

Astronomia de Posição

2º semestre - 2023

Aula_19 – 06/12/2021

*Sistema de Referência
Temporal*

Ramachrisna Teixeira

IAG-USP

rama.teixeira@iag.usp.br

Sistema de Referência Temporal *(escala de tempo)*



**medir intervalos de tempo,
ordenar, relacionar e datar eventos
de maneira rigorosa sobre
uma base de referência comum**

Escala de Tempo

(base)



- **grandeza invariável – unidade;**
- **acúmulo dessa unidade - contagem;**
- **data de origem - era**

Duração de um intervalo de tempo



comparação com um intervalo padrão (unidade) materializado por algum sistema de medida de tempo.

Exigência:

a unidade deve ter um comportamento regular e uniforme

Datação



**relação do instante de um evento
com um instante adotado como origem
(situar o evento em uma escala de tempo)**

Exigência:

**relógio que funcione sempre do mesmo jeito e
que permita medir intervalos de tempo quaisquer.**

Escala de tempo - propriedades

- **Perenidade**

Datação de eventos passados e futuros

- **Acessibilidade e universalidade**

Acessível e disponível para todos potenciais usuários

- **Estabilidade**

Materialização da mesma unidade ao longo do tempo

- **Exatidão**

Unidade de tempo materializada igual àquela definida

Escala de tempo e a Astronomia

Fenômenos celestes



- ciclos facilmente observáveis e intimamente relacionados com o dia a dia dos seres humanos.
- uniformidade e perenidade

medida do tempo = problema astronômico

Medida do tempo em Astronomia



relação entre as coordenadas (posição) de um ponto (corpo) e a variável independente “t”



dependência do corpo e da teoria de seu movimento

Tempo solar verdadeiro



Alternância dia-noite define unidade
(fenômeno intimamente ligado às atividades humanas)



movimento do Sol em relação ao meridiano local
materialização \Rightarrow relógio de Sol (~1.500 a.C.)

$$H_{\text{sol}} = A_0 + A_1 \cdot t$$

$A_1 = 1 \Rightarrow \Delta H_{\text{Sol}} = 24\text{h}$ (360°) em um dia solar

$A_0 = -12\text{h} \Rightarrow$ mudança de data meio-noite

$$T_{\text{Sol}} = H_{\text{Sol}} + 12^{\text{h}}$$

Tempo Solar Verdadeiro

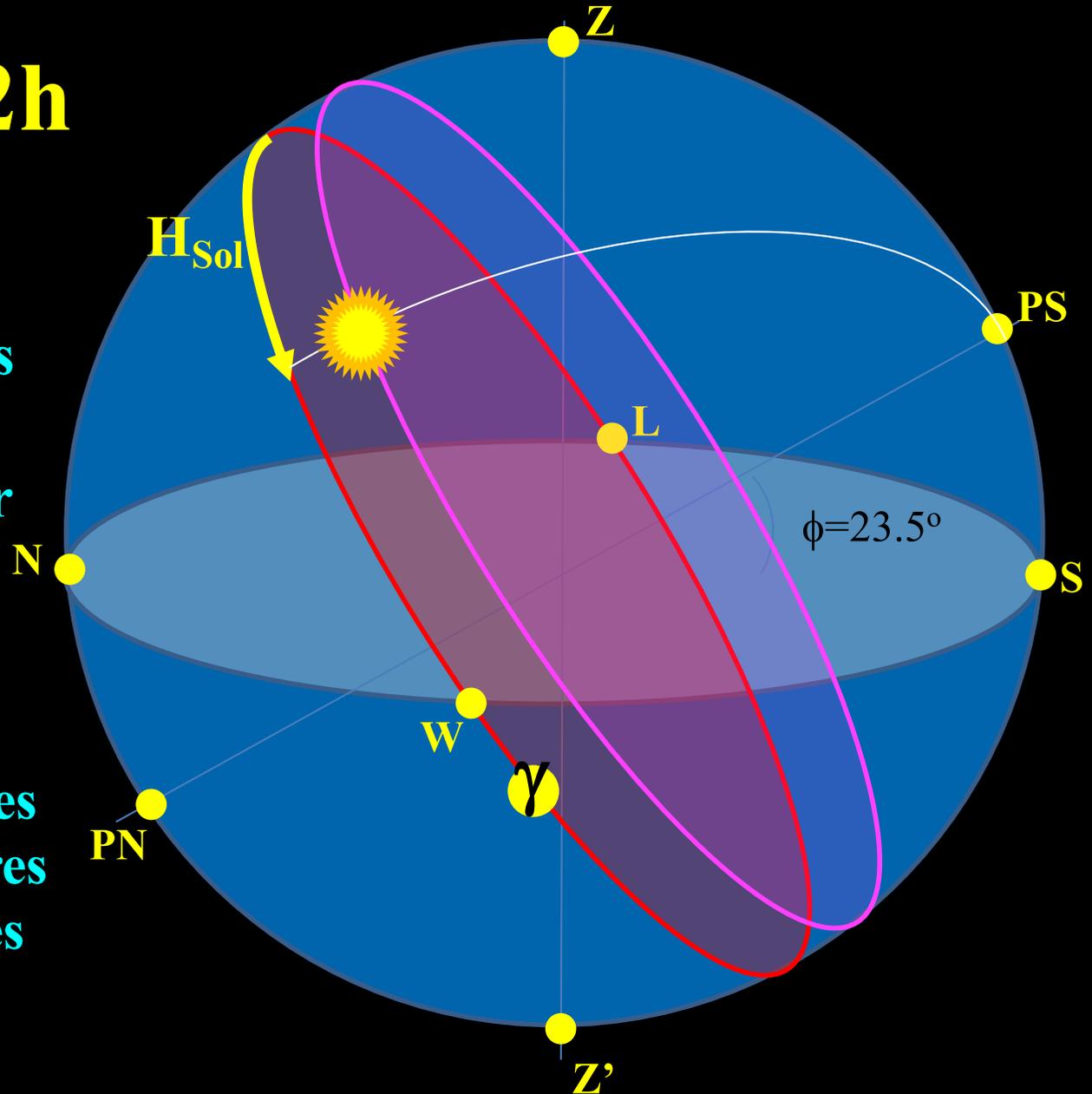
$$T_{\text{Sol}} = H_{\text{Sol}} + 12\text{h}$$

Dia Solar

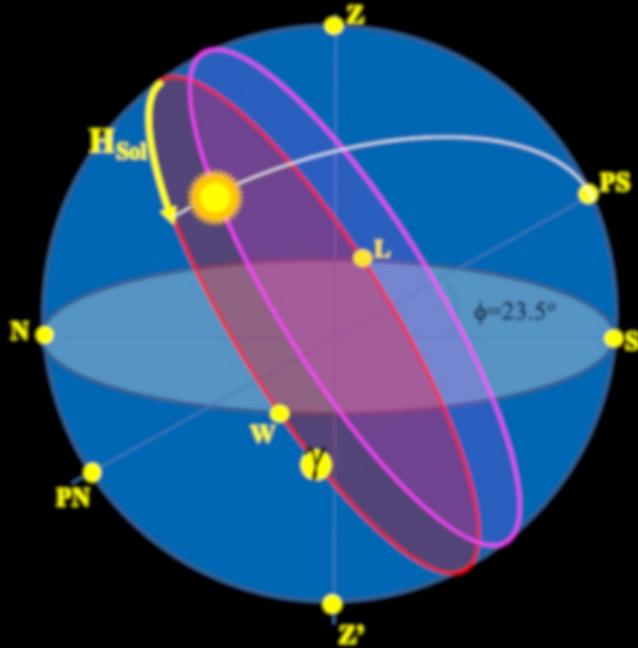
2 passagens consecutivas
do Sol
pelo meridiano superior



1 dia solar = 24 horas solares
1 hora solar = 60 min. solares
1 min. solar = 60 seg. solares



Tempo solar verdadeiro

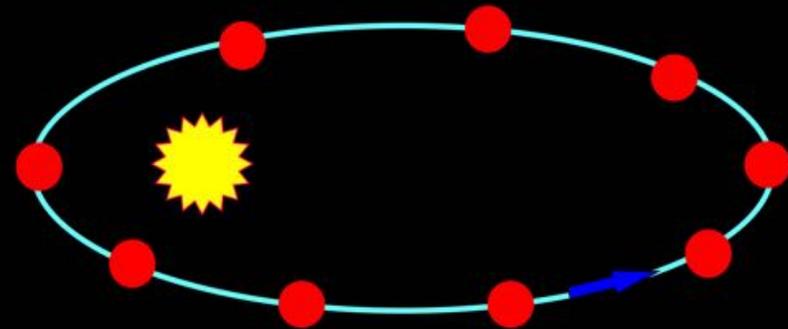
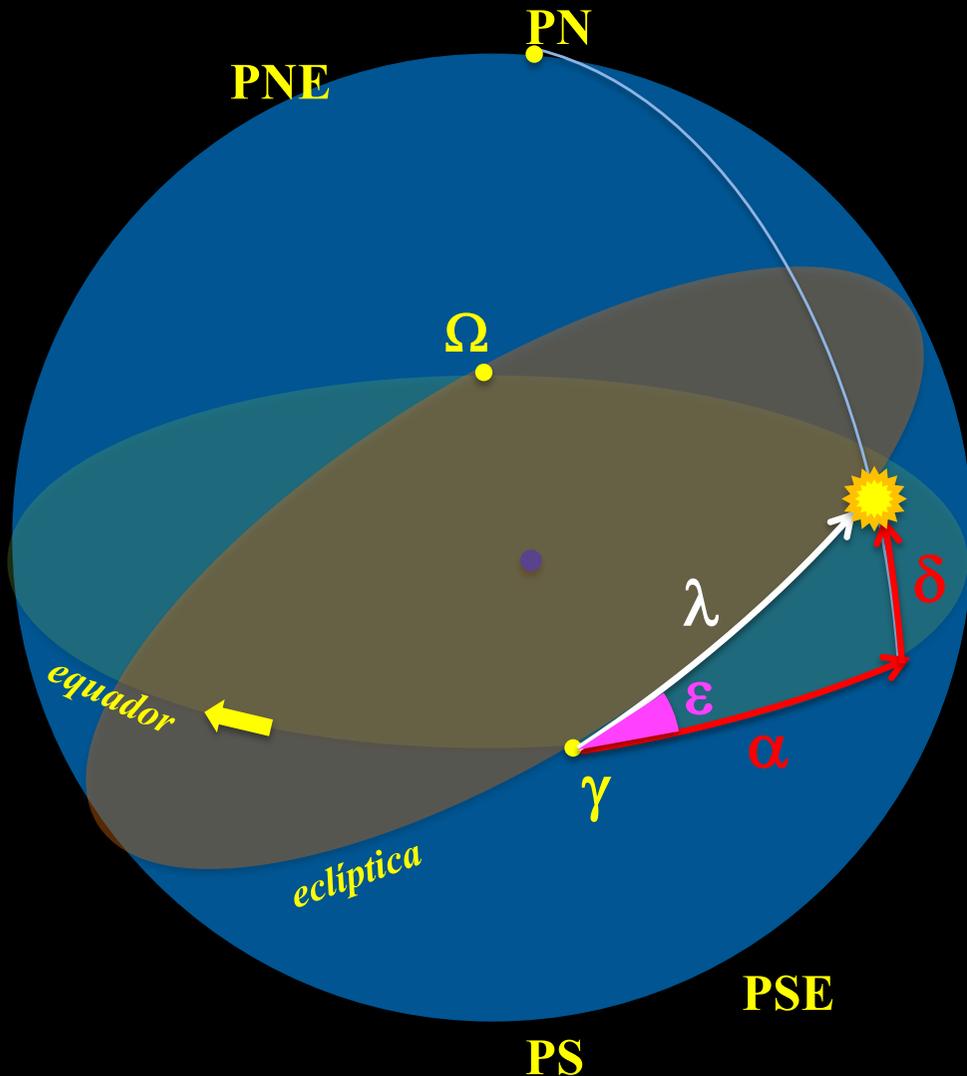


$$T_{sol} = H_{sol} + 12^h$$



mov. diário + mov. anual

Irregularidades do Tempo Solar Verdadeiro



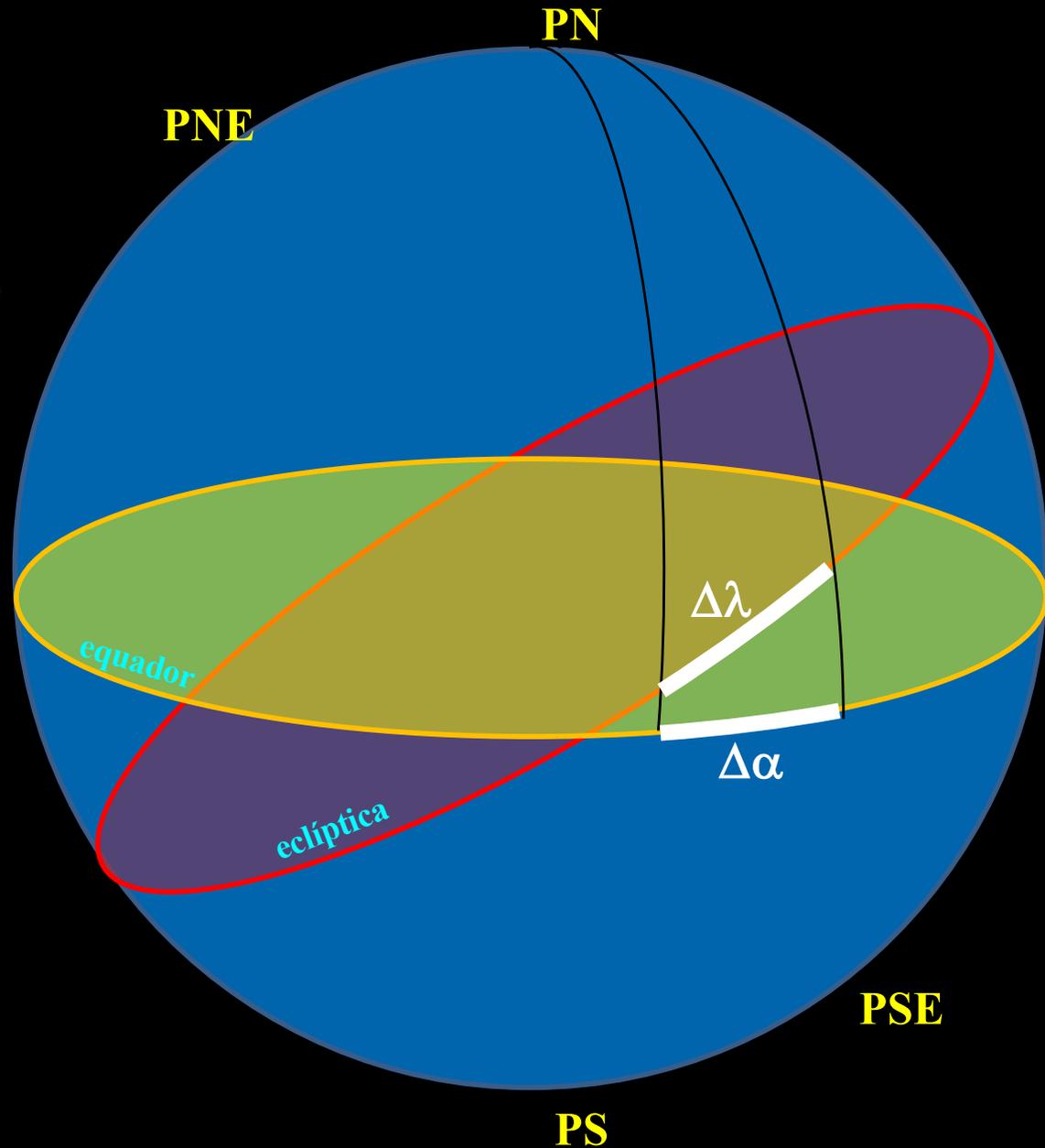
**$\Delta\lambda$ e consequentemente $\Delta\alpha$
são variáveis \Rightarrow Tempo Solar
não uniforme**

Projeção equatorial do movimento anual aparente do Sol

**próximo
aos equinócios**



$$\Delta\alpha < \Delta\lambda$$

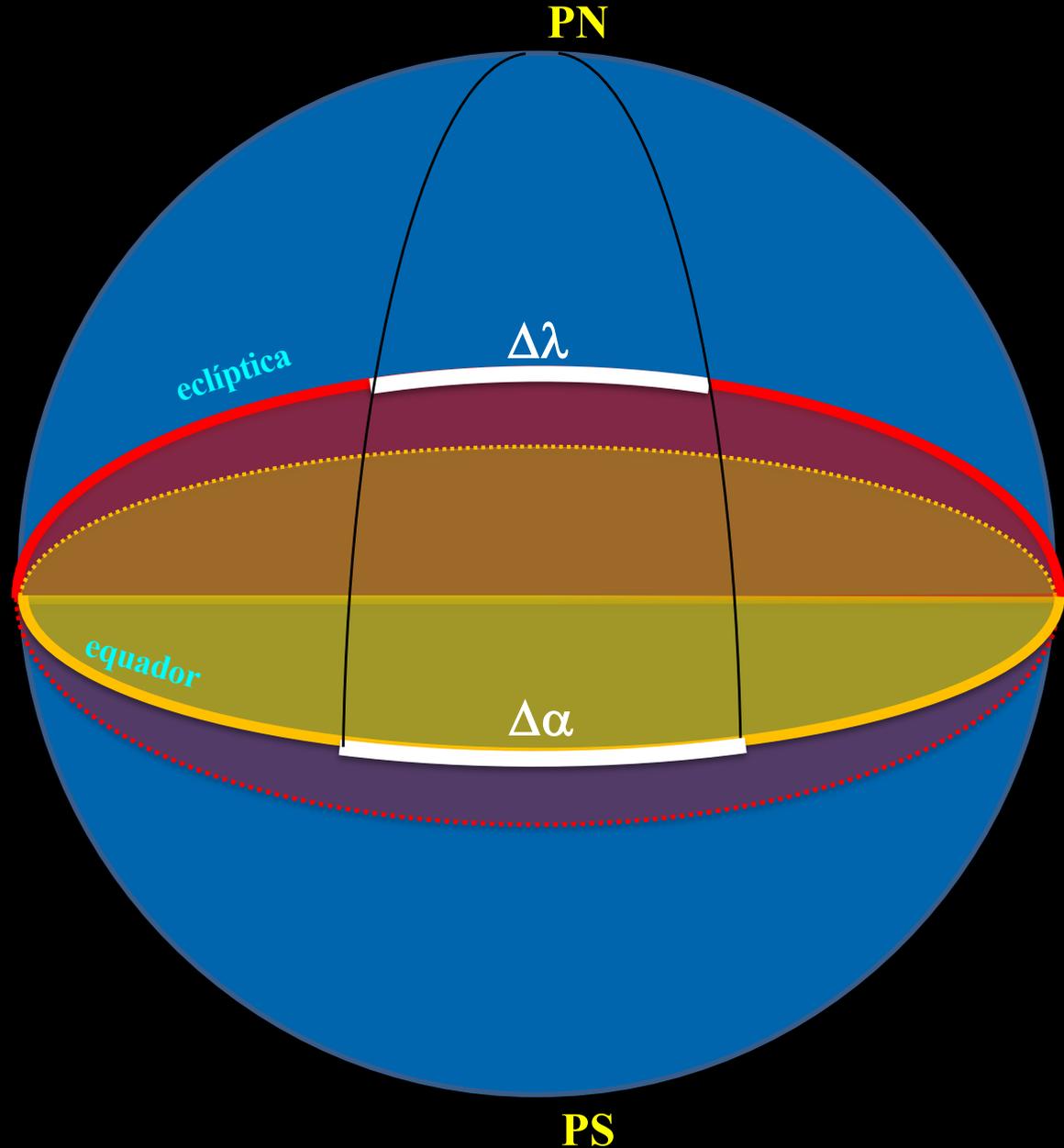


Projeção equatorial do movimento anual aparente do Sol

**próximo
aos solstícios**



$$\Delta\alpha > \Delta\lambda$$



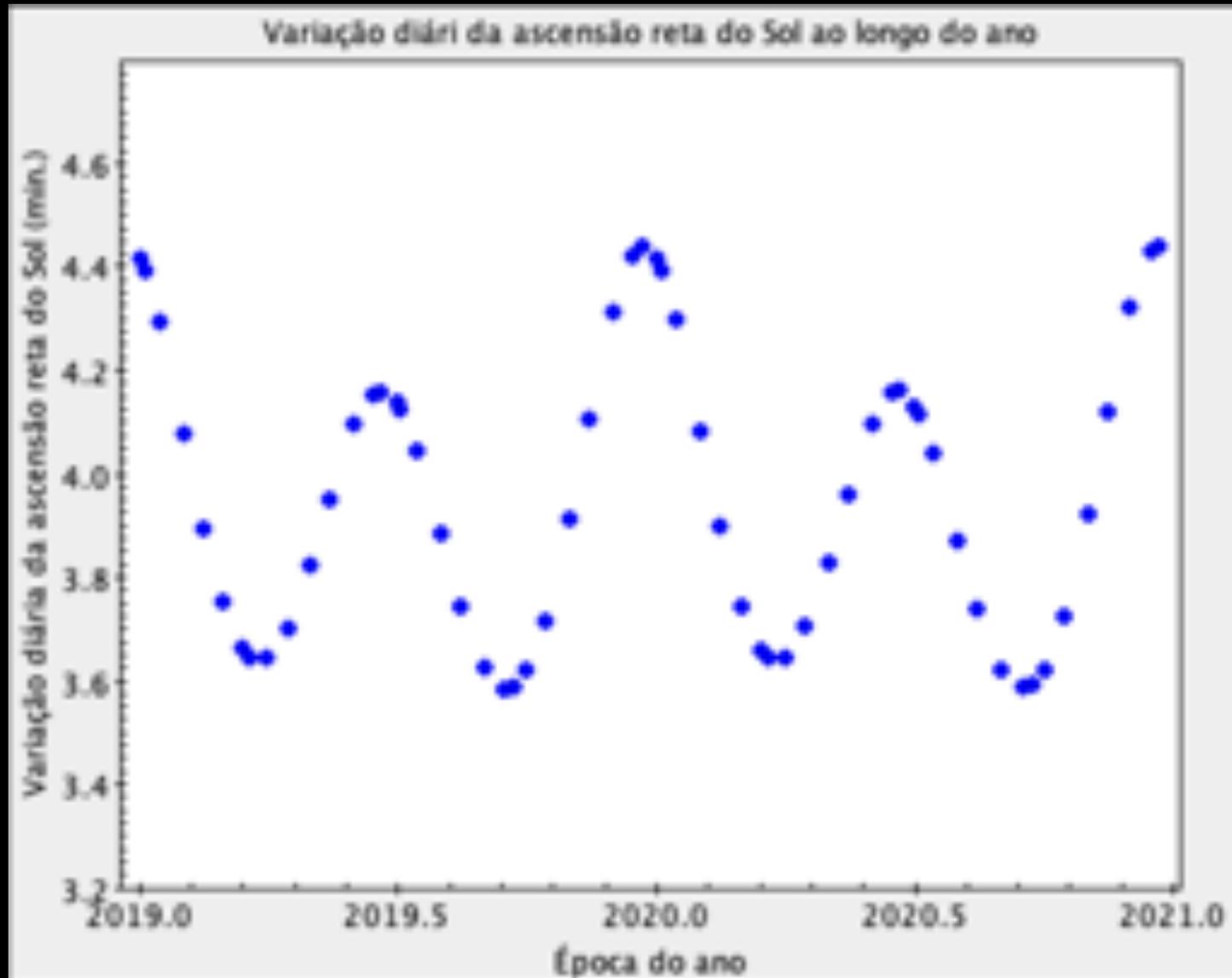
Irregularidades do Tempo Solar Verdadeiro



- movimento acelerado do Sol na eclíptica
- projeção equatorial do movimento do Sol na eclíptica
($\Delta\alpha < \Delta\lambda$ nos equinócios e $\Delta\alpha > \Delta\lambda$ nos solstícios)

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta\lambda \cdot \cos \epsilon}{\cos^2 \delta}$$

Variação da ascensão reta do ao longo do ano



Tempo solar verdadeiro

$$T_{\text{sol}} = H_{\text{sol}} + 12^{\text{h}}$$

mov. diário + mov. anual



os movimentos de rotação e translação juntos resultam
em uma escala de tempo onde a unidade de tempo

é variável

**separadamente, são melhores
como padrões de tempo**

Rotação  **Tempo Sideral**

$$TS = H_{\gamma} = H_{\star} + \alpha_{\star}$$



**uniforme a menos das irregularidades
da rotação da Terra**

Materialização:

Estrelas com ascensões retas conhecidas.

Problema:

Tempo Sideral sem relação com o dia a dia.

Tempo Solar Médio

Sec. XIX - 1960

Escala “uniforme” baseada na rotação da Terra e vinculada ao Sol



correção de excentricidade

redução ao equador

$$\alpha_{\text{Sol}} = \lambda_{\text{Sol}} + C + R$$

$$T_M = H_M + 12h$$



Tempo Solar Médio sec. XIX a 1960

$$T_M = H_M + 12h$$



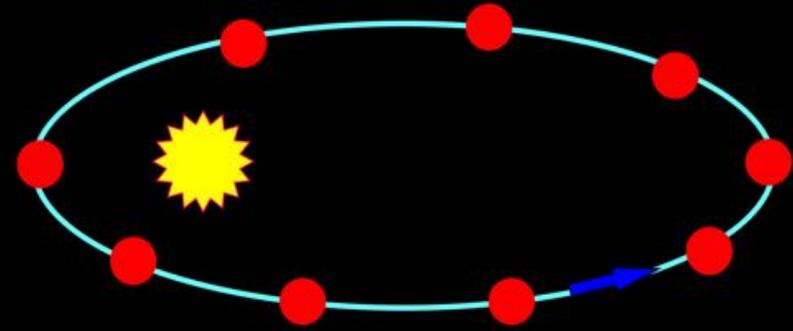
1ª definição astronômica do “segundo”
1s = 1/86400 do dia solar médio





Tempo Solar Médio sec. XIX a 1960

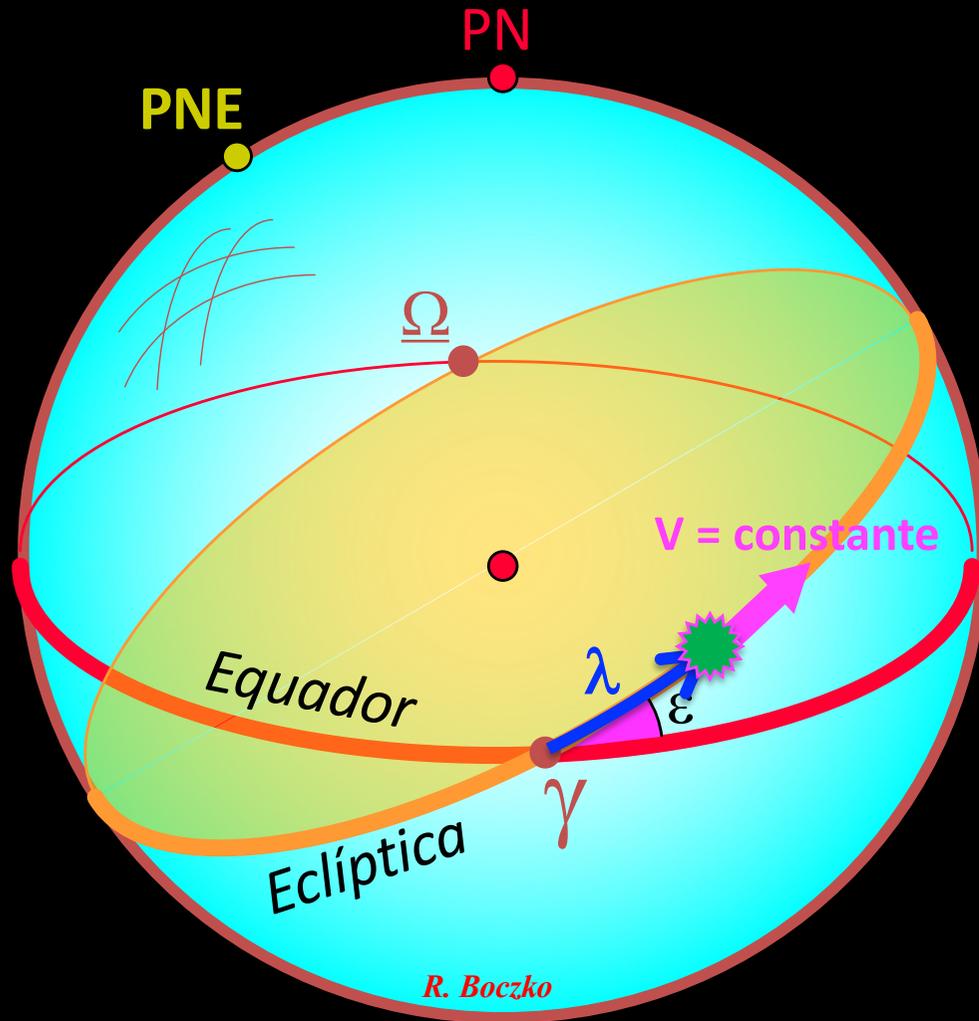
Sol médio eclíptico



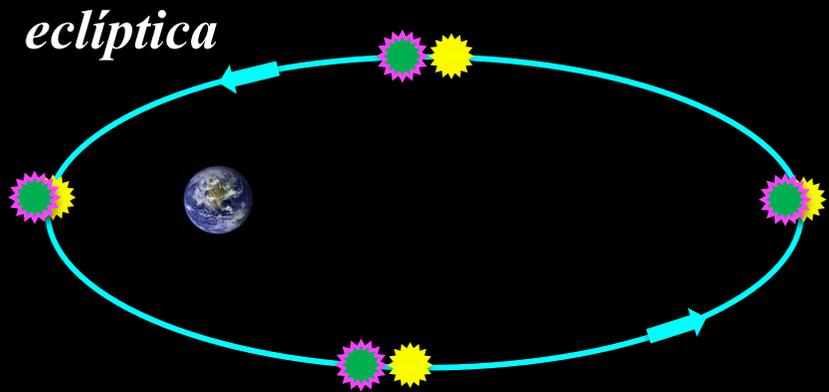
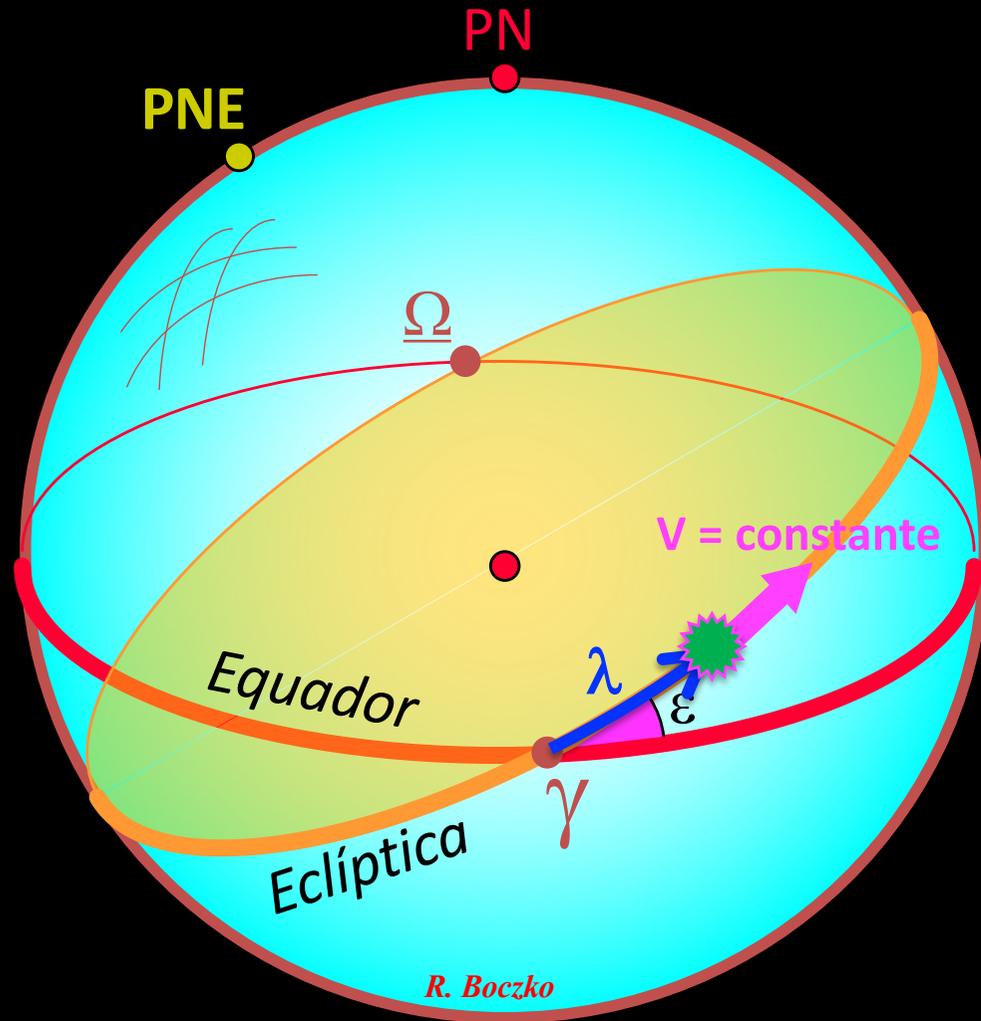
- Sol fictício na eclíptica com movimento uniforme
- $V =$ media annual da veloc. do Sol verdadeiro



$\Delta\lambda$ constante



Sol médio eclíptico



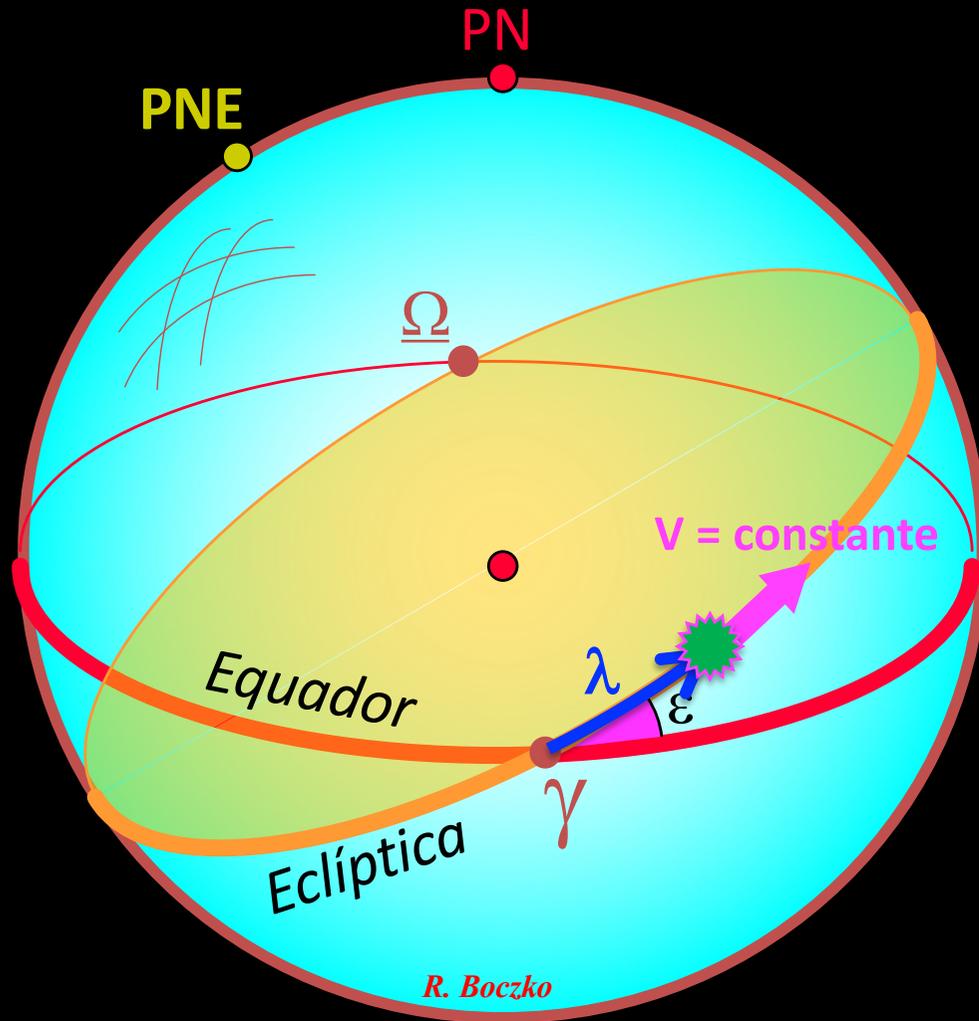
- Sol fictício na eclíptica com movimento uniforme
- $V =$ media annual da veloc. do Sol verdadeiro



$\Delta\lambda$ constante

coincidência – afélio/periélio

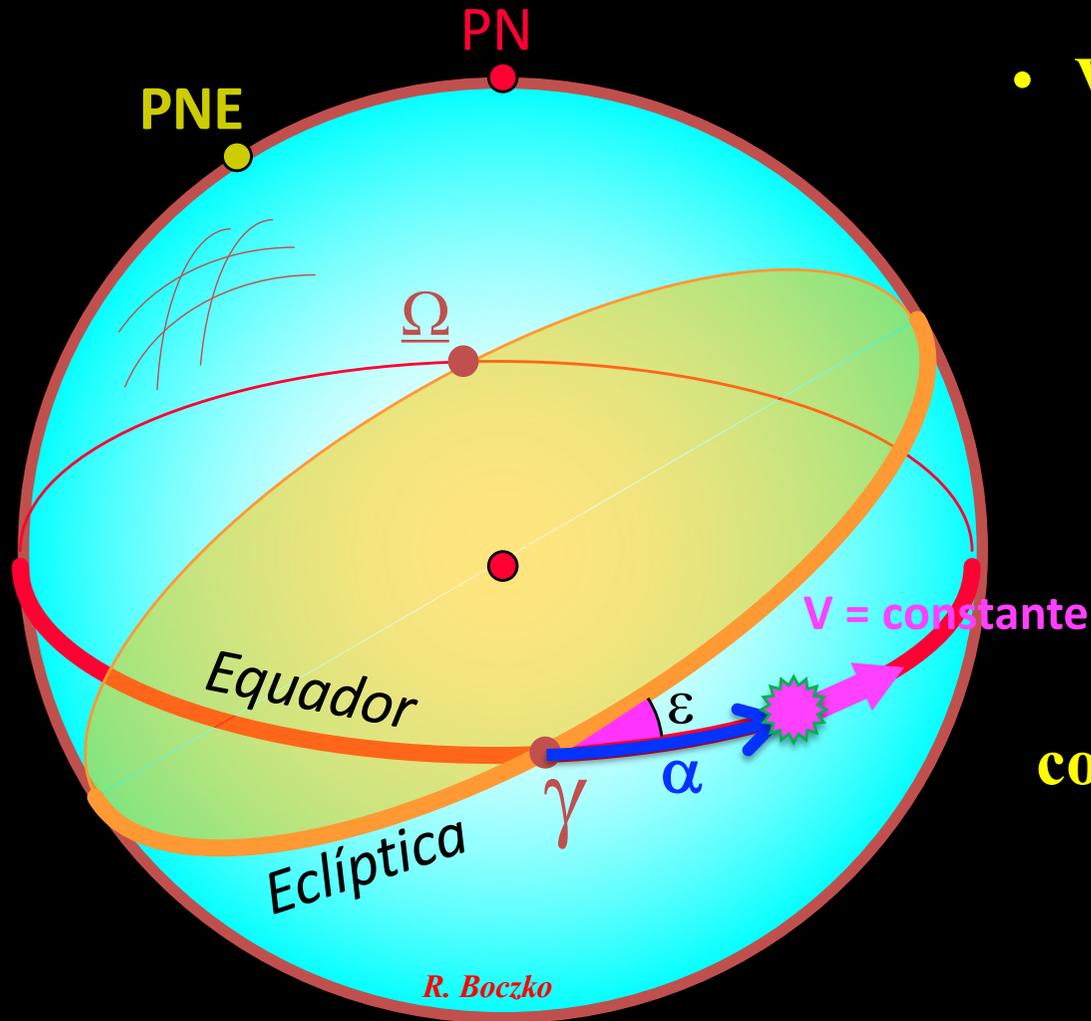
Sol médio eclíptico



**Sol em movimento
na eclíptica
e
ascensão reta
medida no equador**

Sol médio equatorial

- Sol fictício no equador com movimento uniforme
- $V =$ velocidade do Sol eclíptico



$\Delta\alpha$ constante

**coincidências nos equinócios
e solstícios**

Tempo Solar Médio

$$T_M = H_M + 12h$$

Dia Solar Médio

2 passagens consecutivas
do Sol Médio
pelo meridiano superior

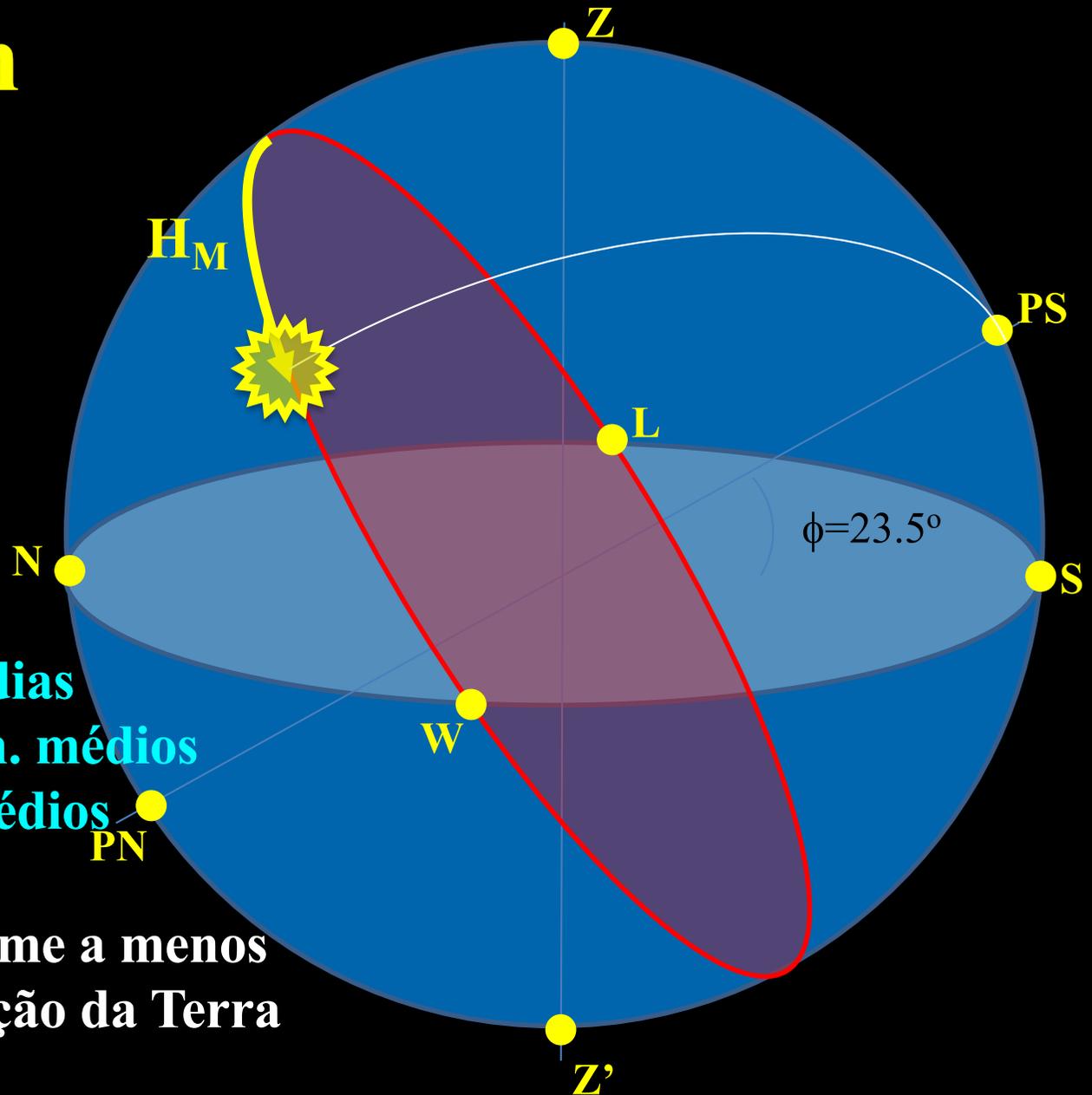


1 dia solar médio = 24h médias

1 hora solar média = 60 min. médios

1 min. solar médio = 60 s médios

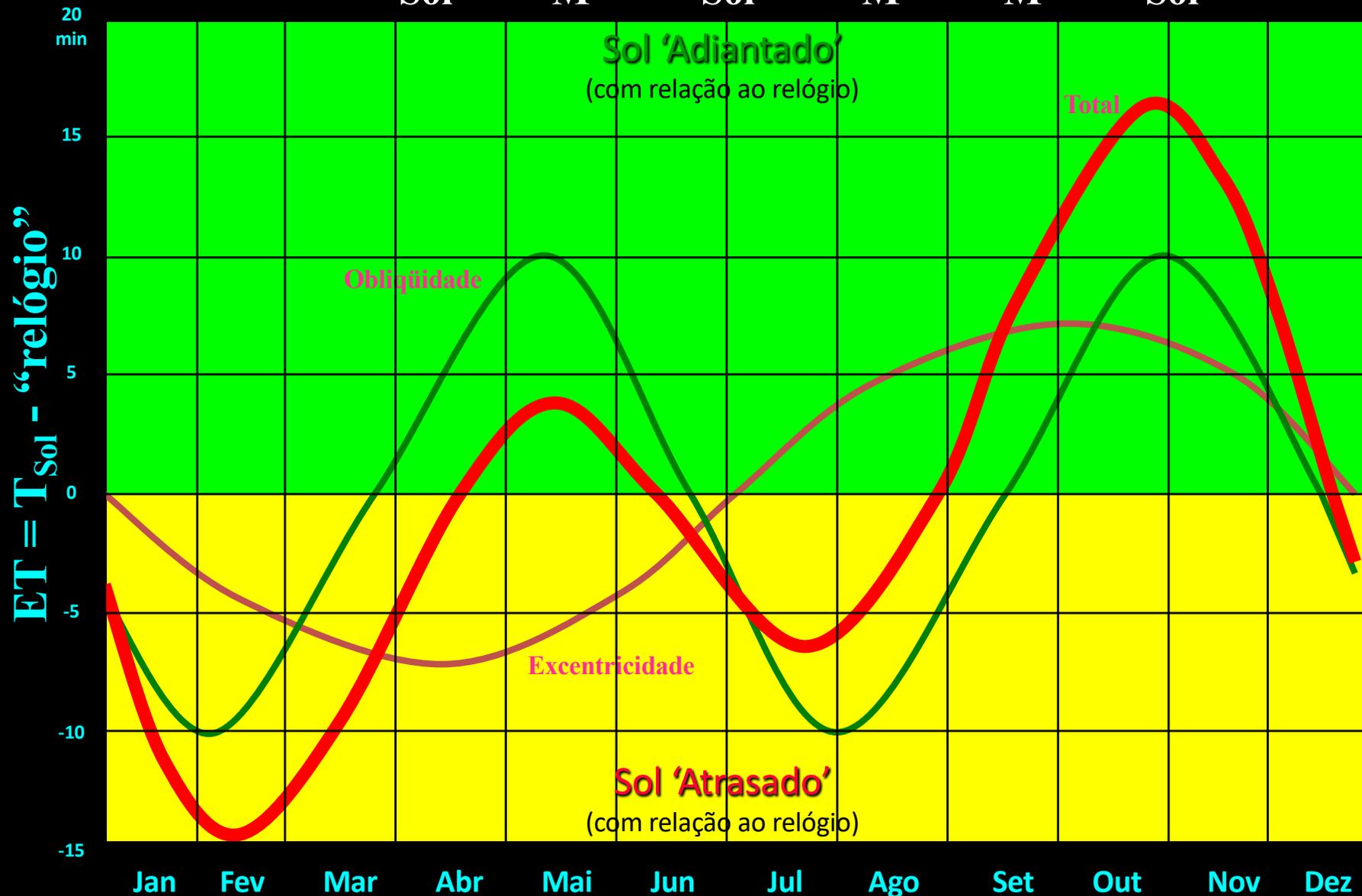
Tempo Solar Médio uniforme a menos
de irregularidades na rotação da Terra



Equação do Tempo

Diferença Tempo Solar Verdadeiro e Tempo Solar Médio

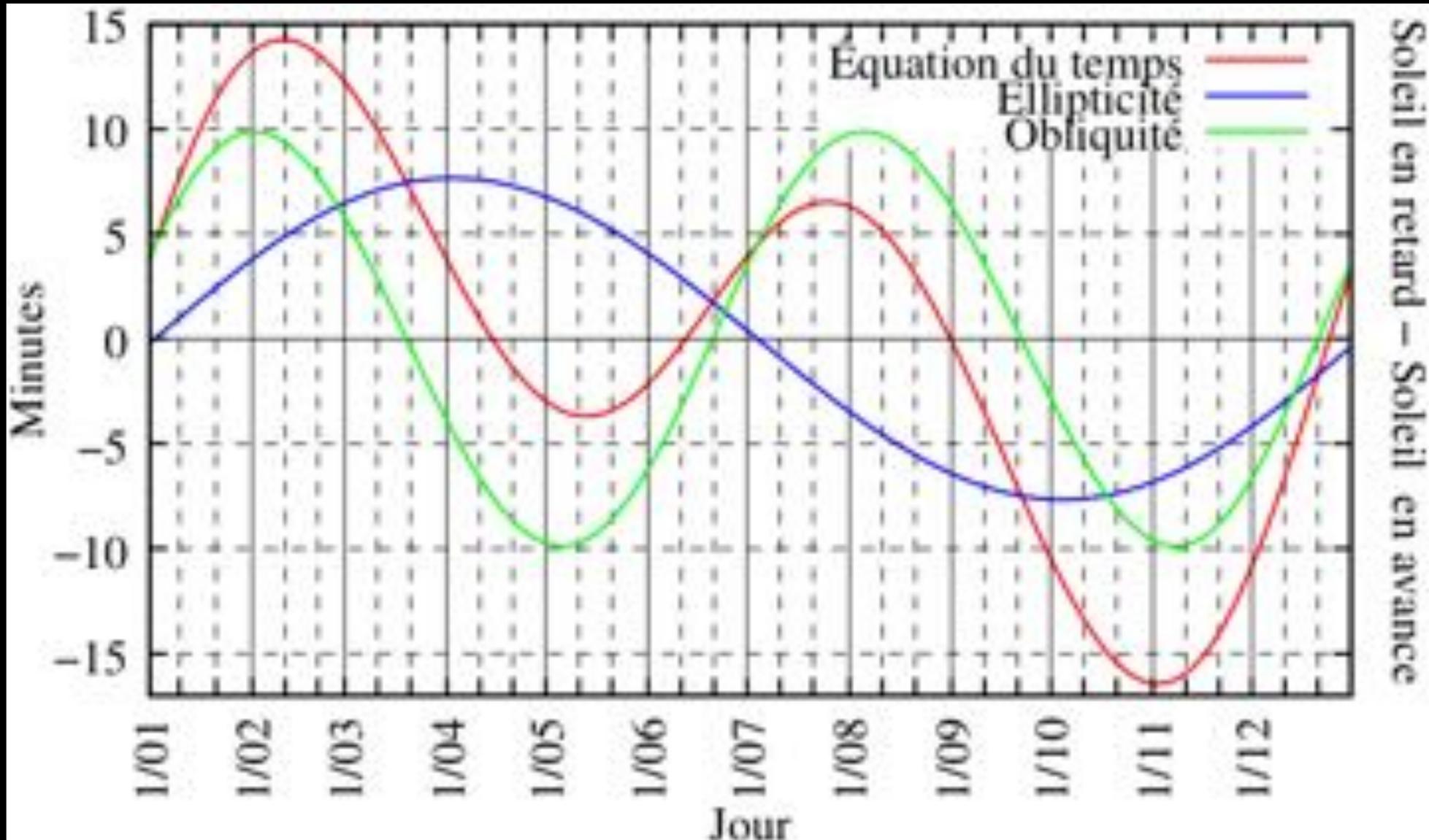
$$ET = T_{\text{Sol}} - T_{\text{M}} = H_{\text{Sol}} - H_{\text{M}} = \alpha_{\text{M}} - \alpha_{\text{Sol}}$$



Adaptado de R. Boczko

Equação do Tempo

Relação Tempo Verdadeiro e Médio

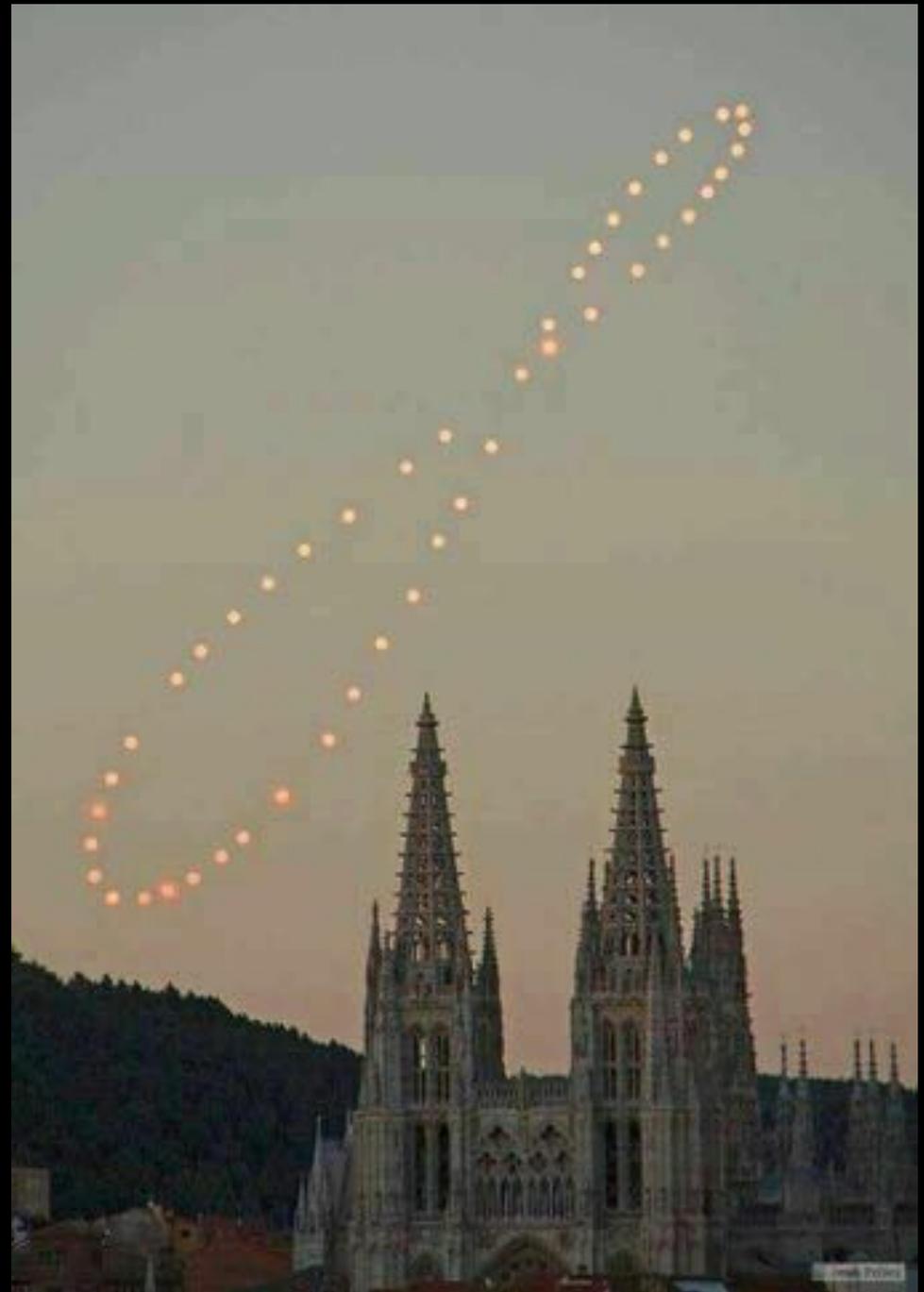


Relação Tempo Solar Médio e Sideral

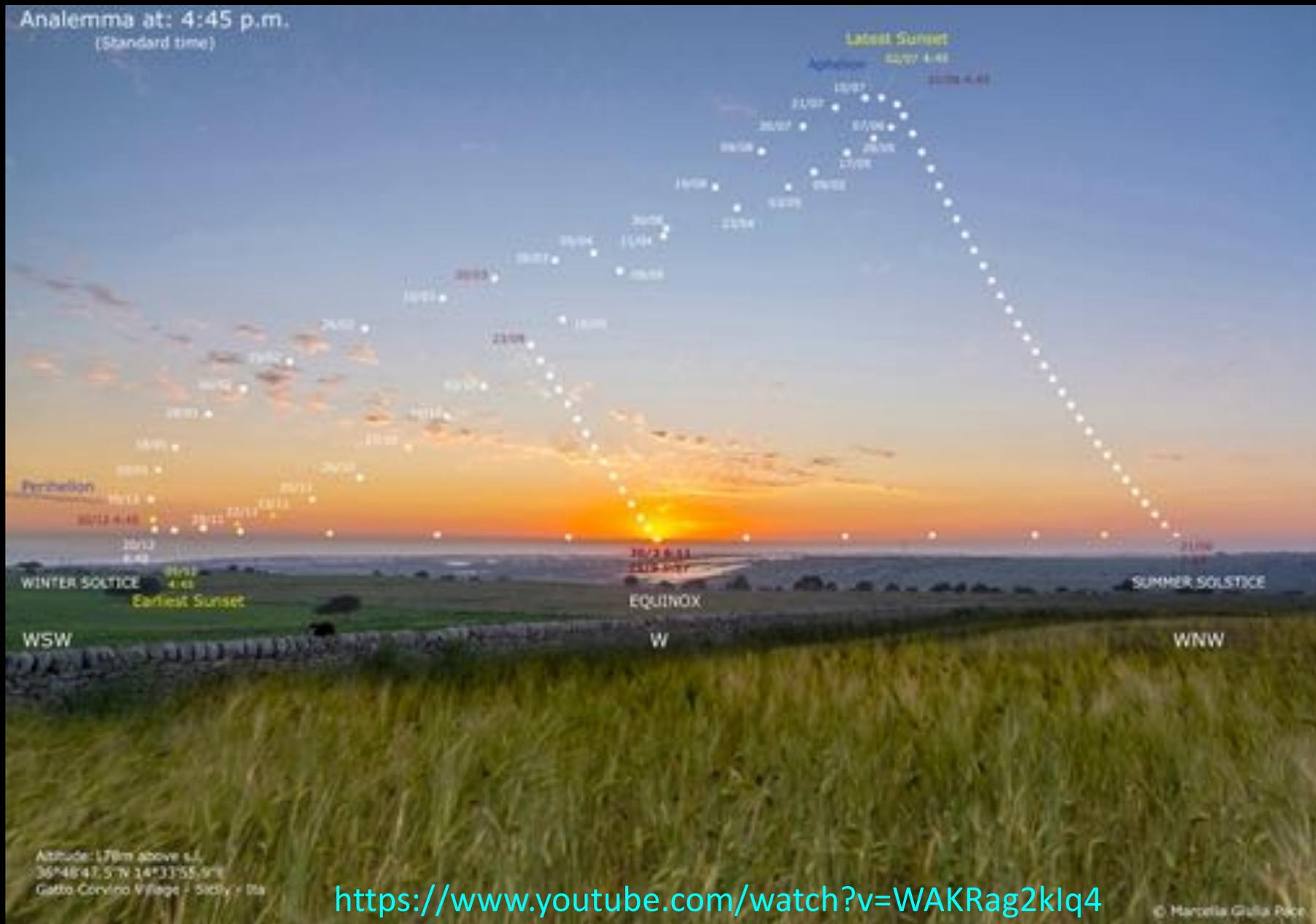


Analema

**Posição do Sol verdadeiro vista
ao longo do ano a partir do
mesmo lugar e sempre no
mesmo instante de tempo médio**



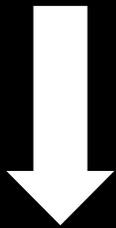
Analema



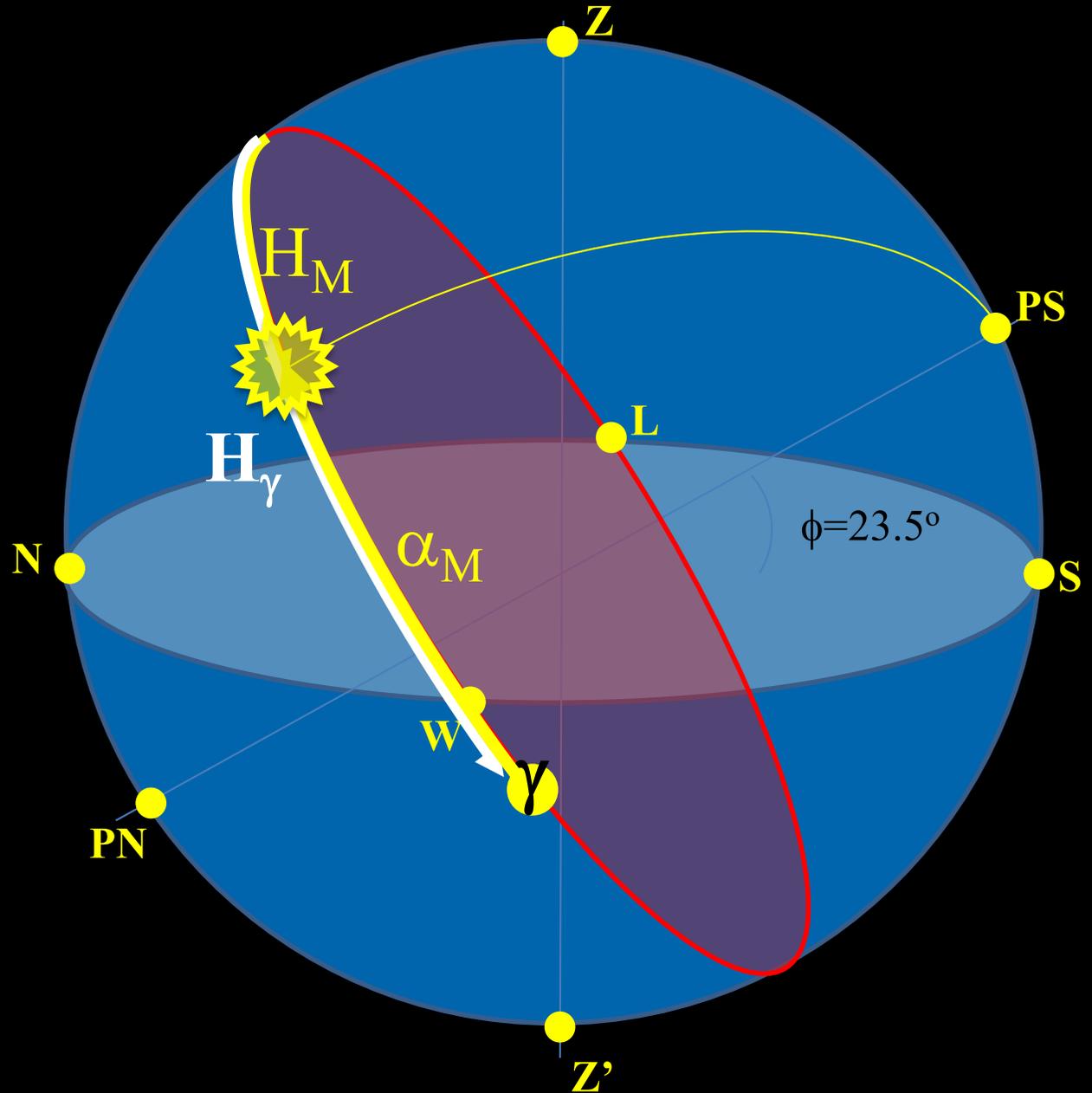
Tempo Solar Médio e Tempo Sideral

$$T_M = H_M + 12h$$

$$TS = H_\gamma$$



$$TS = H_M + \alpha_M$$



Relação Tempo Solar Médio e Sideral

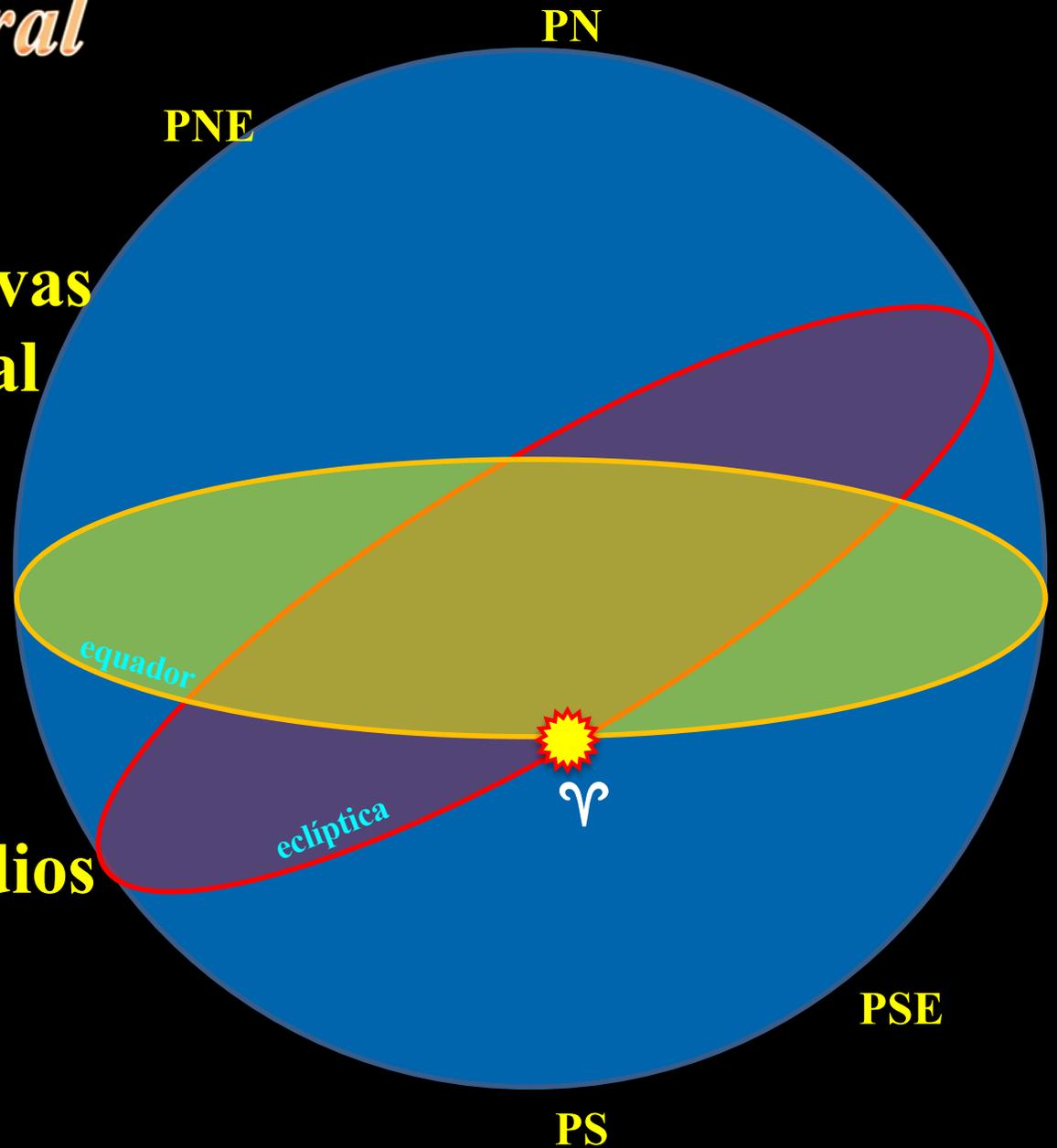
**Ano Trópico:
duas passagens consecutivas
do Sol pelo ponto vernal**



366,2422 dias siderais

ou

365,2422 dias solares médios



Relação Tempo Solar Médio e Sideral

1 ano trópico = 366,2422 dias siderais (dS)

1 ano trópico = 365,2422 dias solares médios (dM)



366,2422 dias siderais = 365,2422 dias médios



$$1\text{dS} = \frac{365,2422}{366,2422} = 0.997270 \text{ dM} = 23\text{h } 56\text{m } 04\text{s (médio)}$$

$$1\text{dM} = \frac{366,2422}{365,2422} = 1.002738 \text{ dS} = 24\text{h } 03\text{m } 57\text{s (siderais)}$$

Universalidade

- **Tempo Solar Verdadeiro - utilizado até o final do sec. XVIII.**
- **Meados do século XIX relógios públicos calibrados em Tempo Solar Médio.**
- **Final do século XIX, Conferência de Washington (1884), unificação da hora**



**T_M de Greenwich = Tempo Universal (TU)
a menos de um número inteiro de horas
é o mesmo no mundo todo**

Universalidade

Tempo Universal (TU)

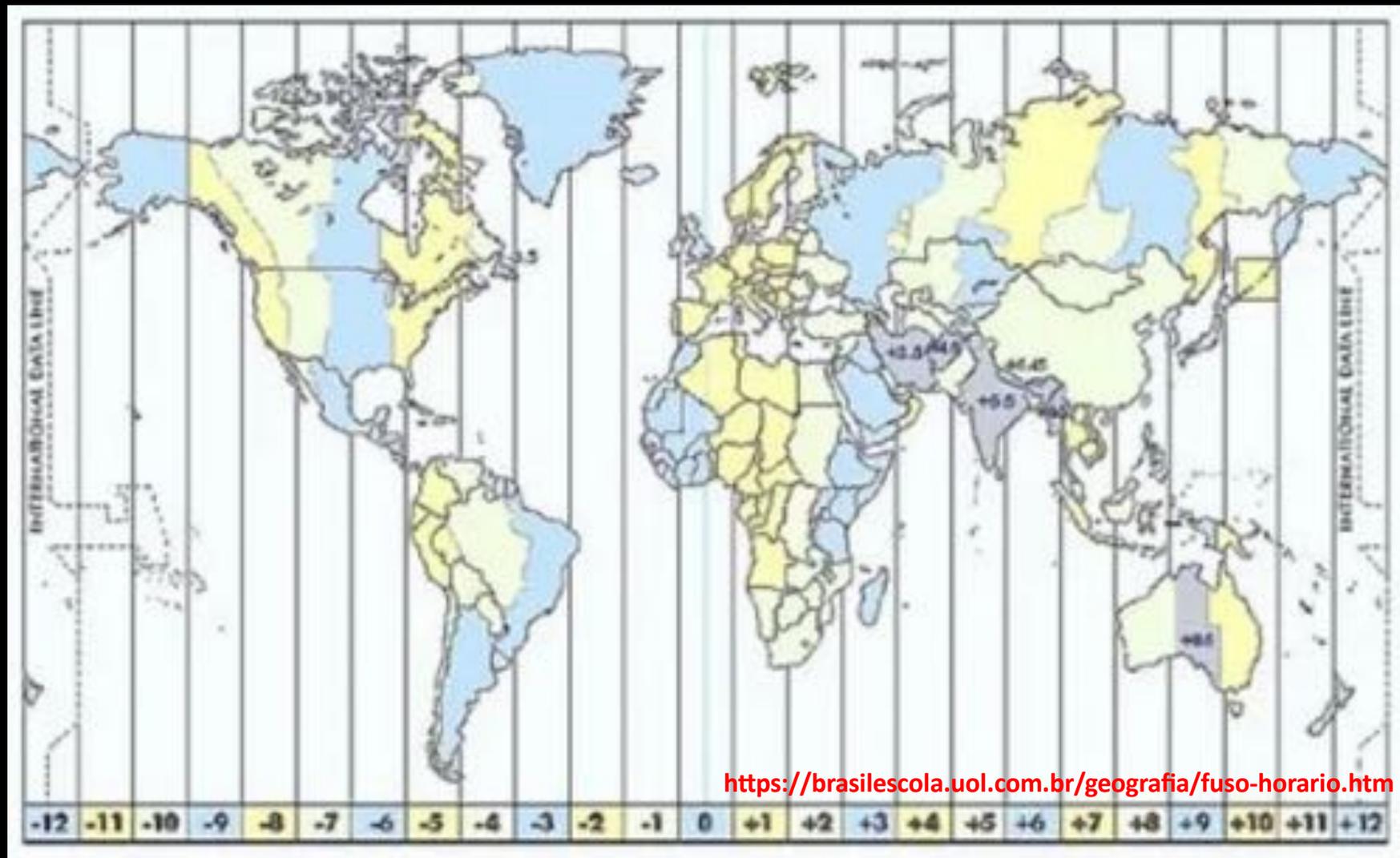


**Tempo Solar Médio
de Greenwich**

Tempo Médio Local = TU \pm Longitude

$$T_M = TU \pm \lambda$$

Planisfério - Fusos Horários



$$T_M = TU - F_W$$

$$T_M = TU + F_E$$

Irregularidades na rotação da Terra



**não uniformidade do
Tempo Médio**

Tempo das Efemérides (1960-1967)

movimento orbital da Terra

Unidade

1s corresponde a $1/31.556.925,9747$ do ano trópico iniciado em 12:00 de 31/12/1899

Origem

A origem do Tempo das Efemérides corresponde ao meio-dia médio de 31 de dezembro de 1899 de Greenwich.

Tempo das Efemérides (1960-1967)

movimento orbital da Terra

Unidade

nova definição do “segundo”

$1s = 1/31.556.925,9747$ do ano trópico iniciado: 12:00 31/12/1899

Origem

A origem do Tempo das Efemérides corresponde ao meio-dia médio de 31 de dezembro de 1899 de Greenwich.

Tempo Atômico Internacional (1967) fenômeno quântico – Césio-133

Unidade

nova definição do “segundo”

1s = 9.192.631.770 períodos da radiação emitida durante a transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de Césio 133.

Origem

A origem do TAI foi arbitrariamente escolhida de maneira que o TAI e TU fossem os mesmos em 00h de 01/01/1958.

Tempo Universal Coordenado (TUC)

- TU e TAI – sincronizados em 1958
- de 1958 a 1971 – atraso de 10s em TU
TUC de 01/01/1972 00:00:00 = 01/01/1972 00:00:10 TAI
- TUC a partir de 1972 atrelado ao TAI:
diferem sempre por um número inteiro de segundos
- Diferença TUC - TU < 0.9 segundos.

Alterações no Tempo Universal Coordenado

Secondes intercalaires			Secondes intercalaires		
Année	30 juin 23:59:60	31 déc. 23:59:60	Année	30 juin 23:59:60	31 déc. 23:59:60
1972	+1	+1	1997	+1	0
1973	0	+1	1998	0	+1
1974	0	+1	1999	0	0
1975	0	+1	2000	0	0
1976	0	+1	2001	0	0
1977	0	+1	2002	0	0
1978	0	+1	2003	0	0
1979	0	+1	2004	0	0
1980	0	0	2005	0	+1
1981	+1	0	2006	0	0
1982	+1	0	2007	0	0
1983	+1	0	2008	0	+1
1984	0	0	2009	0	0
1985	+1	0	2010	0	0
1986	0	0	2011	0	0
1987	0	+1	2012	+1 ⁷	0
1988	0	0	2013	0	0
1989	0	+1	2014	0	0 ⁸
1990	0	+1	2015	+1 ⁹	0 ¹⁰
1991	0	0	2016	0 ¹¹	+1 ¹²
1992	+1	0	2017	0 ¹³	0 ¹⁴
1993	+1	0	2018	0 ¹⁵	0 ¹⁶
1994	+1	0	2019	0 ¹⁷	0 ¹⁸
1995	0	+1	2020	0	0 ¹⁹
1996	0	0			

Sistema de Referência Temporal *(escala de tempo)*

- Alternância dia/noite



Tempo Universal (1884)

- **Movimentos orbital da Terra**



Tempo das Efemérides (1960)

- **Fenômenos quânticos**



Tempo Atômico (1967)

F I M