

*Você não sabe que o verdadeiro astrônomo deve ser uma pessoa de grande sabedoria? Portanto, haverá a necessidade de várias ciências. A primeira e mais importante é aquela que trata de números puros. Para aqueles que prosseguem seus estudos da maneira adequada, todas as construções geométricas, todos os sistemas de números, todas as progressões melódicas evidentemente constituídas, o esquema único ordenado de todas as revoluções celestes deve se revelar. E, acredite em mim, ninguém jamais verá aquele espetáculo sem os estudos que descrevemos, e assim poderá se gabar de que o conquistou por um caminho fácil.*

*Fílipos de Opus (Platão), Epinomis (séc. 4 a.C.)*

# *Agradecimentos*

**Estas aulas contou com o material do Professor Valter Líbero do IFSC-USP que teve a colaboração do Professor Roberto Boczko, do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, IAG-USP e da equipe do Centro de Divulgação da Astronomia, CDA**



Astronomia - Licenciatura

Aula 1 - História da Astronomia e  
Sistema Sol-Terra-Lua parte 1

*Prof. Aion Viana*

Todo ser vivo com olhos, olha pro céu



# Mundo na Antiguidade

Estrelas (~6000)

Lua

Marte

Mercúrio

Júpiter

Vênus

Saturno

S I



# Antiguidade da Astronomia



Stonehenge 3100 A.C.

Mesopotâmia  
Tábua de Vênus de Amisaduca 1600 A.C  
21 anos de horários nascer e ocaso de  
Venus

# Antiguidade da Astronomia

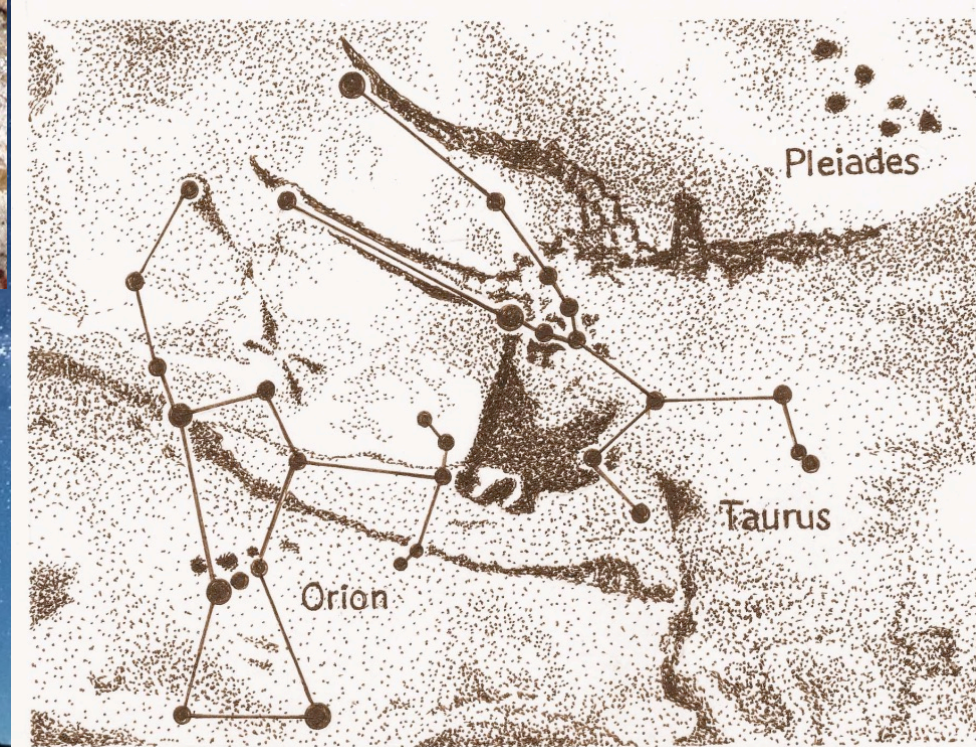


Stonehenge brasileiro - Amapá (idade 500-2000 anos anos)

# Antiguidade da Astronomia



Caverna de Lascaux  
17 000 A.C





# Antiguidade da Astronomia

Dados observacionais: Mesopotâmia 1600A.C.

Lascaux - Pleiades: 17000 A.C.

presa de mamute com Orion: 32000A.C.

## Anterior ao início da humanidade?

- Plantas: fototropismo
- Abelhas navegam usando o Sol
- Aves migratórias cruzam a trajetória diurna do Sol com muita antecedência
- Andorinhas reconhecem constelações

## Uma espécie de sucesso como o Homem não a teria usado?

- Uso místico (universal em todas as culturas)
- Conhecimento dos astros: subproduto da cultura urbana? FALSO
- Viagens, caça, pesca, pastoreio, agricultura

# Como a Astronomia se tornou ciência

## A tradição astronômica grega

- Somente a partir do século VII a.C., na Grécia, que verdadeiras teorias cosmológicas começaram a serem criadas com o intuito de não apenas descrever as observações mas explicá-las a partir de princípios básicos.

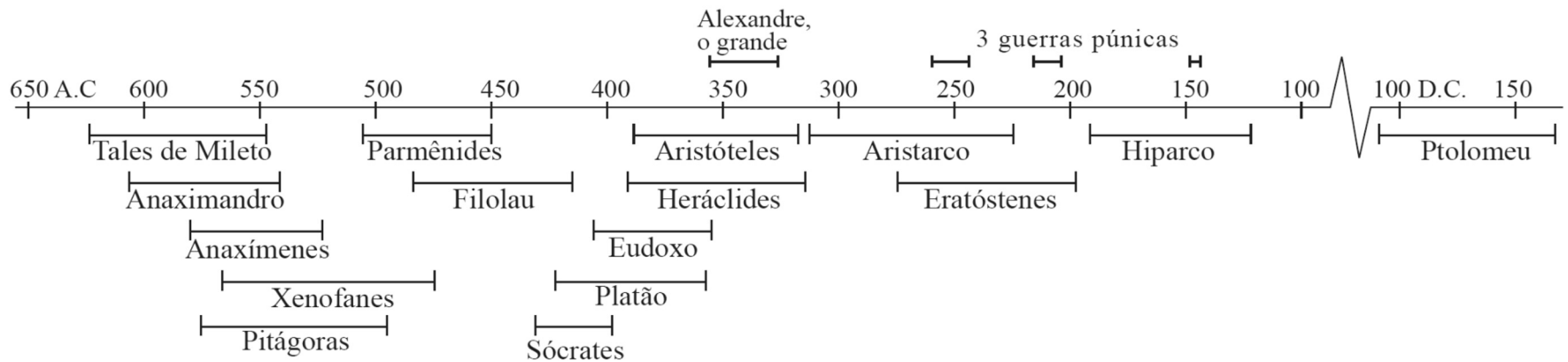


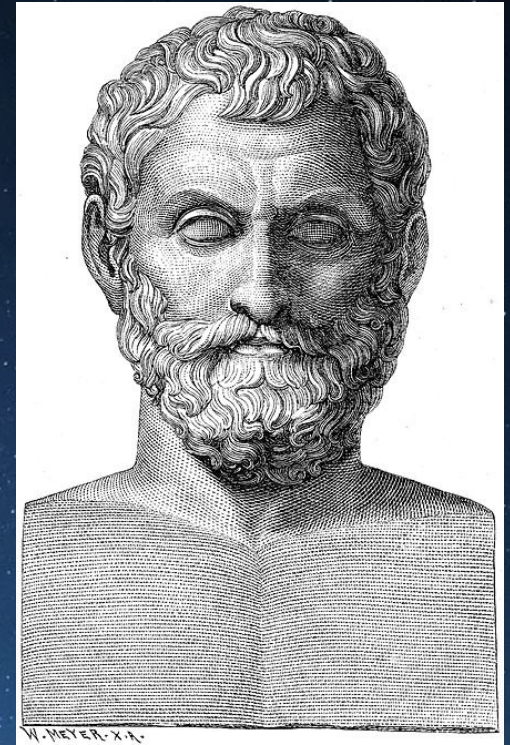
Figura 4.1: Linha do tempo dos principais filósofos da Grécia clássica que tiveram destaque na astronomia.



# Universo Geocêntrico Puro

# Tales de Mileto (~600 a.C., escola jônica)

- A Terra é um disco achatado flutuando como uma madeira em um oceano cuja a água seria o princípio de tudo e limitado pela abóbada celeste.
- Alega-se que ele foi capaz de prever um eclipse solar. Como ???!!!!
- Tudo o resto gira em torno da Terra



# Anaximandro (~550 a.C.)

- Terra esta em equilíbrio no centro do Universo porque só assim ela não cairá;
- A Terra é um cilindro;
- O céu é esférico;
- Os objetos estão em diferentes camadas no céu a distancias diferentes, onde o Sol se encontraria na mais distante e as estrelas fixas na camada mais proxima;
- A Lua estaria numa camada intermediaria.
- As estrelas são furos na esfera sólida;



# Universo de Anaximandro

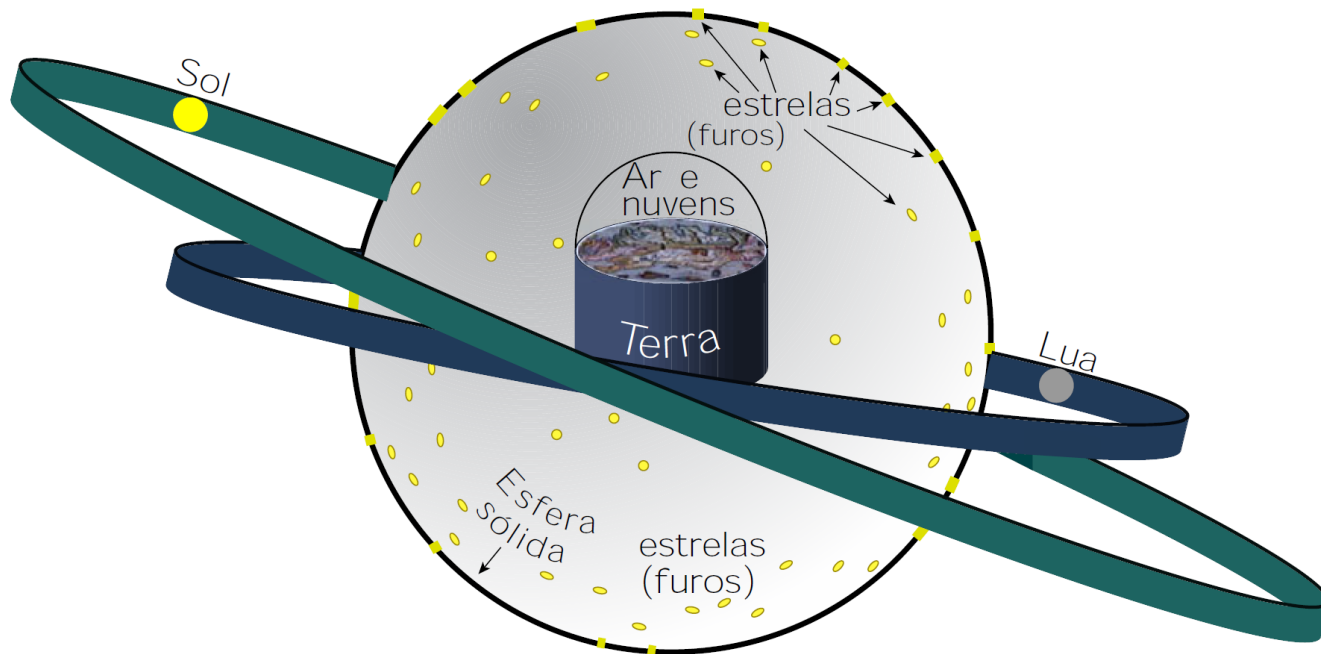


Figura 4.2: Universo de Anaximandro. A Terra fica no centro do Universo, as estrelas são furos em uma esfera sólida, por onde escapa a luz. Em seguida vem um anel com a Lua e um anel mais distante com o Sol.

# Anaxímenes de Mileto (~500 a.C.)

- Estrelas estão “pregadas” na esfera celeste, que seria um sólido cristalino
- Terra seria um disco achatado flutuando no ar



# Leucipo de Mileto (~450 a.C.)

- a Terra é o hemisfério de uma esfera
- Acima da Terra o ar preenche o hemisfério superior

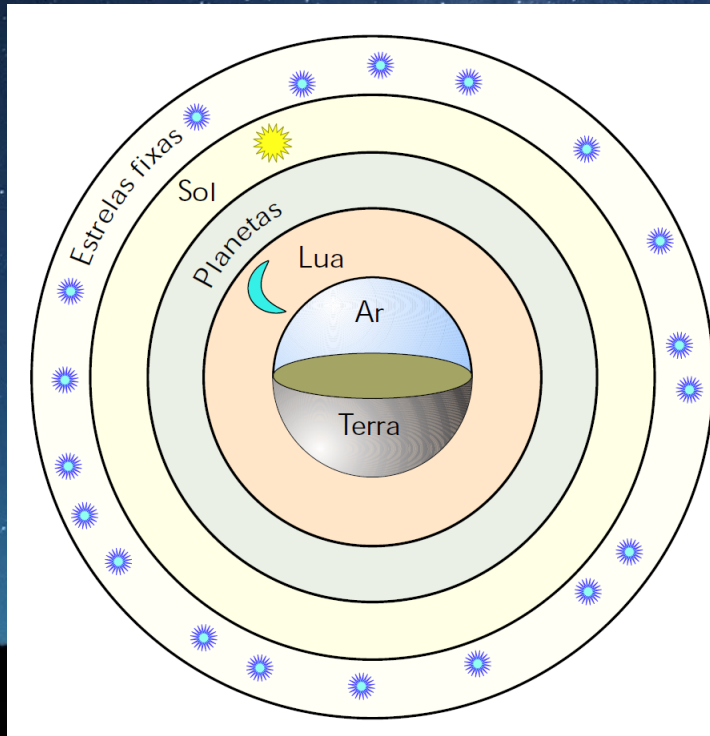
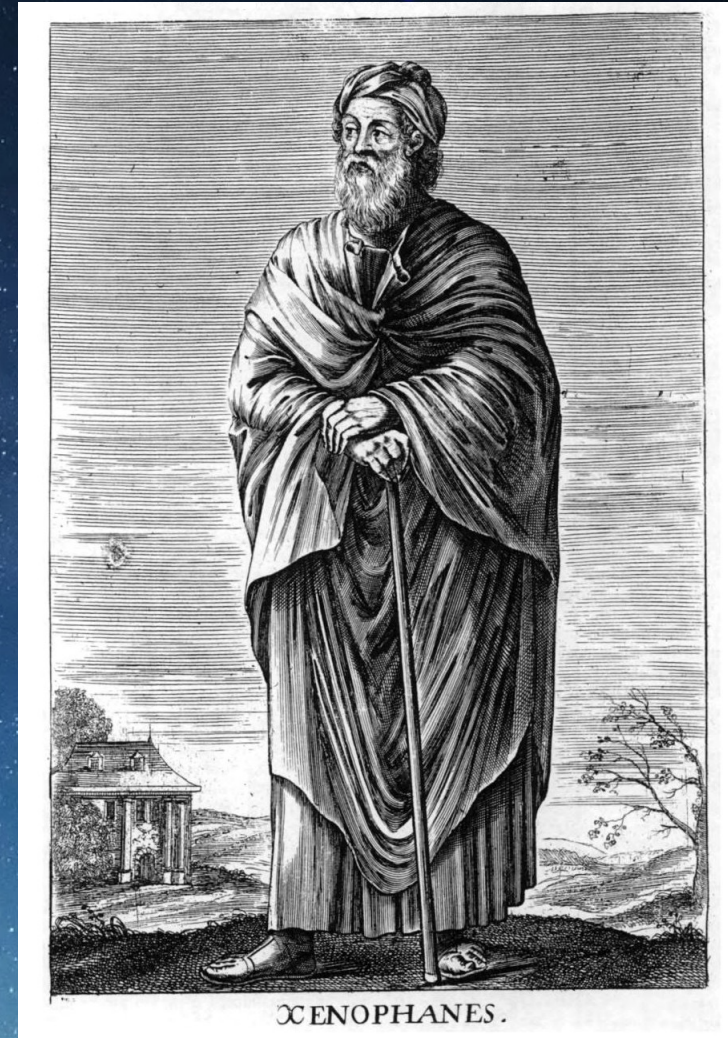


Figura 4.3: Modelo de Universo de Leucipo. A Terra é uma semi-esfera e os astros são fixados em esferas concêntricas transparentes.



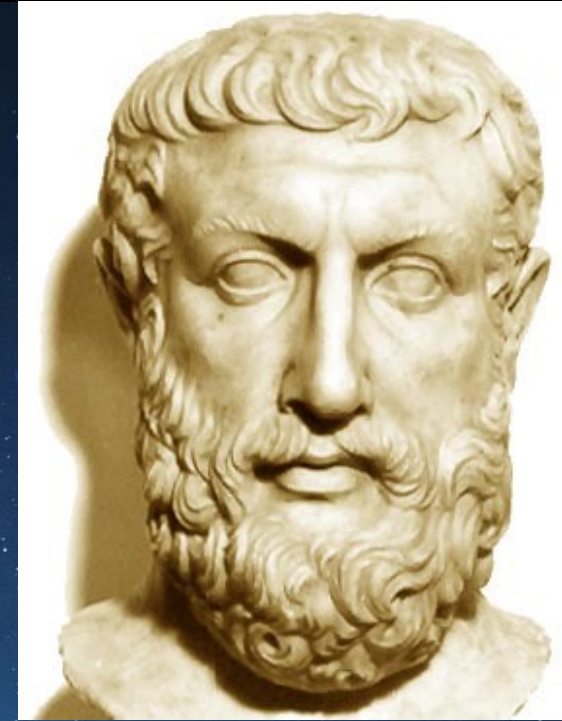
# Xenofanes de Colophon ( ~500 A.C., escola eleática)

- Terra plana e sem limites, ancorado no infinito;
- Sol e estrelas são nuvens condensadas;
- A trajetória dos astros são retilíneas e a aparência circular é ilusão devido à distância



# Parmênides (~450 a.C.)

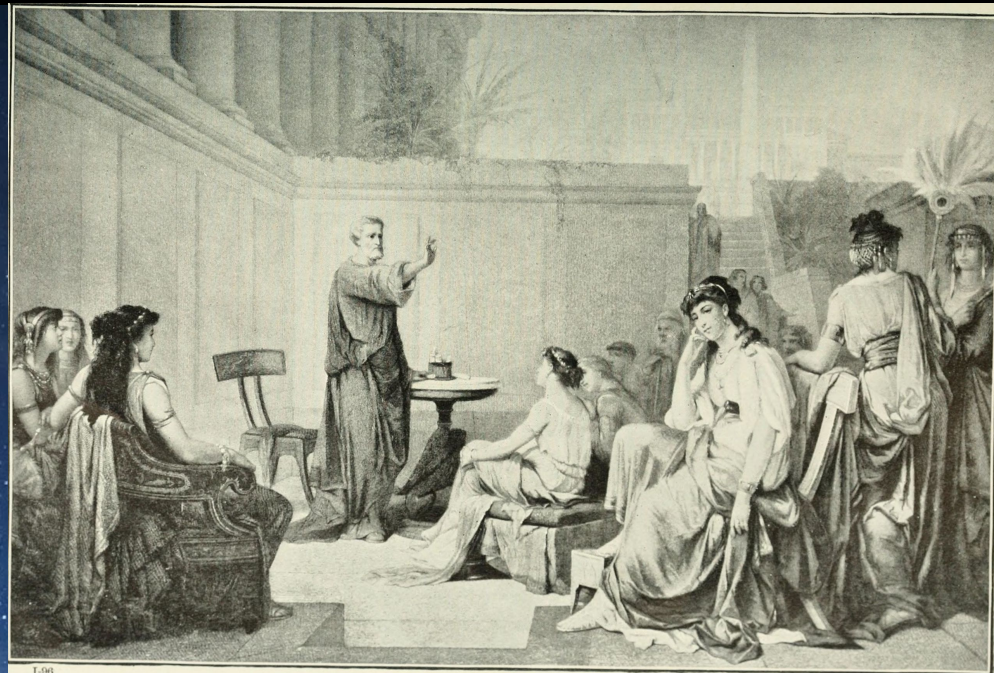
- Terra era uma esfera → grande avanço
- dividiu a Terra em cinco zonas: tropical, temperadas e glaciais;
- O universo é uma série de camadas concêntricas;
- A Lua reflete a luz do Sol;
- A Lua e o Sol se desprenderam da Via Láctea;
- As estrelas estão mais próximas da Terra do que a Lua e o Sol;



*(Por essa época surge a teoria atomística (Leucipo, Empédocles, Demócrito, ...))*

# Pitágoras (~500 a.C. , escola pitagórica)

- O Universo é governado pela Matemática;
- Terra, água, ar e fogo;
- Identificou Vênus;
- Lua reflete a luz do Sol;
- Planetas têm órbita inclinada em relação ao equador celeste;



*A regularidade dos movimentos celestes e os intervalos regulares das harmonias musicais levou os pitagóricos a conclusão de que cada um dos planetas, assim como as estrelas, estariam em esferas cujo movimento produziriam uma nota musical. Esta musica celestial seria, e claro, impossível de ser escutada pelos seres humanos.*



# Eudoxo (~350 a.C.)

- Ciclo solar =  $(3 \times 365 + 366)$  dias;
- A Terra está no centro do Universo;
- Cada planeta está ligado a várias esferas homocentricas;
- Explicava a diferença de duração das estações:
  - Verão = 88.99 dias
  - Primavera = 92.75 dias
  - Inverno = 93.65 dias
  - Outono = 89.95 dias
- Primeiro filósofo a tentar dar uma explicação matemática para o movimento dos planetas

# Sistema de Eudoxo

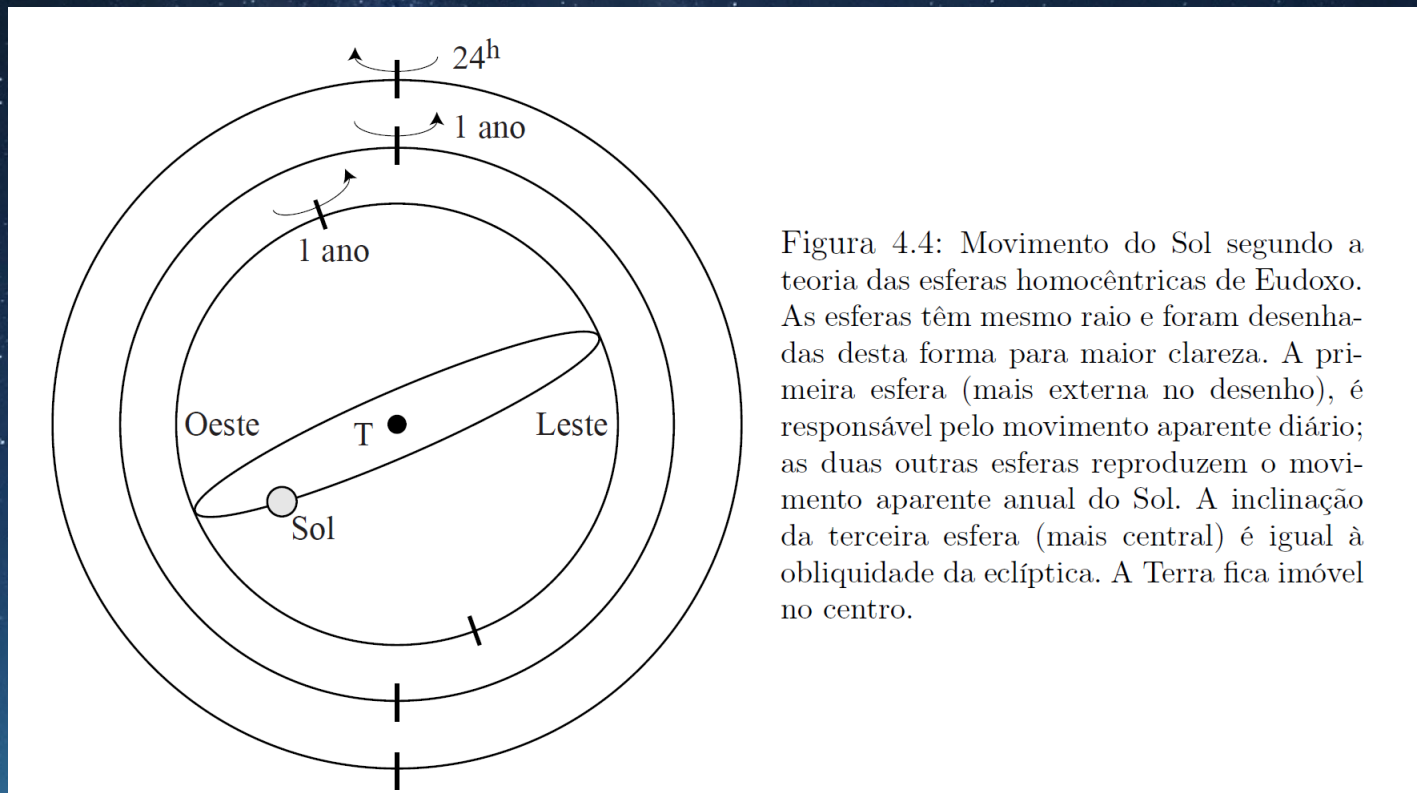


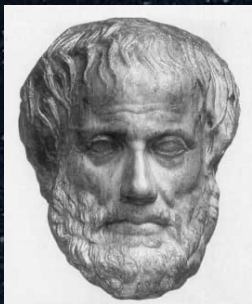
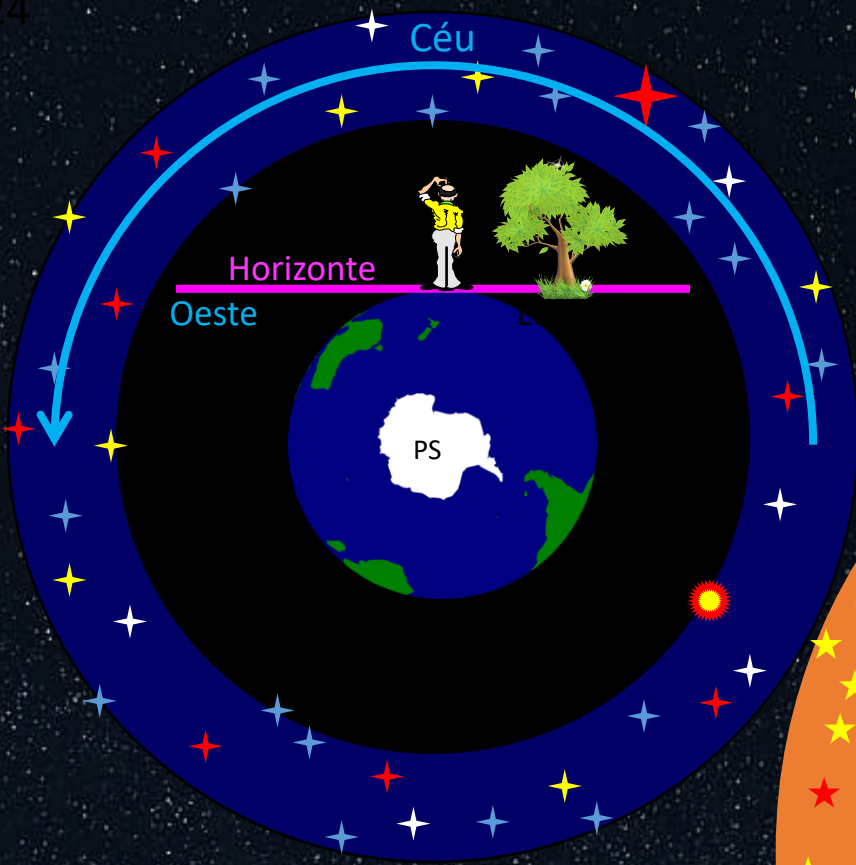
Figura 4.4: Movimento do Sol segundo a teoria das esferas homocêntricas de Eudoxo. As esferas têm mesmo raio e foram desenhadas desta forma para maior clareza. A primeira esfera (mais externa no desenho), é responsável pelo movimento aparente diário; as duas outras esferas reproduzem o movimento aparente anual do Sol. A inclinação da terceira esfera (mais central) é igual à obliquidade da eclíptica. A Terra fica imóvel no centro.

# Aristóteles (~350 a.C.)

- Universo esférico e finito;
- Quatro elementos;
- Terra imóvel no centro;
- Esferas homocêntricas de Eudoxo;
- Esferas eram reais de cristal transparente;
- Acrescentou esferas pra Marte;
- “Explicou” eclipses do Sol e da Lua;
- Sombra da Terra na Lua -> Terra é esférica-  
Também porque estrelas visíveis no Egito não  
o são da Grécia.



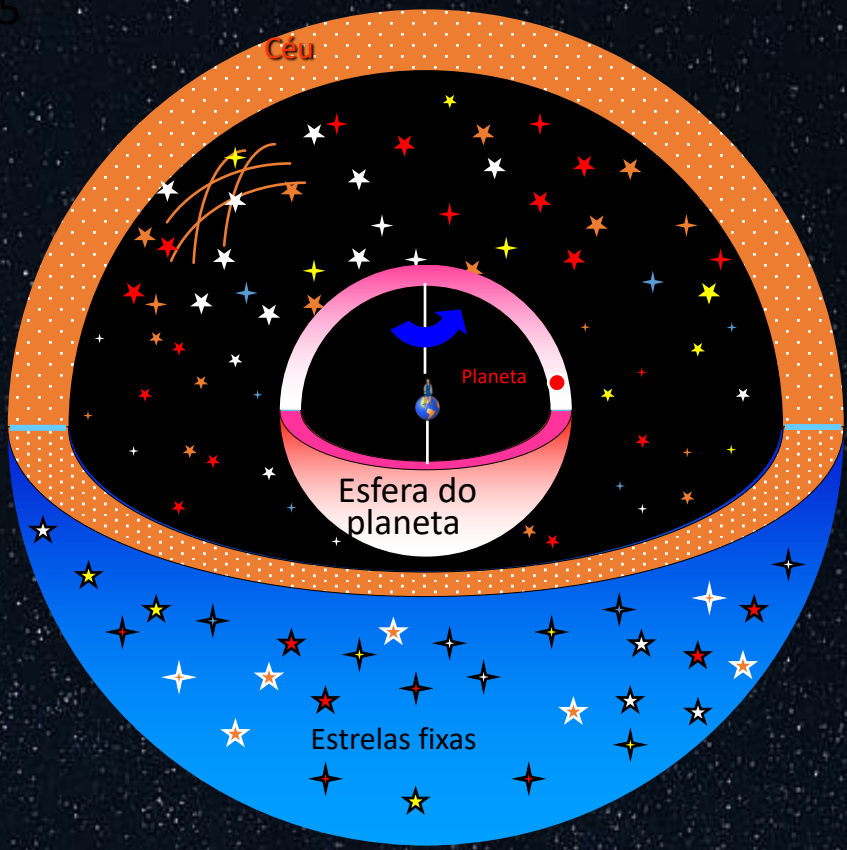
# Sistema Geocêntrico Puro



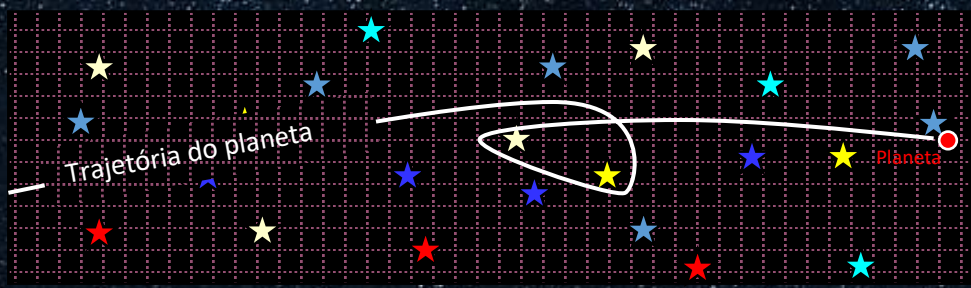
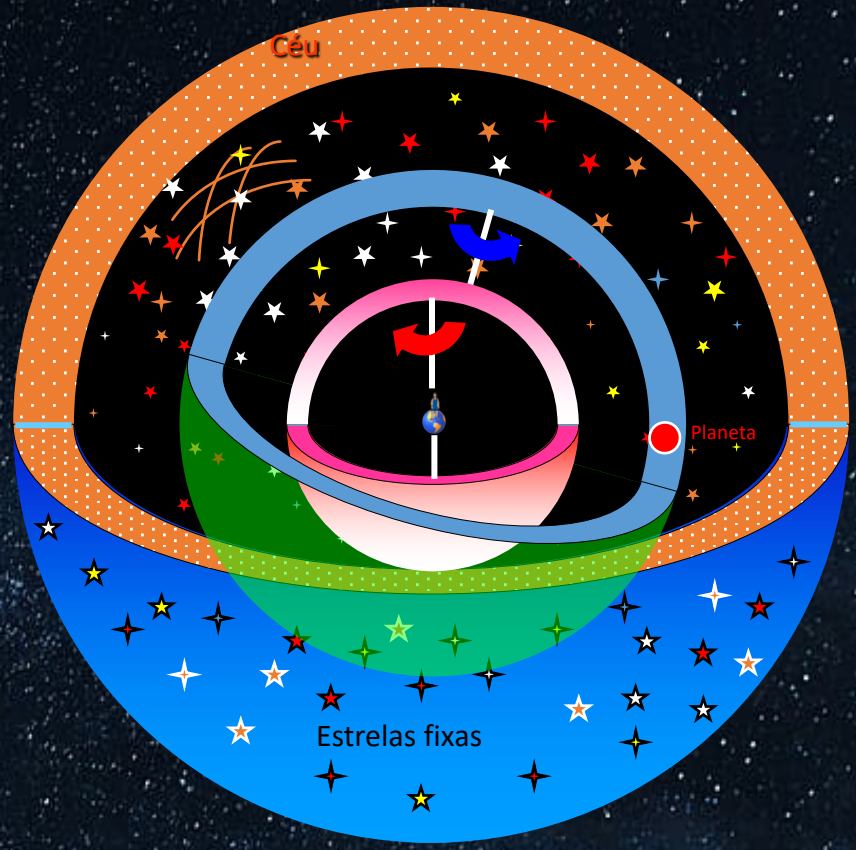
**Aristóteles**  
séc. IV a.C.

Esfera das  
estrelas fixas





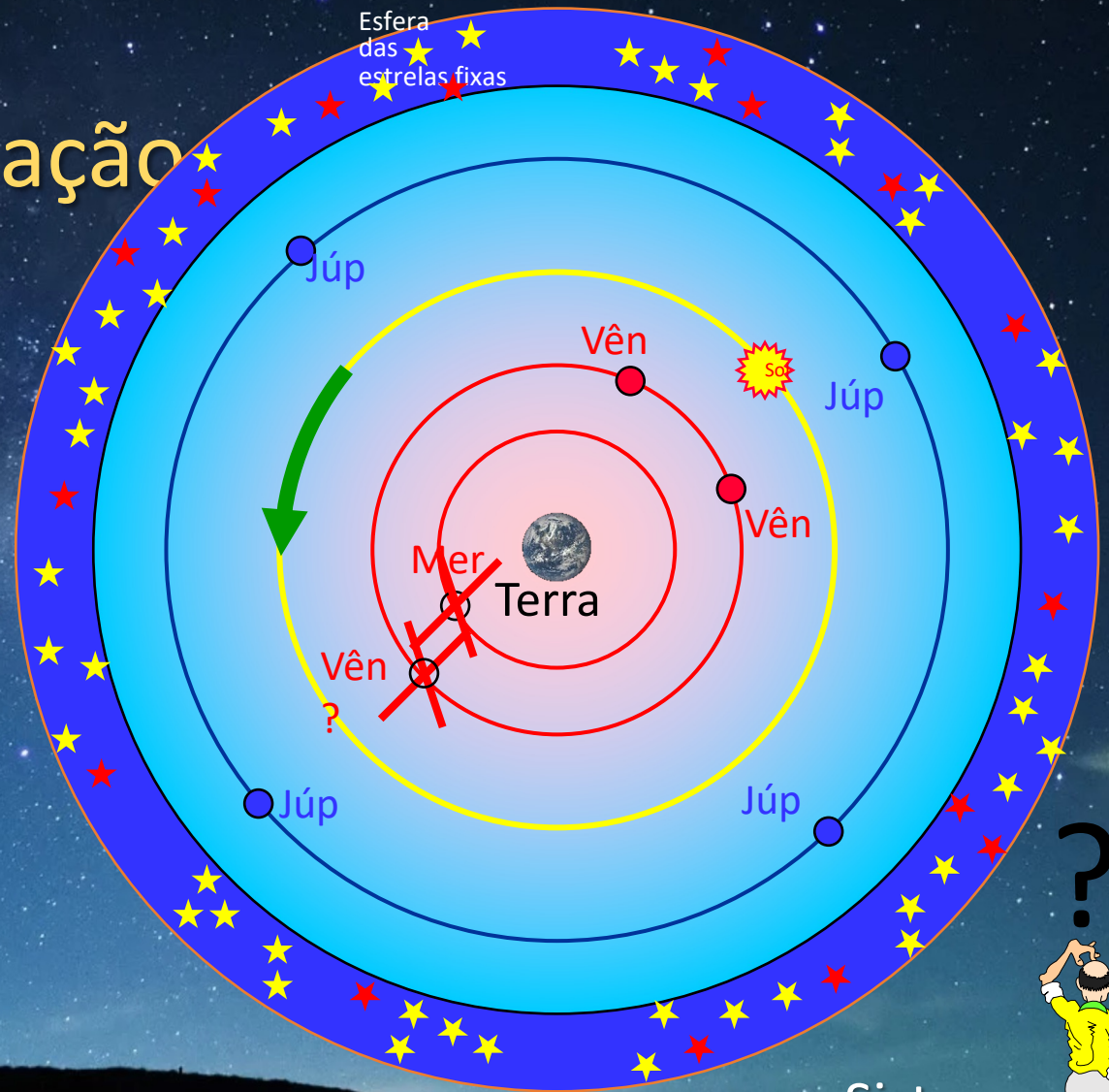
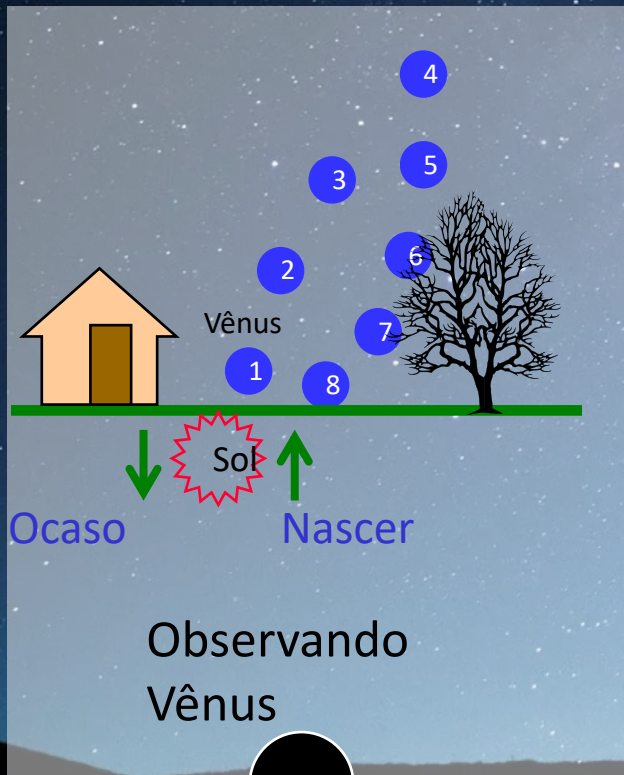
# Explicar as trajetórias de certos planetas





Geocêntrismo com ressalvas...

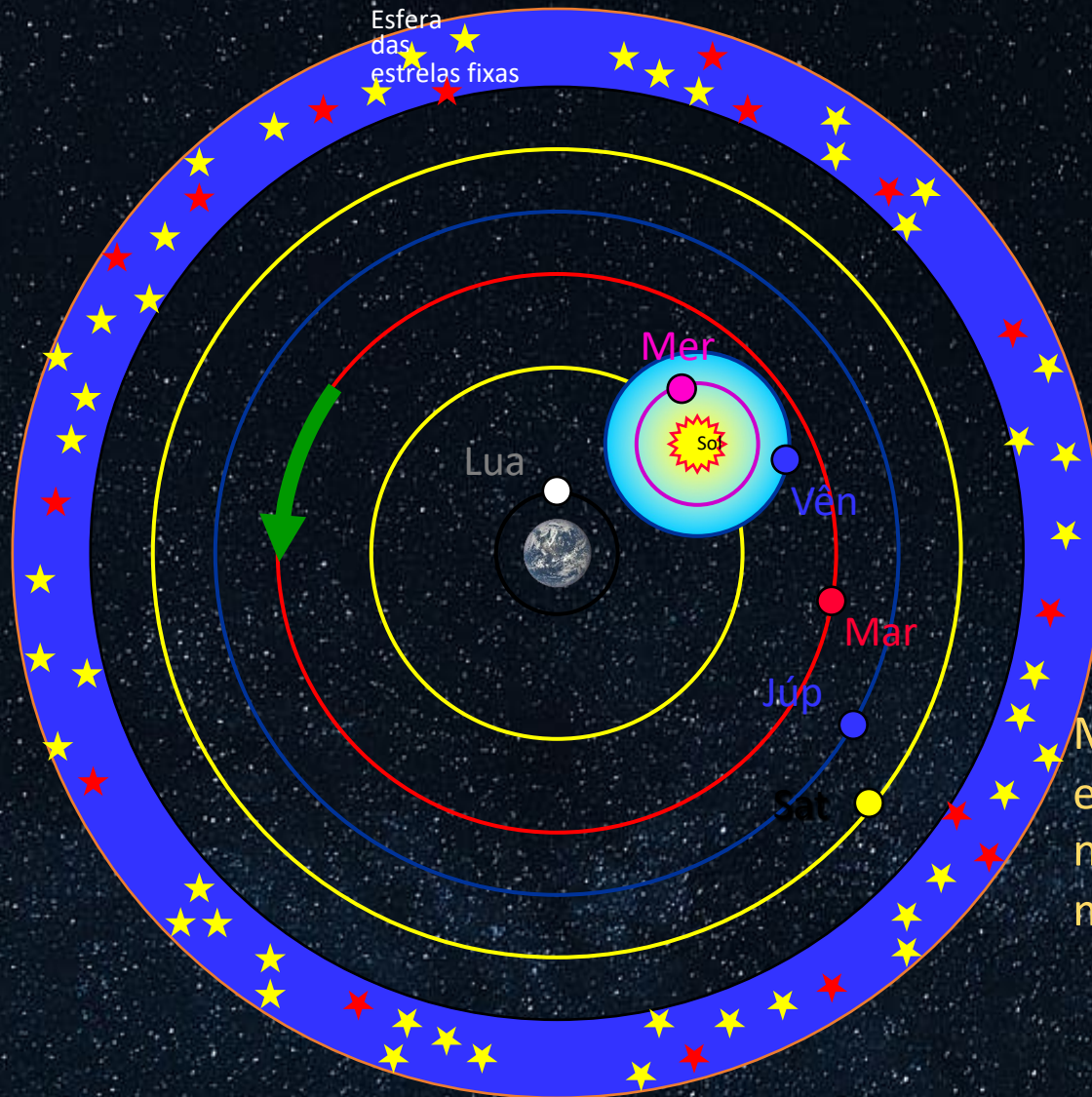
# Posicionamentos (im)possíveis de planetas com relação ao Sol



Sistema  
geocêntrico puro



# Heráclides Ponticus (~350 a.C.)



Contemporâneo de  
Aristóteles

## Sistema Híbrido:

Modelo de estrutura do Mundo que explicava porque Mercúrio e Vênus nunca estavam, angularmente, muito longe do Sol.

A night sky filled with stars and the Milky Way galaxy, with a dark silhouette of a landscape at the bottom. The text "Abaixo o Geocentrismo!" is overlaid in the center.

Abaixo o Geocentrismo!

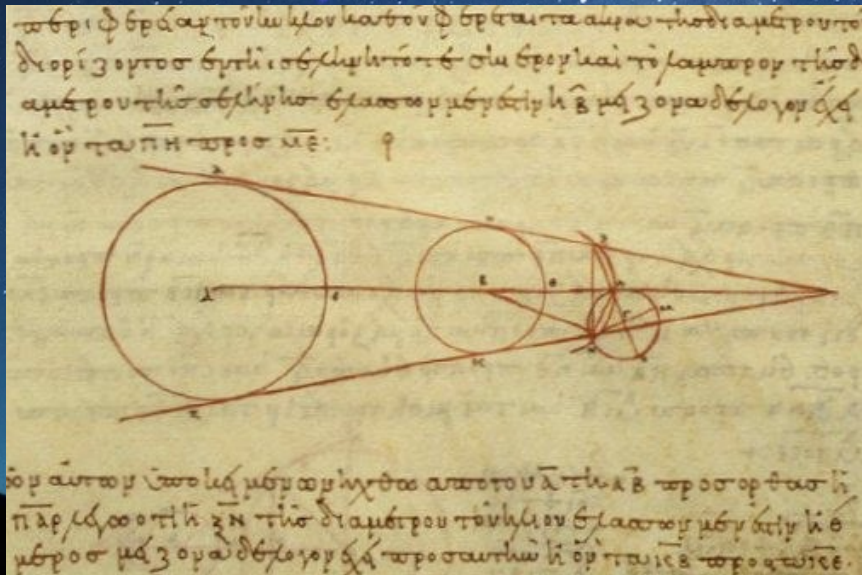
# Aristarco de Samos (~260 a.C.)

- Primeiro filósofo a propor que o Sol estava no centro do Universo;
- Dava os mesmos resultados que Aristóteles;
- Mediu o tamanho e as distâncias relativas do sistema Sol, Terra e Lua



# Aristarco de Samos (~260 a.C.)

- Primeiro filósofo a propor que o Sol estava no centro do Universo;
- Dava os mesmos resultados que Aristóteles;
- Mediu o tamanho e as distâncias relativas do sistema Sol, Terra e Lua



Semelhança de triângulos  
+  
Tamanho angular do sol e da lua são iguais



Fim do Geocentrismo?

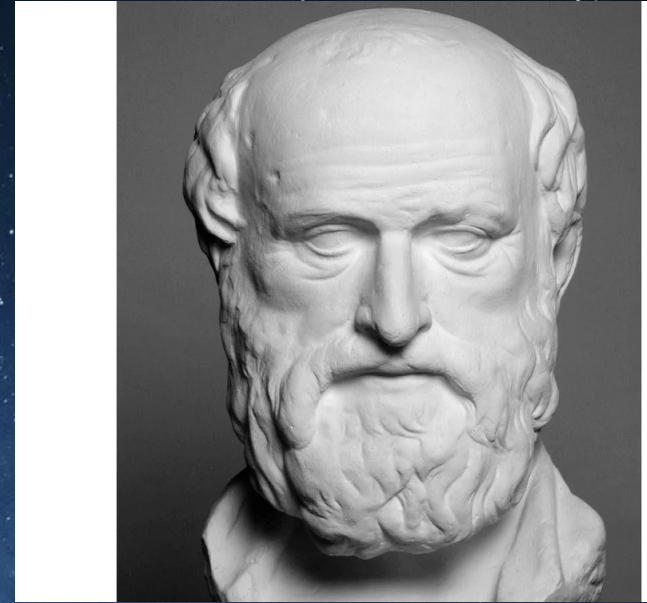




Não

# Erastóstenes (~276 a.C.)

- Mediu o tamanho da Terra: 252.000 *stadia*
- 1 *stadium* ~185 m em Attic → 16% de erro.
- 1 *stadium* ~ 157.5 m no Egito → 1% de erro.



# Erastóstenes (~276 a.C.)

- Mediu o tamanho da Terra: 252.000 *stadia*
- 1 *stadium* ~185 m em Attic → 16% de erro.
- 1 *stadium* ~ 157.5 m no Egito → 1% de erro.

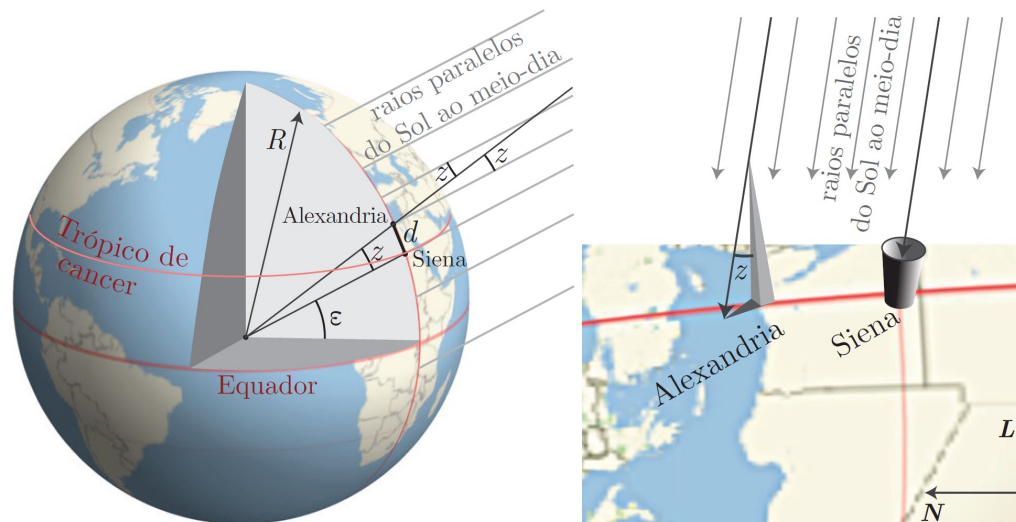
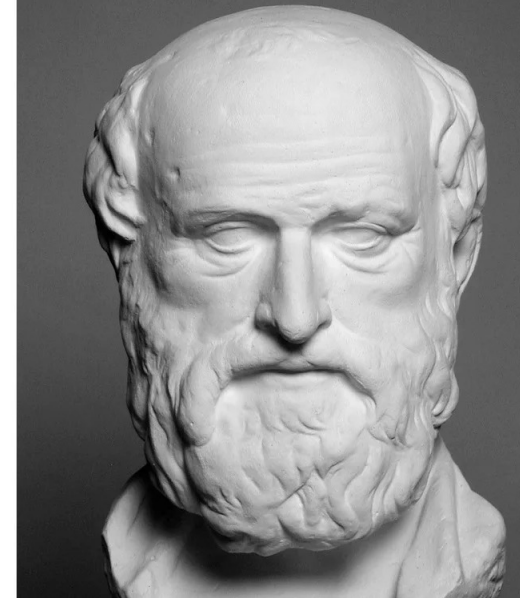


Figura 4.25: Ao meio-dia do solstício de Verão no hemisfério norte, o Sol tem um ângulo zenital  $z$  em Alexandria e zero em Siena (hoje, Assuã). A distância entre as duas cidades é  $d$ ,  $R$  é o raio da Terra e  $\varepsilon$  é a obliquidade da eclíptica na época de Eratóstenes.

# Hiparcos (~150 a.C.)

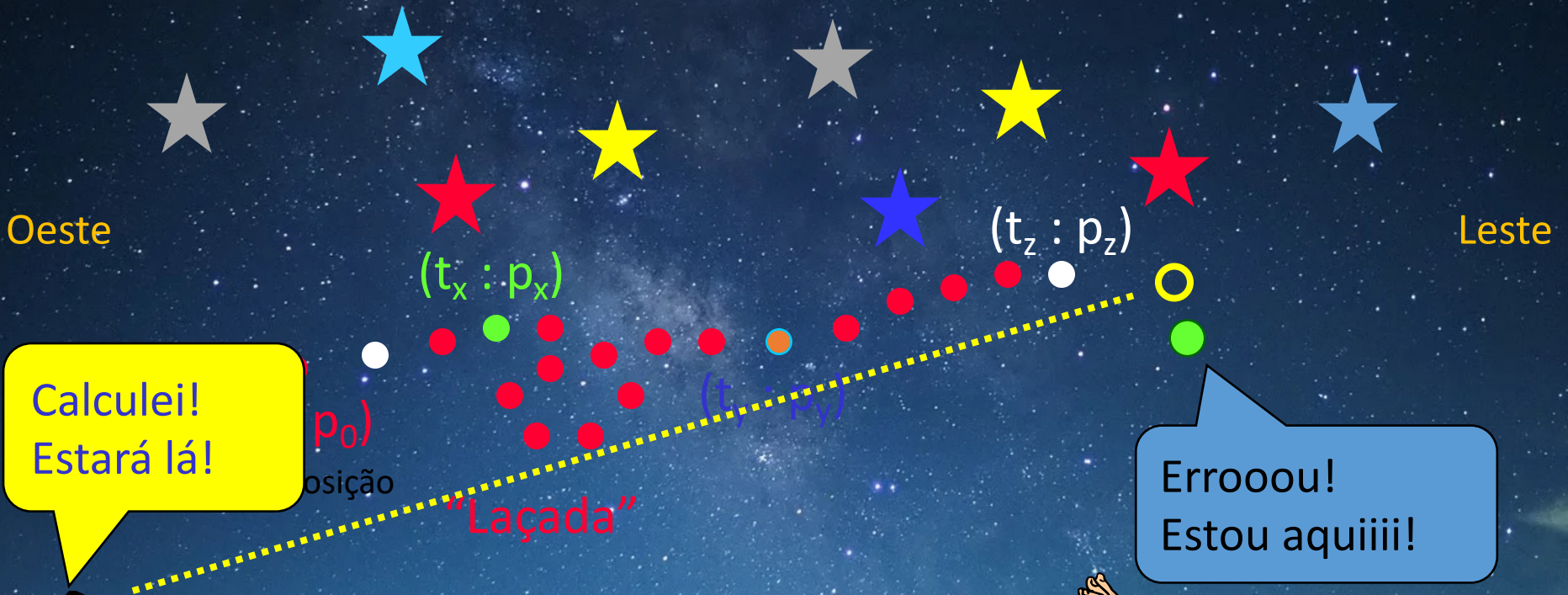
- Construiu um observatório na ilha de Rodas;
- Fez medidas precisas
- Fez um catálogo de estrelas;
- Criou um sistema de magnitudes;
- Mediu a precessão da Terra (~26000 anos);
- Mediu precisamente a distância da Terra a Lua.





# Problemas de precisão com o Geocentrismo

# Matematizando o movimento dos astros



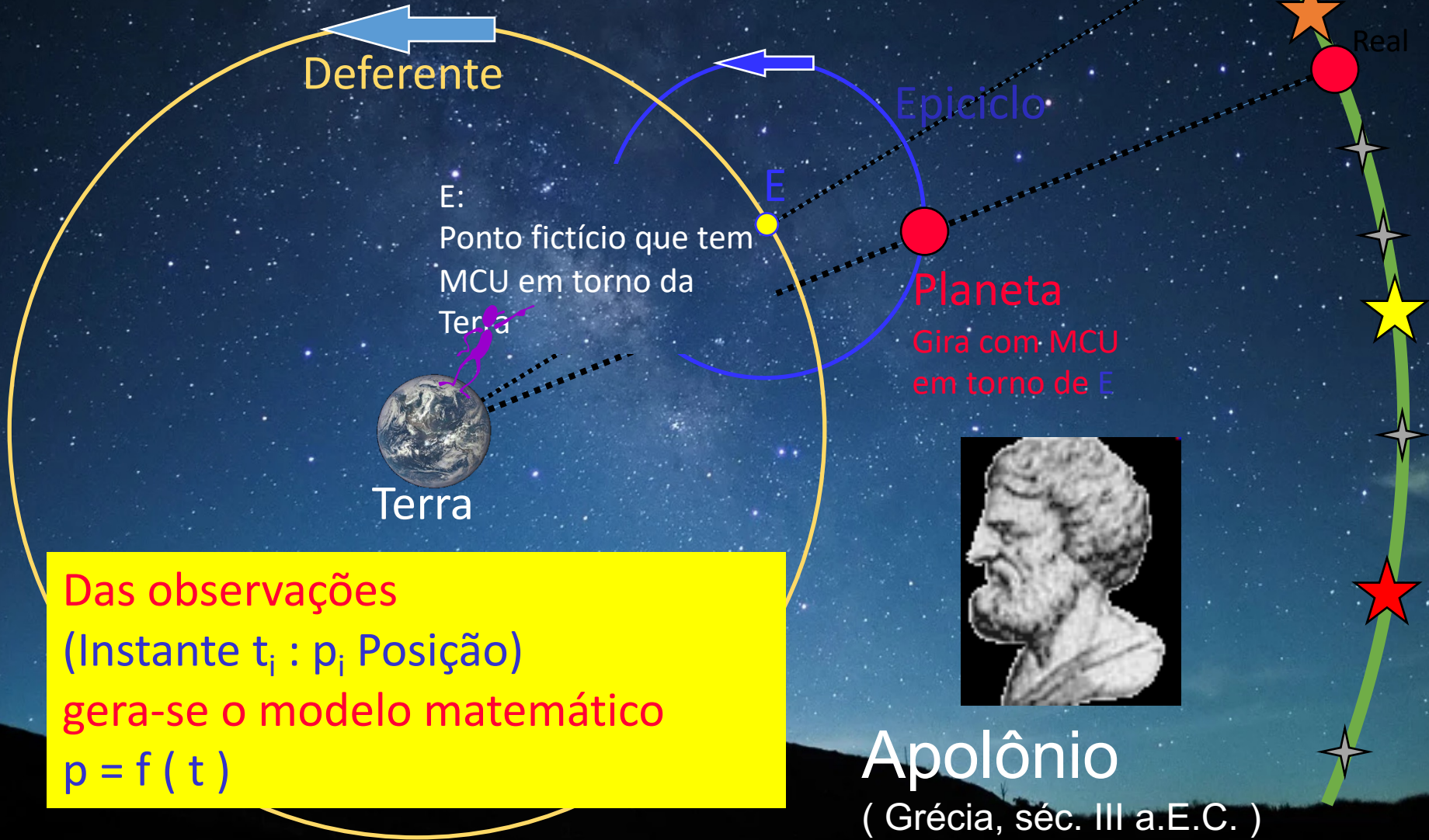
Calculei!  
Estará lá!

Erroou!  
Estou aquiiii!

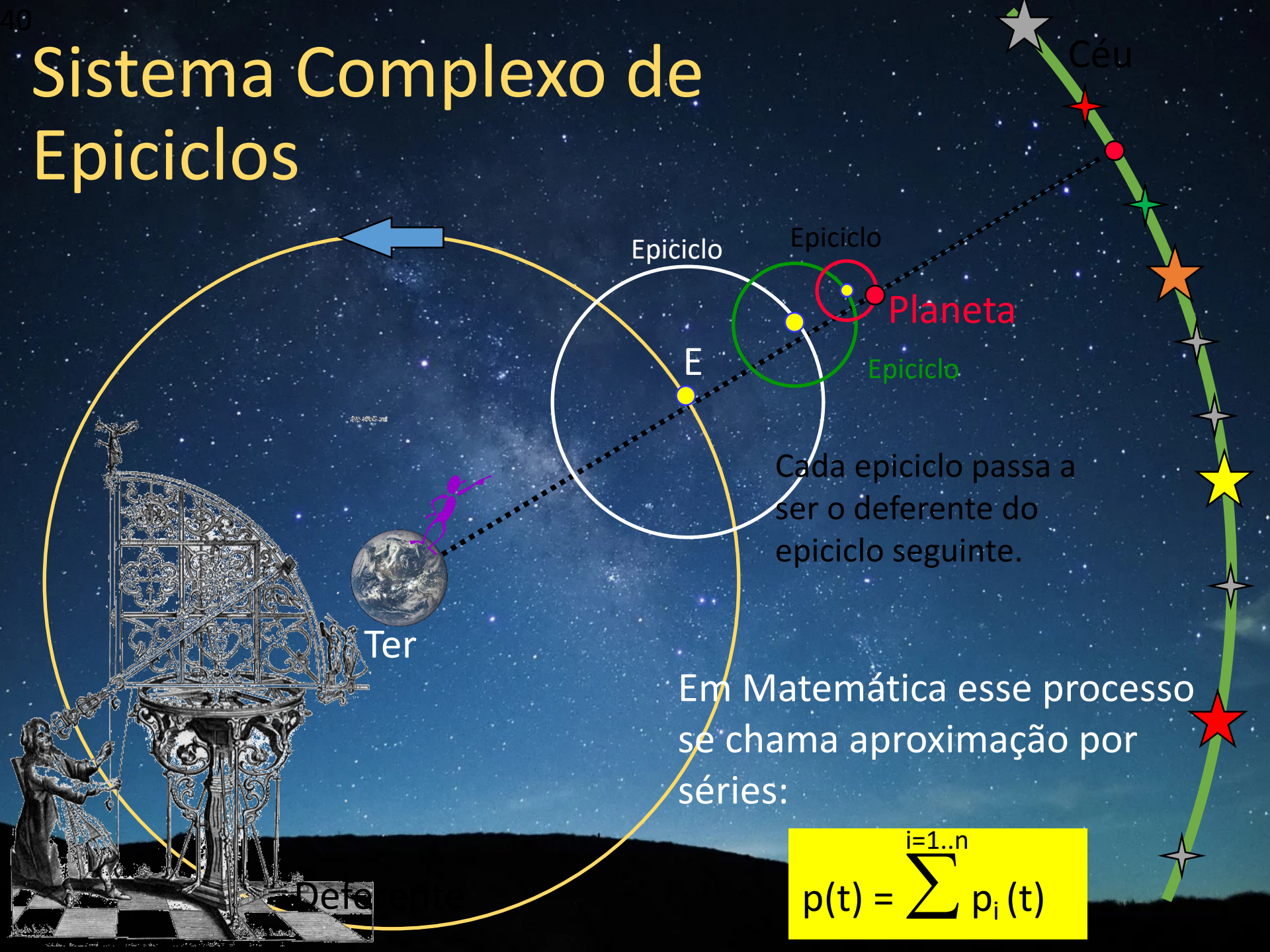
Das observações  
 $(t_i : p_i)$   
 gera-se o modelo matemático  
 $p = f(t)$



# Sistema de Epiciclos



# Sistema Complexo de Epiciclos



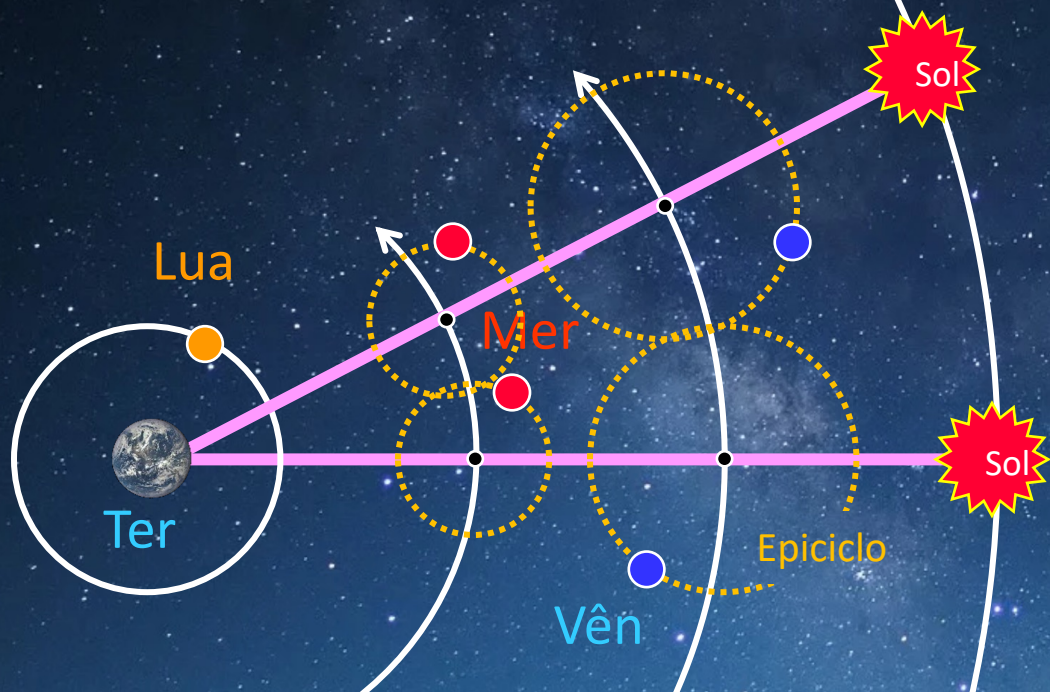
Cada epiciclo passa a ser o deferente do epiciclo seguinte.

Em Matemática esse processo se chama aproximação por séries:

$$p(t) = \sum_{i=1..n} p_i(t)$$



# Geocentrismo com epiciclos



Foi o sistema usado pelos 1.500 anos seguintes!

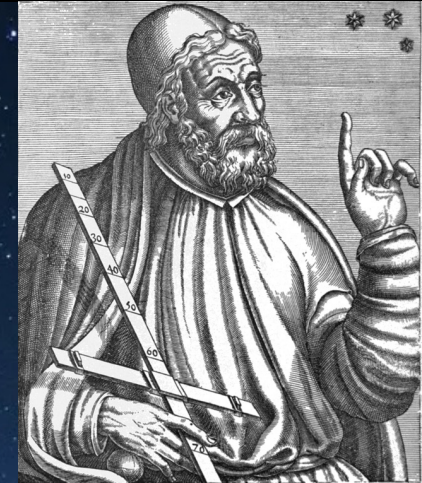
Ptolomeu  
~85 d.C.




Sistema matematicamente trabalhoso!

# Ptolomeu (~85 d.C.)

- Compilou o Almagesto (iniciado por Hiparcos);
- Epiciclos: representação em série de funções circulares (senos e cossenos) da posição dos planetas
- Se manteve por 1500 anos por razões religiosas: perfeição divina (círculo) e geocentrismo

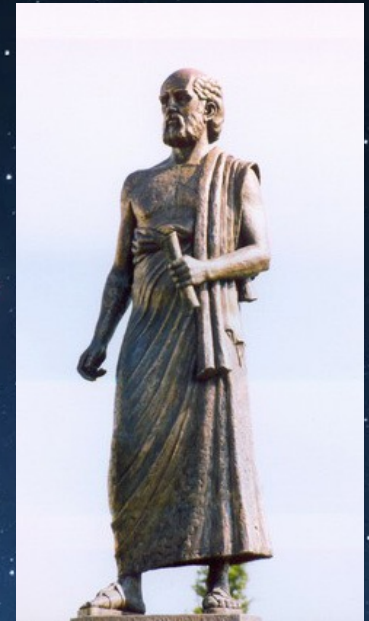


The image features a night sky filled with stars and the Milky Way galaxy. A dark, semi-transparent horizontal band runs across the center of the image, containing the title text. The sky is a deep blue, and the stars are scattered throughout, with a denser concentration of stars forming the Milky Way. The bottom of the image shows a dark silhouette of a landscape, possibly a hill or a field, under the starry sky.

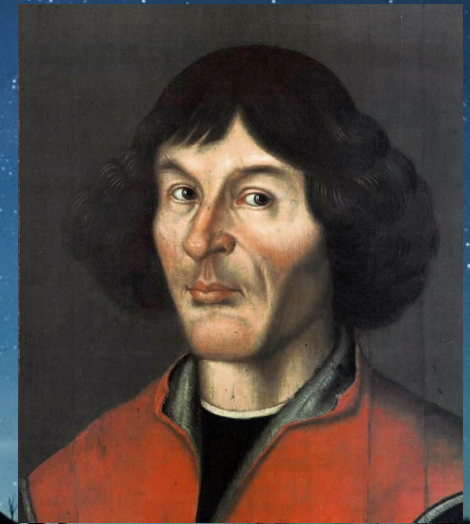
# O Advento do Heliocentrismo

# Modelo heliocêntrico

- **Aristarco (~260 a.C)**
  - Universo heliocêntrico
  - A Terra se move em torno do Sol



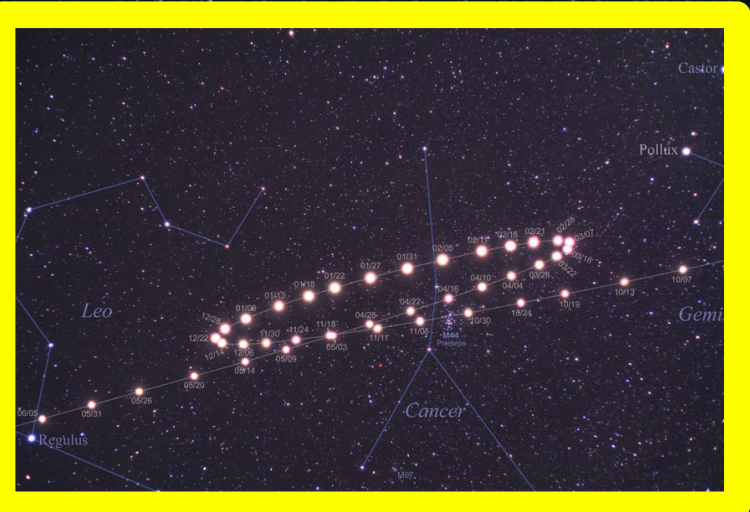
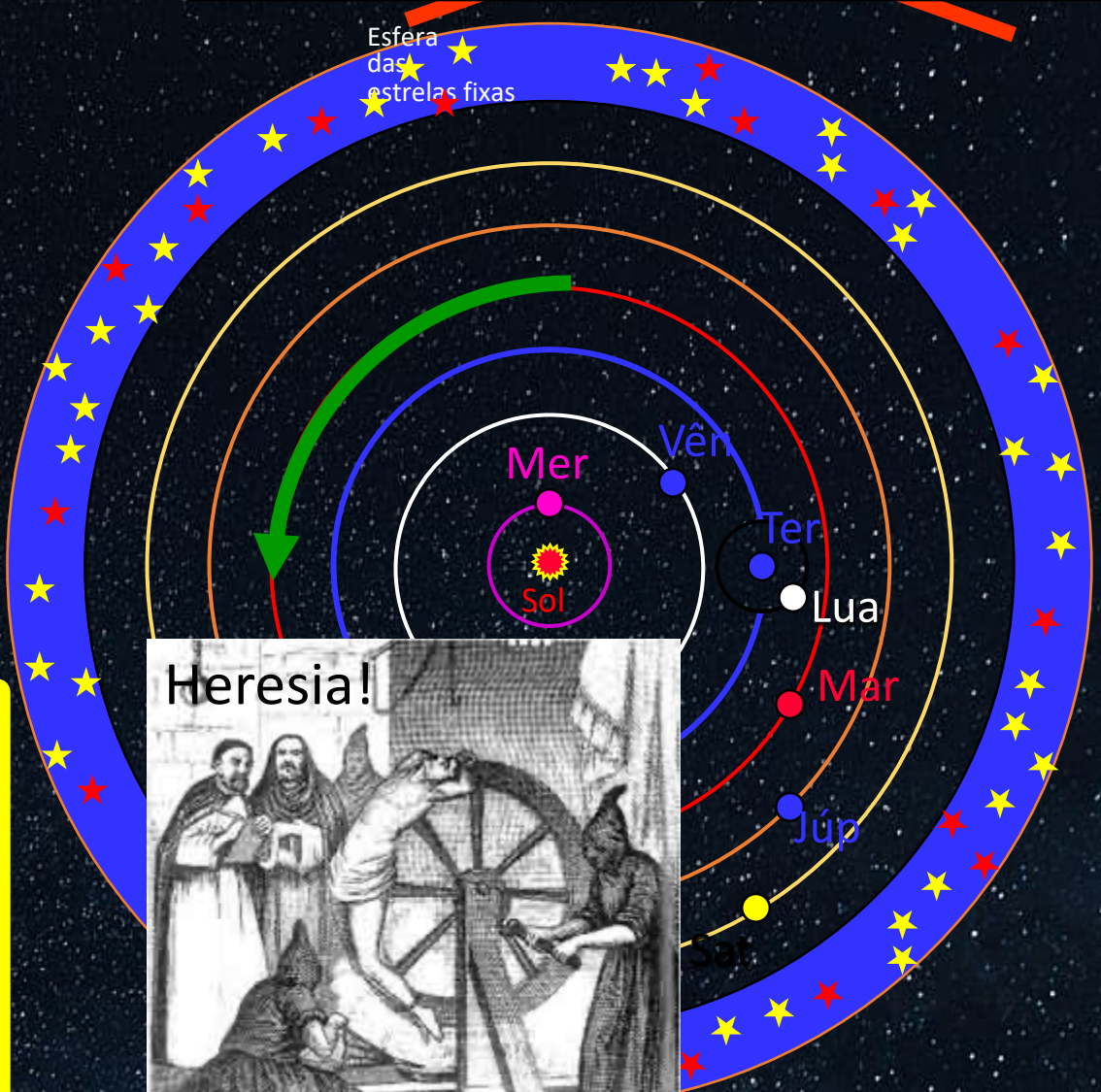
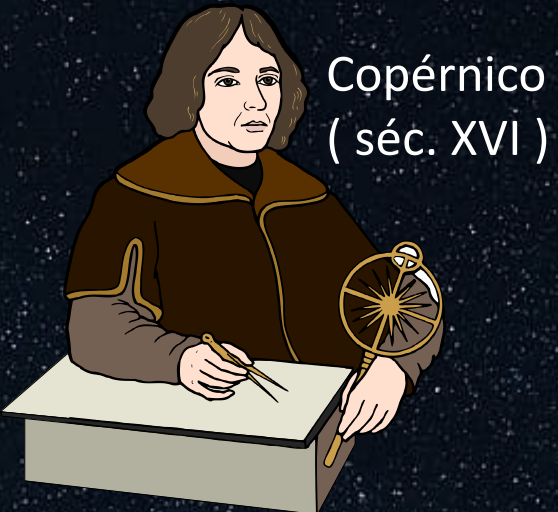
- **Nicolau Copérnico (1543)**
  - Órbitas circulares em torno do Sol



# Sistema Heliocêntrico

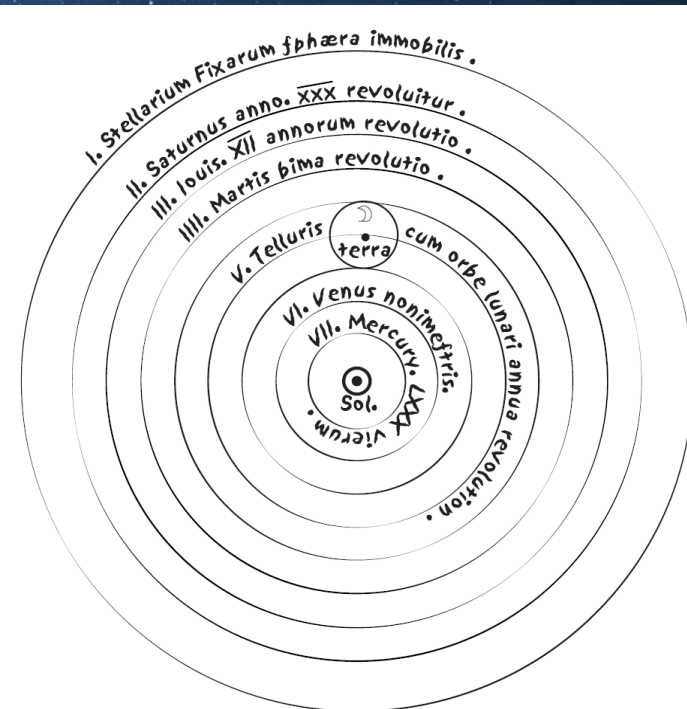
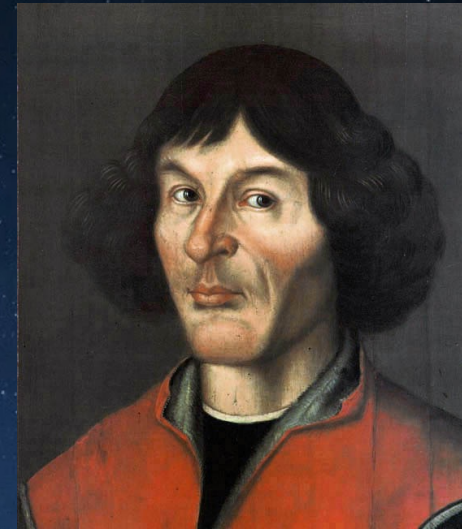
Simplificação matemática

~~Geocentrismo~~  
# Sem epiciclos → impreciso  
# com epiciclos → trabalhoso



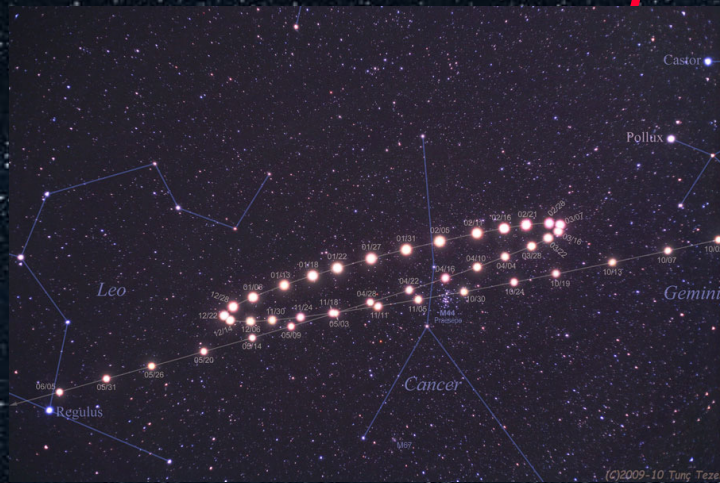
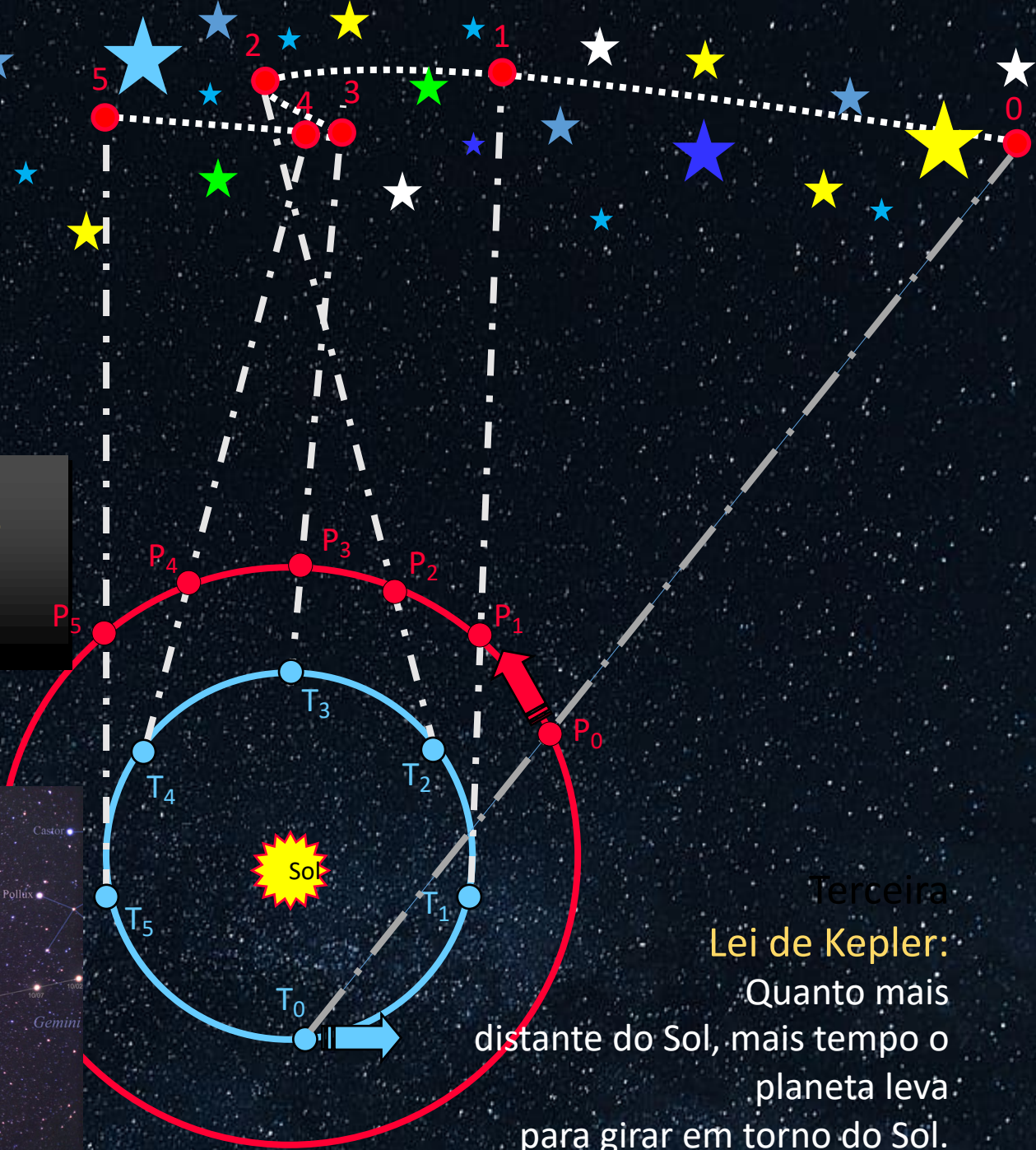
# Nicolau Copérnico (1543)

- Sol no centro (baseando-se em Filolau, Heráclides e, principalmente, Aristarco de Samos);
- Terra gira em torno do próprio eixo e do Sol;
- Planetas tem movimento circular e uniforme;
- Ordem correta dos planetas: período proporcional a distância.
- Explica o movimento retrógrado.



Estrelas "fixas"

# Explicação das 'laçadas'



Terceira Lei de Kepler:  
 Quanto mais distante do Sol, mais tempo o planeta leva para girar em torno do Sol.



Morte do  
sistema geocêntrico puro!



# Observações a olho nu e com telescópios



Galileu

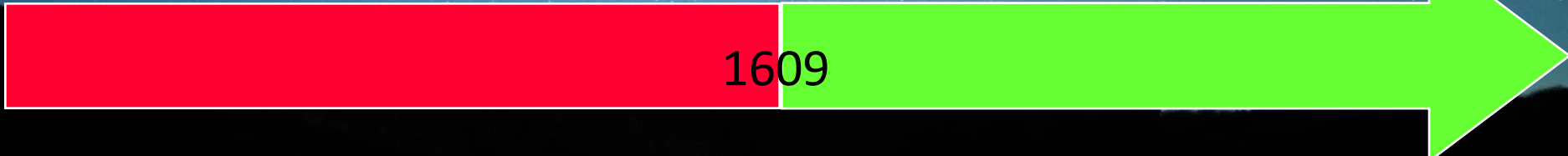


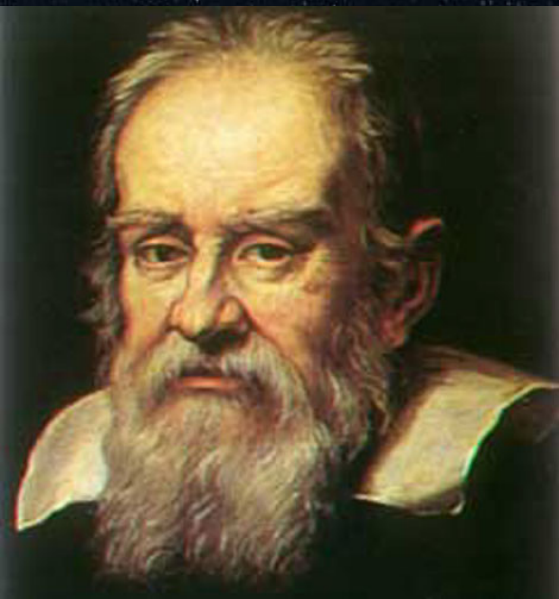
Era pré-telescópio



Era pós-telescópio

1609





1564 - 1642

# A grande luneta

- satelites de Júpiter
- fases de Vênus
- Fim do Geocentrismo



Perto da  
conjunção  
inferior

1241 UT  
23/10/02

1342 UT  
12/10/02

1352 UT  
5/10/02

1352 UT  
23/9/02

1519 UT  
16/9/02

1541 UT  
10/9/02

1548 UT  
31/8/02

1350 UT  
12/8/02

1803 UT  
1/8/02

1630 UT  
20/7/02

1940 UT  
3/7/02

1525 UT  
19/6/02

1902 UT  
1/6/02

1810 UT  
3/5/02

Perto da  
máxima  
elongação

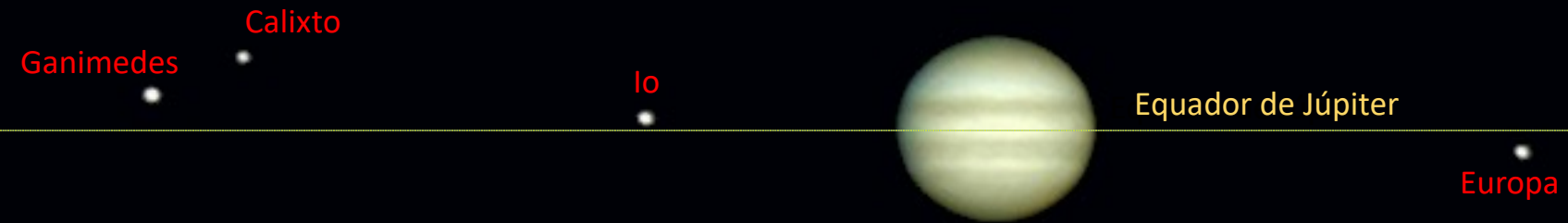
Perto da  
conjunção  
superior

# Fases de Vênus

VENUS 2002

Photographed at the TBGS Observatory  
by Chris Proctor

# Satélites galileanos de Júpiter





# Morte do geocentrismo puro

( Galileu, séc. XVII )

Júpiter

Estrélas fixas

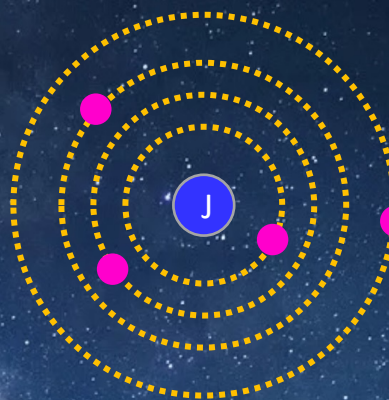
Noite 1

Noite 2

Noite 3

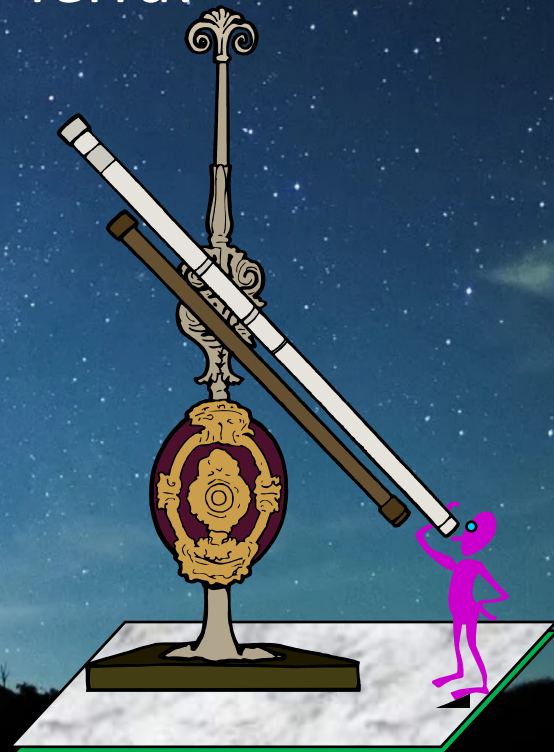
Noite 4

Noite 5

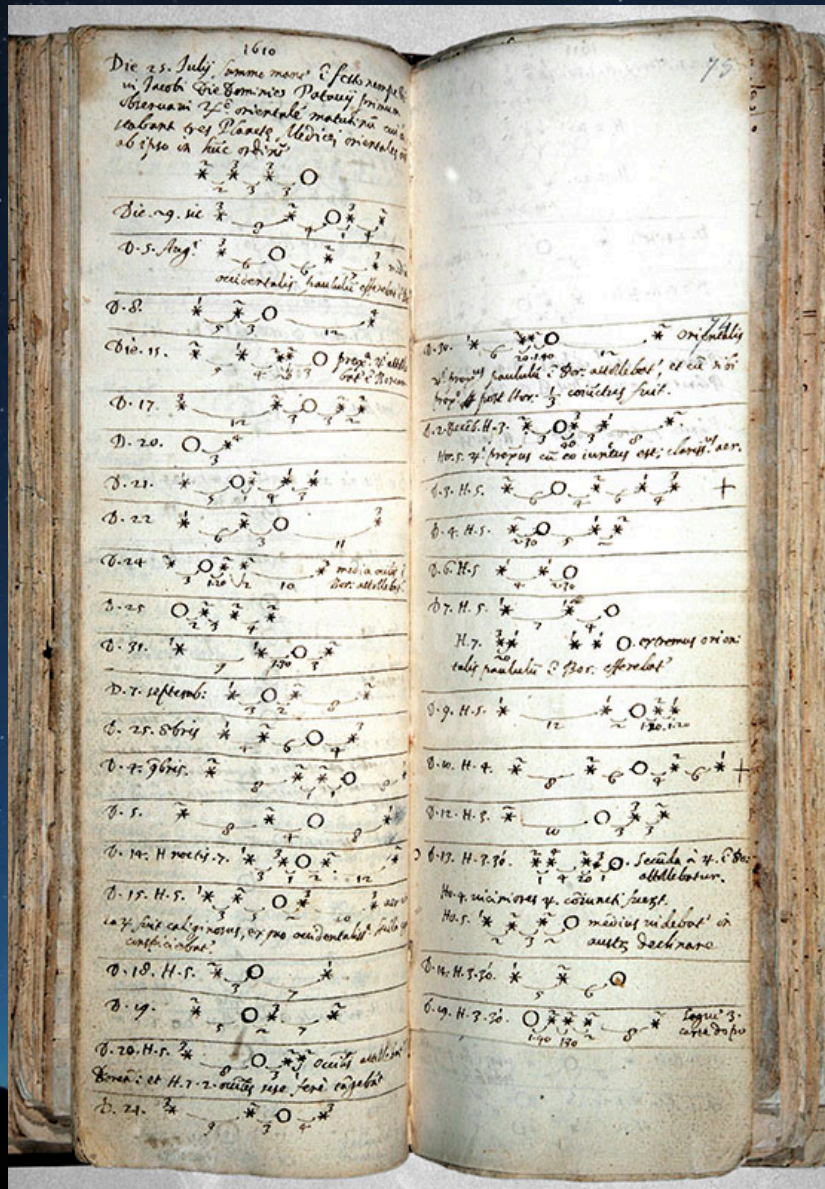


Os satélites giram em torno de Júpiter, e não da Terra!

Galileu



# Anotações



Observatory Journal  
1610

28. Julij	0 0 0
30. Julij	0 0 0
31. Julij	0 0 0
1. Aug.	0 0 0
2. Aug.	0 0 0
3. Aug.	0 0 0
4. Aug.	0 0 0
5. Aug.	0 0 0
6. Aug.	0 0 0
7. Aug.	0 0 0
8. Aug.	0 0 0
9. Aug.	0 0 0
10. Aug.	0 0 0
11. Aug.	0 0 0
12. Aug.	0 0 0
13. Aug.	0 0 0
14. Aug.	0 0 0
15. Aug.	0 0 0
16. Aug.	0 0 0
17. Aug.	0 0 0
18. Aug.	0 0 0
19. Aug.	0 0 0
20. Aug.	0 0 0
21. Aug.	0 0 0
22. Aug.	0 0 0
23. Aug.	0 0 0
24. Aug.	0 0 0
25. Aug.	0 0 0
26. Aug.	0 0 0
27. Aug.	0 0 0
28. Aug.	0 0 0
29. Aug.	0 0 0
30. Aug.	0 0 0
31. Aug.	0 0 0
1. Sept.	0 0 0
2. Sept.	0 0 0
3. Sept.	0 0 0
4. Sept.	0 0 0
5. Sept.	0 0 0
6. Sept.	0 0 0
7. Sept.	0 0 0
8. Sept.	0 0 0
9. Sept.	0 0 0
10. Sept.	0 0 0
11. Sept.	0 0 0
12. Sept.	0 0 0
13. Sept.	0 0 0
14. Sept.	0 0 0
15. Sept.	0 0 0
16. Sept.	0 0 0
17. Sept.	0 0 0
18. Sept.	0 0 0
19. Sept.	0 0 0
20. Sept.	0 0 0
21. Sept.	0 0 0
22. Sept.	0 0 0
23. Sept.	0 0 0
24. Sept.	0 0 0
25. Sept.	0 0 0
26. Sept.	0 0 0
27. Sept.	0 0 0
28. Sept.	0 0 0
29. Sept.	0 0 0
30. Sept.	0 0 0
1. Oct.	0 0 0
2. Oct.	0 0 0
3. Oct.	0 0 0
4. Oct.	0 0 0
5. Oct.	0 0 0
6. Oct.	0 0 0
7. Oct.	0 0 0
8. Oct.	0 0 0
9. Oct.	0 0 0
10. Oct.	0 0 0
11. Oct.	0 0 0
12. Oct.	0 0 0
13. Oct.	0 0 0
14. Oct.	0 0 0
15. Oct.	0 0 0
16. Oct.	0 0 0
17. Oct.	0 0 0
18. Oct.	0 0 0
19. Oct.	0 0 0
20. Oct.	0 0 0
21. Oct.	0 0 0
22. Oct.	0 0 0
23. Oct.	0 0 0
24. Oct.	0 0 0
25. Oct.	0 0 0
26. Oct.	0 0 0
27. Oct.	0 0 0
28. Oct.	0 0 0
29. Oct.	0 0 0
30. Oct.	0 0 0
31. Oct.	0 0 0

# Anotações: superfície da Lua



Observações da Lua feita por Galileu em 1616. Note nos desenhos que Galileu foi capaz de observar pela primeira vez o relevo do solo lunar através das sombras irregulares.

# Modelo heliocêntrico pós-Copérnico

- **Tycho Brahe (~ 1590)**

- observações detalhadas do movimento dos planetas, em particular de Marte. (mas acreditava no universo geocêntrico)



- **Johannes Kepler (1609)**

- Utiliza dados de Tycho Brahe.
- Inicialmente acredita no universo geocêntrico, mas adota a visão heliocêntrica devido à sua própria análise
- Observando dados: abandona movimento circular do SS: adota elipses





# Modelo heliocêntrico moderno

