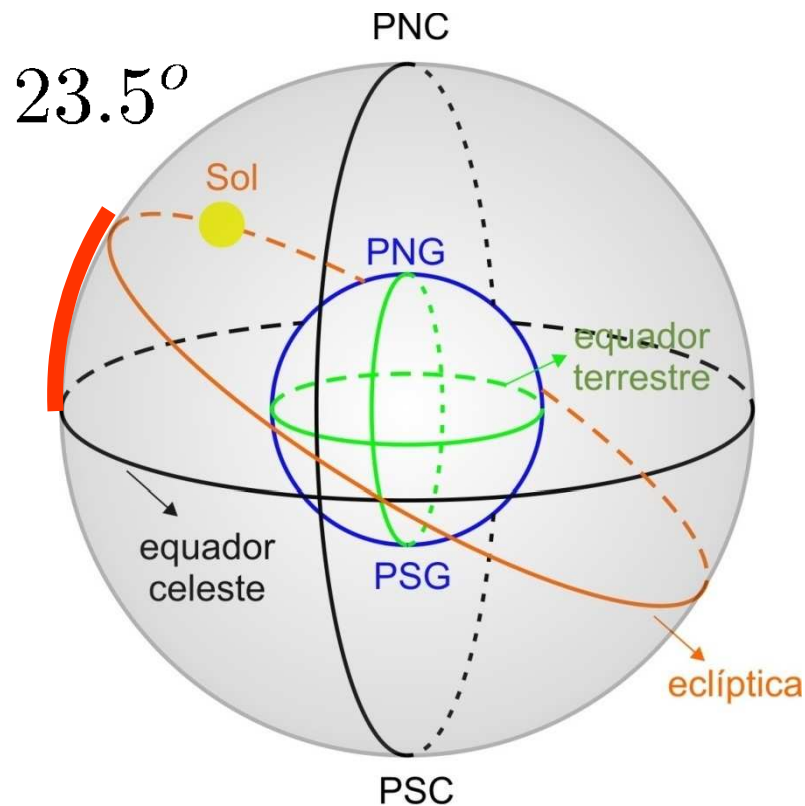


Movimento do Sol: circular e uniforme?



http://www.observatorio-phoenix.org/e_teorias/24_E01_1.gif

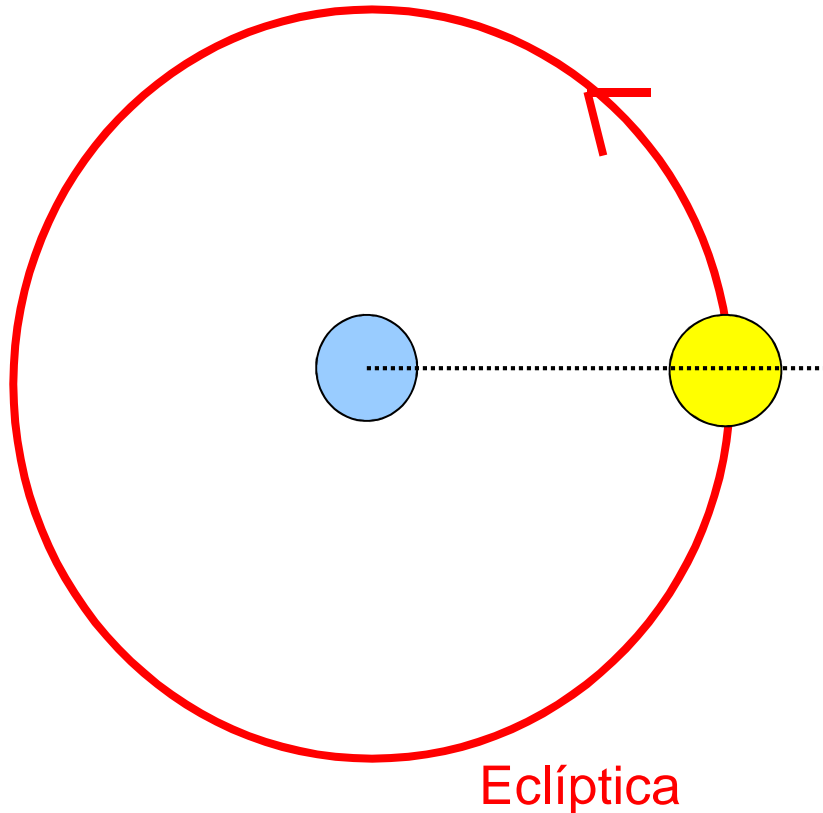
- Vimos que, ao longo do ano, o Sol traça uma trajetória na *eclíptica* (inclinada em relação ao equador celeste).

- O modelo de Aristóteles das “esferas celestes” diz que o movimento do Sol ao longo da eclíptica é *circular e uniforme*.

- No Livro III do *Almagesto*, Ptolomeu faz várias considerações sobre o movimento do Sol, a partir de observações de Hiparco e suas próprias. Por exemplo:

1. A duração do ano solar.
2. O nº de dias entre equinócios e solstícios.
3. A diferença entre a duração dos “dias solares verdadeiros” e o “dia médio” (equação dos tempos).

Número de dias no ano.



Período do movimento do Sol:

$$T=365 + 1/4 - 1/133 \text{ dias}$$

Isso é o *período sideral*.

- Ptolomeu cita várias medições de Hiparco da duração de dias entre os equinócios de Outono e Primavera.

-Resultado: sempre 365 dias mais $\frac{1}{4}$ de dia (com poucas exceções).

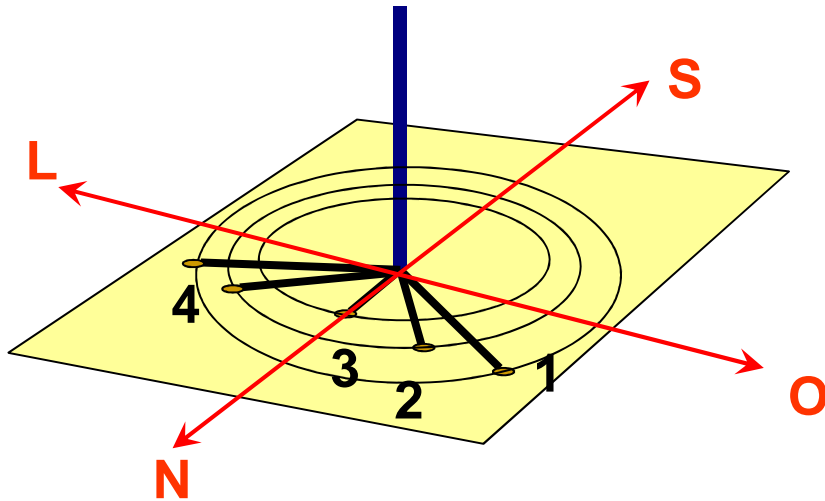
- Ptolomeu conclui que “*Em todas essas observações não há diferenças perceptíveis embora seja possível haver um erro...*”.

- Em outra análise, o próprio Ptolomeu faz medições e conclui que o período medido por Hiparco é de 365+1/4-1/300 dias.

- O valor aceito: 365+1/4-1/133 dias.

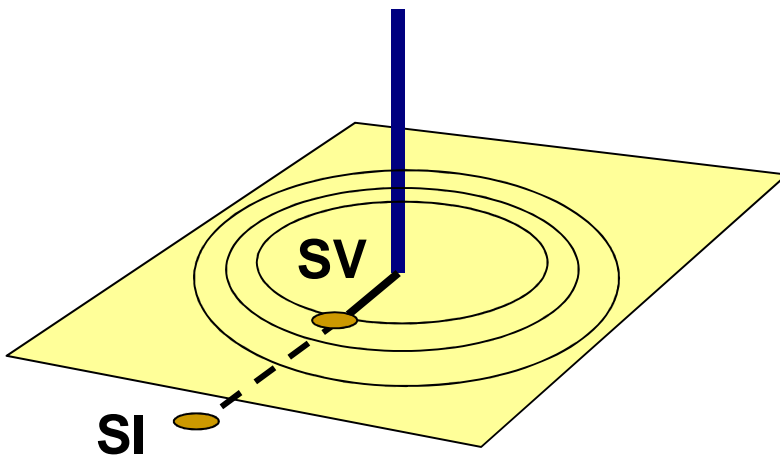
- **Qual a diferença entre esses valores (em minutos)?**

Duração do dia: é sempre igual?



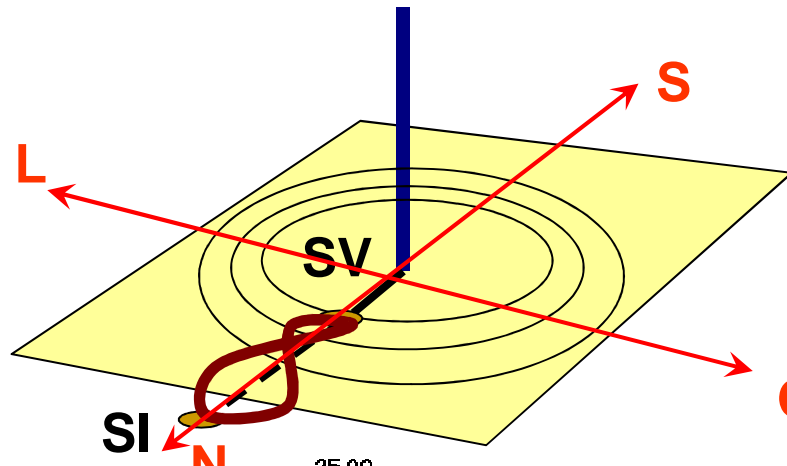
- Vimos que a menor sombra do dia ocorre ao *meio-dia solar* (posição 3) varia de comprimento ao longo do ano (linha tracejada):

- Mais longa no Solstício de Inverno (SI) e mais curta no Solstício de Verão (SV).

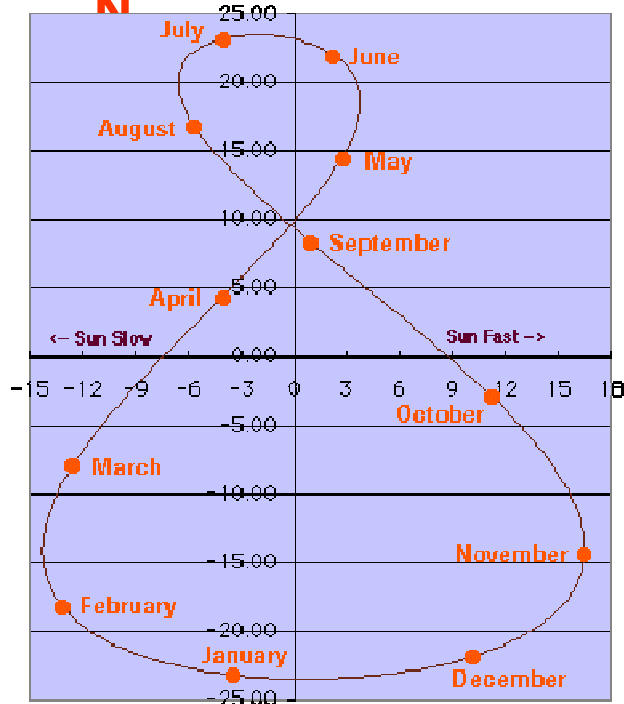


- A sombra mais curta fica sempre sempre ao longo na **linha norte-sul** (vermelha), por definição do **meio-dia solar** (sol mais alto no horizonte).

O Sol se atrasa e se adianta...



- Se você marcar a posição da sombra ao longo do ano sempre ao meio-dia no seu relógio, (**sem** horário de verão!) verá que ela não será a sombra mais curta na linha norte-sul.
- Ela formará um “8” ao longo do ano, a chamada “curva analema”.

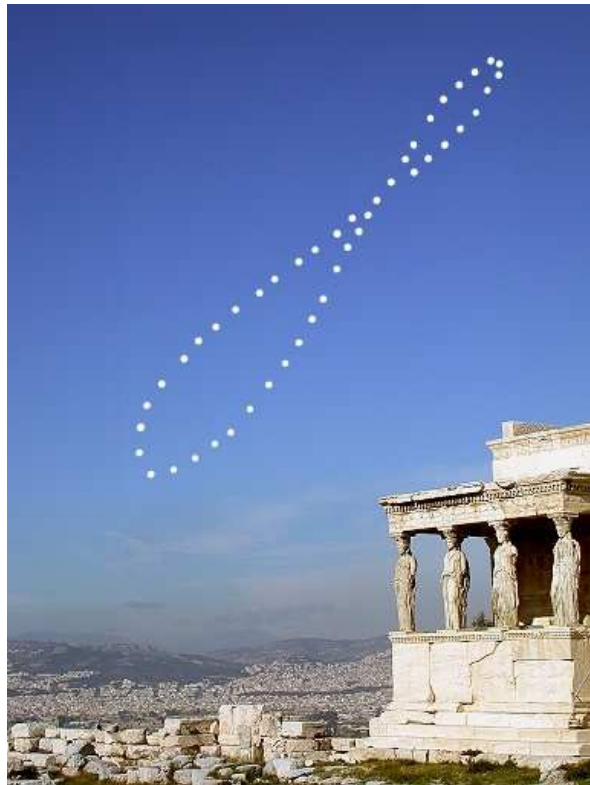


<http://solar-center.stanford.edu/Analemma.html>

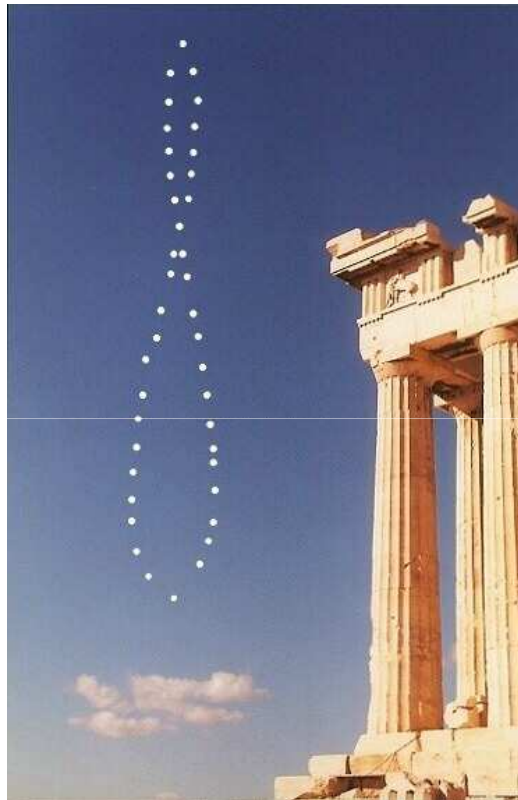
<http://astro.unl.edu/classaction/animations/coordsmotion/sunmotions.html>

A “analema”.

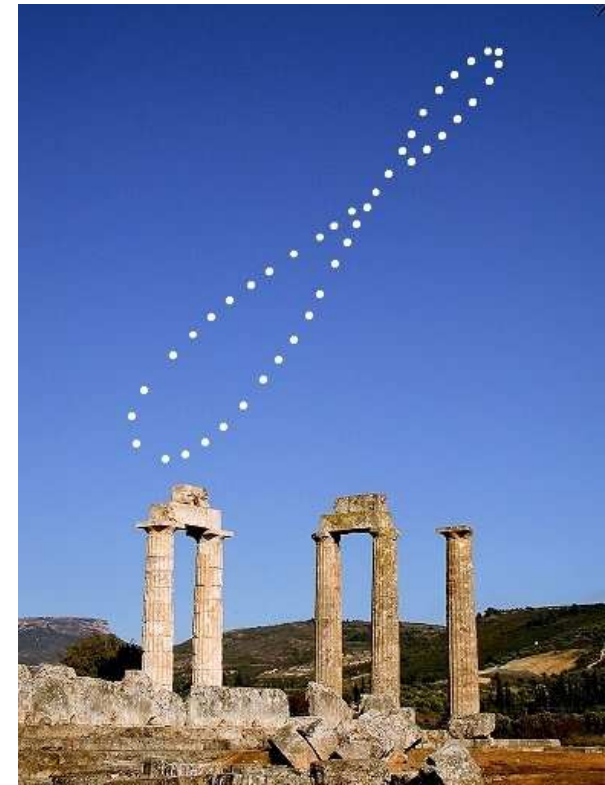
Fotos da posição do sol tiradas ao longo do ano sempre no mesmo horário.



5:00:00 UT+2 Jan 07 - Dec 20/03
Erechtheion, Athens, Greece



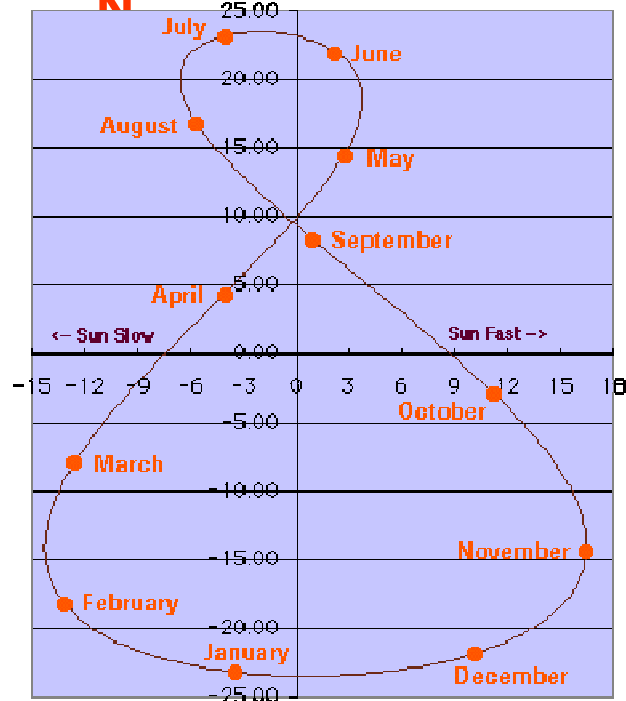
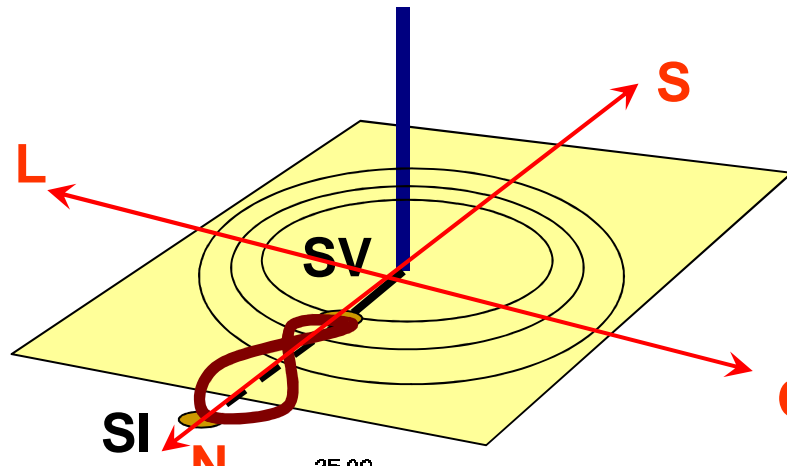
12:28:16 UT+2 Jan 12- Dec 21/02
Parthenon, Athens, Greece



16:00:00 UT+2 -Jan 07- Dec 20/03
Temple of Zeus, Ancient Nemea,
Greece

<http://solar-center.stanford.edu/art/analemma.html>

O Sol se atrasa e se adianta...



<http://solar-center.stanford.edu/analemma.html>

- Se você marcar a posição da sombra ao longo do ano sempre ao meio-dia no seu relógio, (**sem** horário de verão!) verá que ela não será a sombra mais curta na linha norte-sul.

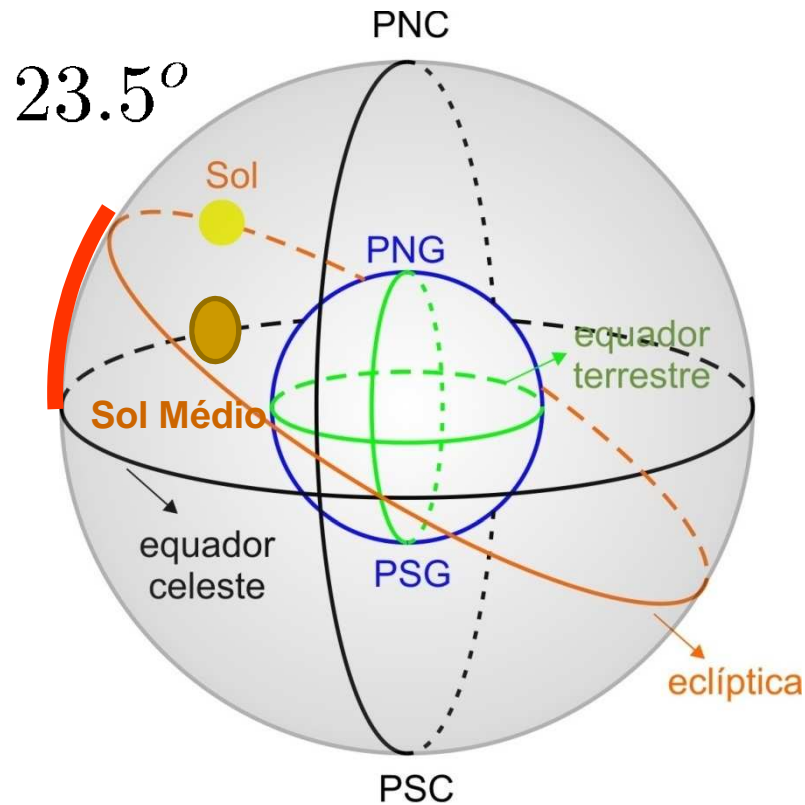
O - Ela formará um “8” ao longo do ano, a chamada “curva analema”.

- Ou seja: o Sol “atrasa” ou “se adianta” em relação ao horário do seu relógio ao longo do ano!

- Por que isto ocorre? Duas razões:

- 1) O Sol não se move ao longo do equador celeste.
- 2) A velocidade do Sol na eclíptica não é constante.

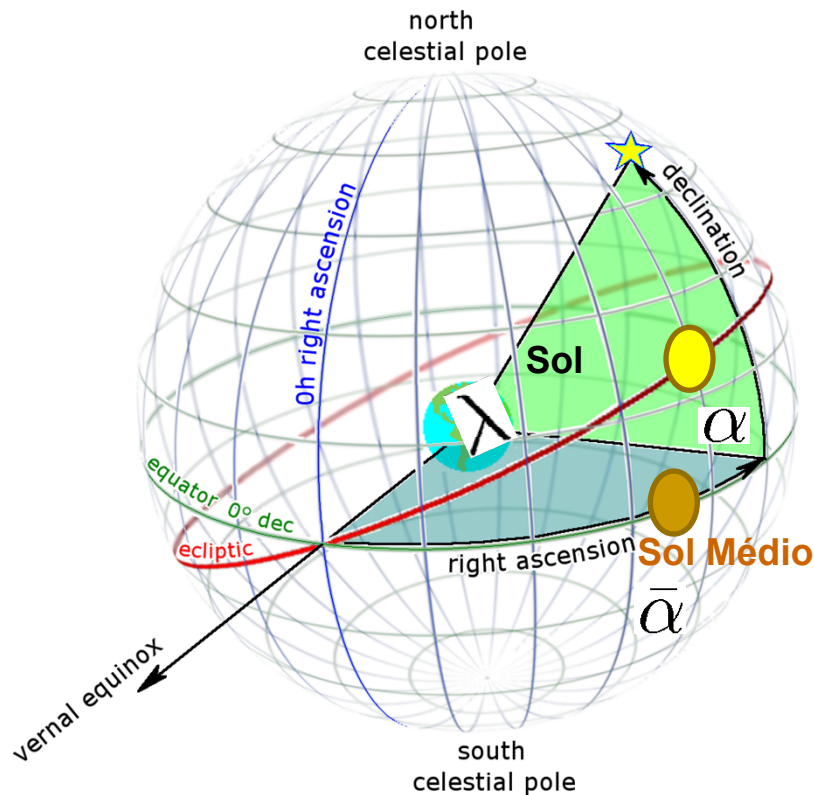
O “Sol Médio”



http://www.observatorio-phoenix.org/e_teorias/24_E01_1.gif

- Imagine um “Sol médio”, que se move de forma uniforme ao longo do **equador celeste** com o período de um ano.
- Embora o Sol real e o “Sol médio” tenham o mesmo período, eles terão velocidades diferentes: o Sol real é mais rápido.
- O “Sol Médio” nasce todo dia exatamente no ponto cardinal leste e se põe no oeste.
- Todos os **“dias médios”** (período entre dois trânsitos do “Sol médio” no meridiano local) **são rigorosamente iguais ao longo do ano.**
- Considere que um “dia médio” é dividido em 24 intervalos de tempo iguais. Essas são as **24 horas medidas pelo seu relógio.**

O “Sol Médio” vs Sol real



λ - longitude do Sol na eclíptica

α - ascensão reta do Sol.

$\bar{\alpha}$ - ascensão reta do Sol médio.

- O Sol real se move na eclíptica. Dada a sua longitude na eclíptica λ , sua **ascensão reta** α (longitude no equador celeste) será dada por:

$$\tan \alpha = \cos \epsilon \tan \lambda$$

onde ϵ é a inclinação da eclíptica ($\approx 23,5^\circ$)

-A ascensão reta do Sol médio $\bar{\alpha}$ é, por definição, igual à **longitude média** do Sol na eclíptica $\bar{\lambda}$ e será relacionada a α por:

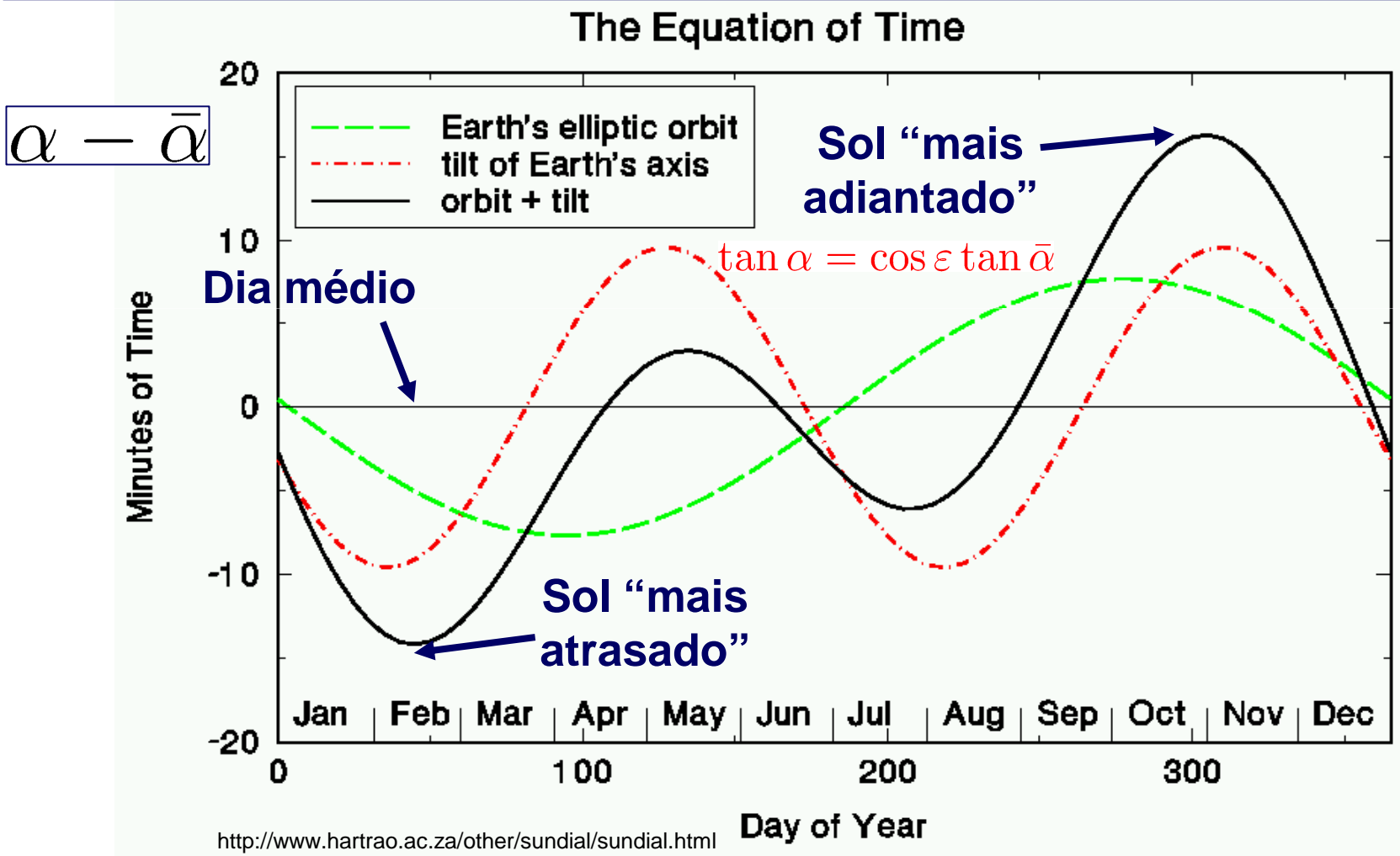
$$\tan \alpha = \cos \epsilon \tan (\bar{\alpha} + q)$$

onde q é a **anomalia do Sol** (variação da longitude do Sol na eclíptica em relação à média) ao longo do ano.

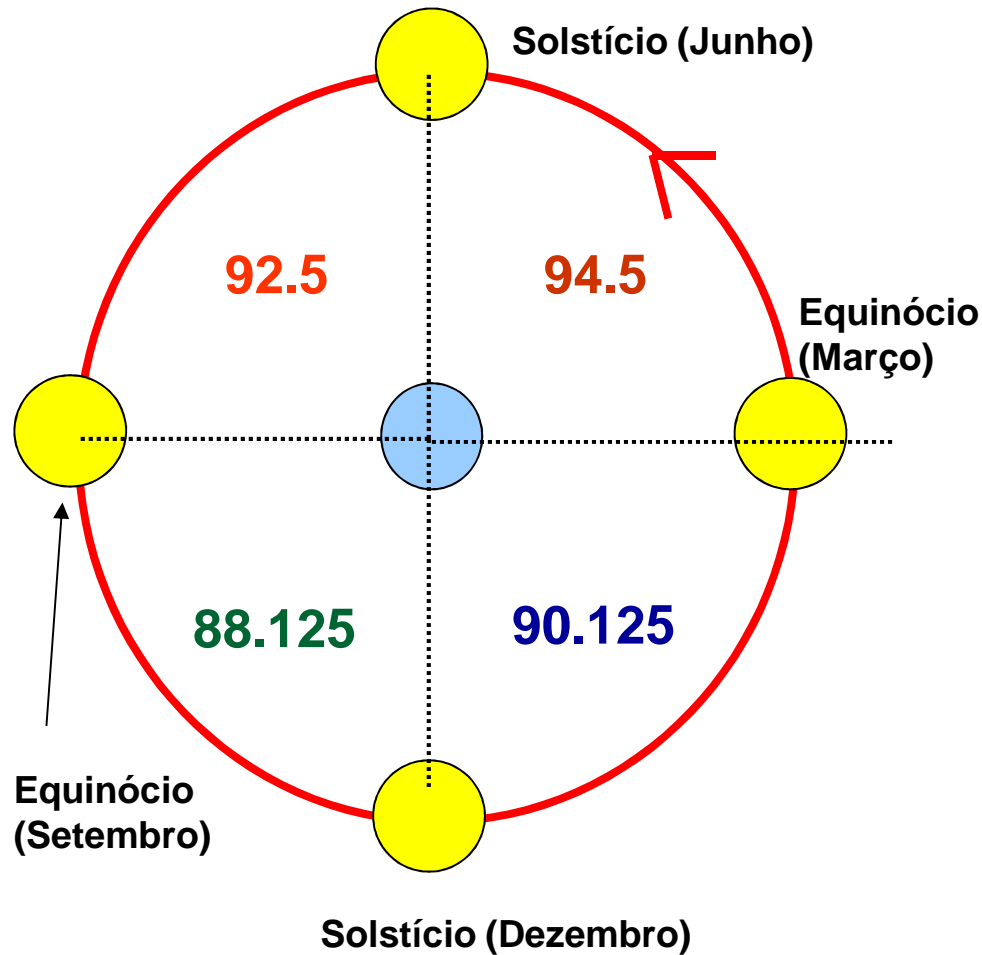
-A diferença entre o "meio-dia médio" (marcado pelo seu relógio) e o meio-dia solar será igual à diferença das duas ascensões retas (em minutos). Esta é a **equação dos tempos**.

A Equação dos Tempos.

A diferença entre o tempo solar e o tempo local (relógio) ao longo do ano é dada pela *equação dos tempos*.



Duração das Estações (Hiparco)

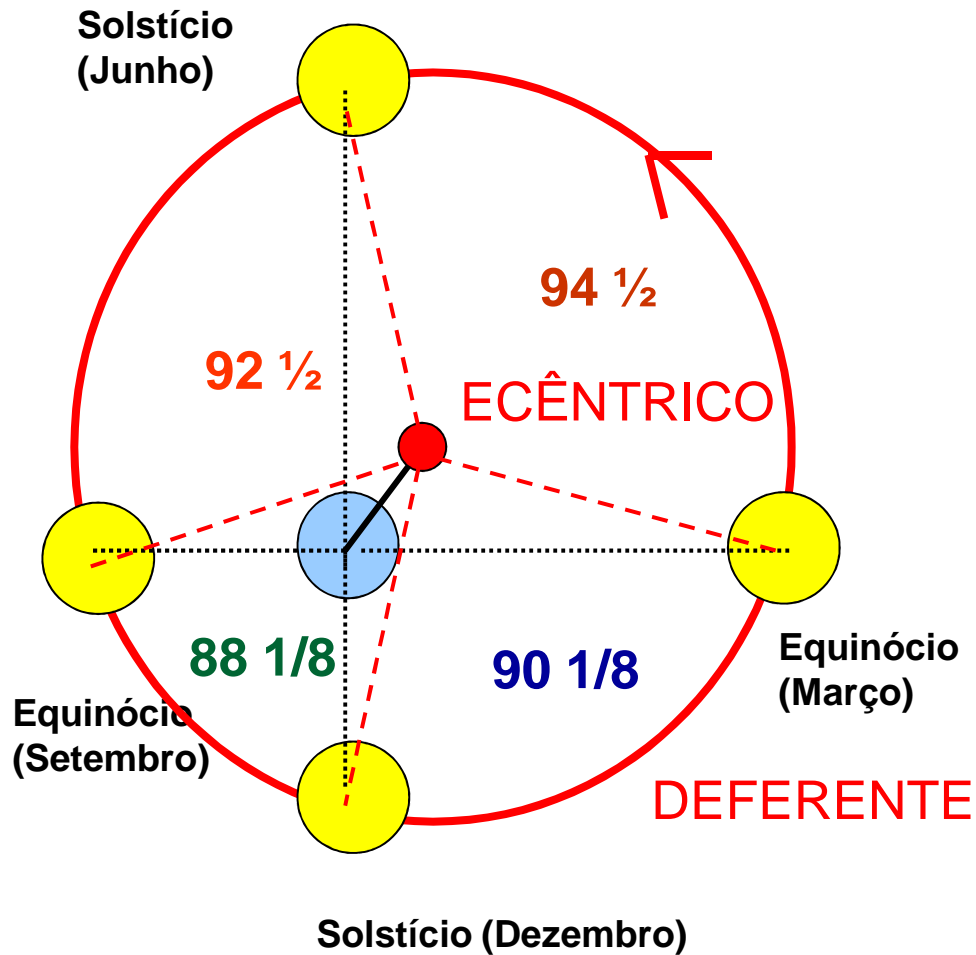


- Se o movimento for circular e uniforme, o número de dias entre solstícios e equinócios deveria ser *igual*.

- Ptolomeu: medições de Hiparco mostram que isto **não ocorre**:

Estações (H.Norte)	Hiparco (130 ac)	Atual
Verão	92 ½ dias	93.65 dias
Outono	88 1/8 dias	89.85 dias
Inverno	90 1/8 dias	88.99 dias
Primavera	94 ½ dias	92.75 dias
Total	365 ¼	365.24

Modelo: ecêntrico+deferente (Hiparco)



- Uma explicação possível é que a Terra não está no centro da órbita circular do Sol.

- O círculo da trajetória circular e uniforme do Sol é o *deferente*.

- O centro do deferente é o *ecêntrico*.

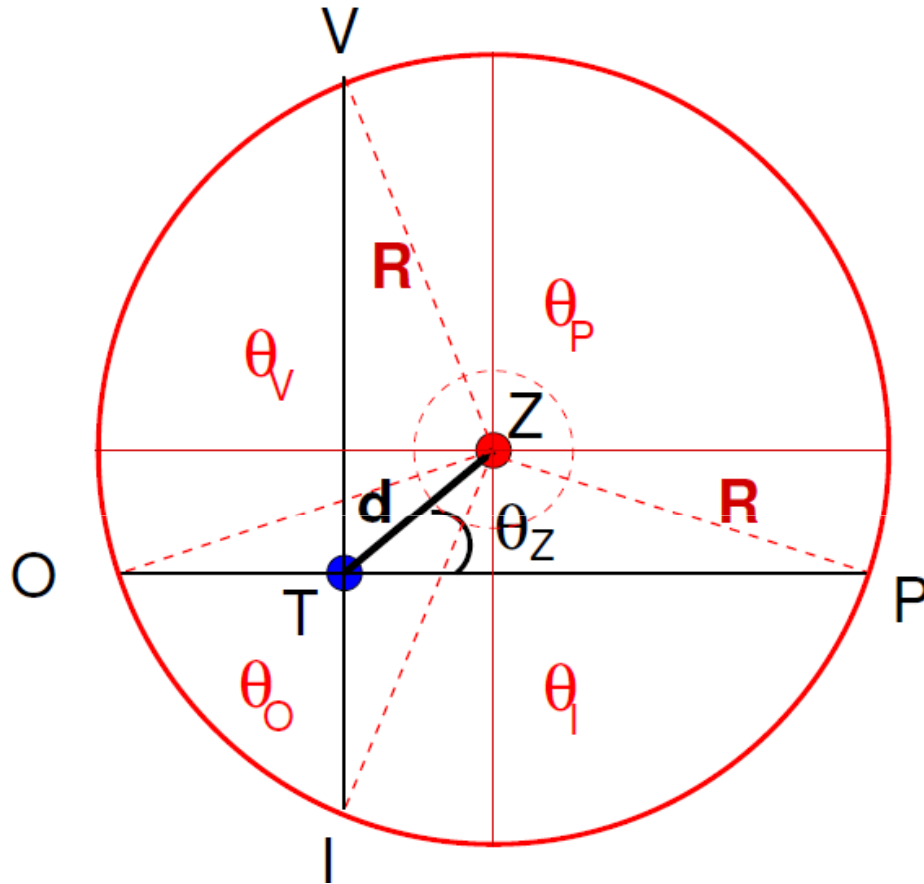
- Vide Cap. 3-4 (p.93 e 94) do *Almagesto!*

- Simulações:

<http://people.sc.fsu.edu/~dduke/nseasons.html>

<http://astro.unl.edu/naap/ssm/animations/ptolemaic.html>

Tarefa 6: ecêntrico+deferente (Hiparco)



Exercício da Lista 2: Dados θ_P , θ_V , θ_O e θ_I , encontre expressões para d/R e θ_Z .

- O Sol percorre uma trajetória circular de raio R com período T em torno do ecêntrico Z .

- A Terra está no ponto T . O ecêntrico está a uma distância d e um ângulo θ_Z da Terra.

- Os solstícios/equinócios ocorrem quando o Sol passa pelos pontos P, V, O, I .

- **Tarefa 6:** Com base nos dados de Hiparco (no. de dias entre equinócios e solstícios) e usando $T=365.25$ dias, calcule os ângulos θ_P , θ_V , θ_O e θ_I .

- Bônus: encontre esses números nas pags. 94 e 95 do *Almagesto*...