

## PARTE 2 do curso

Ptolomeu, Copérnico e Galileu

# 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

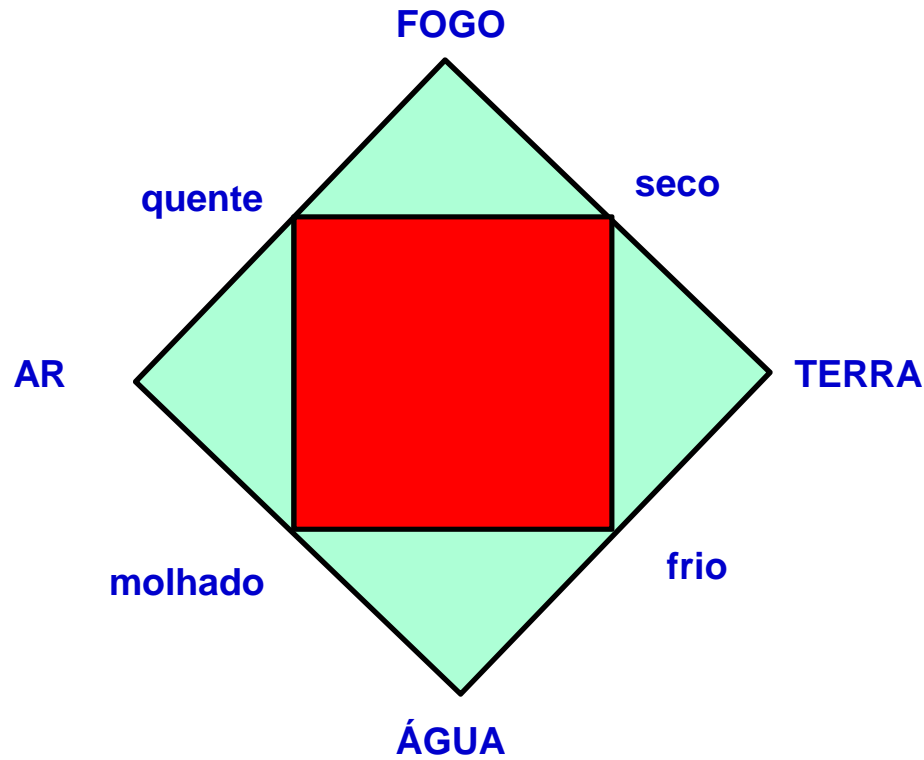
### Parte 2 (4 aulas)

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

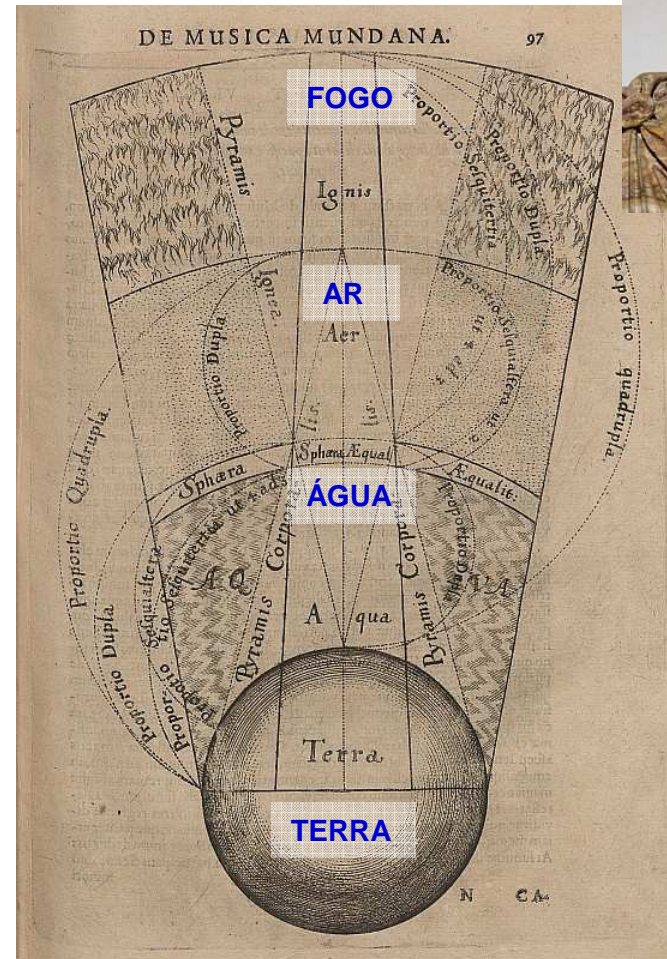
### Parte 3 (4-5 aulas)

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

# A Física de Aristóteles (324-322 a.c.)



- Objetos terrenos (4 elementos)
- “Corruptíveis”, suscetíveis à mudança.
- Movimento = mudança!



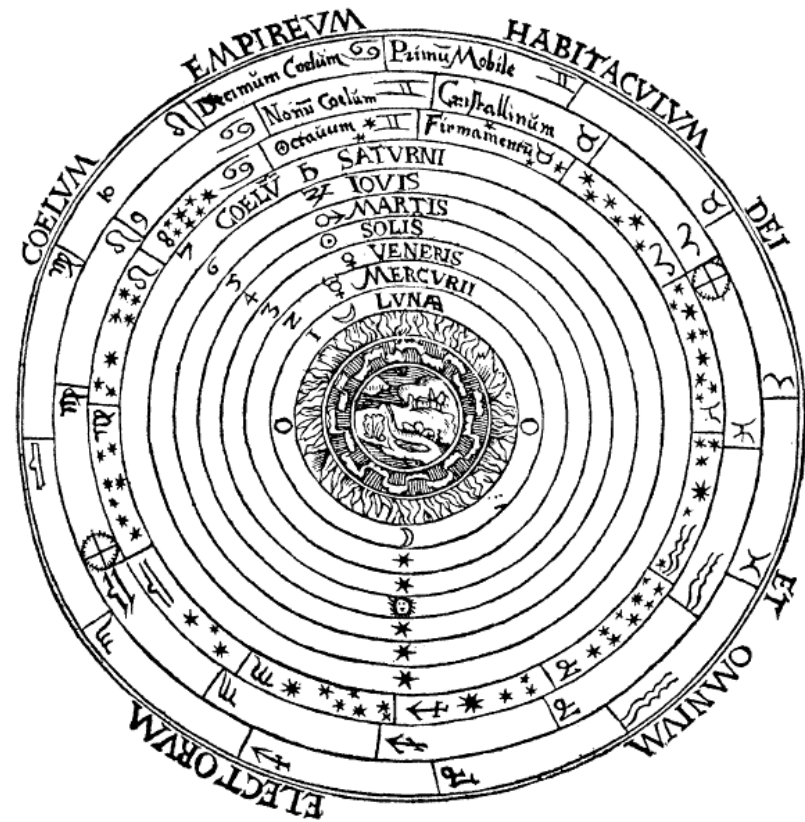
Quelle: Deutsche Fotothek

-Cada elemento tem seu “lugar natural”

# O 5º elemento e as “esferas celestes”

- *Esferas celestes* são formadas pelo “5º elemento”: translúcido, sem peso.
- Posteriormente chamado de “éter” ou “quintessência”.
- Incapaz de “mudança” como os outros 4 elementos.
- **Objetos celestes não são formados do elemento “terra”**. A “Terra”, para Aristóteles, não é um “planeta”!
- “Esferas celestes”: *esferas* são figuras geométricas “perfeitas”.
- O movimento circular (repetitivo e imutável) é o movimento “perfeito”.

Schema huius præmissæ diuisionis Sphærarum .



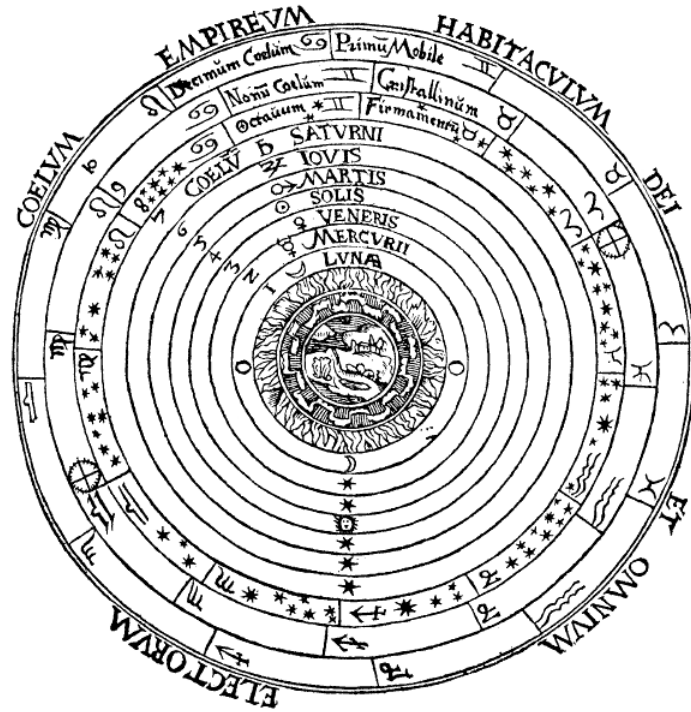
<http://en.wikipedia.org/wiki/Almagest>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Aristotle>



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

Schema huius præmissæ diuisionis Sphærarum .

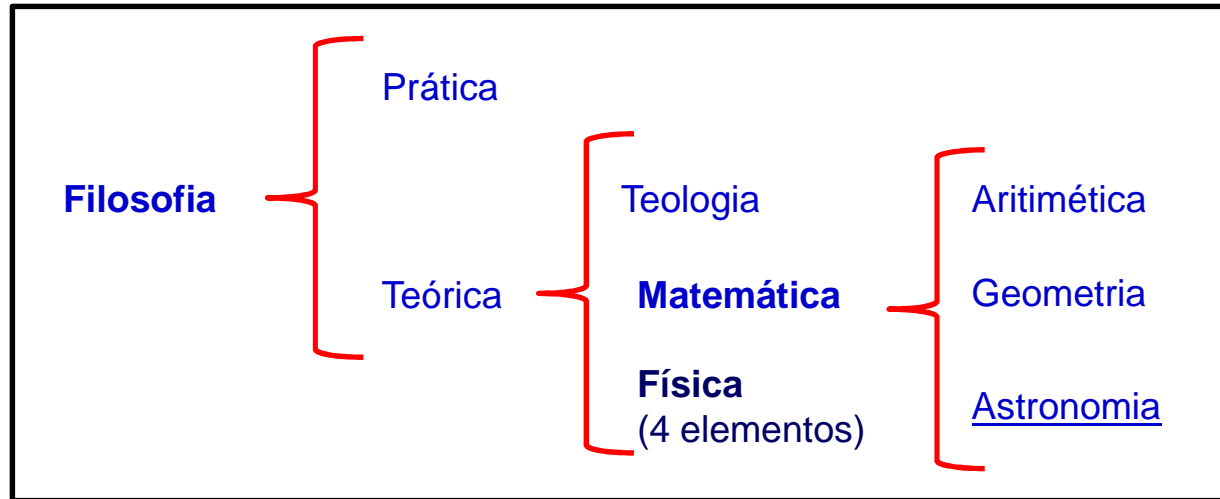


<http://en.wikipedia.org/wiki/Ptolemy>

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

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

# Classificação do conhecimento



- Para Ptolomeu, o estudo do movimento dos corpos celestes era desconectado dos fenômenos “físicos” (mudança) da esfera sub-lunar.

# 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.); variação da duração do dia (“Equação dos Tempos”), modelos geométricos.

**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:** movimento dos 5 planetas visíveis a olho nú: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Modelo planetário.

**Livros XII e XIII:** movimento retrógrado dos planetas;

# Almagesto: frações em base-60

- Várias partes do *Almagesto* contêm tabelas de números e dados.
- Ptolomeu expressa **a parte não-inteira dos números** em base 60 (como os Babilônios):

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

onde  $a$  é inteiro e  $b, c, d, \dots$  são números entre 0 e 59.

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

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

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

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

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



# Almagesto: frações em base-60

- Mais exemplos: passando números “quebrados” para base 60

$$1.4142 = ?$$

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

$0.4142 \times 60 = 24.852$
$0.852 \times 60 = 51.12$
$0.12 \times 60 = 7.2$
$0.2 \times 60 = 12$

→  $1.4142 = 1; 24, 51, 7, 12$

- **A prova:**

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

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

# Exemplos:

1- O número **2,42** (decimal) expresso em base-60 fica na forma:

a) **2; 42**

b) **2; 25,12**

c) **2; 25,2**

# Exemplos:

1- O número **2,42** (decimal) expresso em base-60 fica na forma:

a) **2; 42**

b) **2; 25,12**

c) **2; 25,2**

2- O número **4; 16, 48** (base-60) expresso em decimal fica na forma:

a) **4,28**

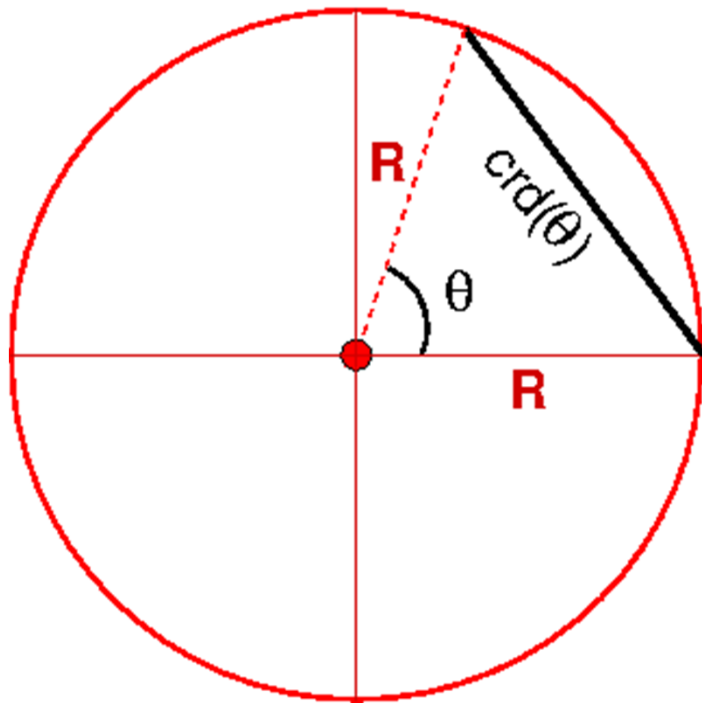
b) **4,1648**

c) **4,26666...**

# Almagesto: ângulos em “cordas”

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

- A “corda” de um ângulo  $\theta$  em um círculo de raio  $R$  é dada por



$$crd(\theta) = 2R \operatorname{sen}(\theta/2)$$

- Ptolomeu usa círculos com  $R=60$ .

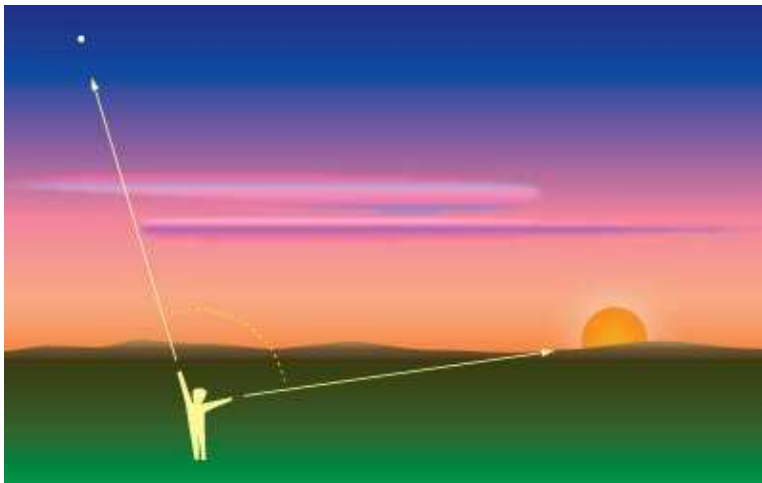
- **Exemplo:** corda de  $120^\circ$  para Ptolomeu.

$$crd(120^\circ) = 120 \operatorname{sen}(60^\circ) = 120 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

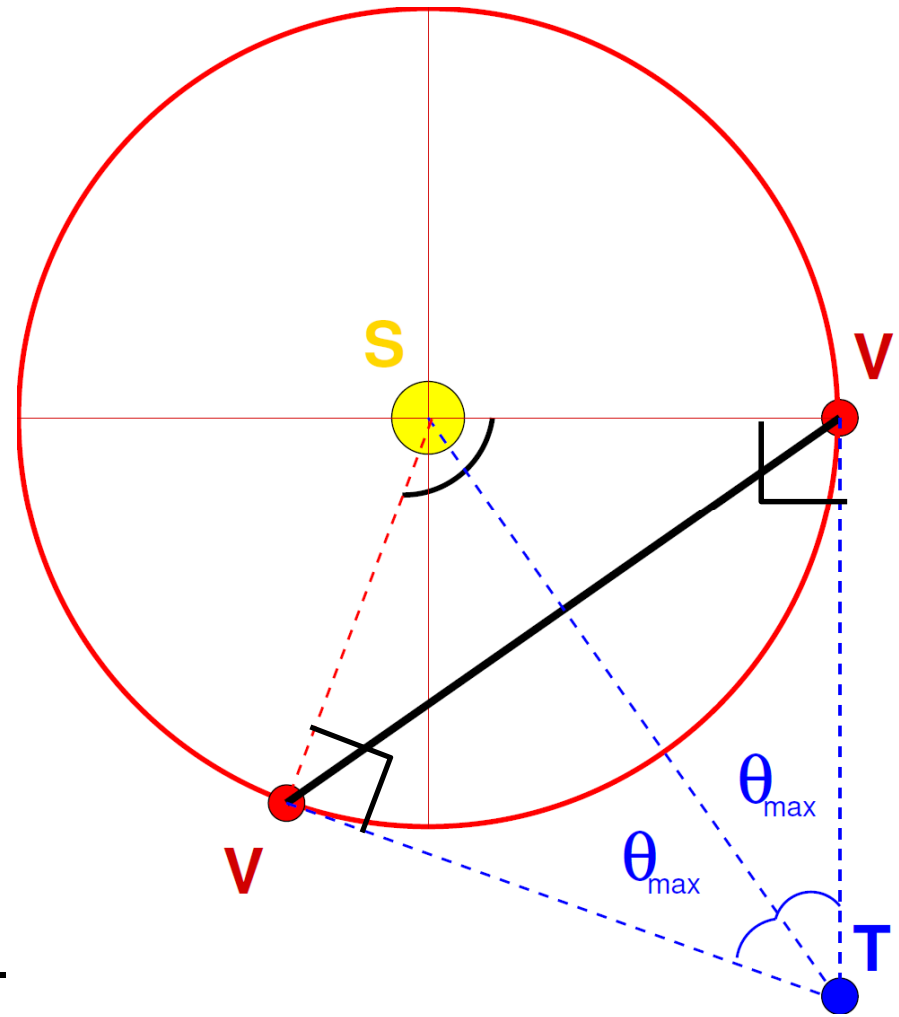
$$\Rightarrow crd(120^\circ) = 60\sqrt{3} \approx 103.923$$

# Ângulo de alongação de um planeta

- **Importância da corda:** Dado um ângulo e sua corda, eu tenho a razão entre lados de um triângulos.
- Em astronomia de posição, o que medimos são ângulos e não distâncias.
- Por exemplo: o **ângulo de alongação** de um planeta em relação ao sol.



- Na **elongação máxima**, Sol-Terra-Planeta formam um triângulo-retângulo.



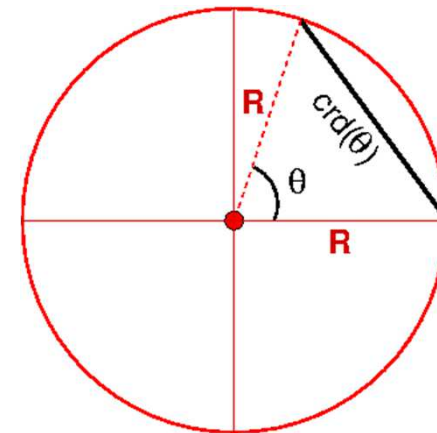
# Tarefa 5: Tabelas de cordas do *Almagesto*

11. TABLE OF CHORDS

Arcs	Chords	Sixtieths <sup>1</sup>	Arcs	Chords	Sixtieths
1/2	0 31 25	0 1 2 50	16 1/2	17 13 9	0 1 2 10
1	1 2 50	0 1 2 50	17	17 44 14	0 1 2 7
1 1/2	1 34 15	0 1 2 50	17 1/2	18 15 17	0 1 2 5
2	2 5 40	0 1 2 50	18	18 46 19	0 1 2 2
2 1/2	2 37 4	0 1 2 48	18 1/2	19 17 21	0 1 2 0
3	3 8 28	0 1 2 48	19	19 48 21	0 1 1 57
3 1/2	3 39 52	0 1 2 48	19 1/2	20 19 19	0 1 1 54
4	4 11 16	0 1 2 47	20	20 50 16	0 1 1 51
4 1/2	4 42 40	0 1 2 47	20 1/2	21 21 11	0 1 1 48
5	5 14 4	0 1 2 46	21	21 52 6	0 1 1 45
5 1/2	5 45 27	0 1 2 45	21 1/2	22 22 58	0 1 1 42
6	6 16 49	0 1 2 44	22	22 53 49	0 1 1 39
6 1/2	6 48 11	0 1 2 43	22 1/2	23 24 39	0 1 1 36
7	7 19 33	0 1 2 42	23	23 55 27	0 1 1 33
7 1/2	7 50 54	0 1 2 41	23 1/2	24 26 13	0 1 1 30
8	8 22 15	0 1 2 40	24	24 56 58	0 1 1 26
8 1/2	8 53 35	0 1 2 39	24 1/2	25 27 41	0 1 1 22
9	9 24 54	0 1 2 38	25	25 58 22	0 1 1 19
9 1/2	9 56 13	0 1 2 37	25 1/2	26 29 1	0 1 1 15
10	10 27 32	0 1 2 35	26	26 59 38	0 1 1 11
10 1/2	10 58 49	0 1 2 33	26 1/2	27 30 14	0 1 1 8
11	11 30 5	0 1 2 32	27	28 0 48	0 1 1 4
11 1/2	12 1 21	0 1 2 30	27 1/2	28 31 20	0 1 1 0
12	12 32 36	0 1 2 28	28	29 1 50	0 1 0 56
12 1/2	13 3 50	0 1 2 27	28 1/2	29 32 18	0 1 0 52
13	13 35 4	0 1 2 25	29	30 2 44	0 1 0 48
13 1/2	14 6 16	0 1 2 23	29 1/2	30 33 8	0 1 0 44
14	14 37 27	0 1 2 21	30	31 3 30	0 1 0 40
14 1/2	15 8 38	0 1 2 19	30 1/2	31 33 50	0 1 0 35
15	15 39 47	0 1 2 17	31	32 4 7	0 1 0 31
15 1/2	16 10 56	0 1 2 15	31 1/2	32 34 22	0 1 0 27
16	16 42 3	0 1 2 13	32	33 4 35	0 1 0 22

<sup>1</sup>The sexagesimal system is assumed.

- **Parte 1:** calcule a corda de um ângulo de 30° em um círculo de Ptolomeu (R=60).



- **Parte 2:** Expresse este número em base 60 e compare com a tabela do *Almagesto* (p.21).