PARTE 2 do curso

Ptolomeu, Galileu e Copérnico

O que será abordado neste curso:

O Caminho até a Teoria da Gravitação de Newton:

Parte 1 (4 aulas)

- Conceitos básicos de Astronomia: Movimento do Sol e dos Corpos Celestes, esfera celestes, “laçadas dos planetas”.
- Descobertas da Antiguidade: Aristarco, Eratóstenes, Hiparco

Parte 2 (4 aulas)

- Modelo de Ptolomeu (séc II): Epiciclos e deferentes.
- Copérnico e Tycho Brahe (séc XV) e Galileu (séc XVI-XVII).

Parte 3 (4-5 aulas)

- Leis de Kepler (séc XVI-XVII) do movimento dos planetas.
- Teoria de Gravitação de Newton (séc XVII).

Ptolomeu de Alexandria (c.90-168 d.c.)

http://en.wikipedia.org/wiki/Almagest

http://en.wikipedia.org/wiki/Ptolemy

- Fortemente influenciado pelas idéias de Hiparco de Nicea.
- Tratado: *Almagesto*

O Almagesto de Ptolomeu

O Almagesto é formado por 13 livros**:**

Livros I e II: Defesa da visão aristotélica (modelo geocêntrico); explicação sobre ângulos e cordas; obliquidade da Eclíptica, movimento dos corpos celestes.

Livro III: movimento do Sol; duração do ano e das estações; descreve em detalhe as medições de Hiparco de Nicea (190-120a.c.); <u>variação da duração do dia (“Equação dos Tempos”), modelos geométricos.</u>

Livros IV e V: movimento da Lua. ***Livro VI:*** Eclipses.

Livro VII e VIII: movimento das estrelas fixas; catálogo de constelações.

Livros IX a XI: <u>movimento dos 5 planetas visíveis a olho nú: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Modelo planetário.</u>

Livros XII e XIII: <u>movimento retrógrado dos planetas;</u>

Almagesto: números em base-60

- Várias partes do *Almagesto* contém tabelas de números e dados.

-Ptolomeu expressa números em base 60, como os Babilônios:

$$\boxed{a + \frac{b}{60} + \frac{c}{(60)^2} + \frac{d}{(60)^3} + \cdots = a; b, c, d \ldots}$$

onde a,b,c,d,… são números entre 0 e 59.

- Exemplos: $\boxed{365; 15 = 365 + \frac{15}{60} = 365 + \frac{1}{4} = 365.25}$

$$\boxed{1; 24, 51, 10 = 1 + \frac{24}{60} + \frac{51}{60^2} + \frac{10}{60^3} = \frac{305470}{216000} = 1.414212963 \approx \sqrt{2}}$$

- Inverso: $365.25 = 365 + \frac{1}{4} = 365 + \frac{15}{60} = 365; 15$

- Algorítmo: multiplique os decimais por 60 até chegar em um inteiro:

$$\boxed{0.25 \times 60 = 15 \Rightarrow 0.25 = \frac{15}{60} = 0; 15}$$

Almagesto: números em base-60

- Mais exemplos: passando números "quebrados" para base 60

$$1.4142 = ?$$

- Algorítmo inverso: multiplique os decimais por 60 sucessivamente até chegar em um número inteiro:

$$\boxed{\begin{array}{rcl} 0.4142 \times 60 & = & \mathbf{24}.852 \\ 0.852 \times 60 & = & \mathbf{51}.12 \\ 0.12 \times 60 & = & \mathbf{7}.2 \\ 0.2 \times 60 & = & \mathbf{12} \end{array}} \longrightarrow \boxed{1.4142 = 1;24,51,7,12}$$

- **A prova:**

$$1 + 0.4142 = 1 + \frac{24 + 0.852}{60} = 1 + \frac{24}{60} + \frac{51.12}{60.60} = 1 + \frac{24}{60} + \frac{51}{60^2} + \frac{7.2}{60.60.60} = \cdots$$

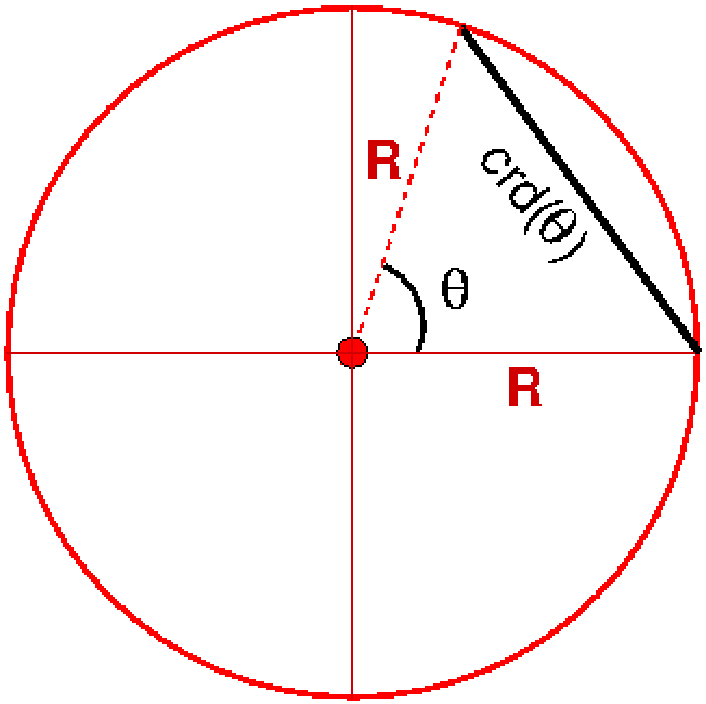
$$\Rightarrow 1.4142 = 1 + \frac{24}{60} + \frac{51}{60^2} + \frac{7}{60^3} + \frac{12}{60^4} \Rightarrow \boxed{1.4142 = 1;24,51,7,12}$$

- **Tarefa:** expresse 2.42 em base 60.

Almagesto: ângulos em “cordas”

- No Almagesto encontramos “tabelas de cordas”, equivalentes a tabelas de senos e cossenos.

- A “corda” de um ângulo θ em um círculo de raio *R* é dada por



$$\boxed{\mathrm{crd}(\theta) = 2R\,\mathrm{sen}(\theta/2)}$$

- Ptolomeu usa círculos com R=60.

- **Exemplo:** corda de 120º para Ptolomeu.

$$\mathrm{crd}(120^o) = 120\,\mathrm{sen}(60^o) = 120.\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\boxed{\Rightarrow \mathrm{crd}(120^o) = 60\sqrt{3} \approx 103.923}$$

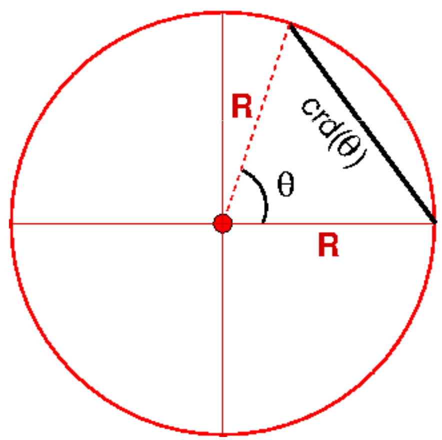
Almagesto: Tabelas de cordas

11. Table of Chords

Arcs	Chords			Sixtieths[1]			
½	0	31	25	0	1	2	50
1	1	2	50	0	1	2	50
1½	1	34	15	0	1	2	50
2	2	5	40	0	1	2	50
2½	2	37	4	0	1	2	48
3	3	8	28	0	1	2	48
3½	3	39	52	0	1	2	48
4	4	11	16	0	1	2	47
4½	4	42	40	0	1	2	47
5	5	14	4	0	1	2	46
5½	5	45	27	0	1	2	45
6	6	16	49	0	1	2	44
6½	6	48	11	0	1	2	43
7	7	19	33	0	1	2	42
7½	7	50	54	0	1	2	41
8	8	22	15	0	1	2	40
8½	8	53	35	0	1	2	39
9	9	24	54	0	1	2	38
9½	9	56	13	0	1	2	37
10	10	27	32	0	1	2	35
10½	10	58	49	0	1	2	33
11	11	30	5	0	1	2	32
11½	12	1	21	0	1	2	30
12	12	32	36	0	1	2	28
12½	13	3	50	0	1	2	27
13	13	35	4	0	1	2	25
13½	14	6	16	0	1	2	23
14	14	37	27	0	1	2	21
14½	15	8	38	0	1	2	19
15	15	39	47	0	1	2	17
15½	16	10	56	0	1	2	15
16	16	42	3	0	1	2	13
16½	17	13	9	0	1	2	10
17	17	44	14	0	1	2	7
17½	18	15	17	0	1	2	5
18	18	46	19	0	1	2	2
18½	19	17	21	0	1	2	0
19	19	48	21	0	1	1	57
19½	20	19	19	0	1	1	54
20	20	50	16	0	1	1	51
20½	21	21	11	0	1	1	48
21	21	52	6	0	1	1	45
21½	22	22	58	0	1	1	42
22	22	53	49	0	1	1	39
22½	23	24	39	0	1	1	36
23	23	55	27	0	1	1	33
23½	24	26	13	0	1	1	30
24	24	56	58	0	1	1	26
24½	25	27	41	0	1	1	22
25	25	58	22	0	1	1	19
25½	26	29	1	0	1	1	15
26	26	59	38	0	1	1	11
26½	27	30	14	0	1	1	8
27	28	0	48	0	1	1	4
27½	28	31	20	0	1	1	0
28	29	1	50	0	1	0	56
28½	29	32	18	0	1	0	52
29	30	2	44	0	1	0	48
29½	30	33	8	0	1	0	44
30	31	3	30	0	1	0	40
30½	31	33	50	0	1	0	35
31	32	4	7	0	1	0	31
31½	32	34	22	0	1	0	27
32	33	4	35	0	1	0	22

[1]The sexagesimal system is carried out ...

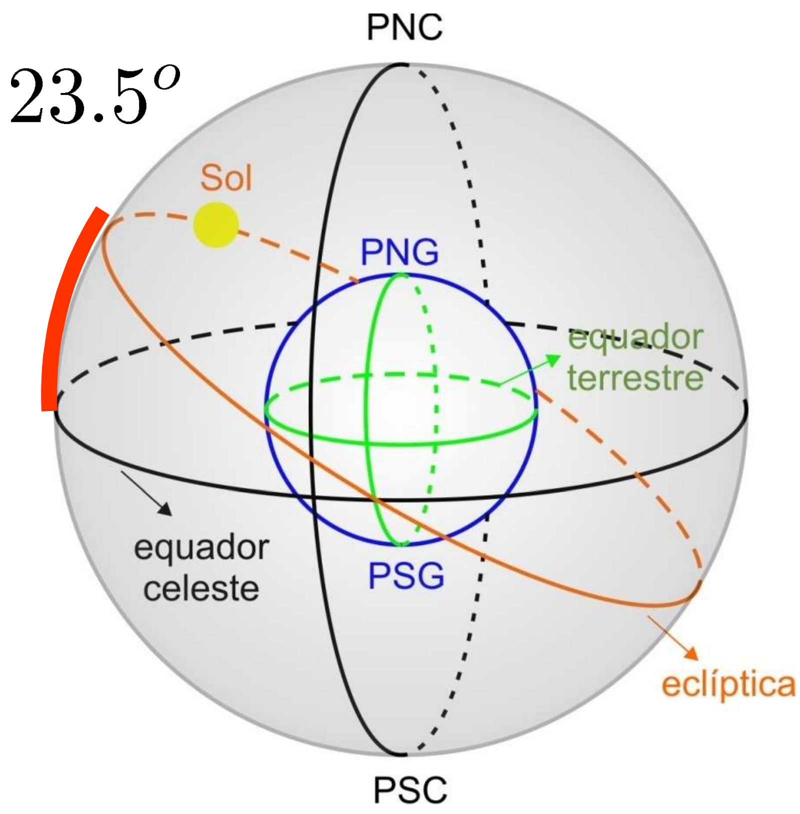
- **Tarefa 2:** calcule a corda de um ângulo de 30º em um círculo de Ptolomeu (R=60) e expresse em base 60.



- Compare com a tabela do *Almagesto* (p.21):

crd(30)=31;3,30

Movimento do Sol: circular e uniforme?



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

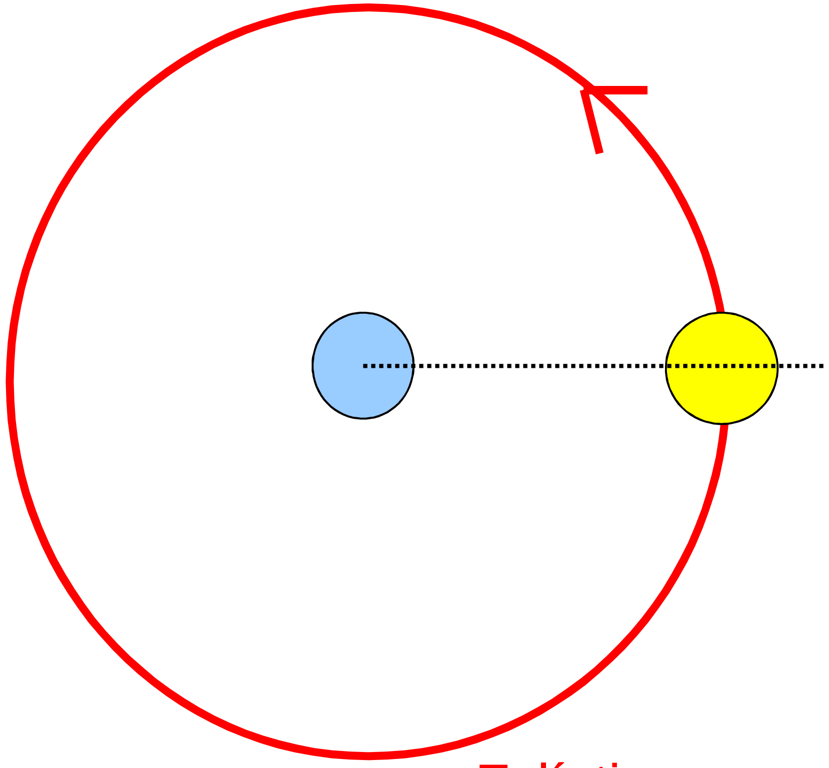
- Vimos que, ao longo do ano, o Sol traça uma trajetória na *eclíptica* (inclinada em relação ao equador celeste).

- 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 dias
Isso é o *período sideral.*

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

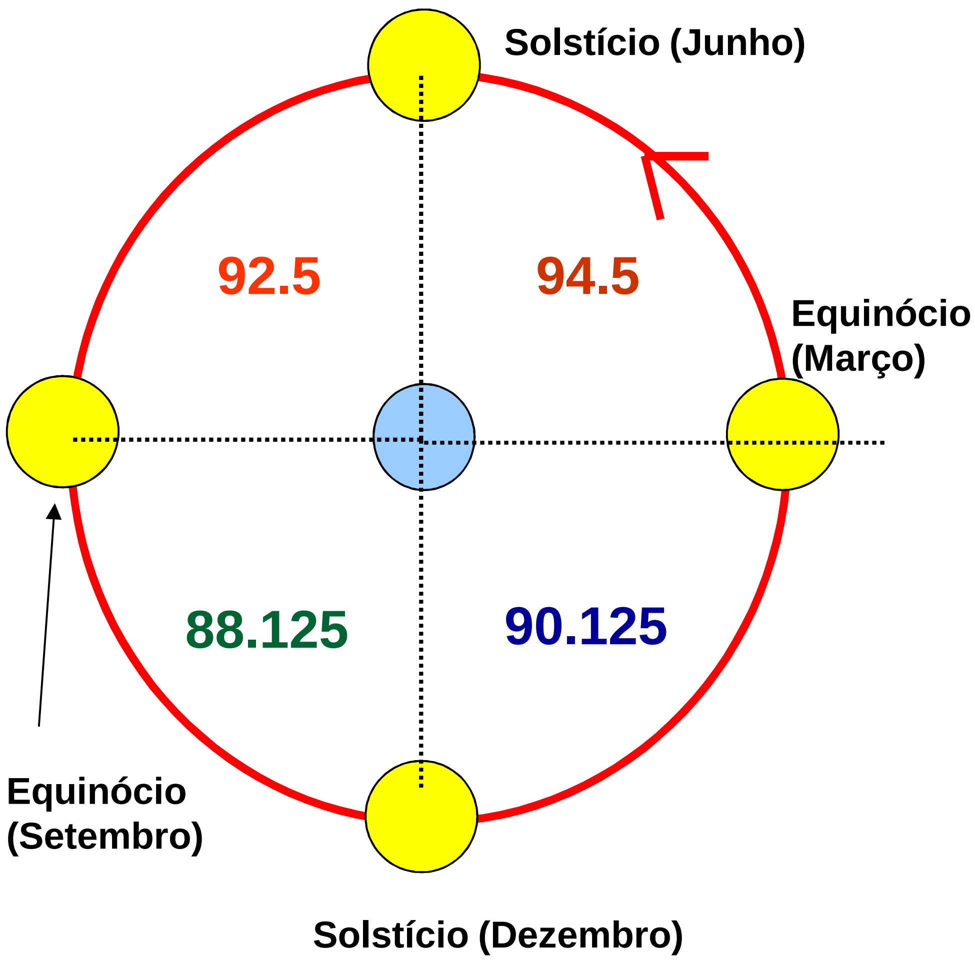
-Resultado: sempre 365 dias mais ¼ de dia (com poucas exceções).

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

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

- O valor aceito: <u>365+1/4-1/133 dias</u>.
- **Tarefa 3: qual a diferença entre esses valores (em minutos)?**

Duração das Estações (Hiparco)

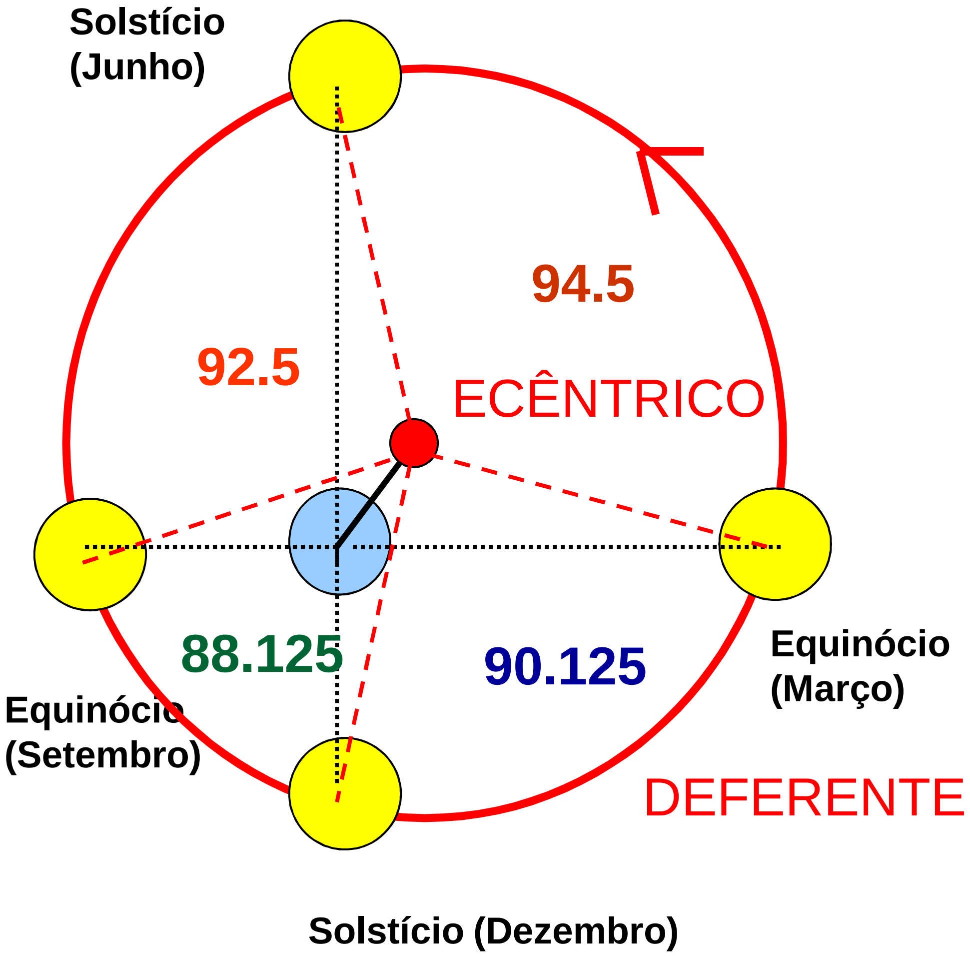


- Se o movimento for circular e uniforme, o número de dias entre solstícios e equinócios deveria ser *igual.*

- Ptlomeu: 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 <u>não está no centro</u> da órbita circular do Sol.

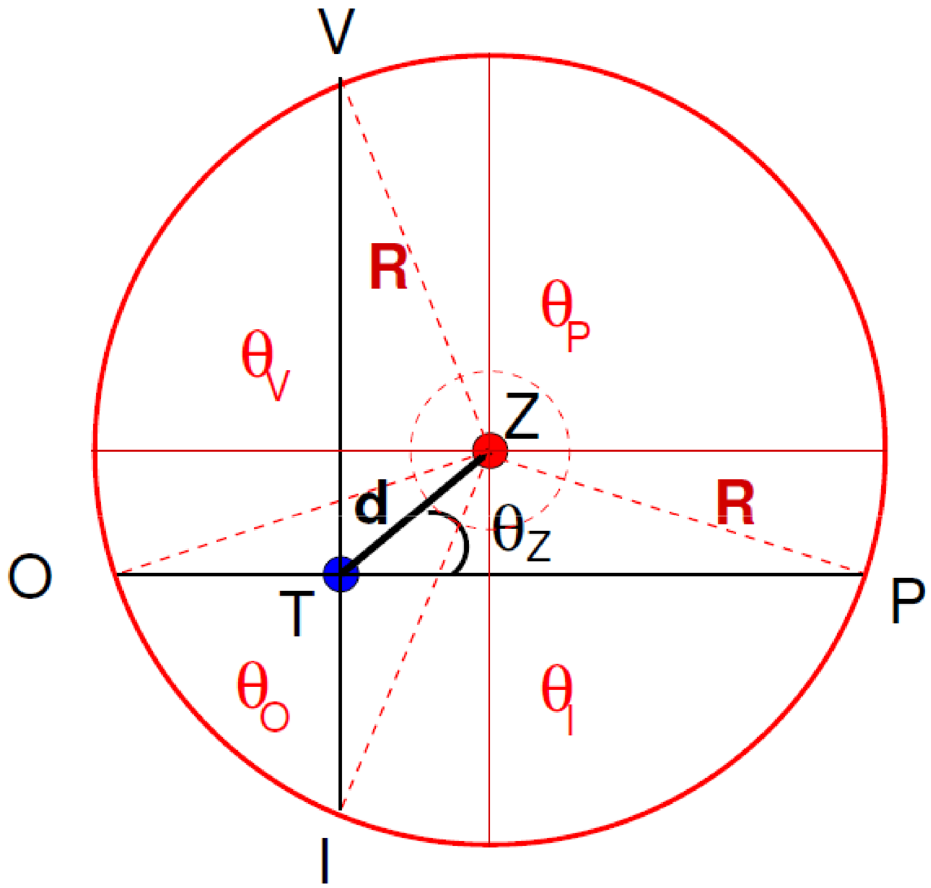
- O círculo da trajetória circular e uniforme do Sol é o *deferente.*

- O centro do deferente é o *ecêntrico.*

- Simulações:
http://people.sc.fsu.edu/~dduke/nseasons.html

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

Modelo: ecêntrico+deferente (Hiparco)



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

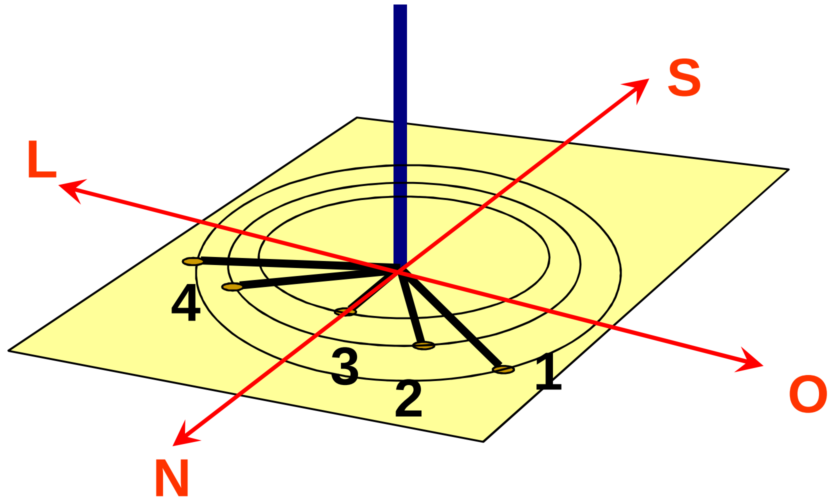
- A Terra está no ponto *T*. O ecêntrico está a uma distância ***d*** e um ângulo θ_Z da Terra.

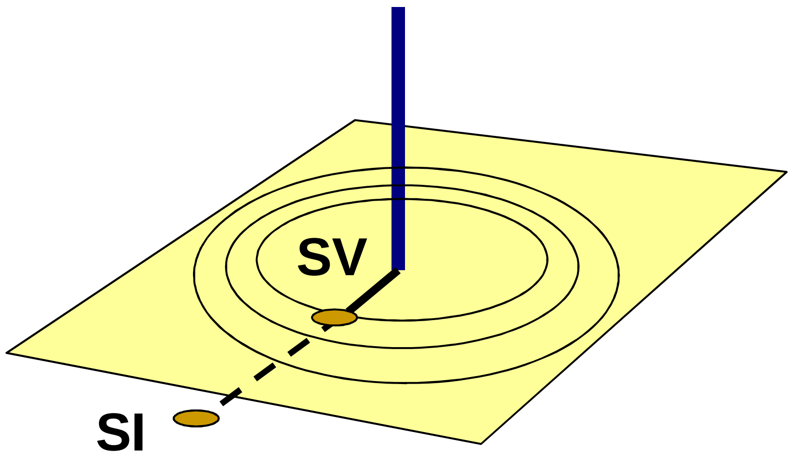
- Os solstícios/equinócios ocorrem quando o Sol passa pelos pontos P,V,O,I.

- **Tarefa 4:** Com base nos dados de Hiparco (no. de dias entre equinócios e solstícios) e usando *T*=365.25 dias, <u>calcule os ângulos</u> θ_P, θ_V, θ_O e θ_I.

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

Duração do dia: é sempre igual?



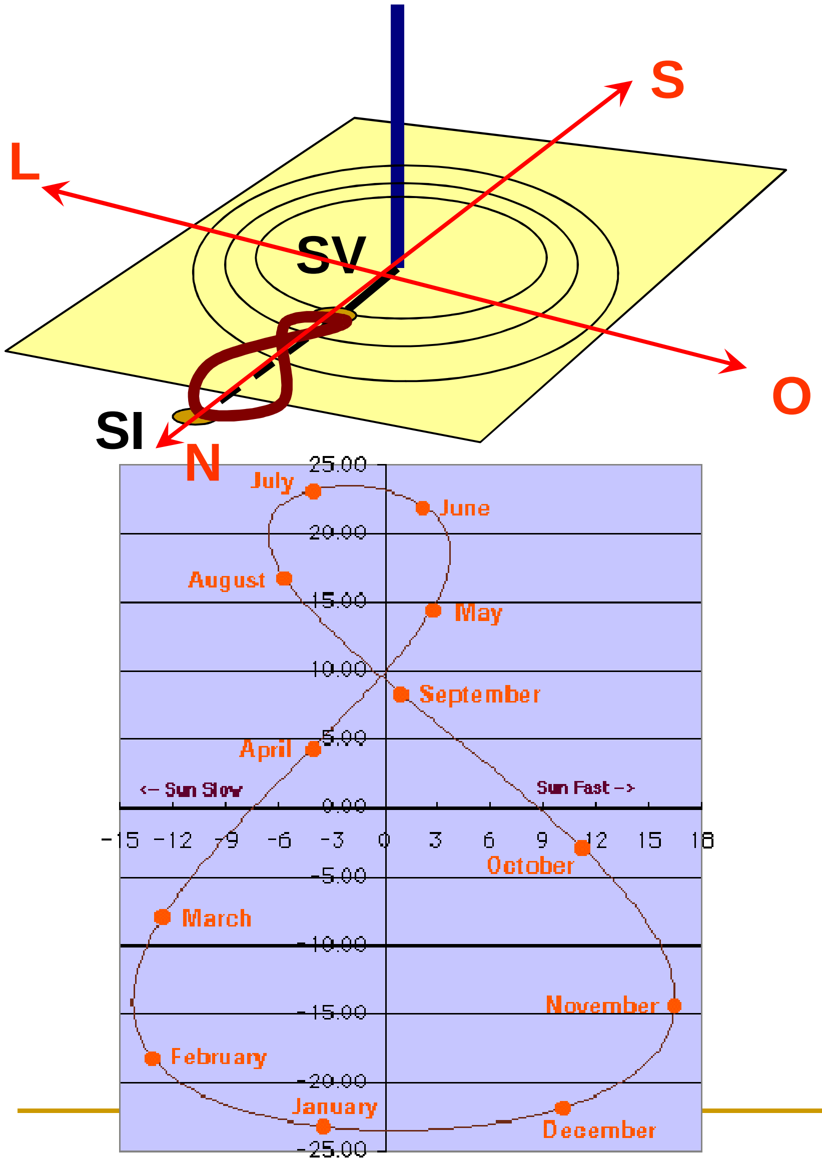


- Vimos que a menor sombra do dia ocorre ao *meio-dia solar* (posição 3) varia de comprimento ao longo do ano (linha tracejada):

- 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…



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

- Se você marcar a posição da sombra ao longo do ano sempre ao <u>meio-dia no seu relógio</u>, 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".

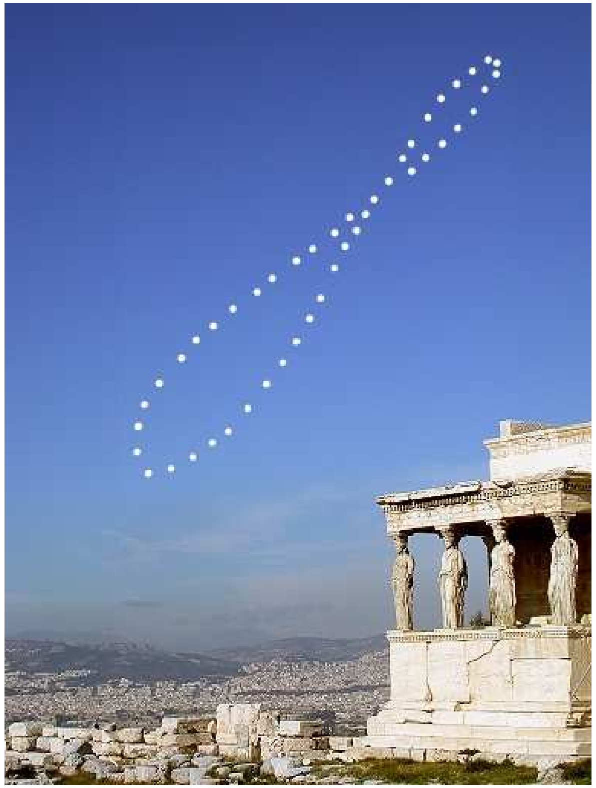
- **Ou seja: o Sol "atrasa" ou "se adianta" em relação ao seu relógio dependendo da época do ano!**

- Por conta da inclinação da eclíptica, uma diferença assim ocorreria <u>mesmo se</u> o movimento do Sol em torno da Terra fosse circular e uniforme.

- Nesse caso, a analema seria um "8" simétrico, sem a assimetria da figura.

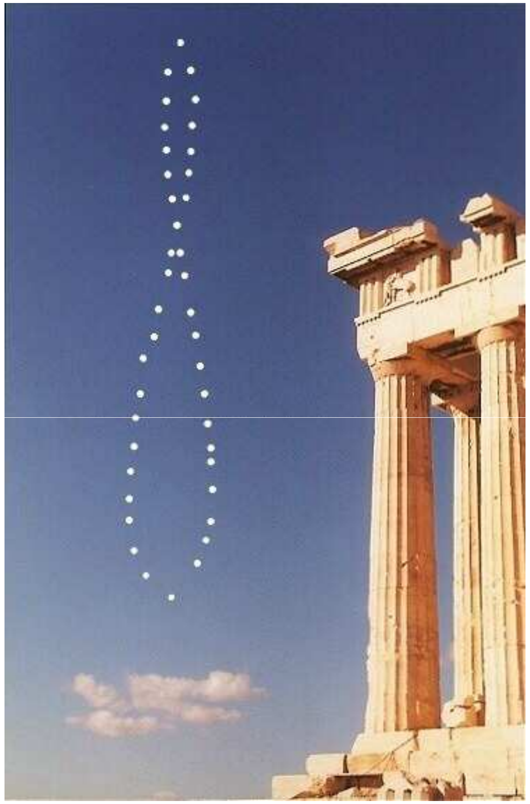
A “analema”.

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



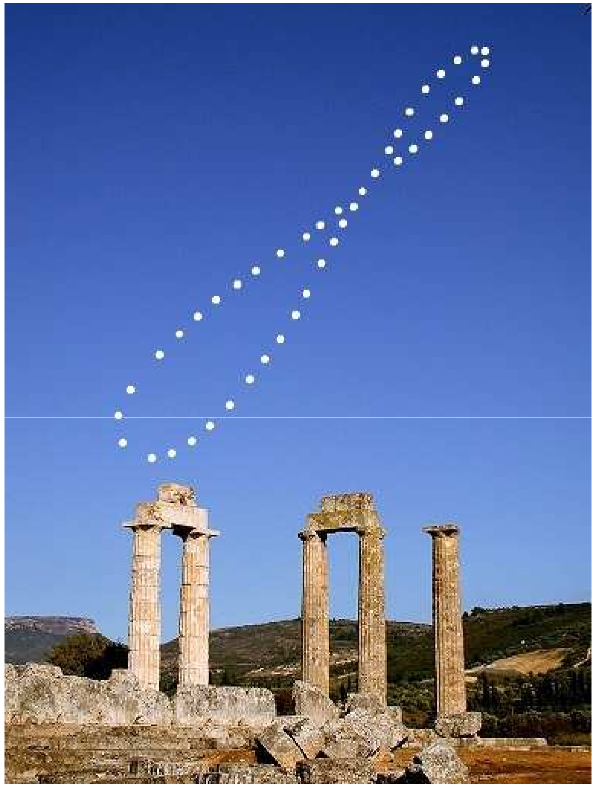
5:00:00 UT+2 Jan 07 - Dec 20/03

Erechtheion,Athens, Greece



12:28:16 UT+2 Jan 12- Dec 21/02

Parthenon, Athens, Greece



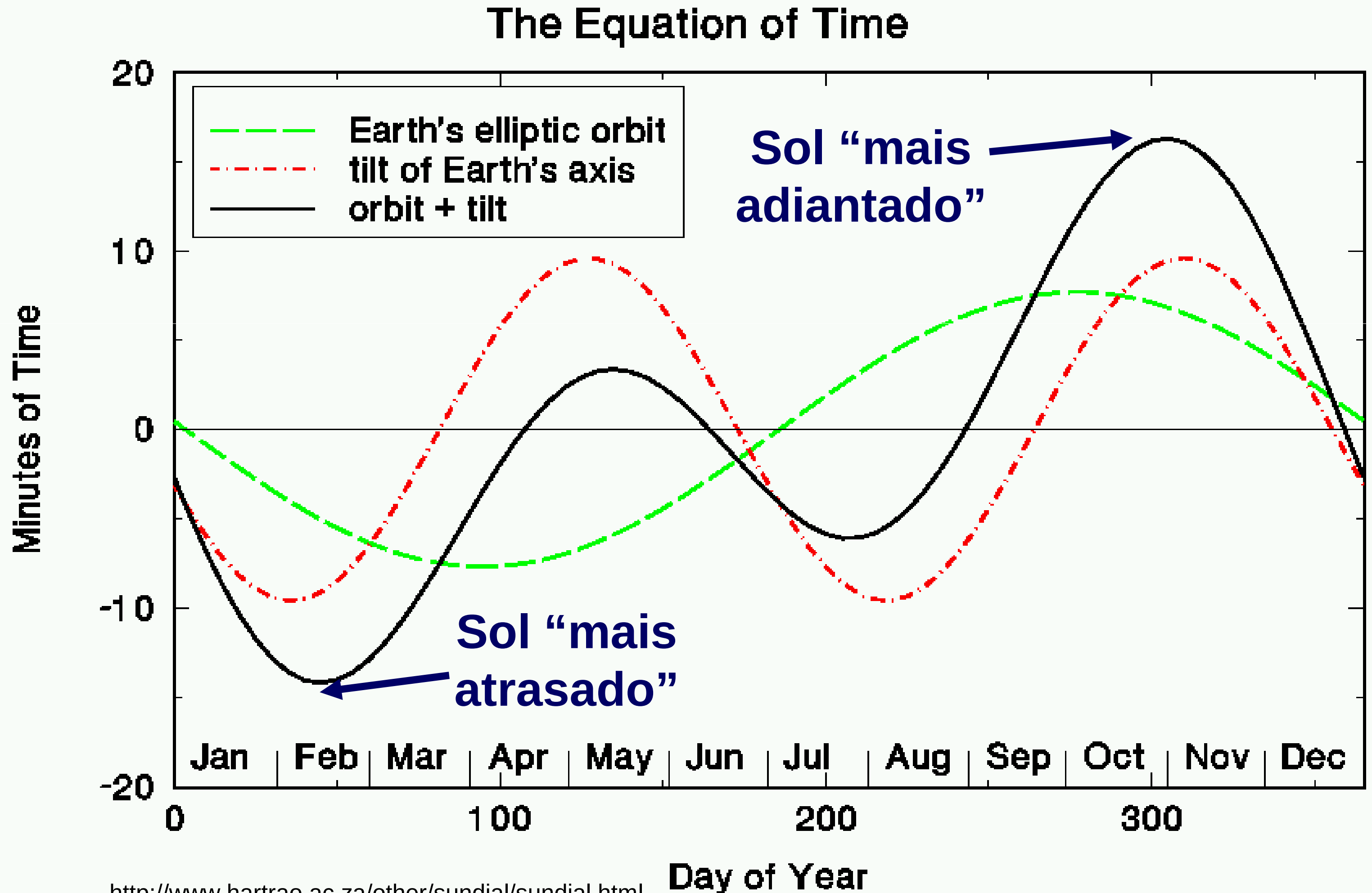
16:00:00 UT+2 -Jan 07- Dec 20/03

Temple of Zeus, Ancient Nemea, Greece

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

Equação dos tempos.

A diferença entre o “tempo solar verdadeiro” e o “tempo local” medido pelo seu relógio ao longo do ano é chamada *equação dos tempos*.



http://www.hartrao.ac.za/other/sundial/sundial.html