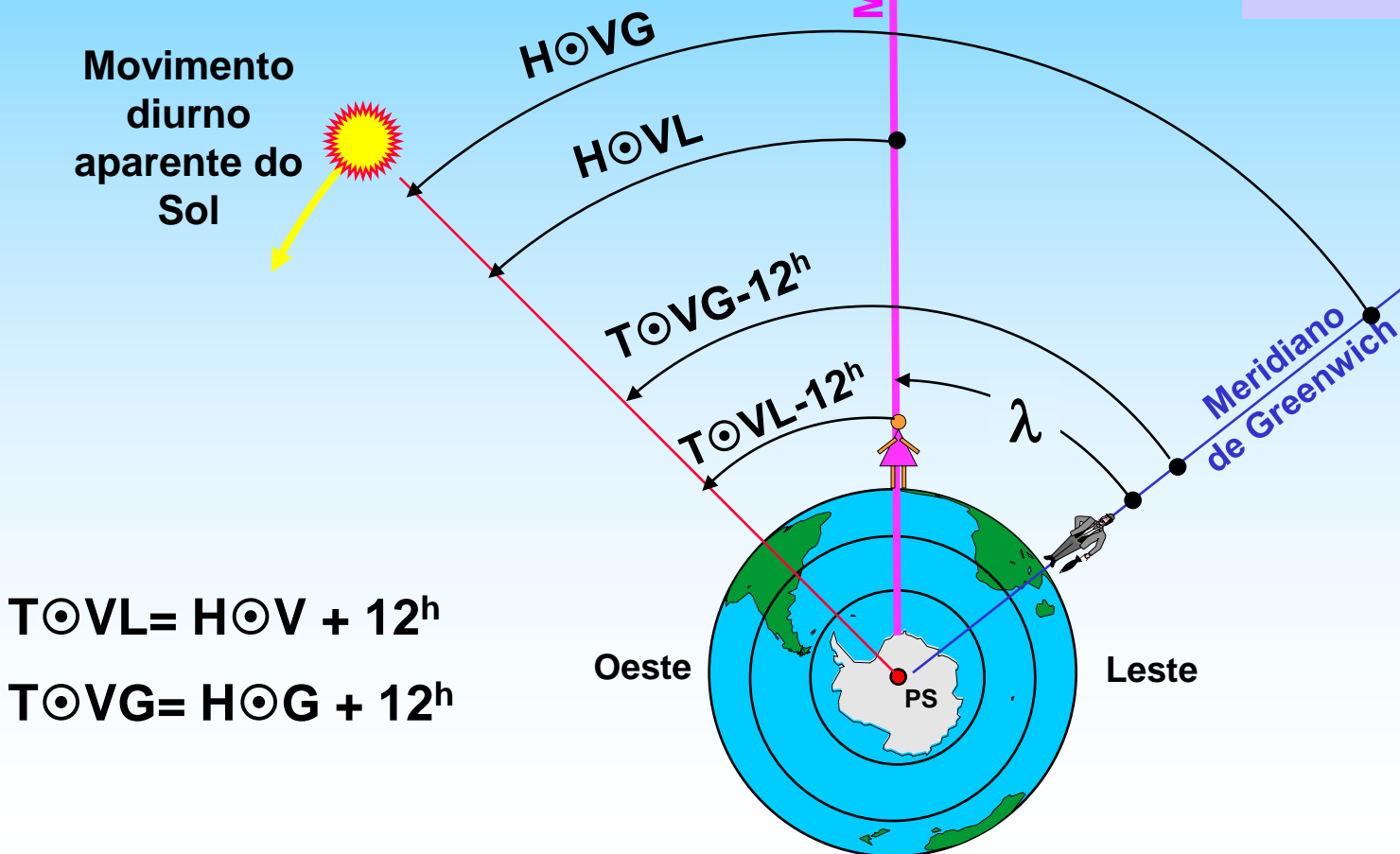
$$T_{\odot VG} = 18^h06^m06^s$$

# Obtenção da Longitude Geográfica $\lambda$

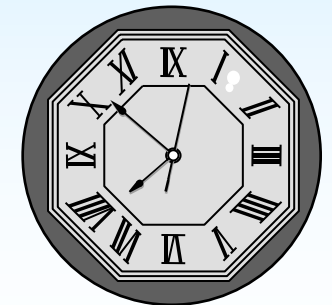
$$\lambda = H\odot VG - H\odot VL$$

$$\lambda = T\odot VG - T\odot VL$$

Movimento diurno aparente do Sol



**Primeiro relógio confiável para uso marítimo apareceu em 1728 com John Harrison**



$$T\odot VL = H\odot V + 12^h$$

$$T\odot VG = H\odot G + 12^h$$



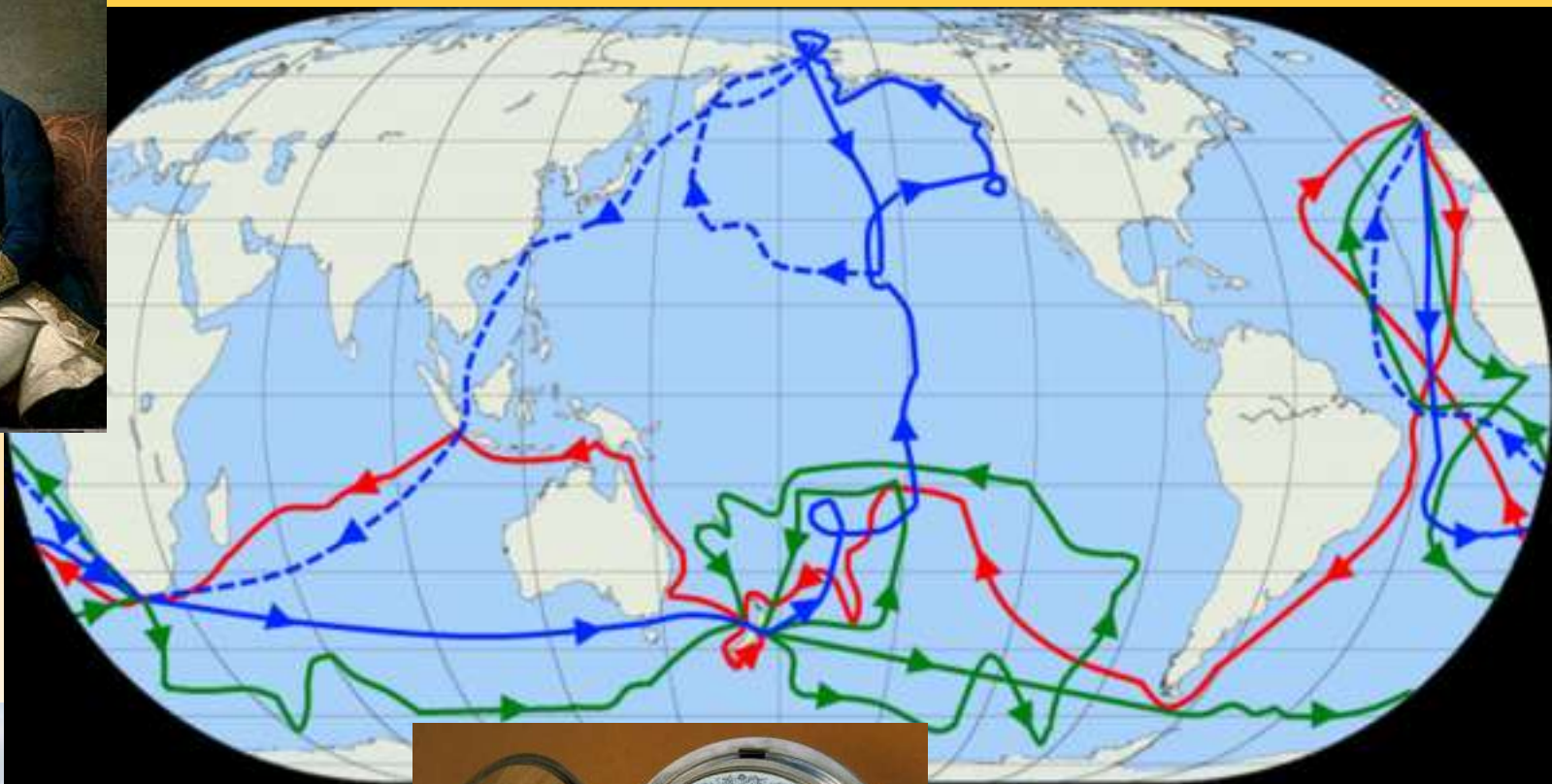
# The routes of Captain James Cook's voyages

1768–71, 1772–75, 1776–79



7 Nov 1728 –  
14 Feb 1779

British  
explorer,  
navigator &  
cartographer



Em 1769 Larcum Kendall  
termina uma cópia do H4  
de Harrison, ficando esta  
conhecida por K1.  
Foi utilizado por J. Cook

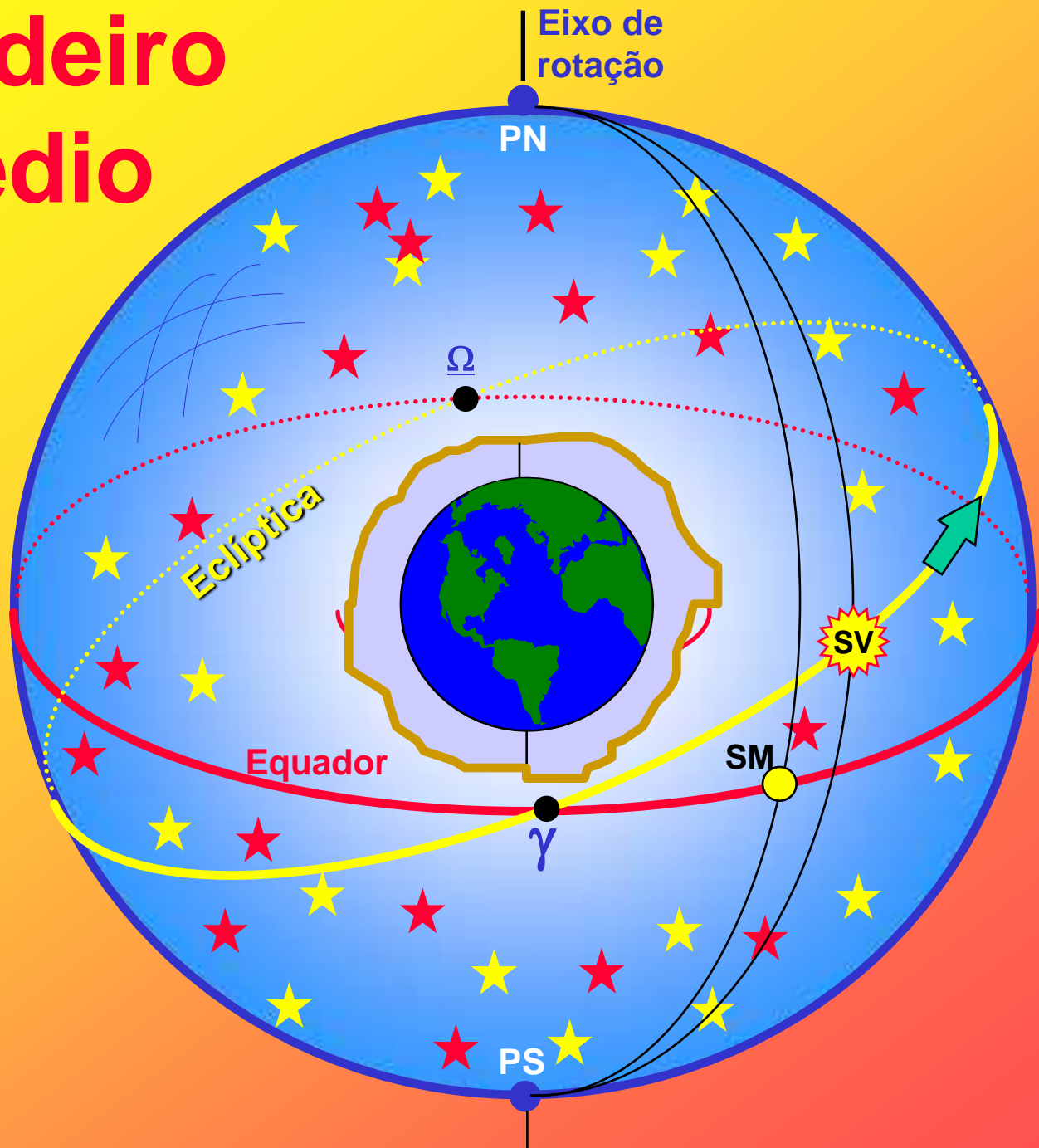


# **Tempo Solar Médico**

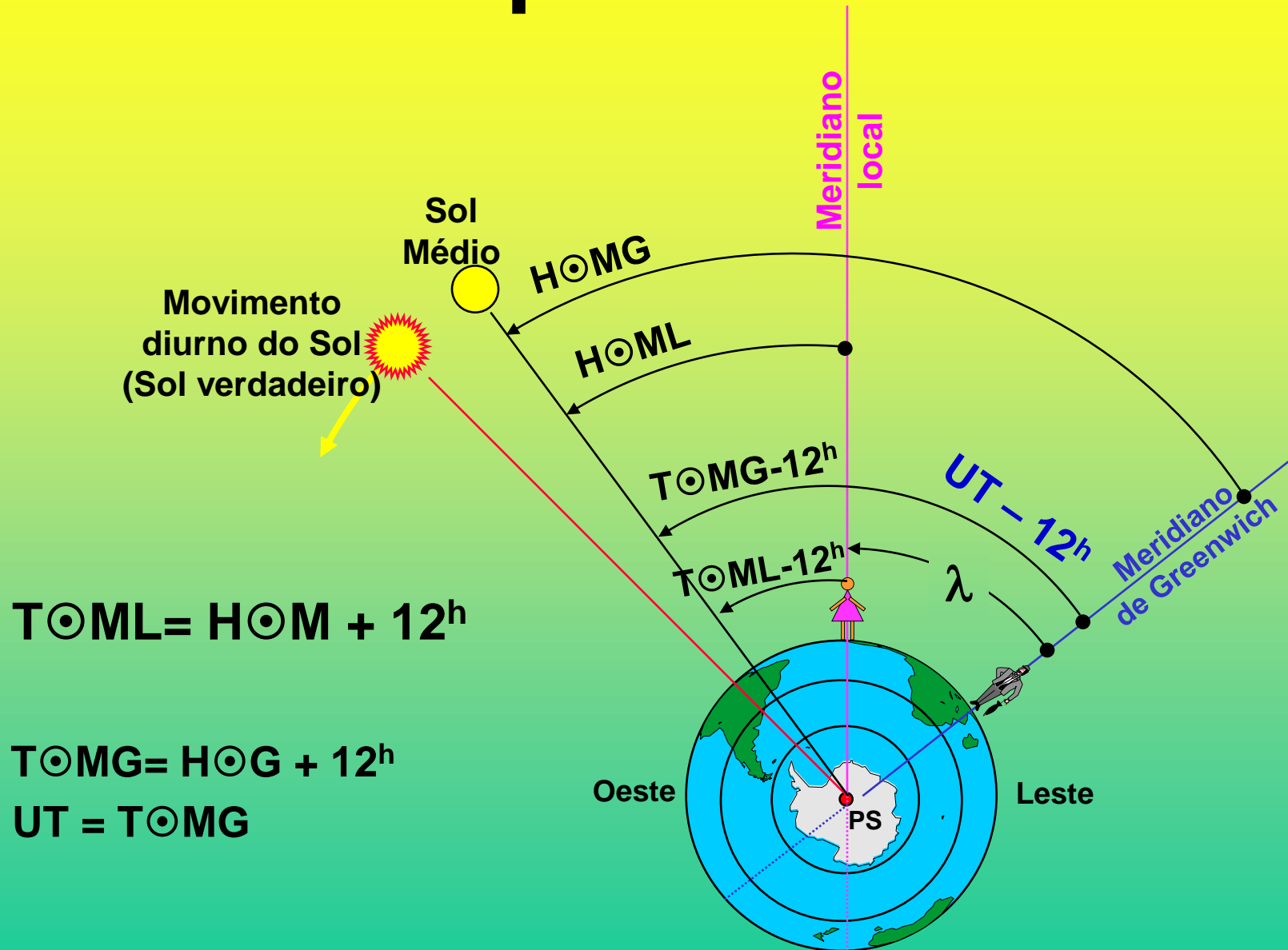
# Sol Verdadeiro e Sol Médio

**Sol Verdadeiro:**  
Movimento elíptico  
pela eclíptica

**Sol Médio:**  
Ponto fictício que se  
desloca sobre o  
equador com  
movimento circular  
uniforme

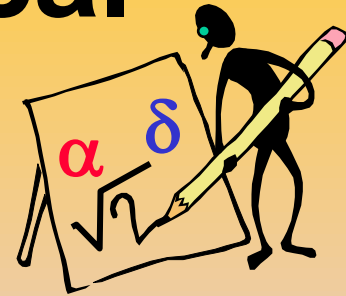


# Tempo Solar Médio



Num local de longitude geográfica  $03^{\text{h}}04^{\text{m}}05^{\text{s}}$ , a oeste de Greenwich, o tempo solar verdadeiro local era de  $15^{\text{h}}02^{\text{m}}01^{\text{s}}$ . Qual o tempo solar médio local nesse instante se a Equação do Tempo for de  $-10^{\text{m}}20^{\text{s}}$ ?

# Tempo solar médio local



Movimento diurno aparente do Sol

Sol Médio

Eq.T

$T_{\odot VL} = 15^{\text{h}}02^{\text{m}}01^{\text{s}}$

$Eq.T = -10^{\text{m}}20^{\text{s}}$

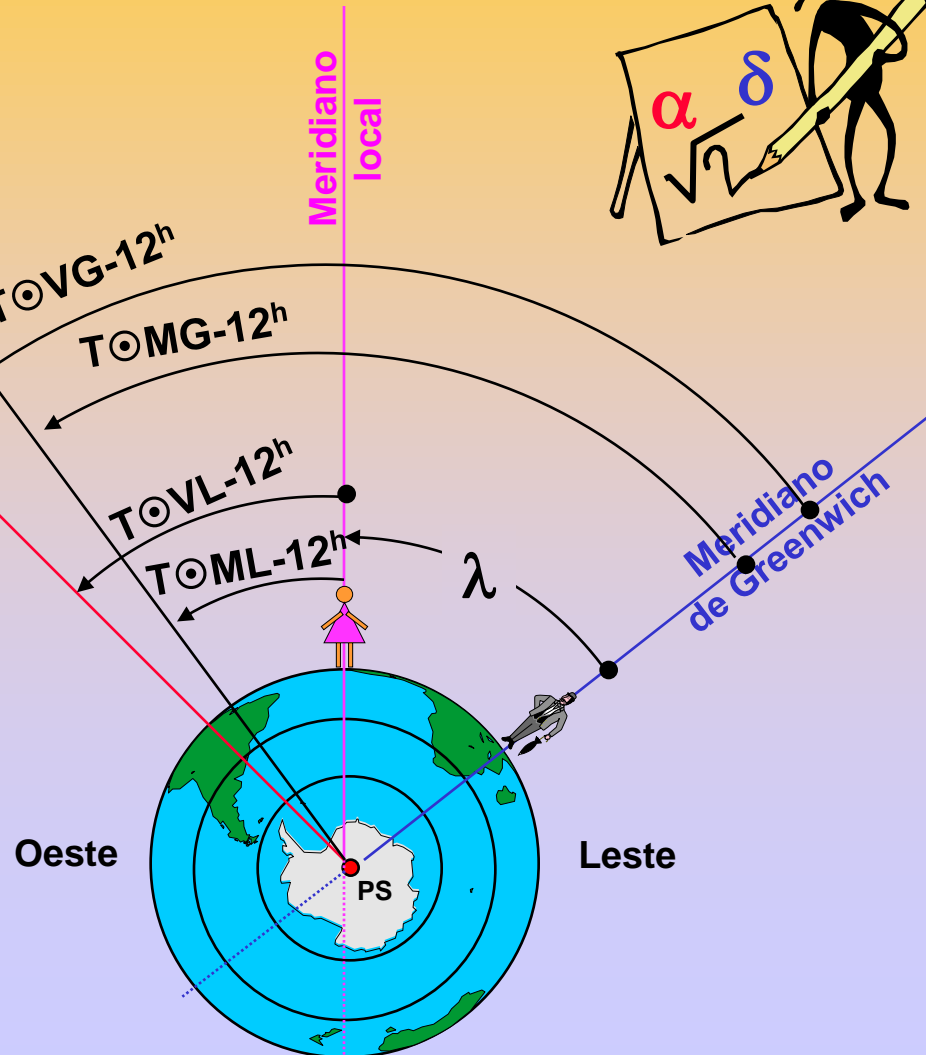
$$(T_{\odot VL} - 12^{\text{h}}) = (T_{\odot ML} - 12^{\text{h}}) + Eq.T$$

$$T_{\odot ML} = T_{\odot VL} - Eq.T$$

$$T_{\odot ML} = 15^{\text{h}}02^{\text{m}}01^{\text{s}} - (-10^{\text{m}}20^{\text{s}})$$

$$T_{\odot ML} = 15^{\text{h}}02^{\text{m}}01^{\text{s}} + 10^{\text{m}}20^{\text{s}}$$

$$T_{\odot ML} = 15^{\text{h}}12^{\text{m}}21^{\text{s}}$$



Num local de longitude geográfica  $03^{\text{h}}04^{\text{m}}05^{\text{s}}$ , a oeste de Greenwich, o tempo solar médio local era de  $15^{\text{h}}12^{\text{m}}21^{\text{s}}$ . Qual o tempo solar médio em Greenwich?

# Tempo solar médio de Greenwich

$$T_{\odot ML} = 15^{\text{h}}12^{\text{m}}21^{\text{s}}$$

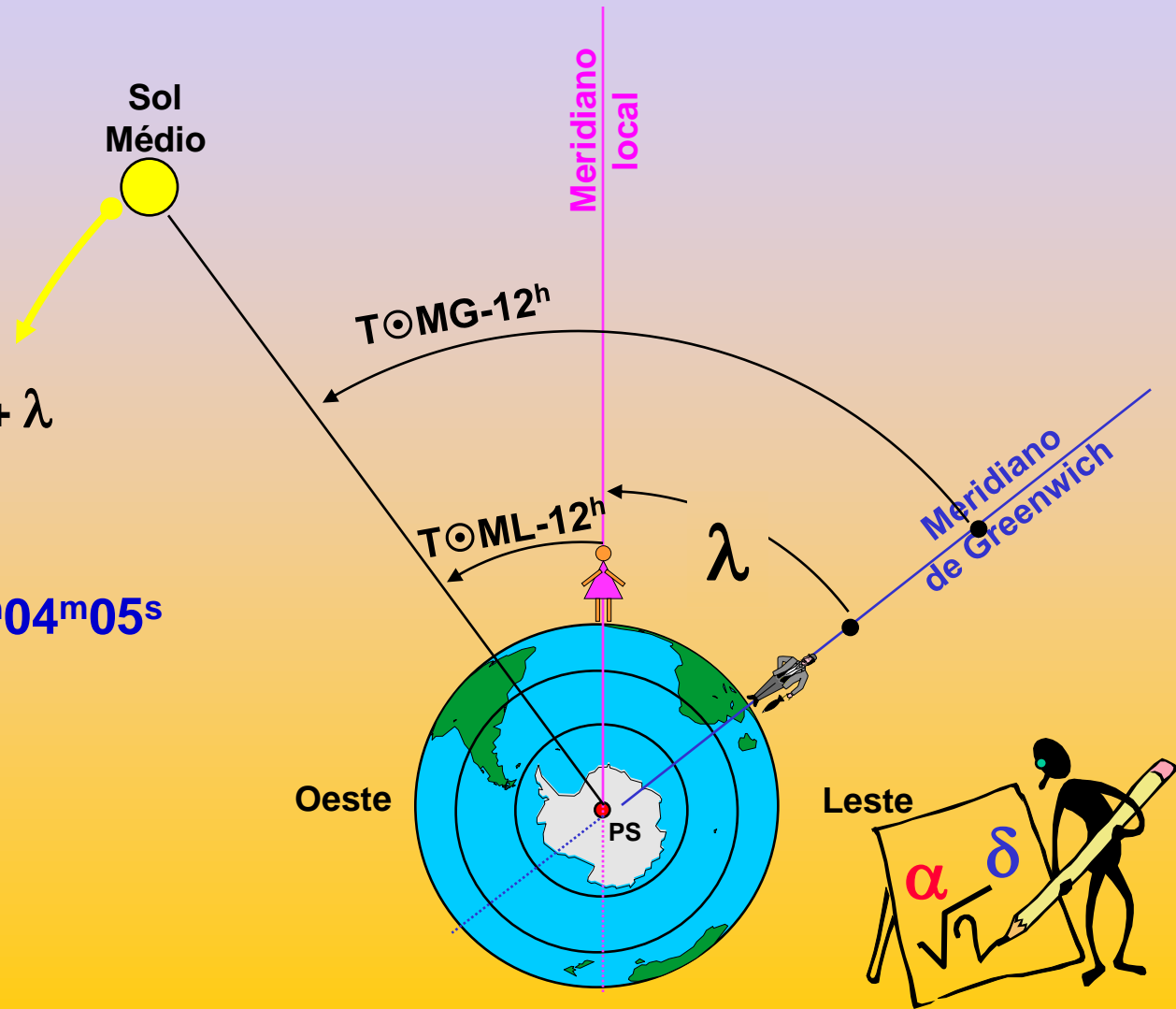
$$\lambda = 03^{\text{h}}04^{\text{m}}05^{\text{s}}$$

$$(T_{\odot MG} - 12^{\text{h}}) = (T_{\odot ML} - 12^{\text{h}}) + \lambda$$

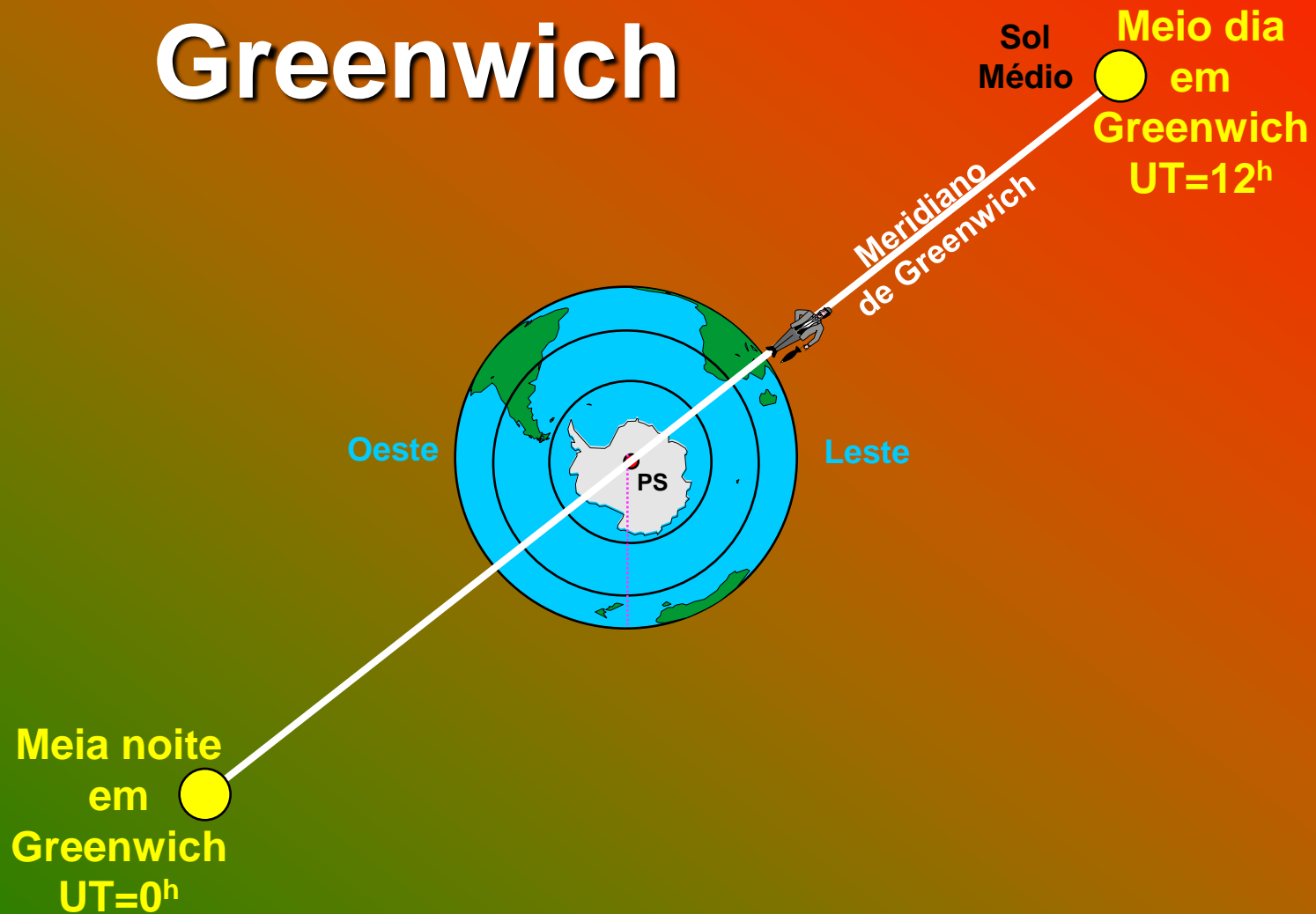
$$T_{\odot MG} = T_{\odot ML} + \lambda$$

$$T_{\odot MG} = 15^{\text{h}}12^{\text{m}}21^{\text{s}} + 03^{\text{h}}04^{\text{m}}05^{\text{s}}$$

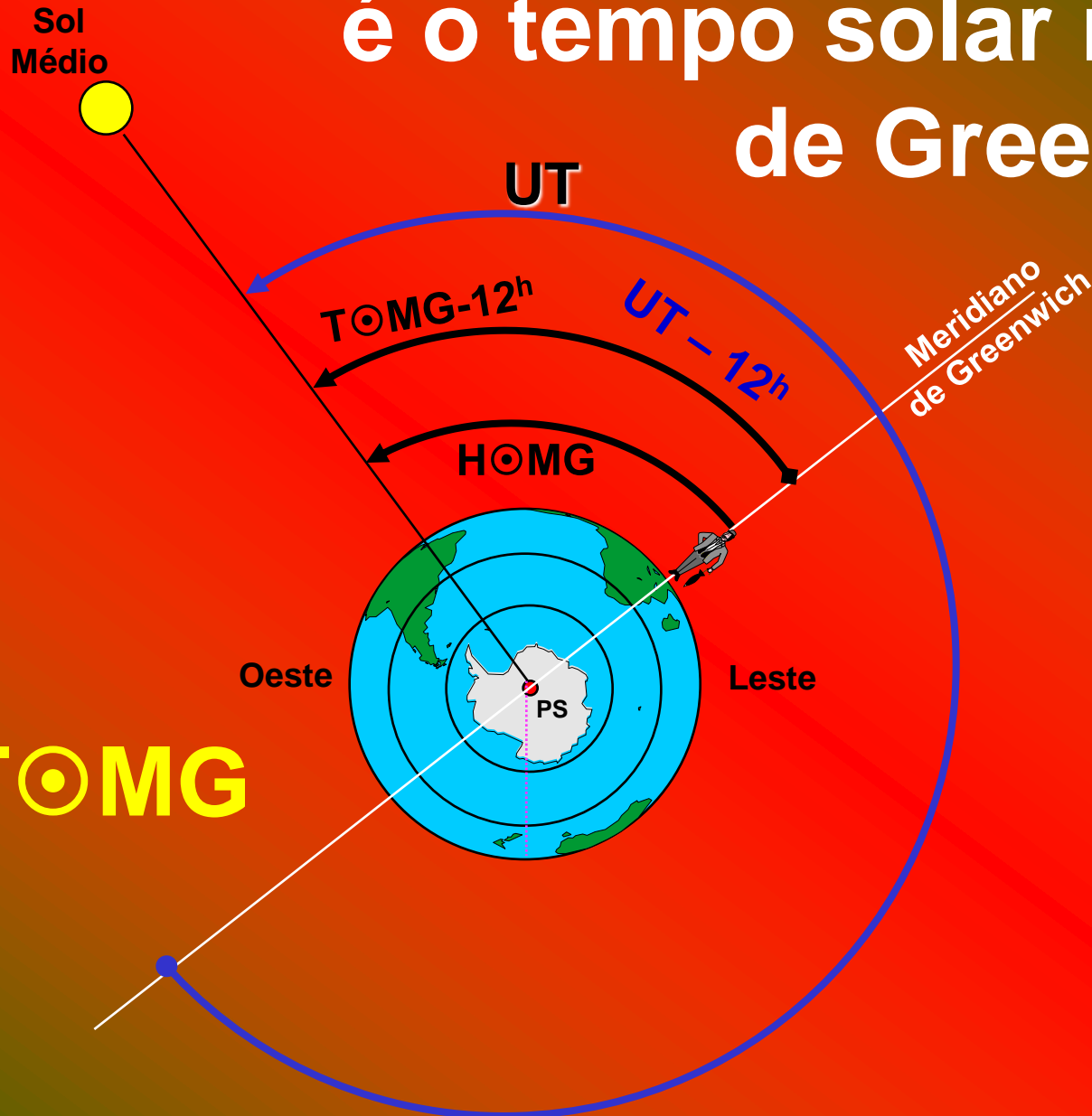
$$T_{\odot MG} = 18^{\text{h}}16^{\text{m}}26^{\text{s}}$$



# Meio dia e meia noite médios em Greenwich

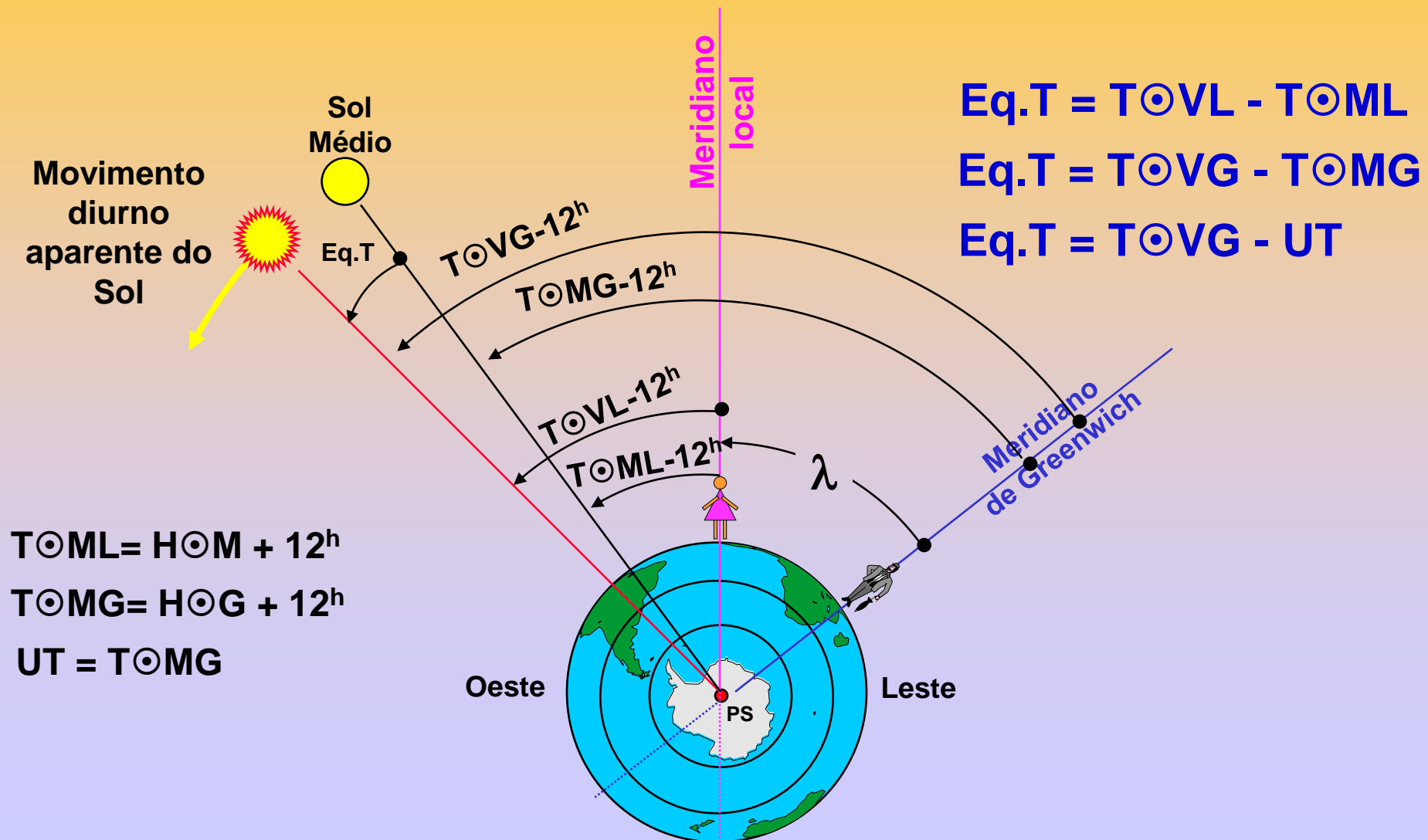


# Tempo Universal (UT) é o tempo solar médio de Greenwich



$$UT = T \odot MG$$

# Equação do tempo: diferença entre o T $\odot$ V e o T $\odot$ M





# Equação aproximada da Eq.T

(precisão de 0,1<sup>min</sup> entre 1950 e 2050)

$$DJ2000 = 2\,451\,545,0$$

$$n = DJ - DJ2000 \quad (\text{Número de dias desde o meio-dia de 01/jan/2000})$$

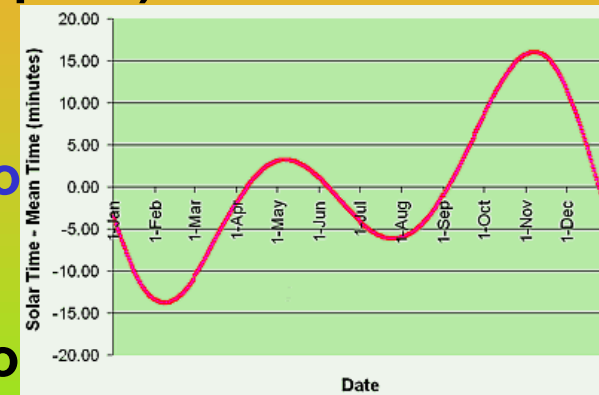
$$\varepsilon \cong 23,439^\circ - 0,000\,000\,4\,n \quad (\text{Obliquidade da eclíptica})$$

$$L \cong 280,461^\circ + 0,985\,6474\,n \quad (\text{Longitude média})$$

$$0 \leq L < 360 \quad (\text{Imposição})$$

$$g \cong 357,528^\circ + 0,985\,6003\,n \quad (\text{Anomalia média})$$

$$0 \leq g < 360 \quad (\text{Imposição})$$



$$\ell^0 = L^0 + 1,915^\circ \text{ sen } g + 0,020 \text{ sen } 2g \quad (\text{Longitude eclíptica do Sol})$$

$$f = 180^\circ / \pi$$

$$t = \tan^2 (\varepsilon / 2)$$

$$\alpha_{\text{Sol}} \cong \ell^0 - f \cdot t \cdot \text{sen } 2\ell + (f/2) \cdot t^2 \cdot \text{sen } 4\ell \quad (\text{Ascensão reta do Sol})$$

$$Eq.T^{\text{minutos}} \cong 4 \cdot (L^0 - \alpha^0)$$

# Equação aproximada da Eq.T

(precisão de  $0.8^{\text{min}}$ )

$$M = \frac{2\pi n}{365.242}$$

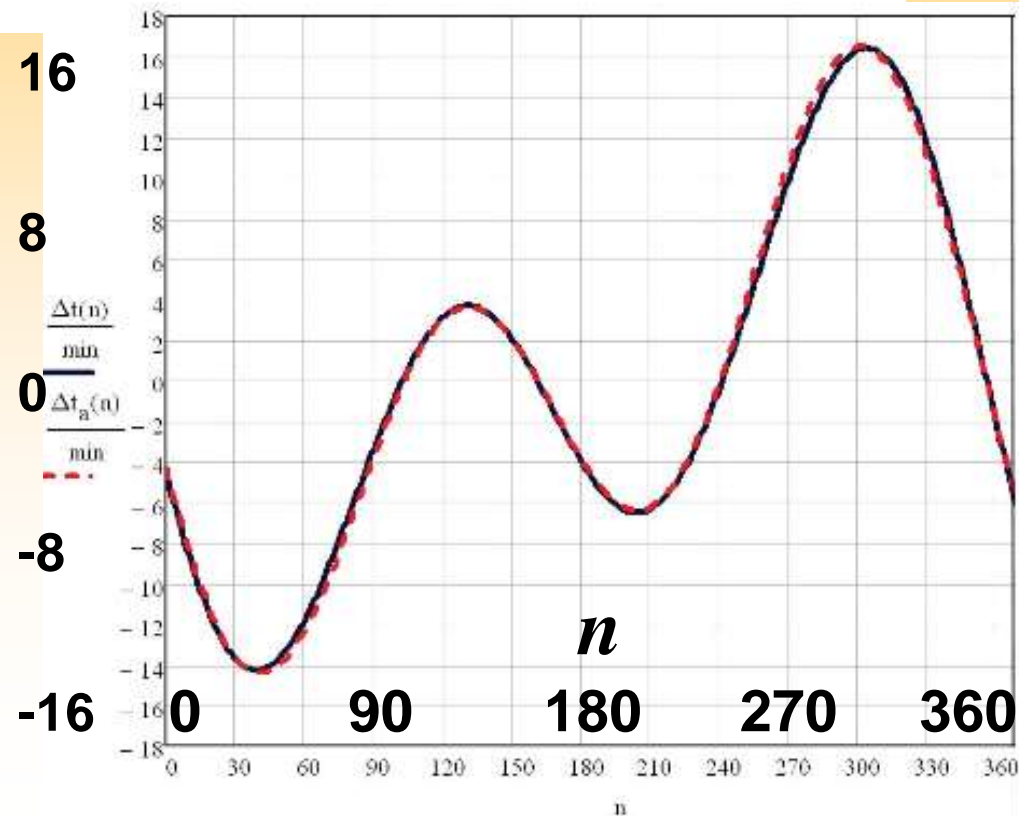
$$0 \leq n \leq 365.242$$

**Eq.T**

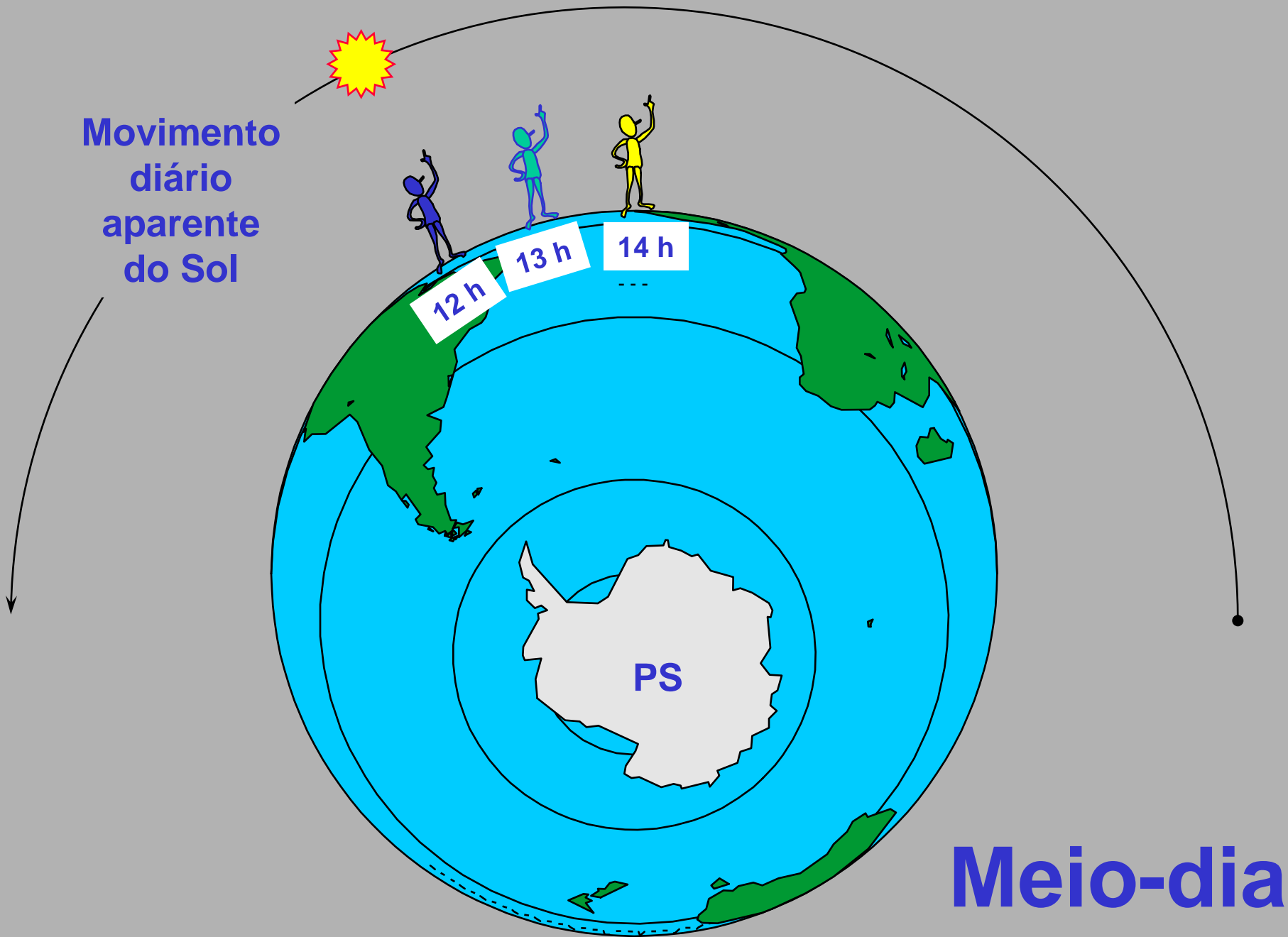
$$= [-7.655 \sin M + 9.873 \sin(2M + 3.588)] \text{min}$$

**Eq.T**

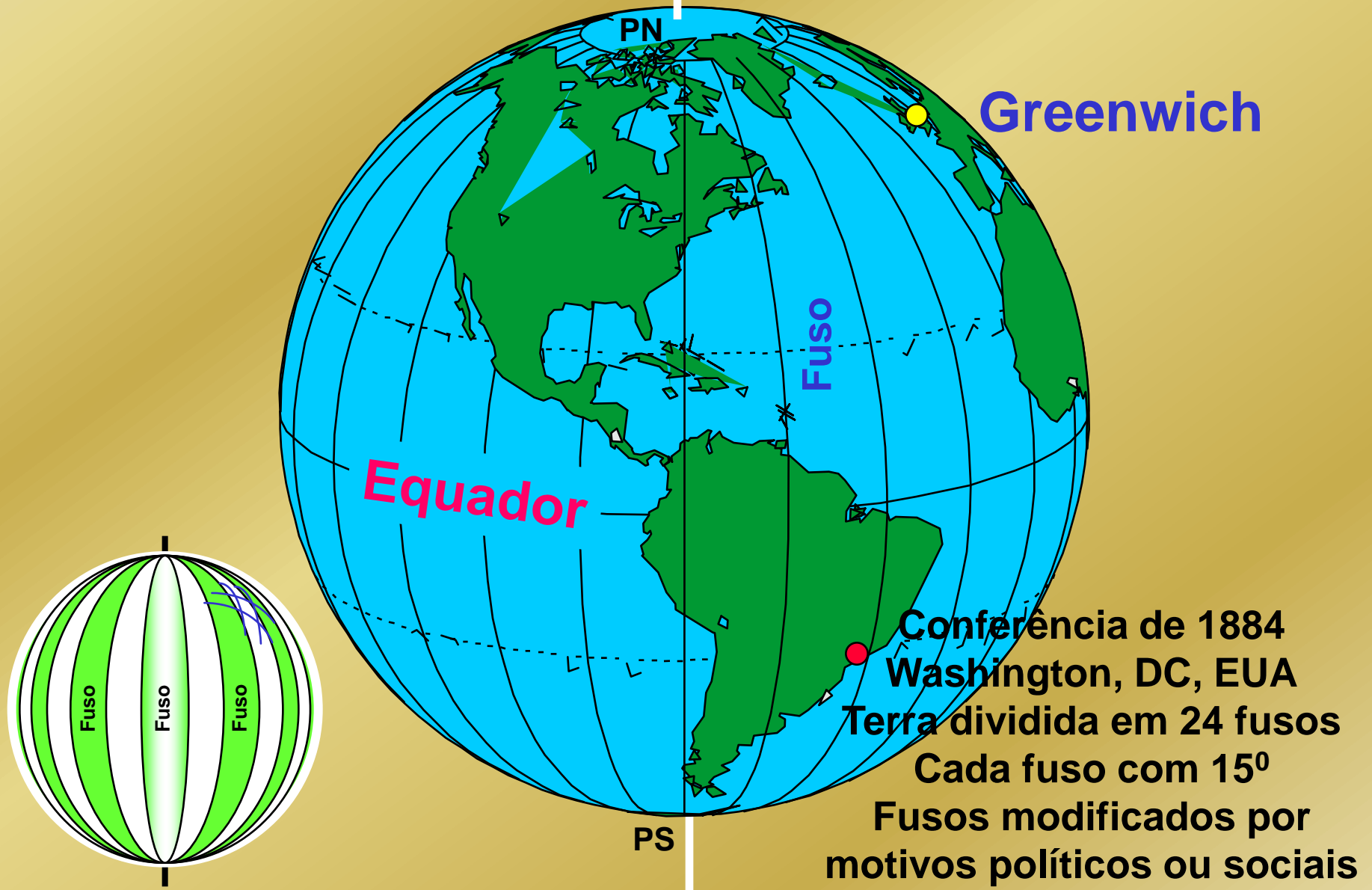
**--- (aprox.)**



# Fusos Horários



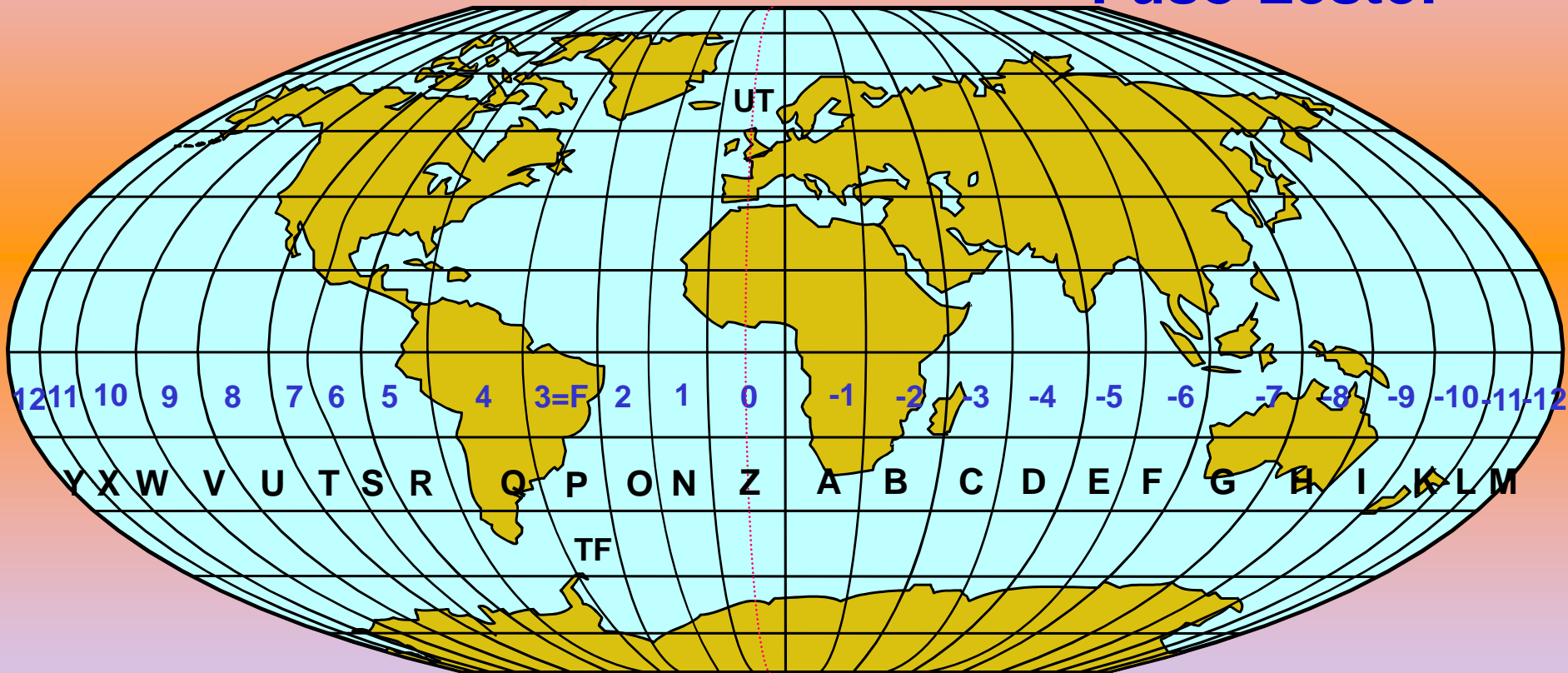
# Fusos Horários



# Planisfério com Fusos Horários

Fuso Oeste : +

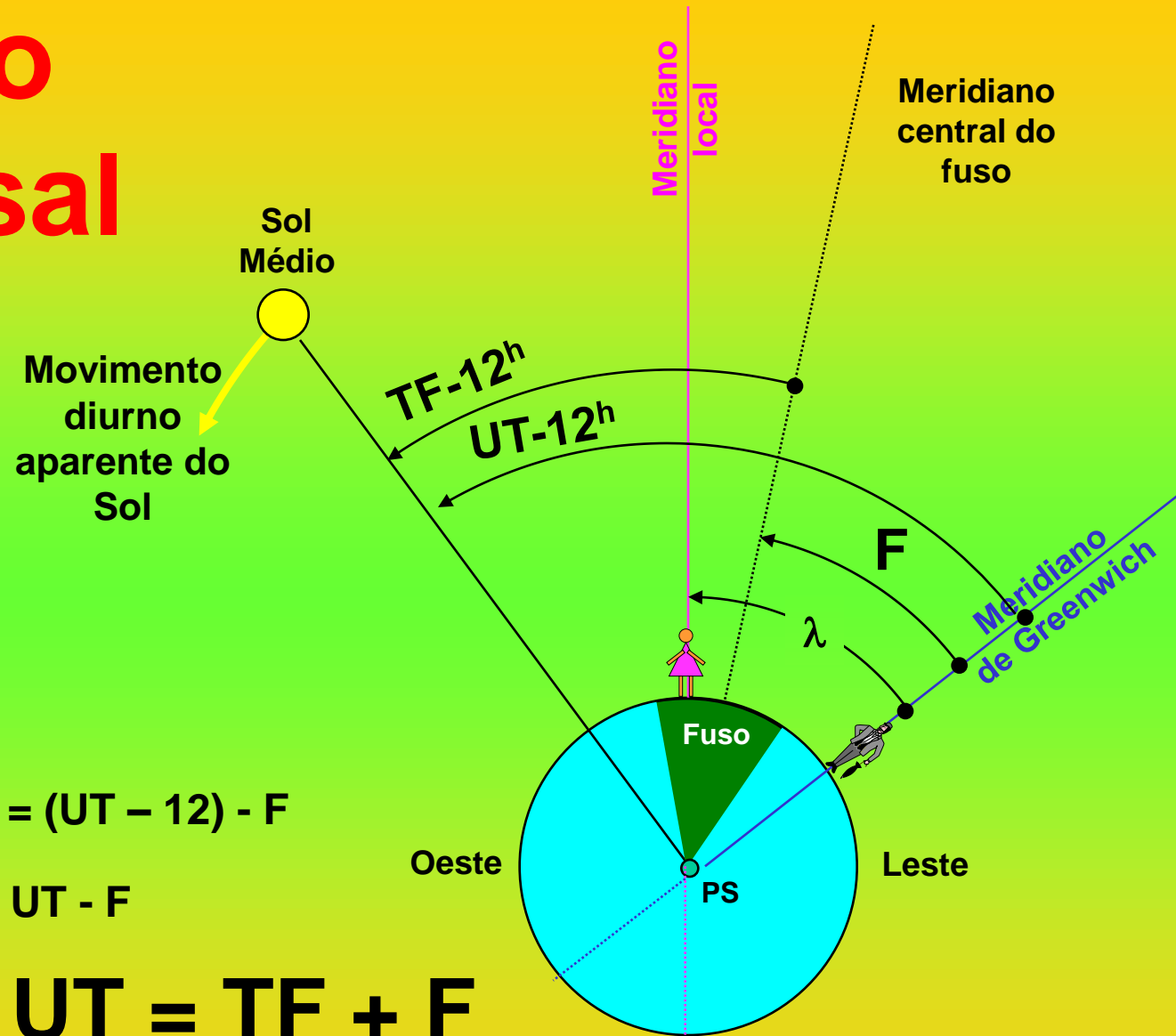
Fuso Leste: -



$$UT = TF + F$$

**UT = Tempo de Fuso + Fuso**

# Tempo Universal



Hello, my good fellow!

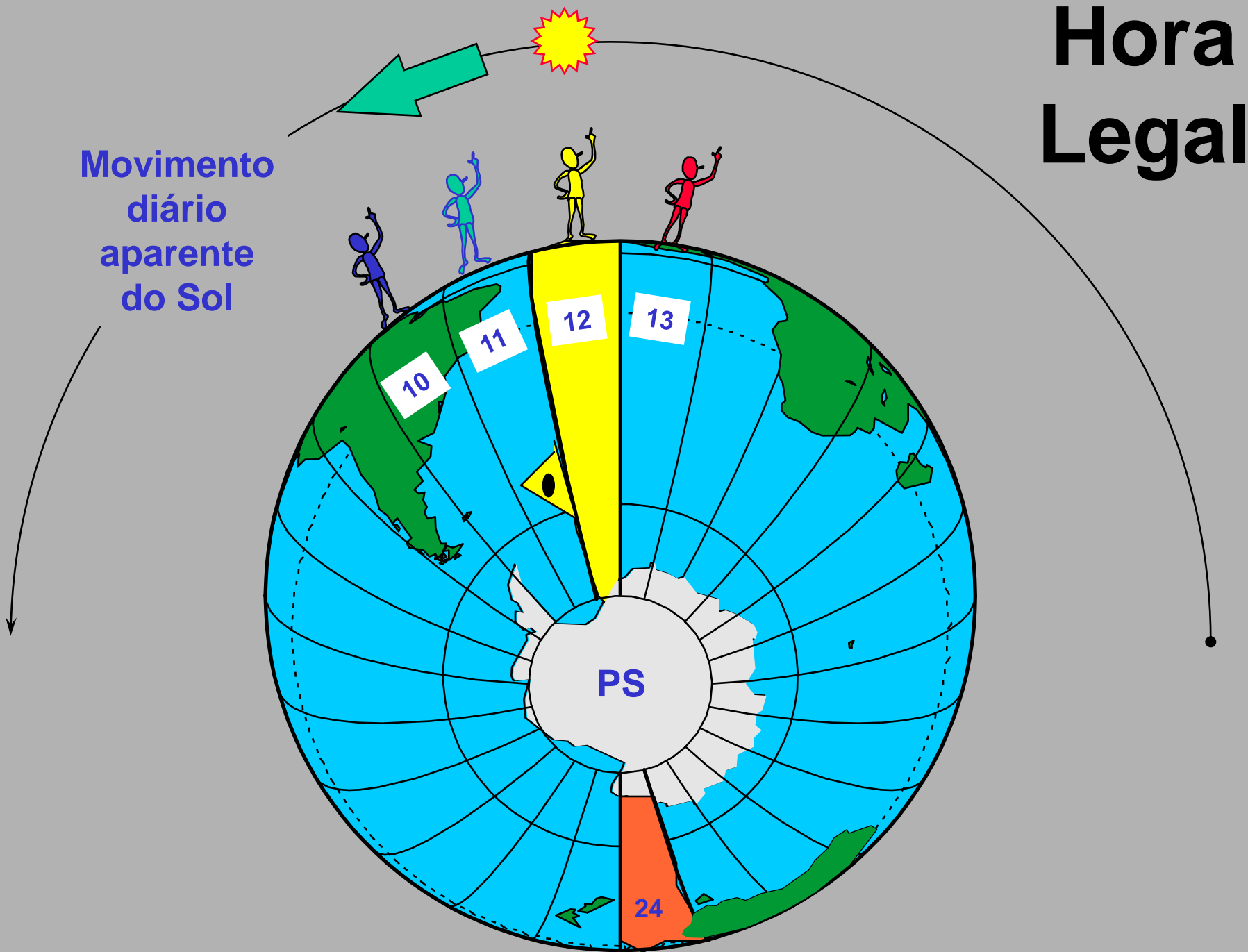


$$(TF - 12) = (UT - 12) - F$$

$$TF = UT - F$$

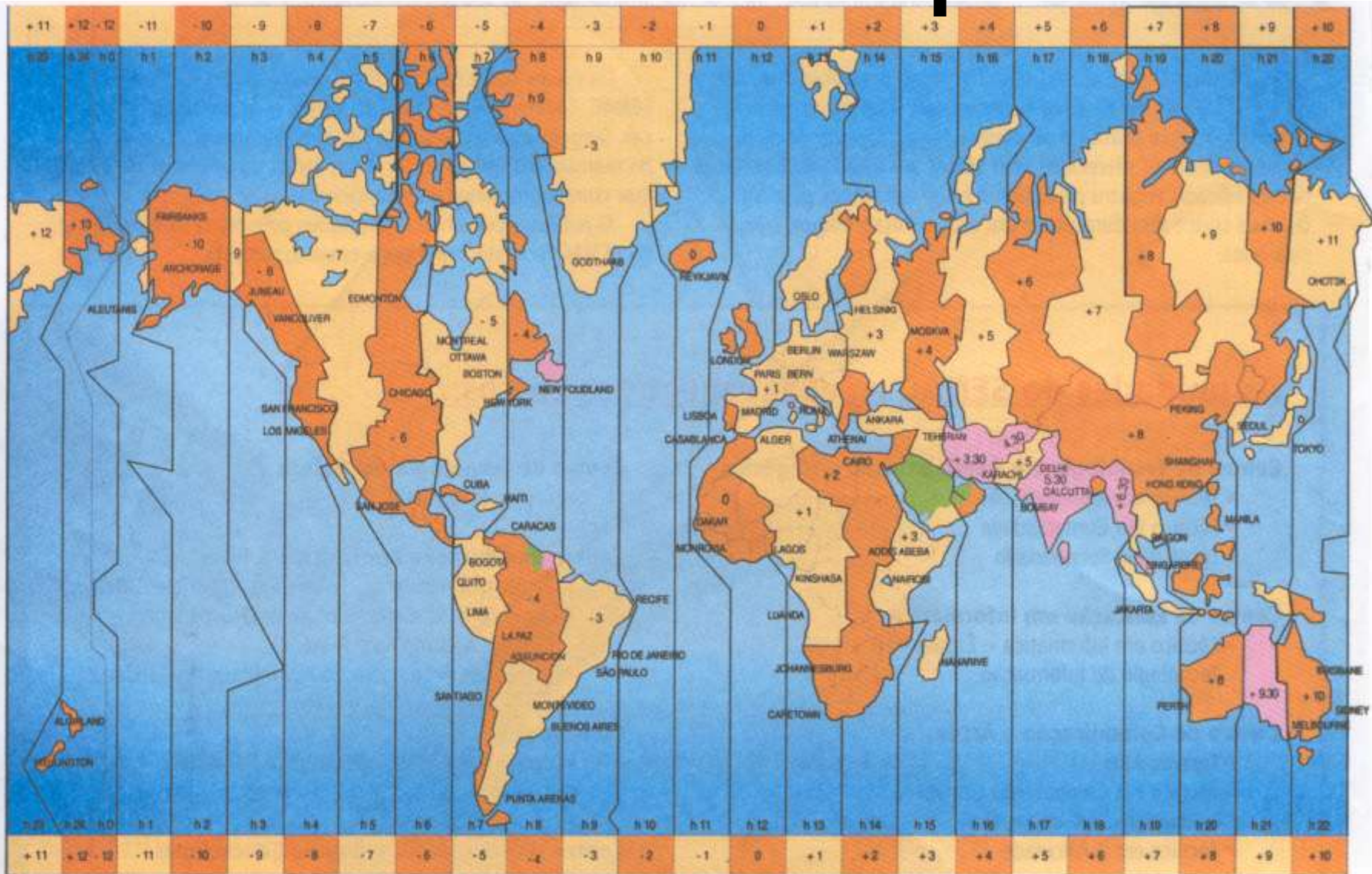
$$UT = TF + F$$

# Hora Legal








# Fusos horários no planeta



L M Y X W V U T S R Q P O N Z A B C D E F G H I K

 Países que adotam horário aproximado (horários legais) de um ou mais fusos horários.

 Países que não adotam o sistema de fuso horário e utilizam um horário local.

 Países que adotam fusos de meia em meia hora.

# Fusos horários no Brasil

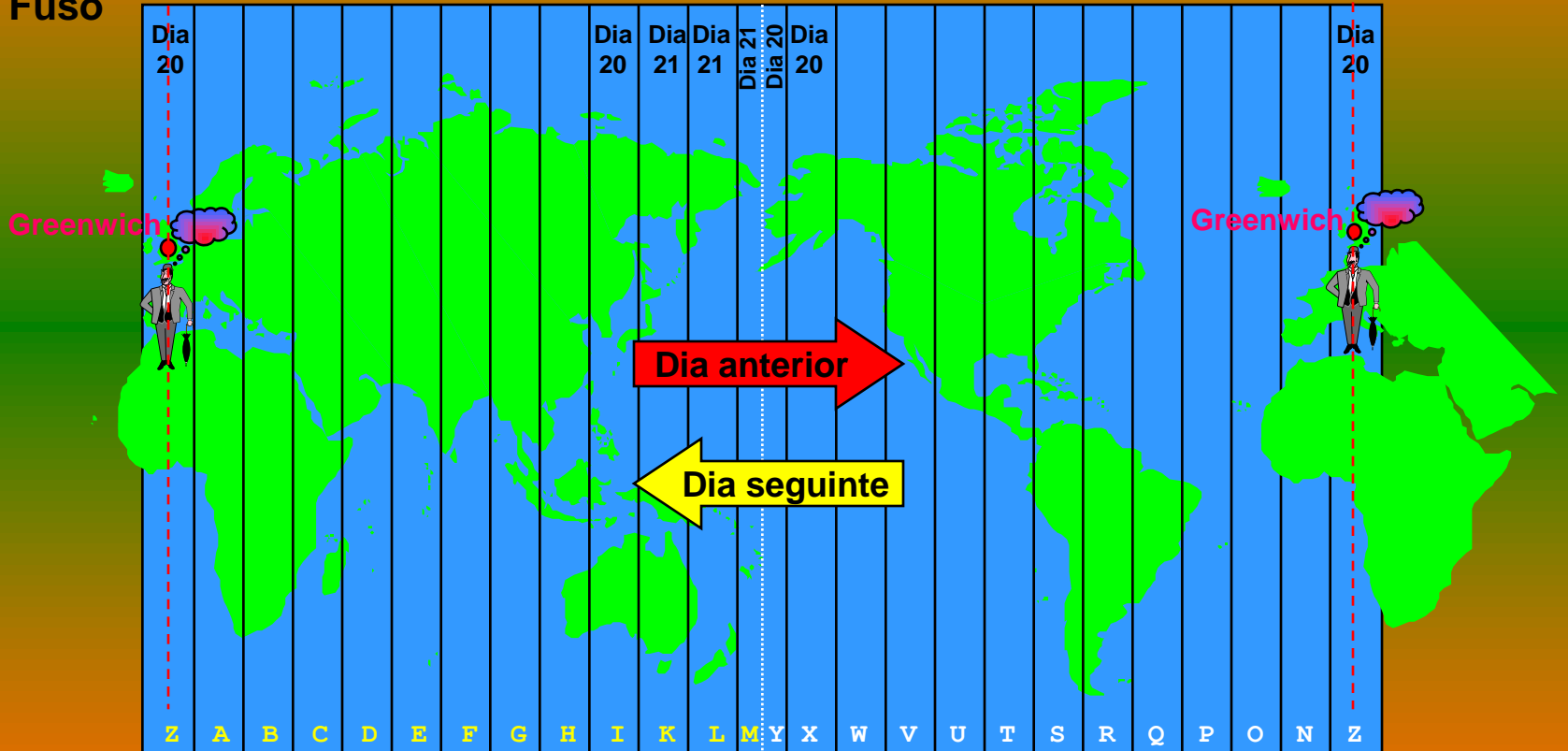


Válido de  
jul/2008  
em diante

# Linha de mudança de data

Hora do Fuso

14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14

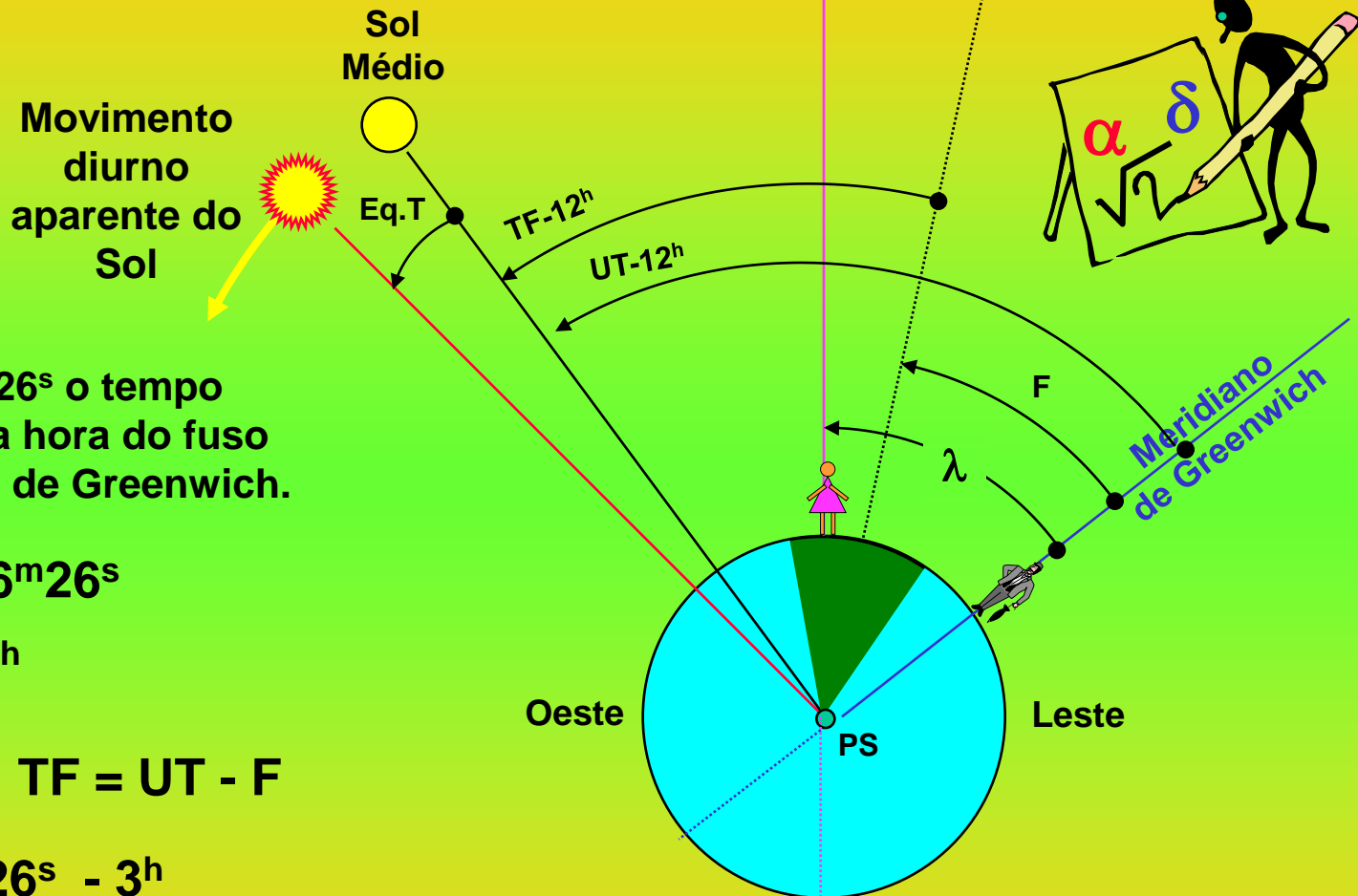


Número do Fuso

00 -1 -2 -3 -4 -5 -6 -7 -8 -9 -10 -11 -12 12 11 10 09 08 07 06 05 04 03 02 01 00

Linha de mudança de data

# Hora do fuso



Sendo de 18<sup>h</sup>16<sup>m</sup>26<sup>s</sup> o tempo universal, calcular a hora do fuso que está a 3<sup>h</sup> a oeste de Greenwich.

$$UT = 18^h 16^m 26^s$$

$$F = + 3^h$$

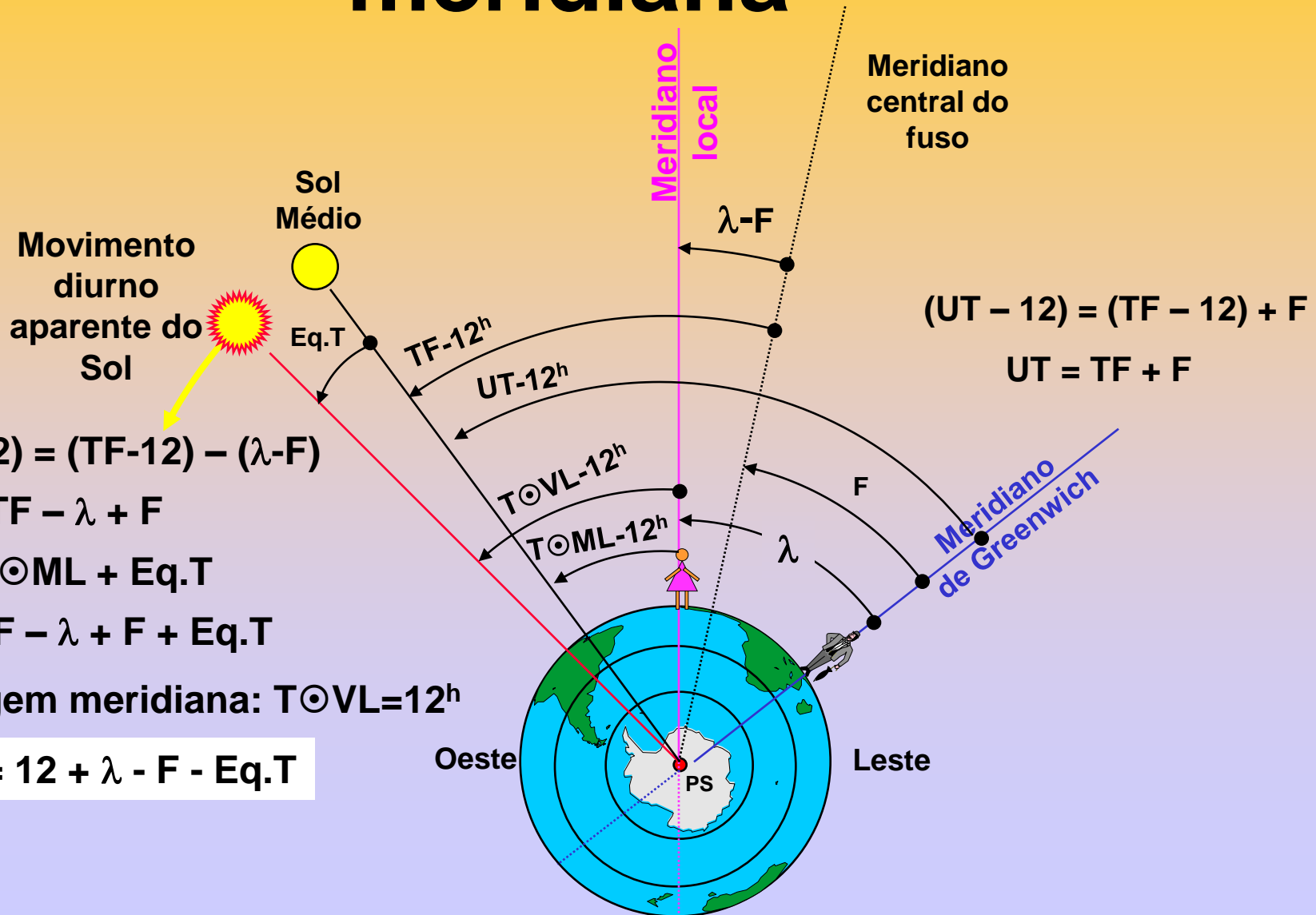
$$UT = TF + F \rightarrow TF = UT - F$$

$$TF = 18^h 16^m 26^s - 3^h$$

$$TF = 15^h 16^m 26^s$$

**Hora da passagem  
meridiana do Sol**

# Hora da passagem meridiana



$$(T_{\odot ML} - 12) = (TF - 12) - (\lambda - F)$$

$$T_{\odot ML} = TF - \lambda + F$$

$$T_{\odot VL} = T_{\odot ML} + Eq.T$$

$$T_{\odot VL} = TF - \lambda + F + Eq.T$$

Na passagem meridiana:  $T_{\odot VL} = 12^h$

$$TF_{Pas.Mer.} = 12 + \lambda - F - Eq.T$$



# Hora da passagem meridiana

Calcular a hora de fuso da passagem meridiana superior do Sol num local de longitude oeste  $03^h04^m05^s$  e fuso oeste  $3^h$  se a equação do tempo nesse instante é de  $-10^m20^s$ ?

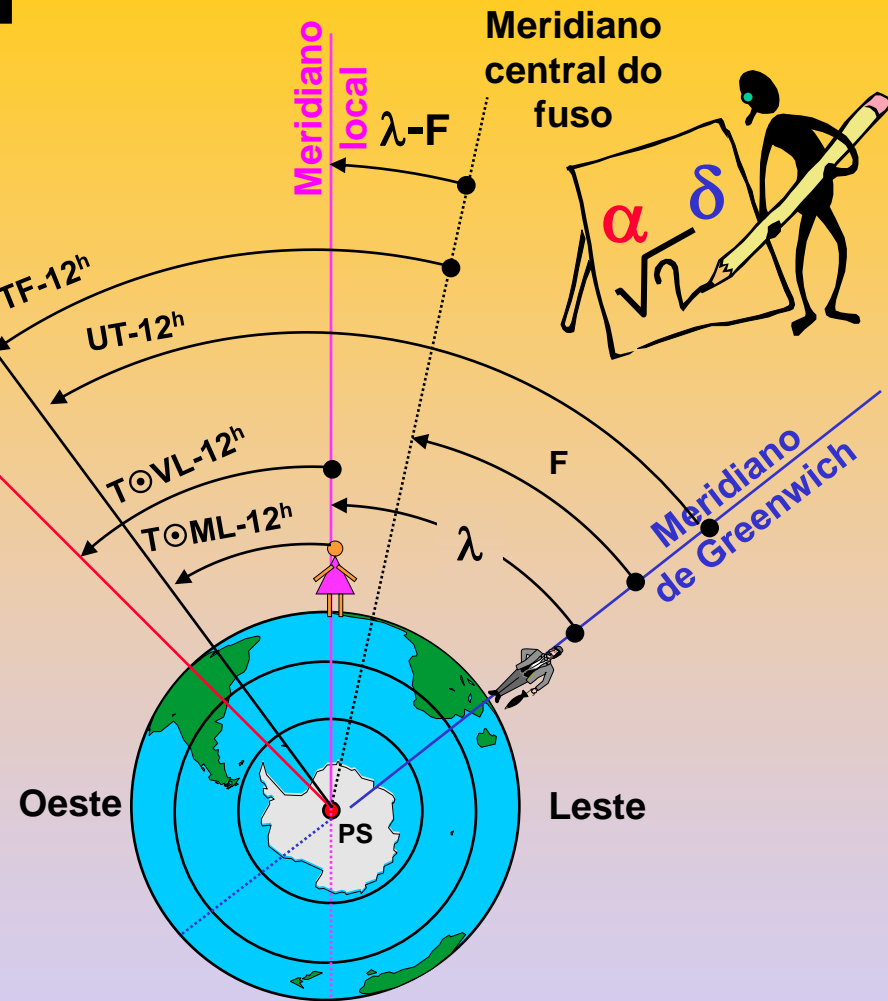
$$\lambda = 03^h04^m05^s$$

$$F = +3^h$$

$$\text{Eq.T} = -10^m20^s$$

Na passagem meridiana:  $T_{\odot VL} = 12^h$

$$TF_{\text{Pas.Mer.}} = 12 + \lambda - F - \text{Eq.T}$$



$$TF_{\text{Pas.Mer.}} = 12 + \lambda - F - \text{Eq.T}$$

$$TF_{\text{Pas.Mer.}} = 12 + 03^h04^m05^s - 3^h - -10^m20^s$$

$$TF_{\text{Pas.Mer.}} = 12 + 03^h04^m05^s - 3^h + 10^m20^s$$

$$TF_{\text{Pas.Mer.}} = 12^h14^m25^s$$

# Início e fim do Horário de Verão

Decreto presidencial #6558 de 2008 set 08

Início

Fim



126 dias

0 horas  
do 3<sup>o</sup>.  
domingo  
de outubro

0 horas  
do 3<sup>o</sup>.  
domingo  
de fevereiro





**FIM do horário de verão:**  
**0 horas do 3<sup>o</sup> domingo de**  
**fevereiro (se não for Carnaval)**

**Se for domingo de Carnaval,**  
**termina no domingo seguinte**



# Fusos no Brasil



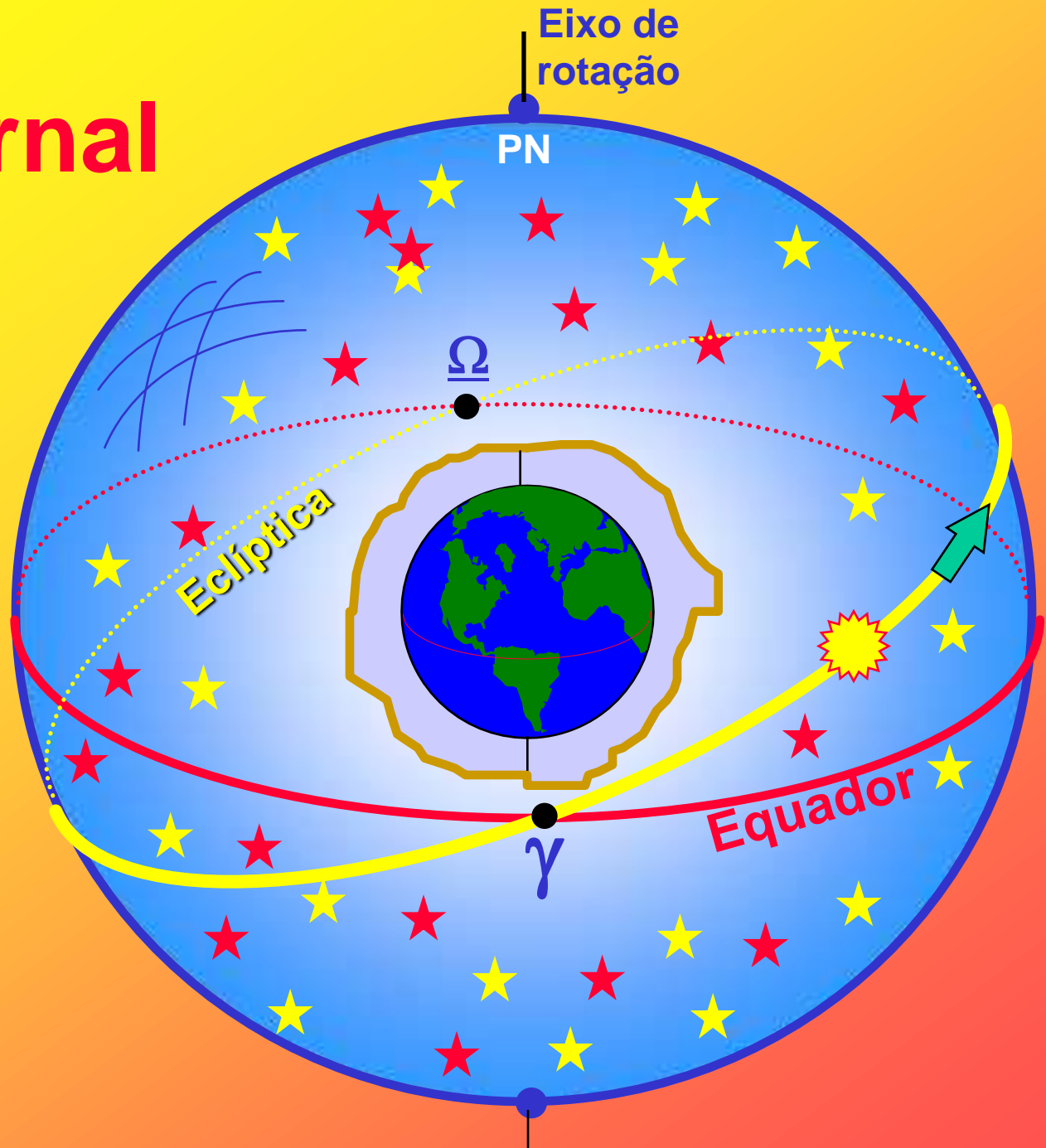
# **Resumo das escalas de tempo solar**

# Resumo das escalas de tempos solares



**Tempo Sideral**

# Ponto Vernal



# Dia sideral

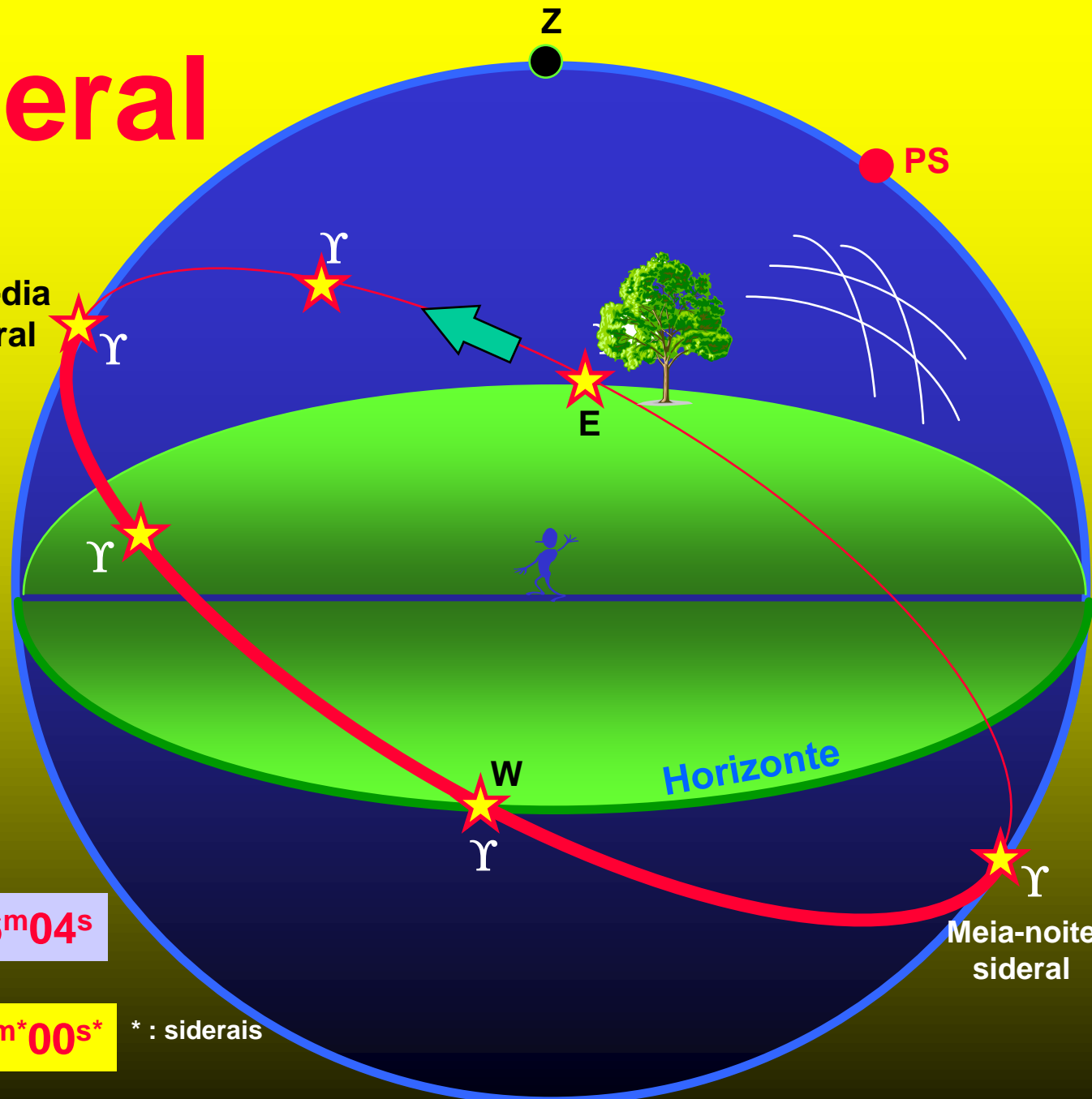
**Dia sideral:**  
Intervalo de tempo para que o Ponto Gama passe duas vezes sucessivas por um dado meridiano do local.

**Dia sideral  $\cong 23^h56^m04^s$**

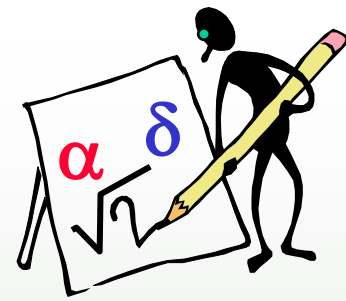
**Dia sideral =  $24^h00^m00^s$**  \* : siderais

Meio-dia sideral

Meia-noite sideral



# Relacionar intervalos solares e siderais



Dia sideral  $\cong 23^{\text{h}}56^{\text{m}}04^{\text{s}}$

Dia sideral =  $24^{\text{h}}00^{\text{m}}00^{\text{s}^*}$  \* : siderais

Dado o intervalo de  $10^{\text{h}}20^{\text{m}}30^{\text{s}}$  de tempo universal (solar),  
calcular o intervalo correspondente em tempo sideral.

$$23^{\text{h}}56^{\text{m}}04^{\text{s}} \Rightarrow 24^{\text{h}}00^{\text{m}}00^{\text{s}^*}$$

$$\Delta\text{UT} \Rightarrow \Delta\text{TS}$$

$$\Delta\text{TS} = (24^{\text{h}}00^{\text{m}}00^{\text{s}^*} / 23^{\text{h}}56^{\text{m}}04^{\text{s}}) \Delta\text{UT}$$

$$f \equiv (24^{\text{h}}00^{\text{m}}00^{\text{s}^*} / 23^{\text{h}}56^{\text{m}}04^{\text{s}})$$

$$f \cong 1,00273790935$$

$$\Delta\text{TS} = f \cdot \Delta\text{UT}$$

$$\Delta\text{UT} = 10^{\text{h}}20^{\text{m}}30^{\text{s}} = 10,341\ 666\ 6667^{\text{h}}$$

$$\Delta\text{TS} = f \cdot \Delta\text{UT}$$

$$\Delta\text{TS} = 10,369\ 972\ 8358^{\text{h}^*}$$

$$\Delta\text{TS} = 10^{\text{h}^*} 22^{\text{m}^*} 11,902^{\text{s}^*}$$



**Fim**

