

Aula 3

Primórdios da Astronomia

<http://astroweb.iag.usp.br/~aga210/>

Prof. Dra. Sandra dos
Anjos

Depto Astronomia IAGUSP

2024

Toda a concepção que temos da natureza, do mundo que vivemos, da tecnologia que desfrutamos, é o resultado do acúmulo de conhecimento desde a antiguidade...

■ Qual a origem da base científica da nossa civilização? ■

O “embrião” da ciência moderna já estava presente nos trabalhos de Newton, e se já estava ali, foi herdado dos povos antigos e deveria também estar presente nos trabalhos de Galileu, Copérnico e outros que contribuíram para a Revolução Científica ocorrida no Séc. XVII. ■

Devemos então recuar ainda mais no tempo para encontrar os elementos singulares que acompanharam o surgimento deste “embrião” ■

A herança científica e as bases do método científico...!

Que área do conhecimento seria a mais adequada para acompanhar o desenvolvimento deste “embrião” ?

De todas as áreas disponíveis, a que tem incomparavelmente maior desenvolvimento, mais reconhecidamente moderna e que mantém maior continuidade com o passado é a da **Astronomia Matemática**.

Onde podemos identificar os **elementos singulares** que acompanharam o surgimento do “embrião” da ciência moderna associado a **Astronomia Matemática....?**

Povos da Mesopotâmia (4000 a.C – 1900 a.C)

Oriente Médio, hoje, Iraque.



Os registros mais antigos das origens da astronomia também se deve aos povos da Mesopotâmia.

Primeiro registro escrito com nome de objeto celeste data da ordem de 2500 a.C

-> “Mul-Mul” (“estrela” para os Sumérios)

-> “Plêiades” (aglomerado de estrelas)

- A observação do céu, do **deslocamento do Sol** em relação ao horizonte, sua **relação com a claridade e a escuridão**, as **fases da Lua**, **eclipses**, fazem com que estas observações marquem a passagem e ciclos do tempo e organizem a vida cotidiana, funcionando como **relógios naturais**.

A mudança dos astros no céu anunciava **mudanças no tempo** como a chegada do inverno, verão, e permitia fazer planejamento para o plantio e a colheita.

Era possível fazer **previsões** do futuro, já que acreditavam que os deuses do céu tinham o poder da colheita, da chuva e mesmo da vida.

As observações do céu e necessidades do dia-a-dia engatilharam muitas “ferramentas” intelectuais até hoje utilizadas

Legado dos Babilônios

O comprimento do ano → medido acuradamente 3.000 a.C

Estabelecem “Sistemas de Valores” de números inteiros e fracionários

Calendário de 360 dias, com 30 dias por mês + 1 mes extra com 5.25 dias
360 posições do Sol no horizonte até encerrar um ciclo (= 1 ano)

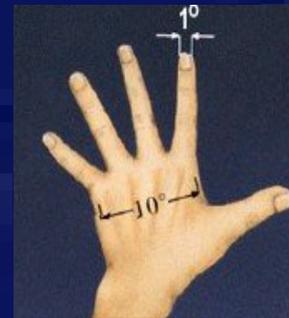
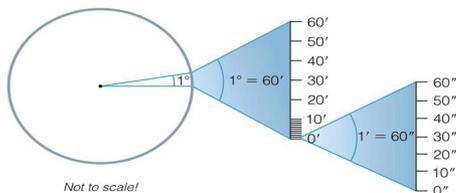
Sistema de medidas angular → 360 graus em 1 círculo

Sistema sexagesimal → 60, número significativo: divisível 360 e 12 meses do ano

Cada grau = 60 partes – 1 parte = 1 arcmin → 1 arcmin = 60 arcsec

Manutenção do mesmo sistema para o tempo → 1h = 60m; 1m=60s; 1h=3600s

- Full circle = 360°
- $1^\circ = 60'$ (arcminutes)
- $1' = 60''$ (arcseconds)



(12 falanges x 5 dedos = 60)

Curiosidade: faziam cálculos astronômicos sem recorrer a geometria.

Eram excepcionais em operações quantitativas-**aritmética**

Curiosamente...

- Descobertas arqueológicas tem sugerido que **observações astronômicas** eram realizadas pelos povos da pré-história e que o conhecimento destas observações era elaborado de forma independente em **várias partes do mundo.**

Egípcios

- Economia era essencialmente **agrícola** e regida pelas enchentes do Nilo.
Mas conheciam os **eclípses** (3000 a.C)

Índios Equatorianos

Determinaram que se localizavam no equador e que obviamente a **Terra era redonda** (2000 a.C)

Chineses

Muito foi perdido devido ao decreto imperial em 213 a.C.

Registro mais antigo remonta ao século IX a.C, mas sabe-se que previam eclipses, calendário de 365 dias, **catalogavam estrelas** com precisão e registravam aquelas que tinham **aumento e diminuição da luminosidade** (variabilidade) – as hoje conhecidas “Estrelas Novas”

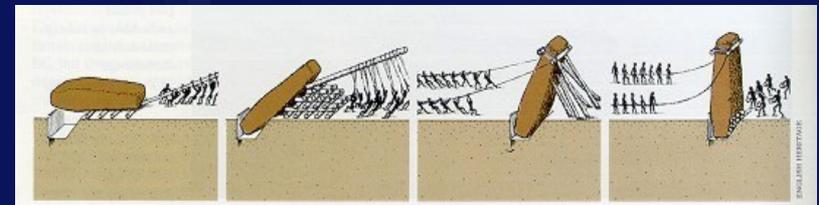
Na Inglaterra...o caso de Stonehenge

Monumento construído em 3 fases no período de 3100 a.C – 2075 a.C.

Estudos mais recentes “sugerem” tratar-se de um observatório astronômico que podia prever eclipses e estações do ano e que também era usado como local religioso.



A avenida principal que parte do centro do monumento aponta para o local no horizonte em que o Sol nasce no dia mais longo do verão (solstício).



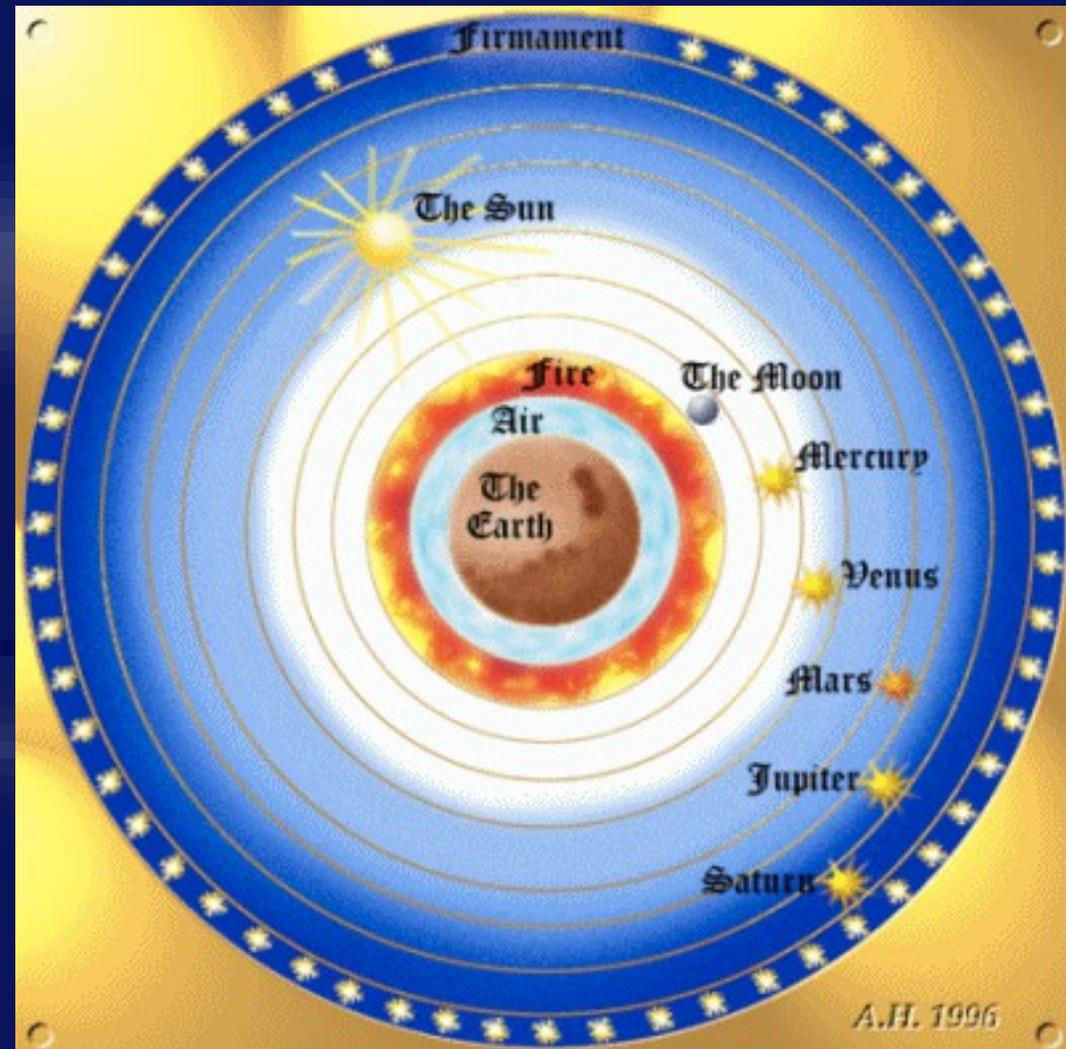
Gregos

Civilização Grega mais antiga floresce na ilha de Creta, entre 5000 a 2000 a.C.

A mitologia das Constelações é atribuída a Cultura Minoica, em Creta.

Surge conceito de Esfera Celeste e esfera cristalina incrustada de estrelas com a Terra no centro

Aquí nasce o pensamento formal crítico, método de inquérito e argumentação, que leva ao entendimento de questões.



Astrônomos, matemáticos, engenheiros da Grécia Antiga

...e exemplos de contribuição intelectual

Tales de Mileto (624 a.C – 546 a.C)

Um dos 7 sábios da Grécia Antiga
Contribuições aos Fundamentos da
geometria e trigonometria

"Indagação racional leva ao
entendimento"

Pitágoras (571 a.C – 479 a.C)

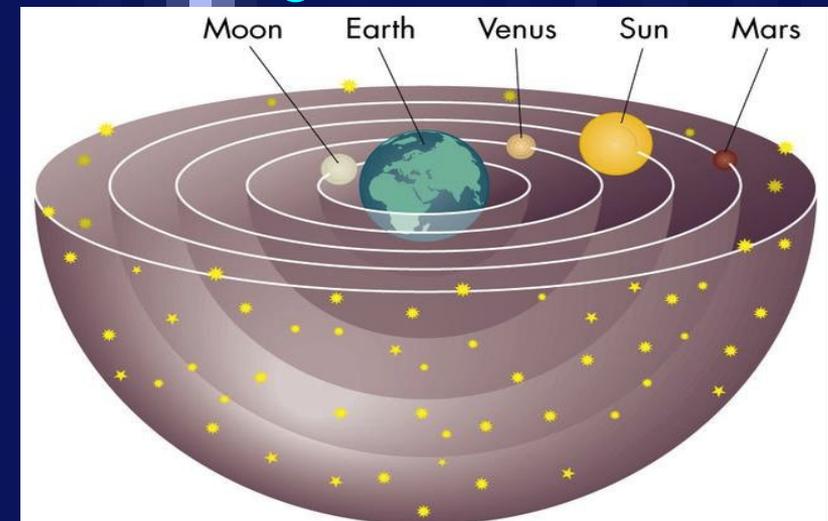
Fundador da geometria, trigonometria
Acreditava na **esfericidade da Terra**
e Lua, e que planetas, Sol e Lua
eram transportados por esferas
separadas

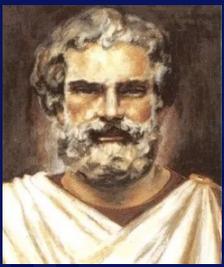
"A realidade pode ser representada
por números"...

Aristóteles* (384 - 322 a.C)

Modelo Geocêntrico do
Cosmos por **dedução** e não por
observação (=Platão)

Universo é esférico, finito, com
estrutura ordenada onde
encontramos 5 elementos: éter,
terra, água, ar e fogo, **cada qual
em seu "lugar natural"**



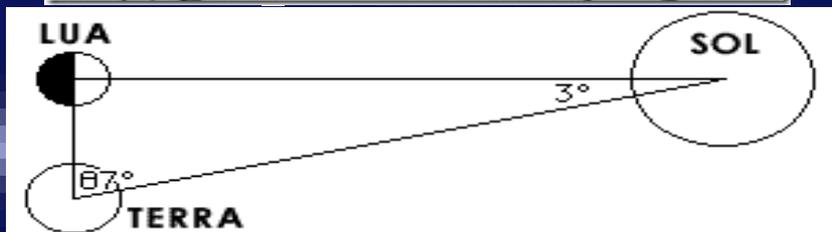
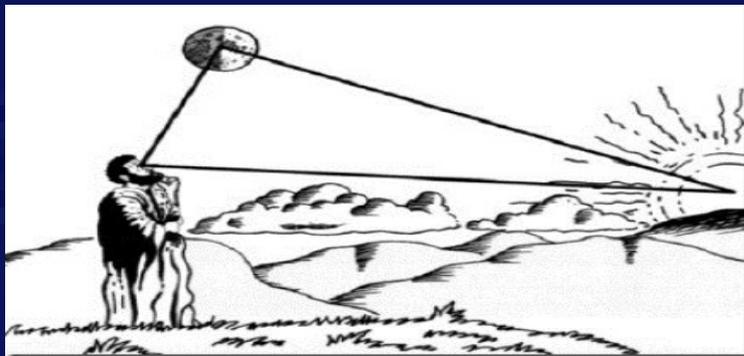


Aristarco de Samos (310- 230 a.C)

Alternativa ao Modelo Geocêntrico
Modelo Heliocêntrico !! não teve impacto na época

Classifica as estrelas em "Classes de Brilho"

Determinou tamanhos e distâncias do Sol e da Lua usando trigonometria.

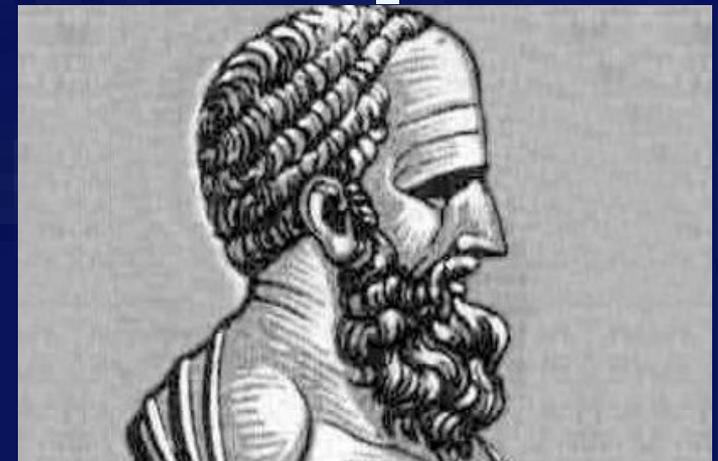


Hiparco* (190 a.C – 120 a.C)

- Introduz o conceito de grandeza associado ao brilho aparente das estrelas - **Sistema de Magnitudes**

Cria o astrolábio, entre outros, e descobre a precessão dos equinócios

Considerado uma figura de transição entre astronomia babilônica e a obra de Ptolomeu →



Arquimedes - (Siracusa, 287 a.C. – 212 a.C.)

Um dos principais cientistas da antiguidade, era filósofo, matemático, físico, engenheiro, inventor e astrônomo. Contribuiu com inúmeros inventos como a alavanca, o parafuso de Arquimedes, cálculo de volume de sólidos irregulares e contribuições a matemática (cálculo do pi), entre outros.

A **máquina de Anticítera** - o primeiro computador do mundo. Artefato supostamente datado de 87 a.C e supostamente planejado por Arquimedes, foi resgatado em 1901 por mergulhadores. Estudos atuais sofisticados e minuciosos revelaram ser uma máquina que preve ciclos astronômicos, eclipses e representa mecanicamente a órbita da Lua, de outros planetas do Sistema Solar e do próprio Sol.



Replica do Mecanismo – Museu Catavento (SP)



Instituto de
Estudos
Avançados da
iversidade de
São Paulo

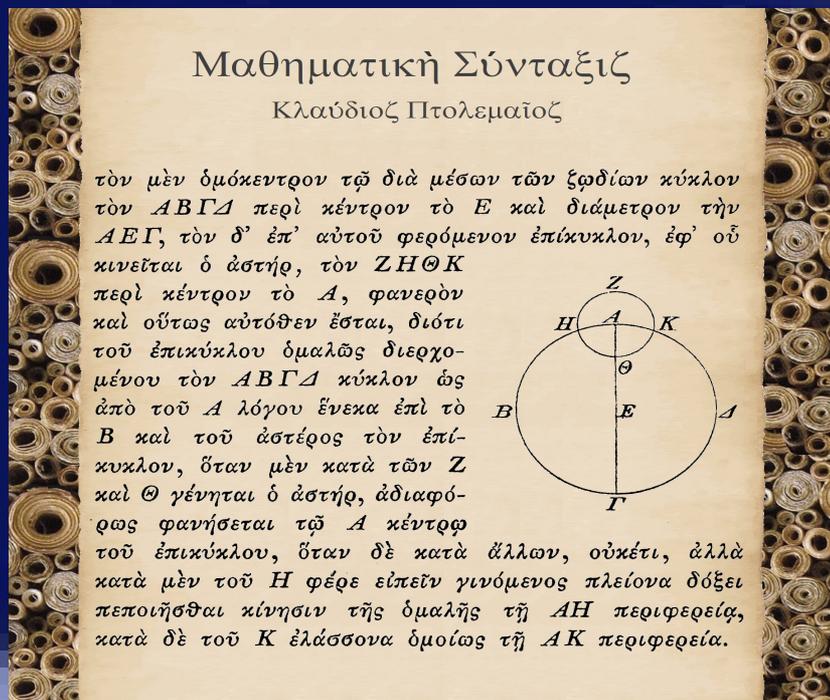


Cláudio Ptolomeu (85-165 d.C – cientista greco-egipcio)

...aquí se identifica o “ embrião ” da ciência moderna...



Almagesto (Grande Síntese): Uma coleção de 13 livros sobre Astronomia, Geometria e Trigonometria, e que a despeito de ser ainda um Modelo Geocêntrico e, equivocadamente, a **descrição Matemática é considerada um monumento intelectual**, já que pela primeira vez na história da Humanidade são utilizadas **equações matemáticas para descrever a natureza, o movimento planetário!**



A partir deste período que a Astronomia Antiga cria um vínculo com a Astronomia Moderna, identificada como **Astronomia Matemática** e permite, então, o rápido domínio do conhecimento da natureza

Ciência Babilônica x Ciência Grega

- Uso de técnicas quantitativas e numéricas, manipulação sofisticada dos números, cálculo

- Curioso é que apesar de toda maestria no que se refere ao cálculo, não se encontra na Babilônia nenhum elemento do método de argumentação lógica (Euclides).

- Também eram quase “ignorantes” e incompetentes em questões de geometria

- Posição em relação $\sqrt{2}$ que calcularam com grande precisão

- Uso de técnicas científicas envolvendo lógica, geometria, pictórica, intuição...

- Na grandiosidade da Lógica e Geometria de Euclides, está totalmente ausente o conhecimento mais aprofundado do cálculo.

- Posição em relação $\sqrt{2}$ que demonstraram que era um número irracional

Curiosidade

Experiência recolhida no **campo da educação** mostra que nossa população é formada pelos que mostram e os que não mostram vocação para a matemática.

É um problema crucial que existe a muito tempo para ser atribuído simplesmente ao mau ensino ministrado nas escolas.

Será que os gregos e babilônios existentes entre nós são incapazes de se comunicar ?

Será que se os “visualistas” e os que pensam “verbalmente” fossem os equivalentes modernos dos velhos tipos, seria necessário ter professores e métodos correspondente ao seu exato “grupo sanguíneo matemático”?

Se houve na antiguidade um encontro entre civilizações que permitiu a “fecundação cruzada” das culturas babilônica-grega, seria o caso de providenciar treinamento profissional especializado?

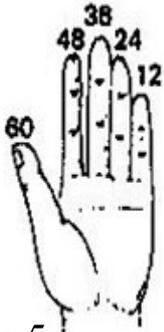
Fonte: **A Ciência Desde a Babilônia; Derek de Solla Price (1976); pg. 32**

Medidas eram realizadas as ferramentas disponíveis... as mãos e o cérebro!

Mão esquerda

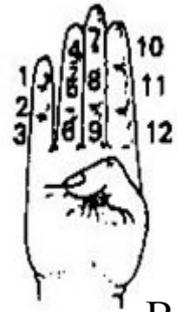
Mão direita

Contagem dos dedos, cada um valendo uma dúzia.



Base 5

Sistema de contagem sexagesimal.



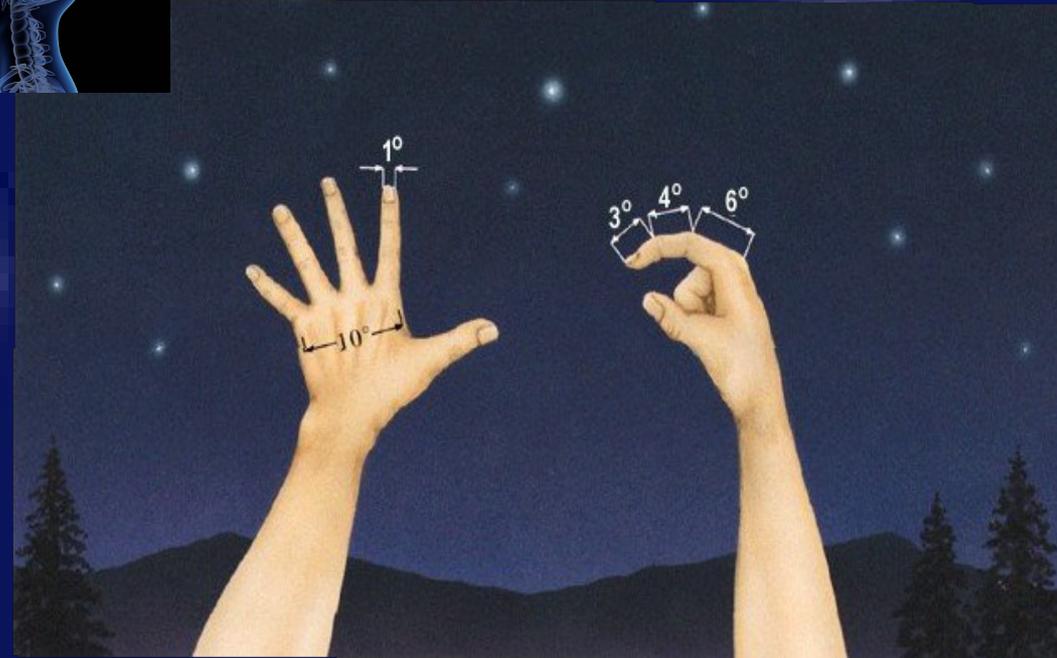
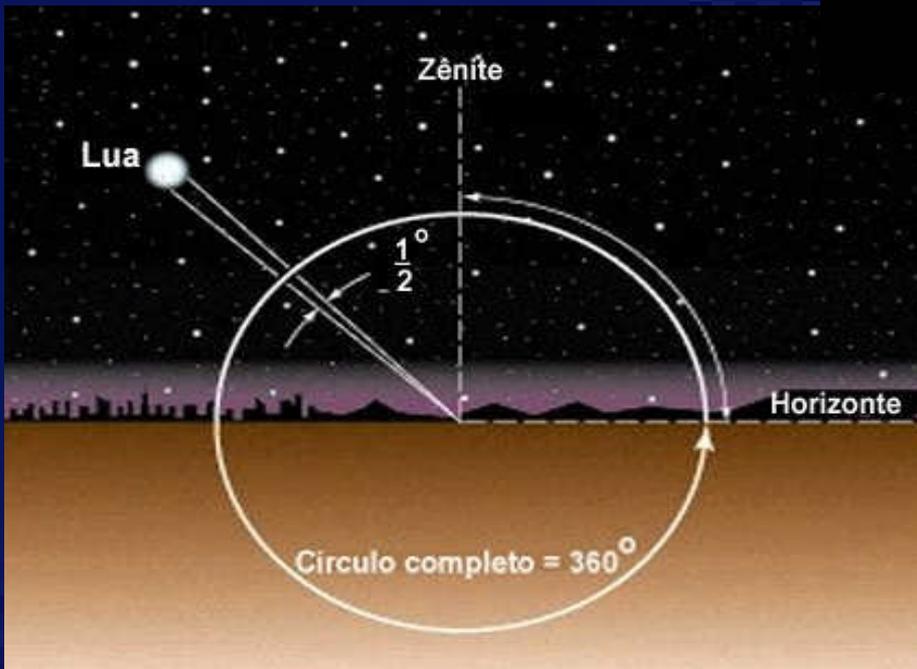
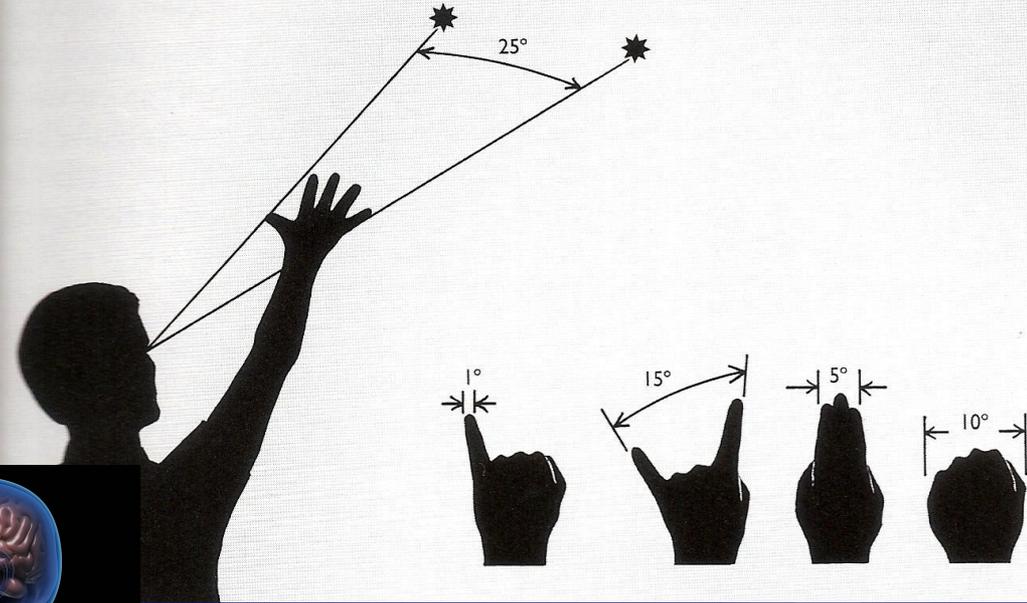
Contagem das falanges pelo polegar oposto, cada.

Base 12

Número 60 era especialmente significativo (12 falanges x 5 dedos = 60)



MIDIENDO DISTANCIAS ANGULARES EN EL CIELO CON LA MANO





Quando foi mesmo que ocorreu a globalização?

Idade das Trevas

...na Europa dominada pelo cristianismo, pensamentos como...

São Tomás de Aquino (1225 - 1274) acreditava que a **ordem que vemos na natureza** é uma prova irrefutável da **existência de Deus**.

...afinal, a matéria deixada por si só não poderia se organizar, a não ser que fosse guiada por uma inteligência suprema.

Gradualmente, a doutrina cristã passou a receber no **texto bíblico** elementos que reforçavam a idéia do geocentrismo.

Esta **mesclagem da fé cristã com as informações astronômicas** que começava a surgir seria motivo de uma tensão entre o pensamento científico e a igreja.

Idade das Trevas

A integração do **pensamento científico** com o **pensamento religioso** foi responsável pela incorporação de **conceitos de perfeição** que seriam mais compatíveis com a **origem divina das estrelas e planetas**.

Consolidava-se assim a noção de que os objetos celestes eram perfeitos, e, com algumas pequenas correções, orbitavam em torno da Terra em órbitas circulares.

Idade das Trevas

...por outro lado, na Europa dominada pelo islamismo o cenário era outro...

Antigo Islã

...cientistas medievais muçulmanos esquecidos...

Algumas referências matemáticas: algoritmo, álgebra, álcai e na
Astronomia: nome de estrelas como Aldebaran, Arturus,...

Al-Khwarizmi

mostra aos europeus que os numerais romanos não eram eficientes para fazer cálculo! (Livro “A Arte Hindú de Calcular” desenvolvida pelos matemáticos indianos (sec. VI)

Início Sec. VII

os califas já governavam vastos territórios e tinham consciência de que o conhecimento andava de mãos dadas com o poder político

- Conhecimento médico -> salvava vidas
- Tecnológico -> ganha guerras
- Matemática -> complexidades das finanças do Estado

Islamismo como religião entendia que estudar, melhor compreender a criação de Deus, era uma obrigação religiosa.

**Deus não envia uma doença sem também enviar a cura...!,
...elas estão aí...e nosso papel é achá-las....!!!**

Califa Abdul Malik

Sec. VIII d.C dificuldade em administrar a miscelânea de idiomas e caos burocrático, decide tornar a “**lingua local uniforme**”, o Árabe!
(Alcorão – inalterado em 1400 anos!)

As consequências para a **ciência** foram imediatas...
língua comum, precisa e inequívoca, ideal para termos científicos e técnicos
...nem supunha que lançaria as bases do Renascimento Científico

Califa Al Ma'mun

...entendeu a importância do “conhecimento”

Seu reinado (813-833) foi dedicado a campanhas de pacificação.

Bem-educado e com um interesse considerável em letras e estudos, Al-Mamun promoveu o **“Movimento de Tradução Greco-Árabe”**, o florescimento da educação e das ciências em Bagdá e a publicação do livro de Al-Khwarismi que agora é conhecido como **“Álgebra”**

Fundou em Bagda a Casa da Sabedoria que continha um Instituto de Pesquisas, uma biblioteca, um museu e um Centro de Traduções



Pagava peso de ouro para quem trouxesse livros antigos que ele não tinha em sua biblioteca, e tinha a preocupação de preservar os milhares de anos de conhecimento e sabia que podiam ser destruídos

Reuniu um grupo de 70 pessoas destinadas a traduzir os livros -> pagava até R\$ 42.000, já que a atividade era PRESTIGIADA!





Oito dos incontáveis sábios da Escola de Sabedoria de Bagdá: De cima da esquerda para a direita: Al Razi, Avicena, Al Biruni, Al Battani, Ibn An-Nafis, Al Idrisi, Al Kuarismi e Nasir al-Din al

Sintetizou os conhecimentos da medicina em 3 livros com diagnósticos e remédios e funcionamento do corpo humano

Base da medicina usada até o Sec. XIX

Matemático, astrônomo, e responsável pela fusão dos “2 tipos de matemática” - a grega (intuição geométrica) e a indiana (cálculo, aritmética (babilônios))

“Químico” desenvolve os primeiros sistemas racionais, experimentais, para classificação do material do qual o mundo é feito (inflamáveis, brilhantes, maleáveis, solvetes, etc...)

Base da Tabela Periodica

Matemático, astrônomo: relações trigonométricas, ano solar, precessão. Citado por Copérnico, Kepler etc....

Ibn Al Haytan que era o prodígio da época e que foi responsável por “controlar” o Rio Nilo....bla,bla, bla

...a natureza poderia ser explicada pela matemática e geometria. Realiza **experimentos** que são a base da óptica,... a luz ! -> **viaja em linha reta...**, refração, incidência e reflexão e a natureza da visão – como a imagem é formada no olho!

1020 publica os resultados “Kitab al-Manazir”

CRIA O MÉTODO CIENTÍFICO (1050)

Tinham o domínio do **comércio mundial** (700 d.c), negociavam os produtos em mercados conhecidos como Caravançarais (Figs.)
...força motriz de expansão do império islâmico



Responsável pela demanda enorme por trabalhos com metais e fogo, sopradores de vidro, azulejistas, artesãos, químicos entre outros...

Necessidade de “experiências, como:

“medidas do mundo”, fabricação de instrumentos, fabricação de moedas (alquimia), remédios, drogas, manipulação de plantas, fabricação de sabonetes/sabão, etc

O que é possível observar a olho nú no Céu Noturno...



Céu Noturno e o Movimento dos Astros a Olho Nú



Astros “parecem” pertencer a uma esfera imaginária definida pelos antigos gregos como Esfera Celeste

Sabemos hoje que estes astros que parecem estar fixos na Esfera Celeste é equivocada, já que estimativas da distância de milhares de objetos que medimos mostra que eles estão a diferentes distâncias da Terra.



Nuvens de Magalhães



Andrômeda

A olho nú observamos :

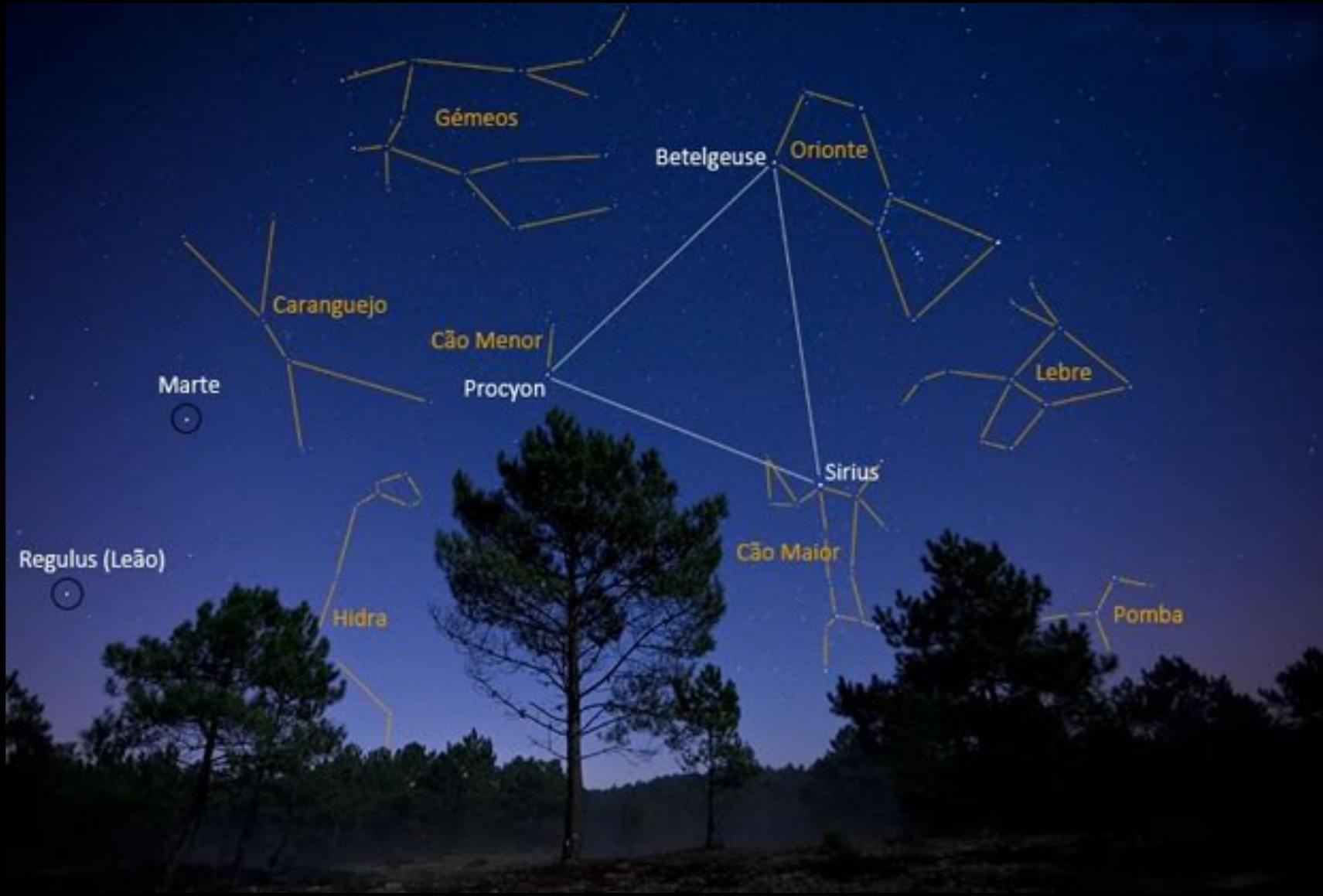
- O Sol, a Lua e 5 planetas (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno);
- Cometas mais brilhantes; meteoros que queimam na atmosfera;
- Cerca de 5000 estrelas;

Looking west
8 P.M., April 1



Observando o Céu Noturno a Olho Nú, percebemos 3 fenômenos:

1- Grupos de estrelas “fixas”, padrões, que na antiguidade foram associados a figuras da mitologia, denominados **Constelações**



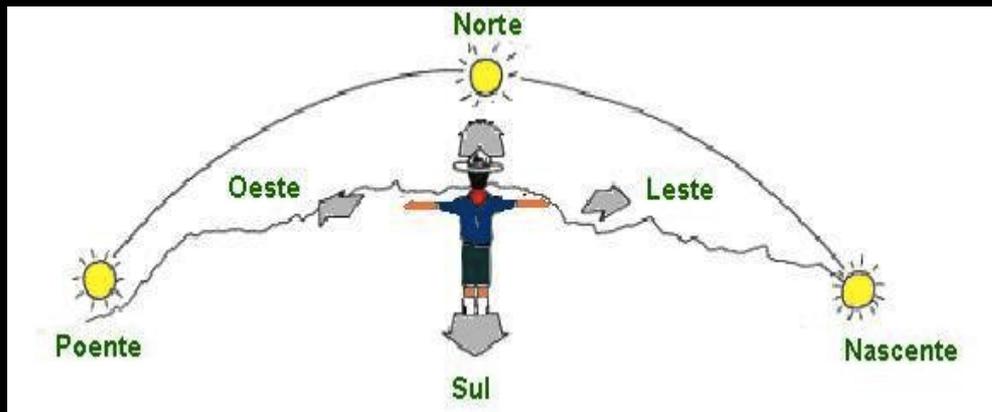
2 - Alguns astros “caminham” entre os grupos de estrelas: “estrelas errantes” (planetas)



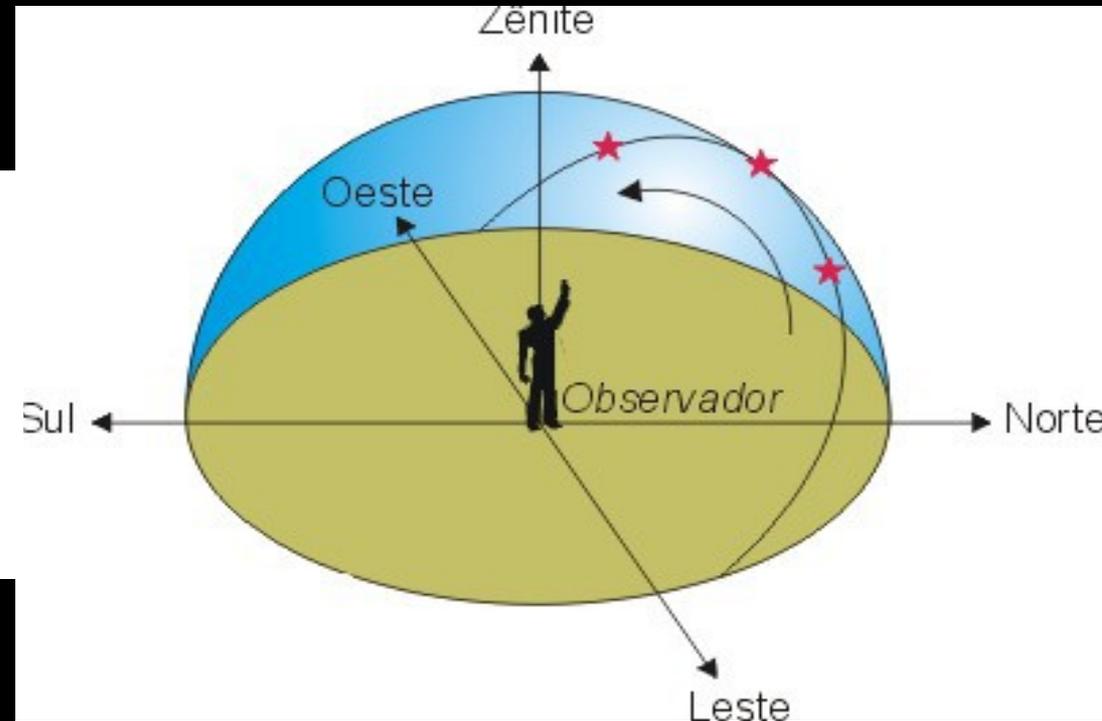
Sabemos hoje que os planetas estão a distâncias menores que as estrelas, então podemos perceber seus movimentos...

3 - Movimento Regular dos Astros em diferentes escalas de tempo...

Constelações, Sol e astros se movimentam na Esfera Celeste de **Leste para Oeste** (Fig.1).



Orientação dos Pontos Cardeais
no Hemisfério Sul



Veremos adiante detalhes destes movimentos -->

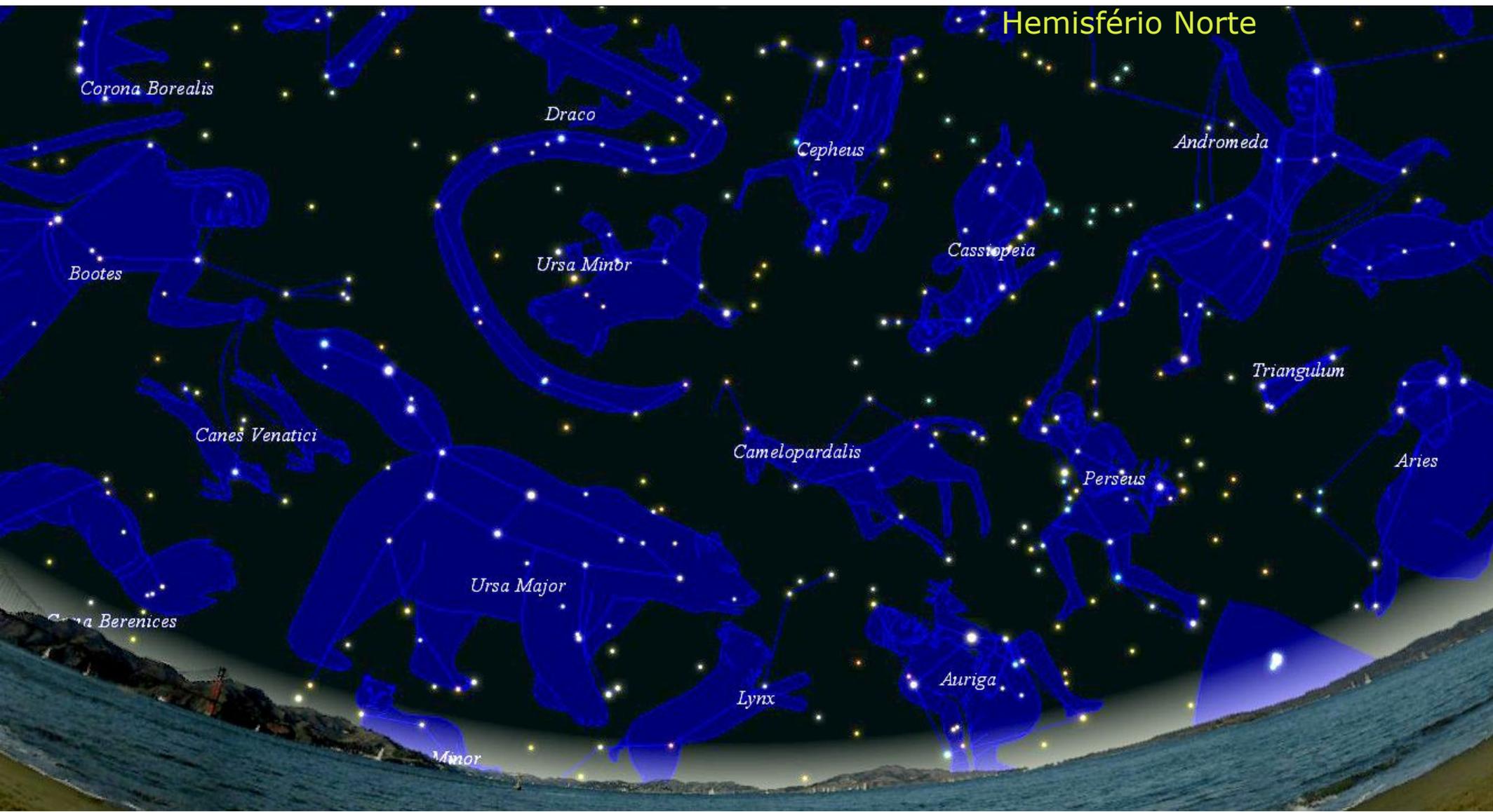
Vamos inicialmente comentar o 1º caso....
As constelações e sua utilidade

Constelações observadas no Hemisfério Sul



Não são as mesmas constelações observadas no Hemisfério Norte

...e diferentes culturas têm diferentes constelações representando objetos ou criaturas diferentes

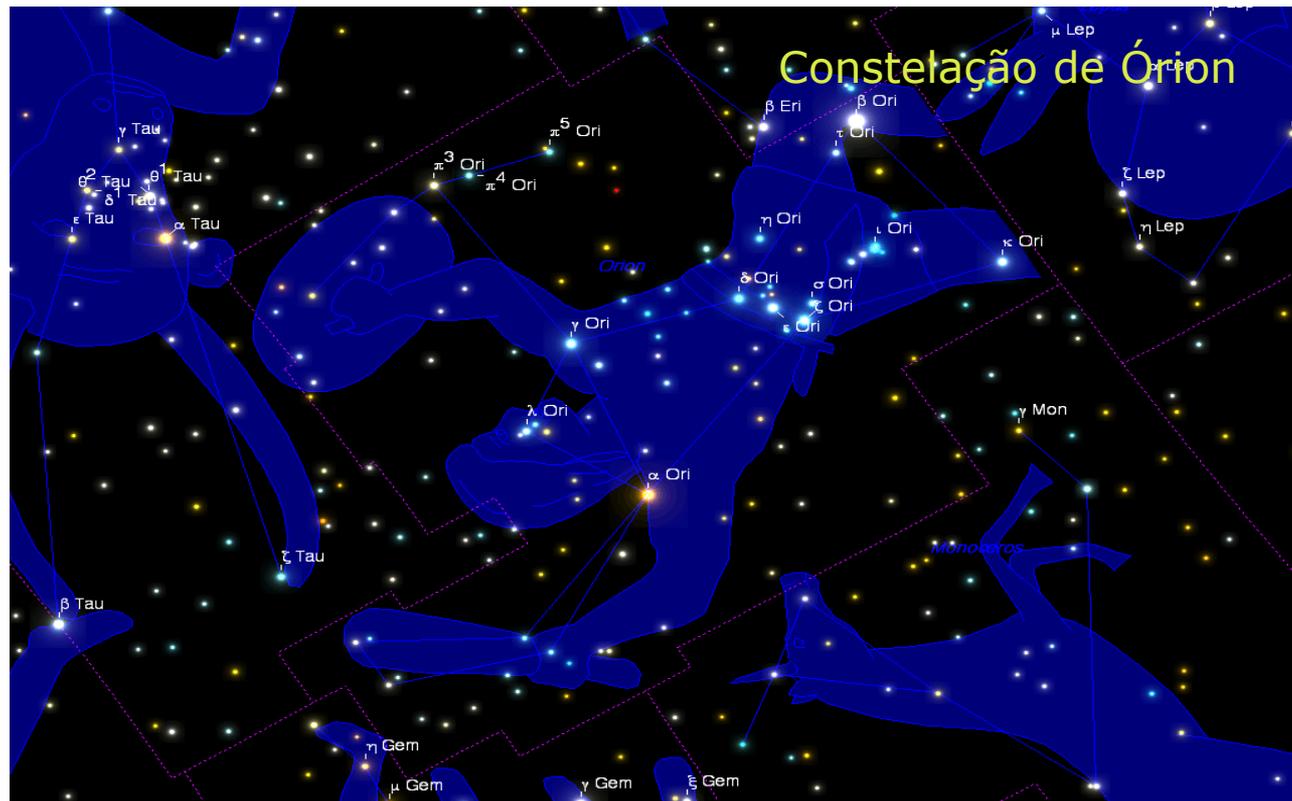


Constelações: organizadas da seguinte forma...

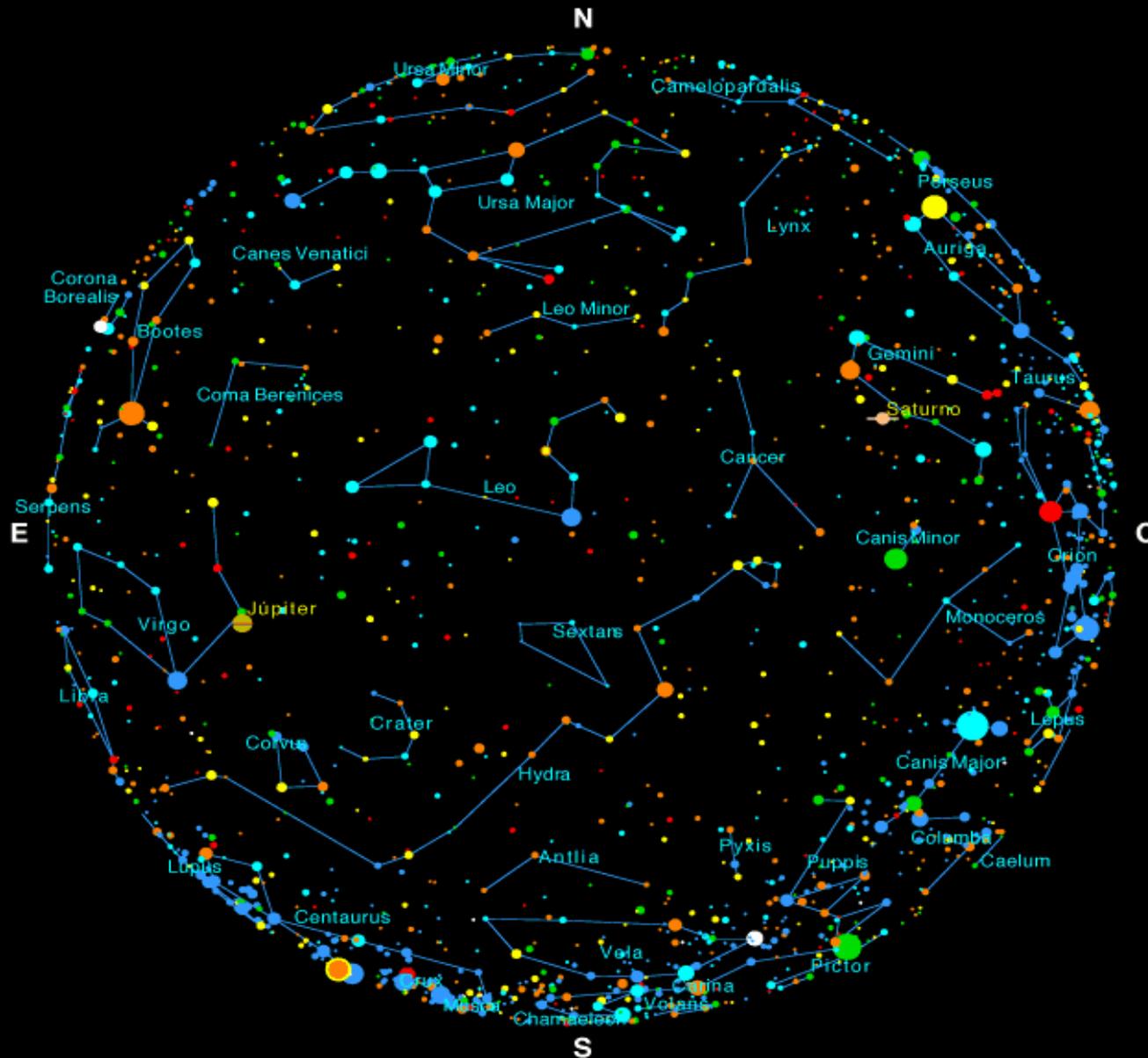
As estrelas são ordenadas segundo seu **brilho aparente**, proposto por Bayer em 1603

A mais brilhante é representada pela letra grega alfa (α), a segunda mais brilhante beta (β), depois gama (γ), etc...Ex. Alfa-centauri

Quando termina o alfabeto grego utiliza-se as letras A, B, C, ... AA, AB, AC,



Constelações Distribuídas em toda a “Esfera Celeste”

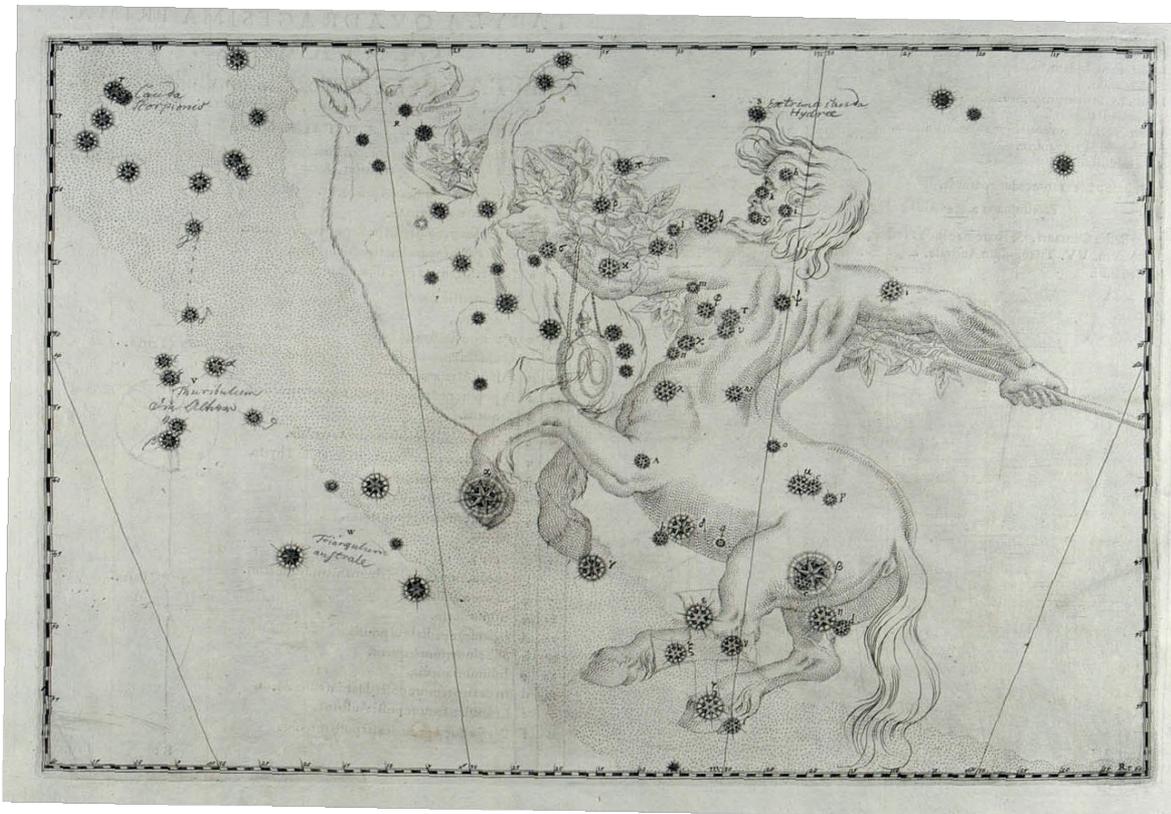


Constelações utilidade

Desde a antiguidade as estrelas são utilizadas como meio de orientação, localização

Em 1928, a União Astronômica Internacional - UAI organiza a esfera celeste em várias divisões, da seguinte forma:

- 88 constelações, limites traçados em 1930 por Eugène Delport.
- Maioria vem da Grécia antiga, passando pela Europa renascentista.
- Facilita a localização de objetos de estudo. Ex: Maior Lobulo de rádio na constelação de Leão Menor, e a **Chuva de Meteoros Perseidas...que ocorre em agosto de cada ano**

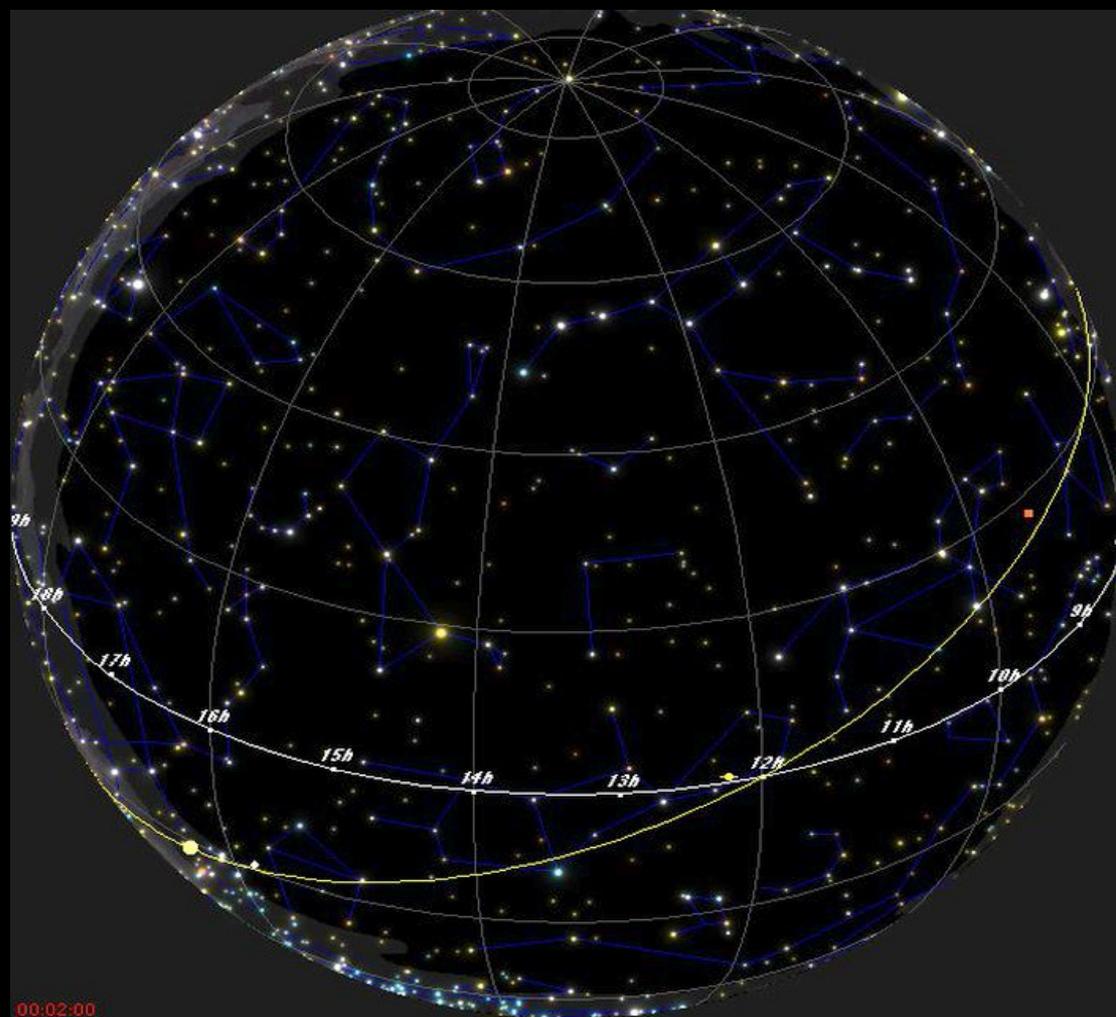


Uranografia ou cartografia estelar:
mapeamento de estrelas, galáxias e
outros objetos, na esfera celeste.

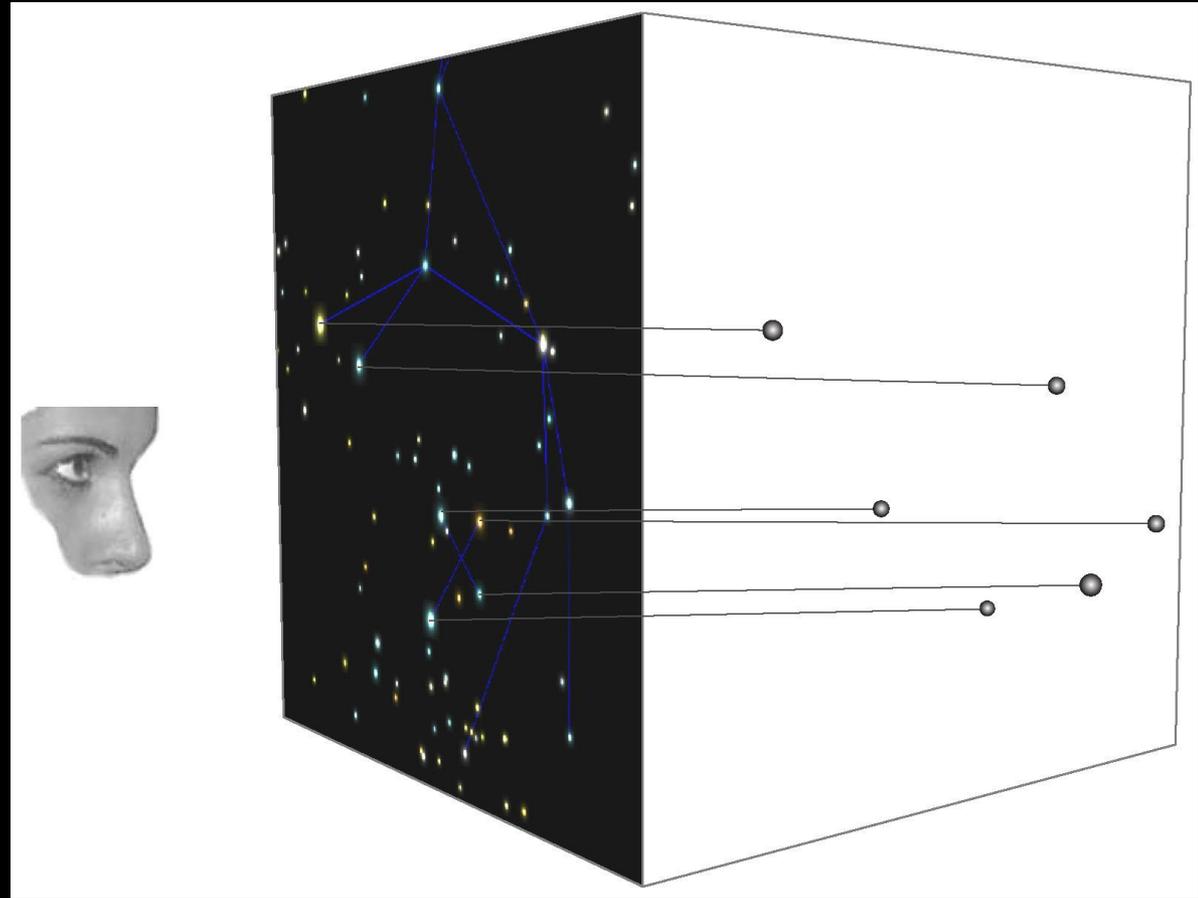
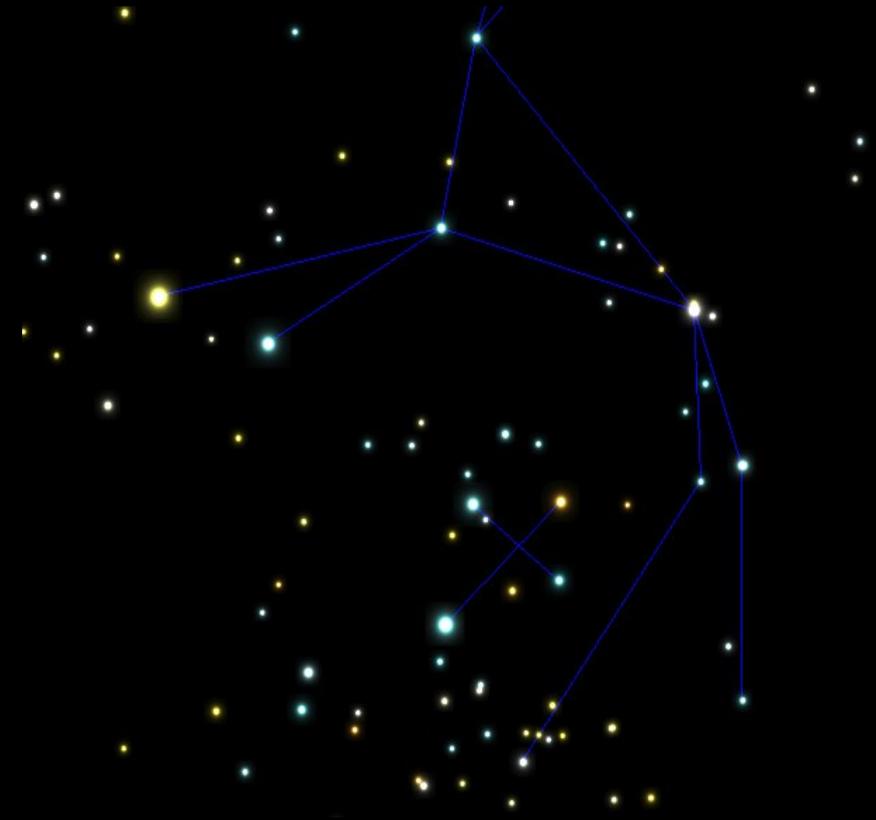
Uranografia de Bayer, 1603,
detalhe Centauro.

Nada mais natural, portanto, que se aplique um **método de localização e posição** dos astros na “Esfera Celeste”

Este método utiliza um Sistema de Coordenadas, como veremos adiante em detalhes...

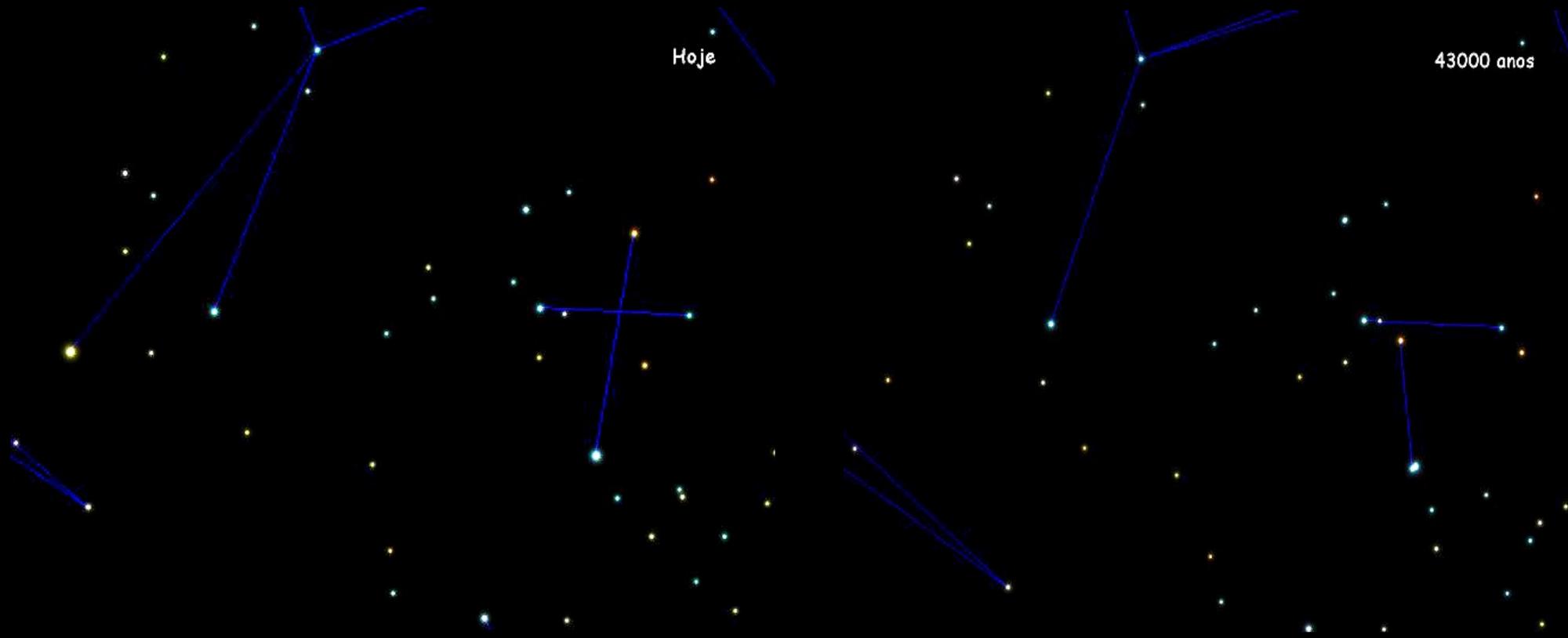


Entretanto, é preciso ficar claro que nas Constelações...



...as estrelas não estão próximas e muito menos ligadas fisicamente!

Outra informação relevante sobre as Constelações



As estrelas não estão realmente fixas: as constelações se alteram com o tempo devido ao Movimento Próprio das estrelas e do movimento na Galáxia.

Vamos então explorar as “ferramentas” desenvolvidas para posicionar os astros, acompanhar e prever seus movimentos

Esta área do conhecimento é conhecida como
“Astronomia Fundamental de Posição”

Astronomia de Posição é a mais antiga das ciências

Desde a pré-história, as sociedades têm um grande interesse pela **posição** e **movimento dos astros, já que os movimentos**, ligados aos ciclos naturais (dia e noite, estações do ano, etc.), regiam as atividades econômicas (plantação e colheita, criação de animais, etc.)

Além disto, a necessidade de se **localizar** durante longas viagens, **medir** a **passagem do tempo** de modo cada vez mais preciso, estimulou o desenvolvimento tanto da astronomia como de outras ciências como a álgebra e a geometria.

Visa estudar **não somente** o **movimento** dos astros, mas também suas **posições relativas**, variações de suas posições, previsão da posição que os astros ocuparam no passado ou vão ocupar no futuro.

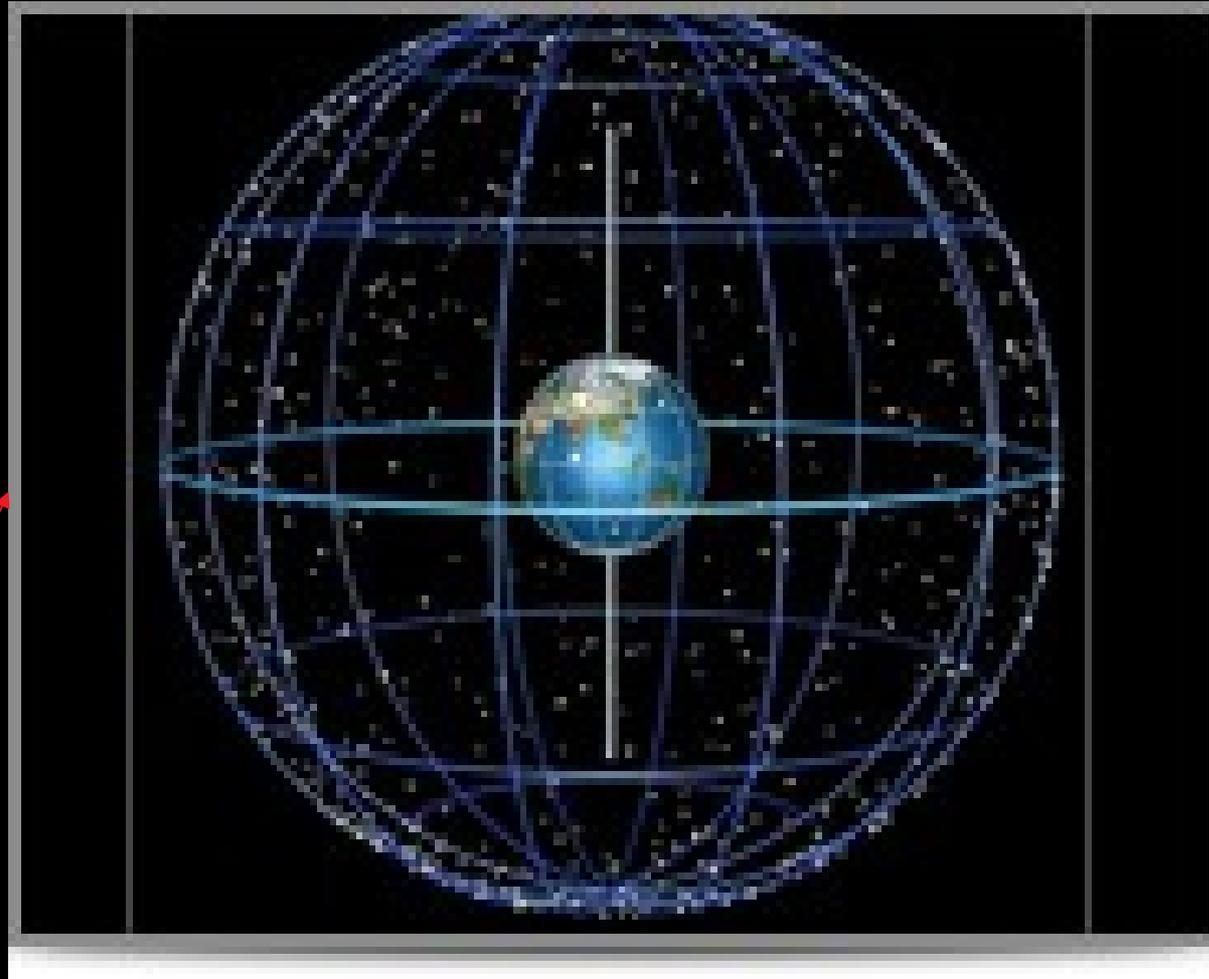
“Astronomia Fundamental de Posição”

No estudo das **posições** é **necessário** desenvolver “**Sistemas de Referência Astronômico**” construídos e utilizados para localizar um astro.

No estudo dos **movimentos** vamos ver o “**movimento diurno**” e “**anual**”.

Equaciona matematicamente os fenômenos descritos, onde estas equações representam a história de cada astro: o passado, presente e futuro da estrela, planeta ou satélite.

A posição de um astro no céu pode ser determinada utilizando **referências** simples de serem entendidas.

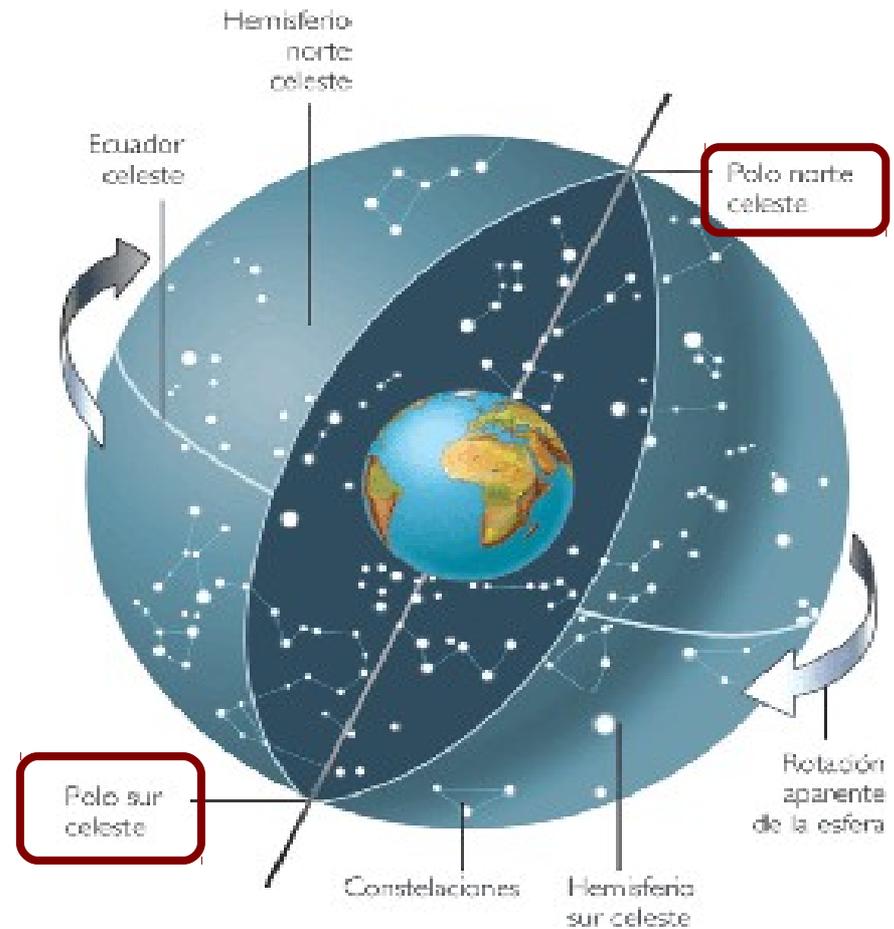


1a - Equador Celeste, por ex., seria um plano, prolongamento do **Equador Terrestre**.

2a - Os polos celeste norte e sul (PCN, PCS) são localizados a partir do **movimento diurno dos astros** (Fig. acima)

Este movimento nos dá a impressão de que a Esfera Celeste gira de leste para oeste em torno de um eixo imaginário, que seria o prolongamento do eixo de rotação da Terra

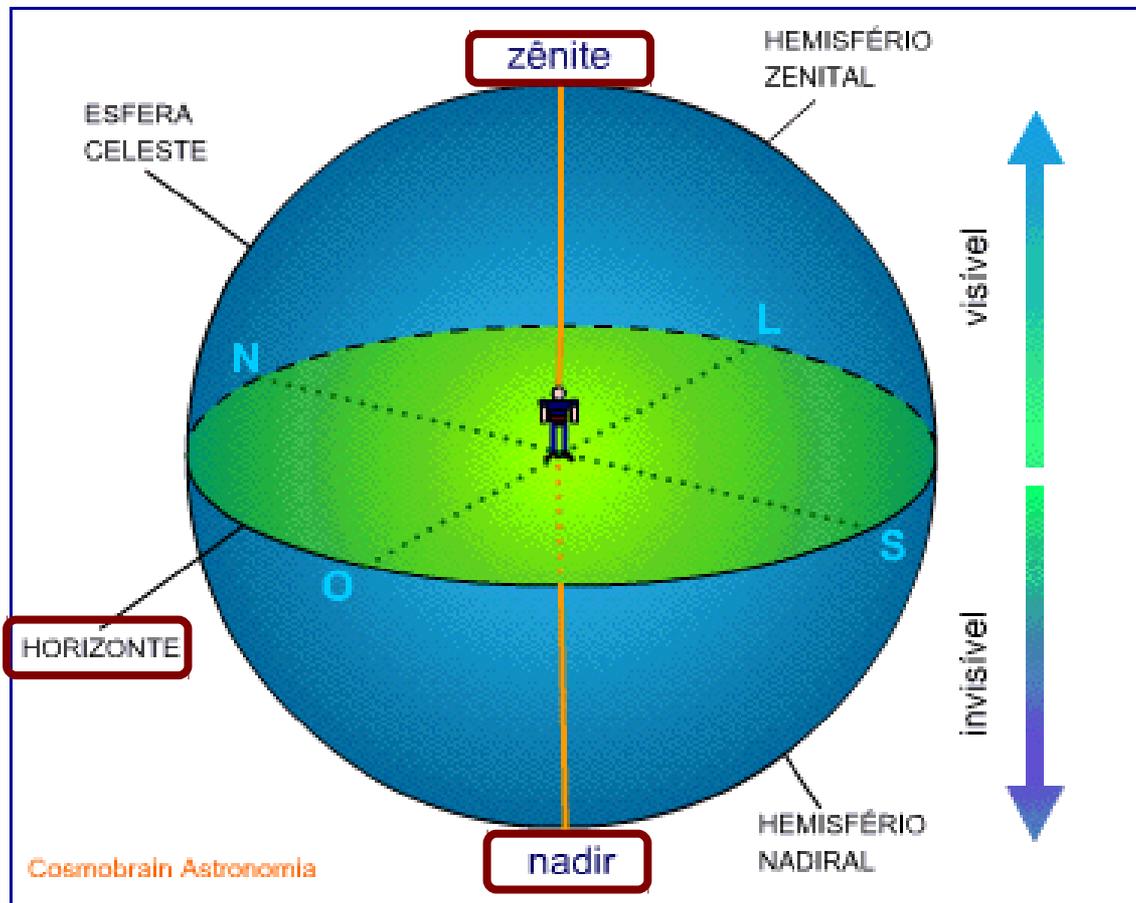
Este eixo intercepta a Esfera Celeste em 2 pontos fixo, definidos como **polos celeste norte e sul (PCN, PCS)**



Os antigos gregos definiram também:

3a- Planos e pontos de referência úteis para posicionar os astros no céu

Zênite: Ponto máximo acima da cabeça



Horizonte:

Plano onde se encontra **observador**

Projetado na Esfera Celeste, seria o círculo máximo da Esfera Celeste que passa pelo centro da Esfera dividindo-a em 2 hemisférios: **Zenital e Nadiral**

Nadir: Ponto diametralmente oposto ao Zênite

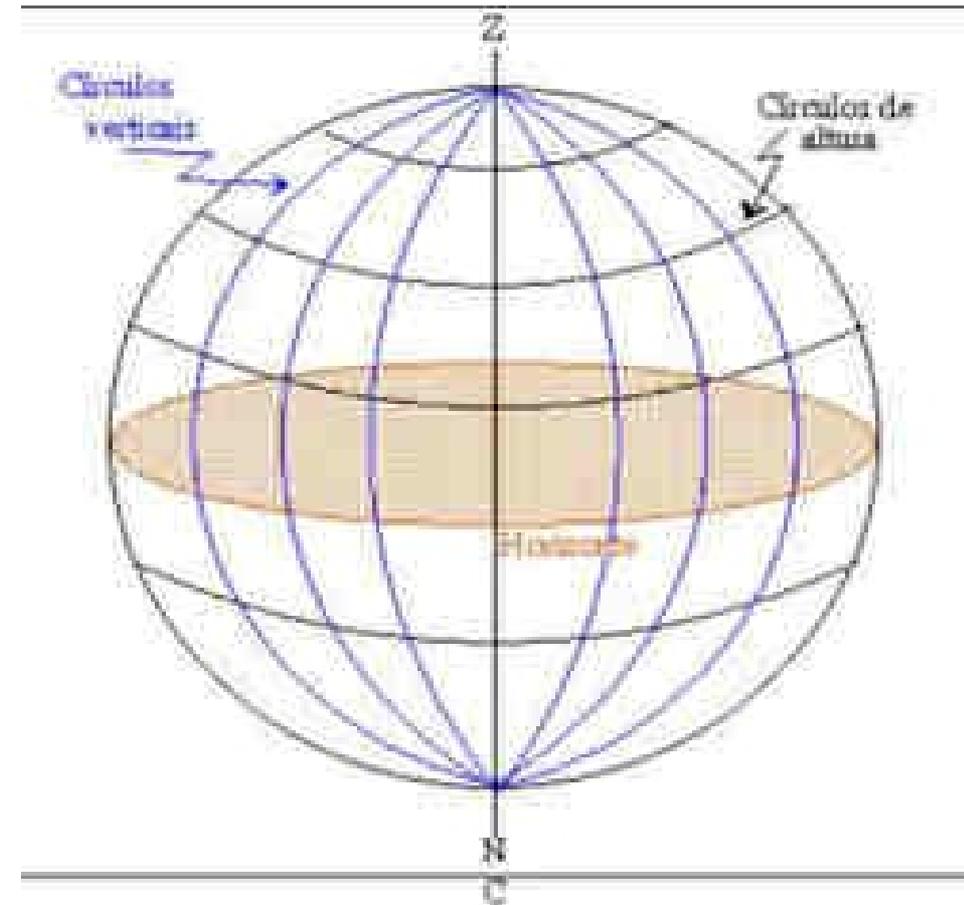
No **referencial do observador**, temos as referências:

Círculo Vertical:

Semi-círculos imaginários máximos da Esfera Celeste que começam no Zênite e terminam no Nadir.

Círculo de Altura:

Qualquer círculo da esfera celeste paralelo ao Horizonte, também chamado de **Almucântara**, ou **Paralelo de Altura**.



No referencial da Esfera Celeste

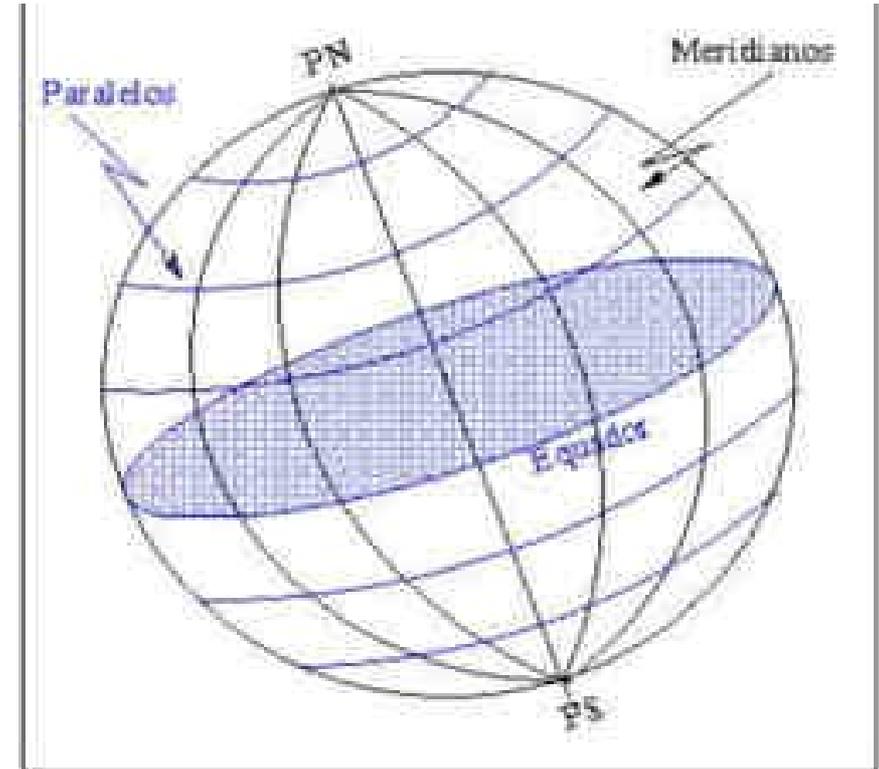
...que não depende do local do observador

Círculo Horário ou Meridiano:

Qualquer círculo máximo da Esfera Celeste que contém os dois polos celestes. O Meridiano que passa pelo Zênite se chama **Meridiano Local**

Paralelo ou Círculo Diurno:

Qualquer círculo da Esfera Celeste paralelo ao Equador Celeste Também chamado Paralelo.



Pontos e Planos de Referência

...em azul, da Esfera Celeste; em vermelho, do Observador

Que passa pelo Zênite =

