

Aula 3

Primórdios da Astronomia 2

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

Prof. Dra. Sandra dos
Anjos

Depto Astronomia IAGUSP

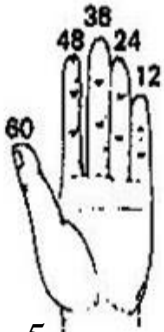
2023

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

Mão esquerda

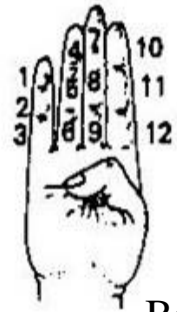
Mão direita

Contagem dos dedos, cada um valendo uma dúzia.



Base 5

Sistema de contagem sexagesimal.



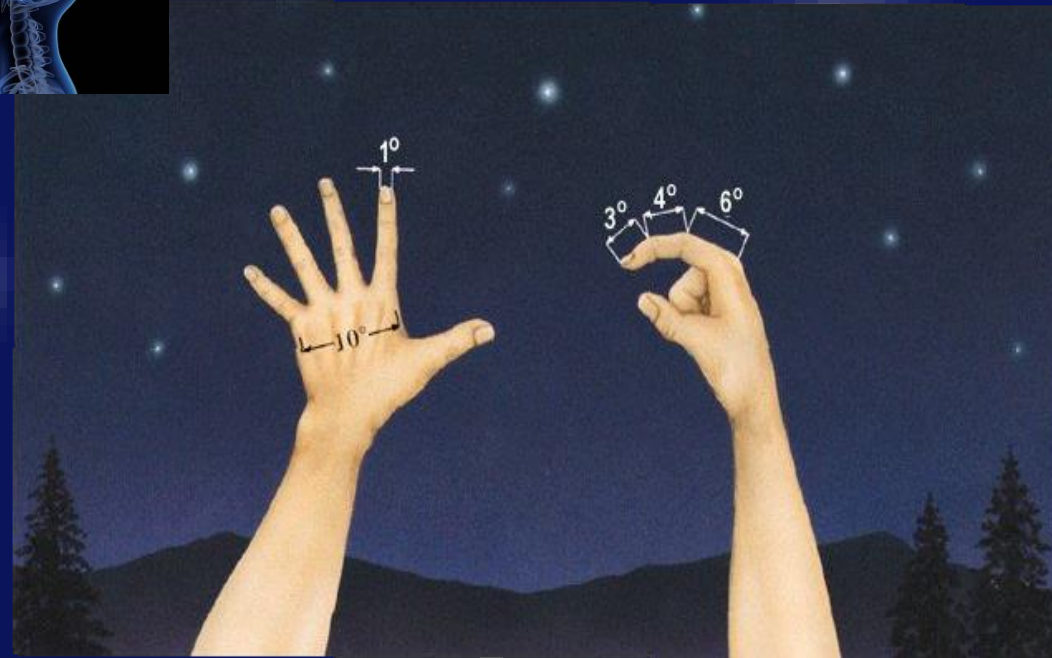
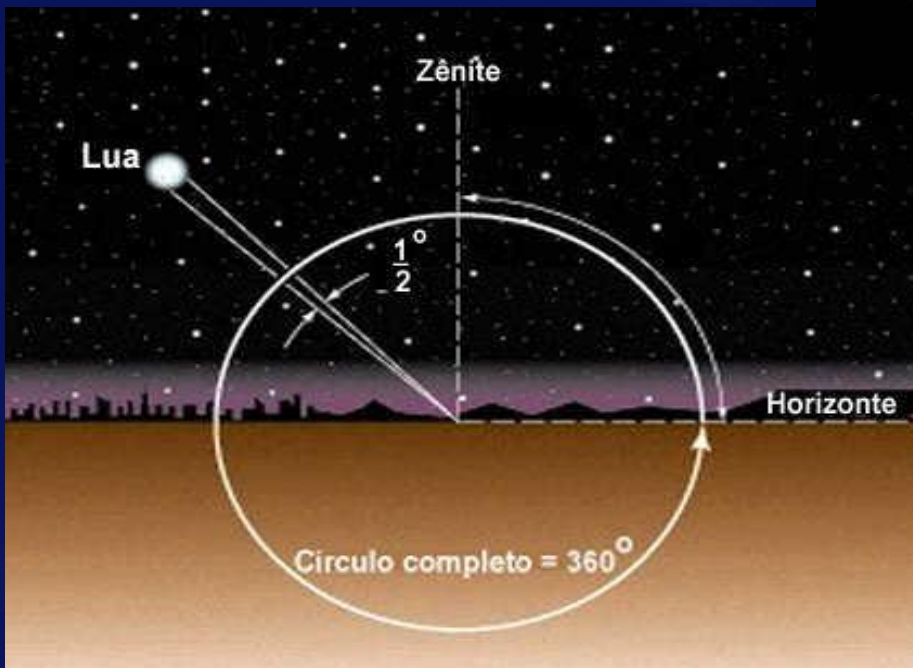
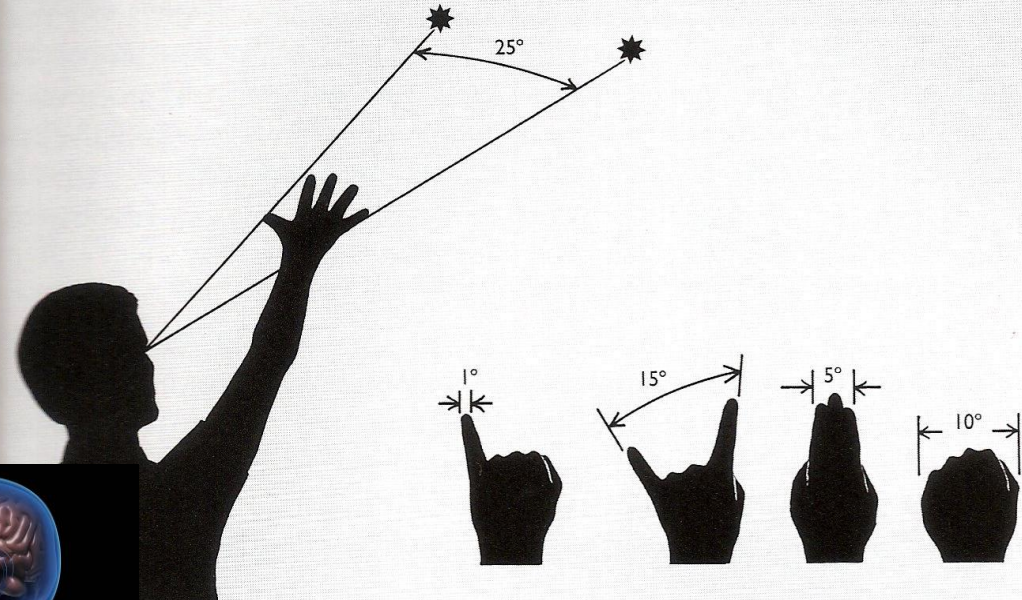
Base 12

Contagem das falanges pelo polegar oposto, cada.

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



MIDIENDO DISTANCIAS ANGULARES EN EL CIELO CON LA MANO



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 seja 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...
lingua 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...,

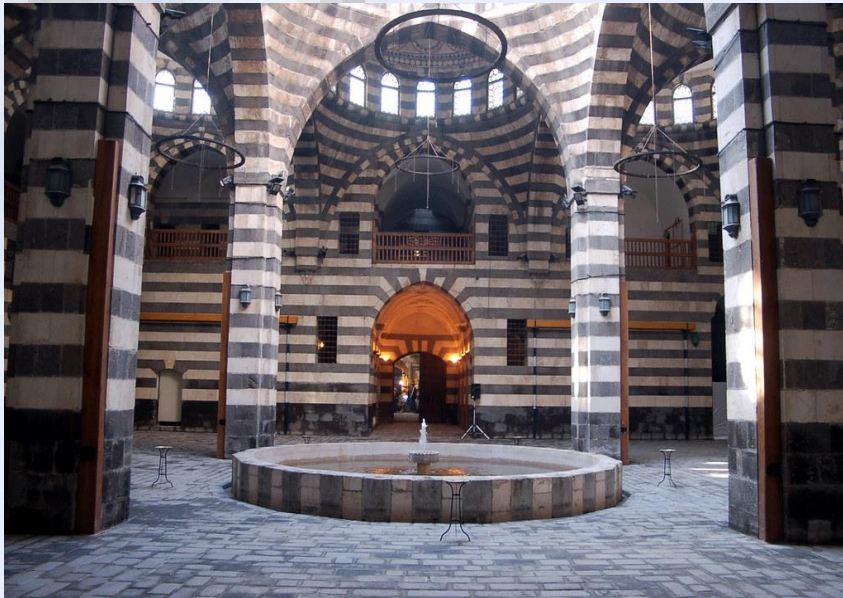
Ibn Al Haytan que era o prodígio da época e que foi responsável por “controlar” o Rio Nilo...bla,bla, bla

...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

Mas o que é possível observar 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;

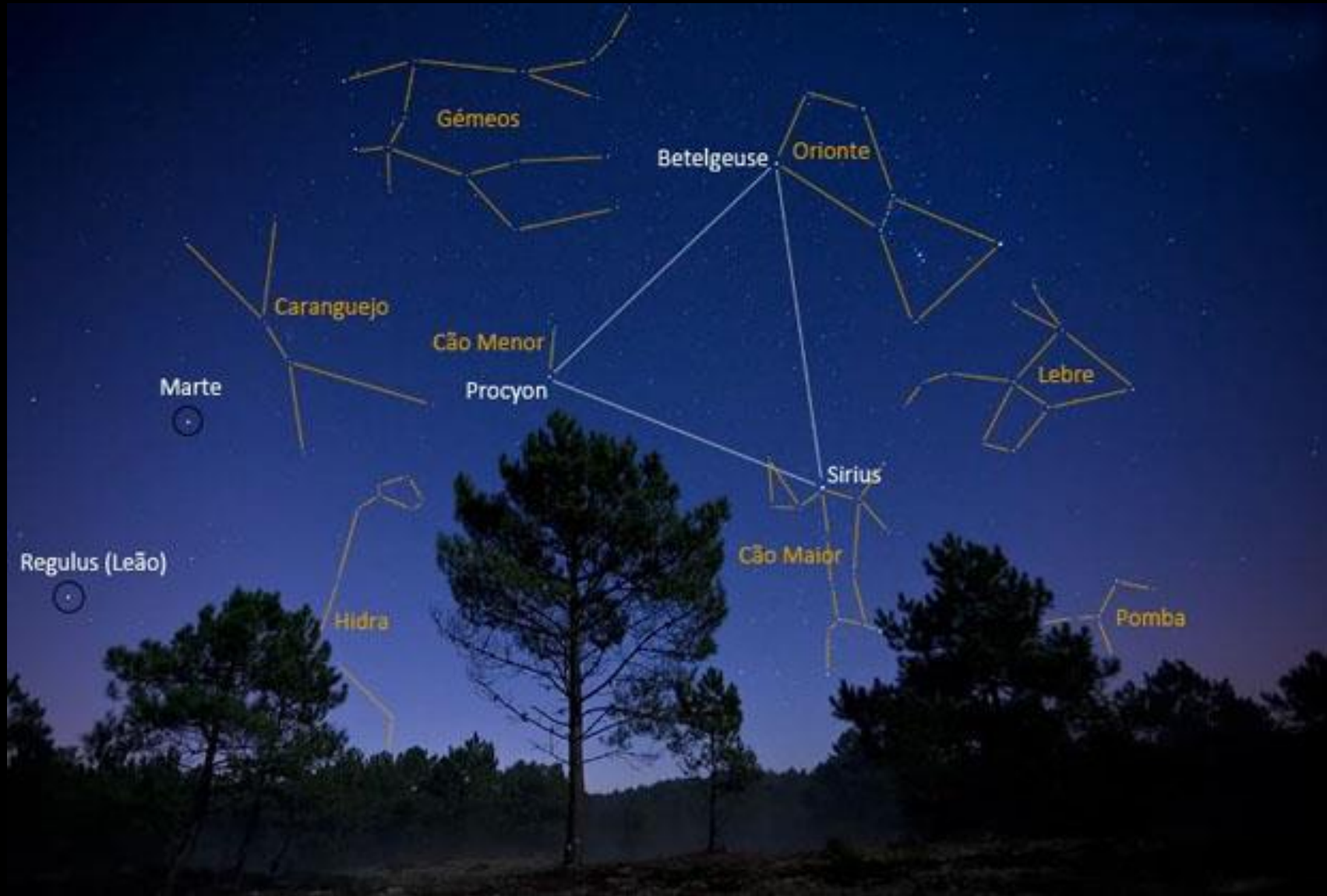
Cerca de 5000 estrelas;

**Looking west
8 P.M., April 1**

10°

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**



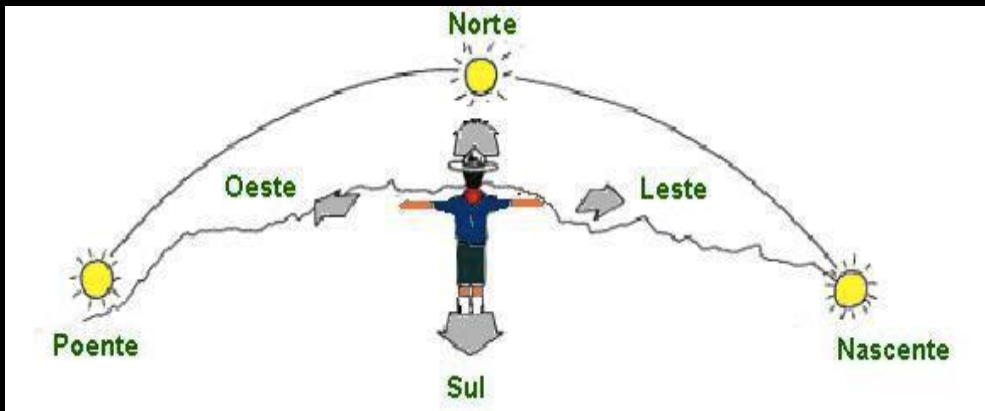
2 - Alguns astros “caminham” entre os grupos de estrelas: “estrelas errantes” (planetas)



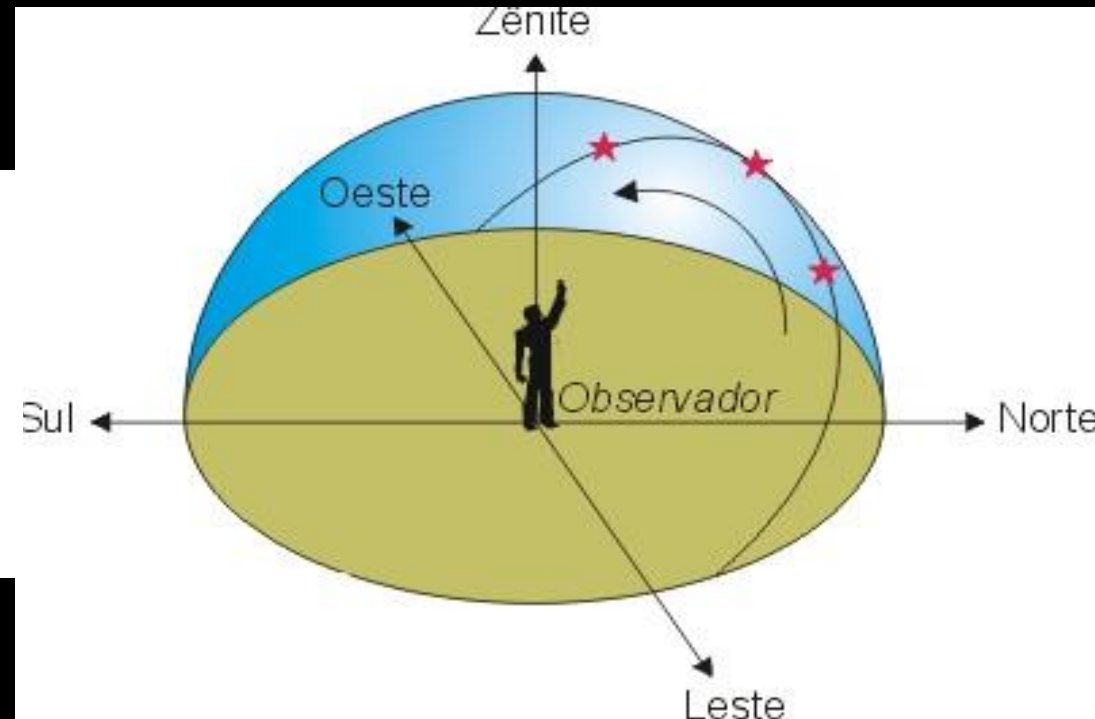
Sabemos hoje que os planetas estão a distâncias menores que as estrelas, então podemos perceber seus movimentos...

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).



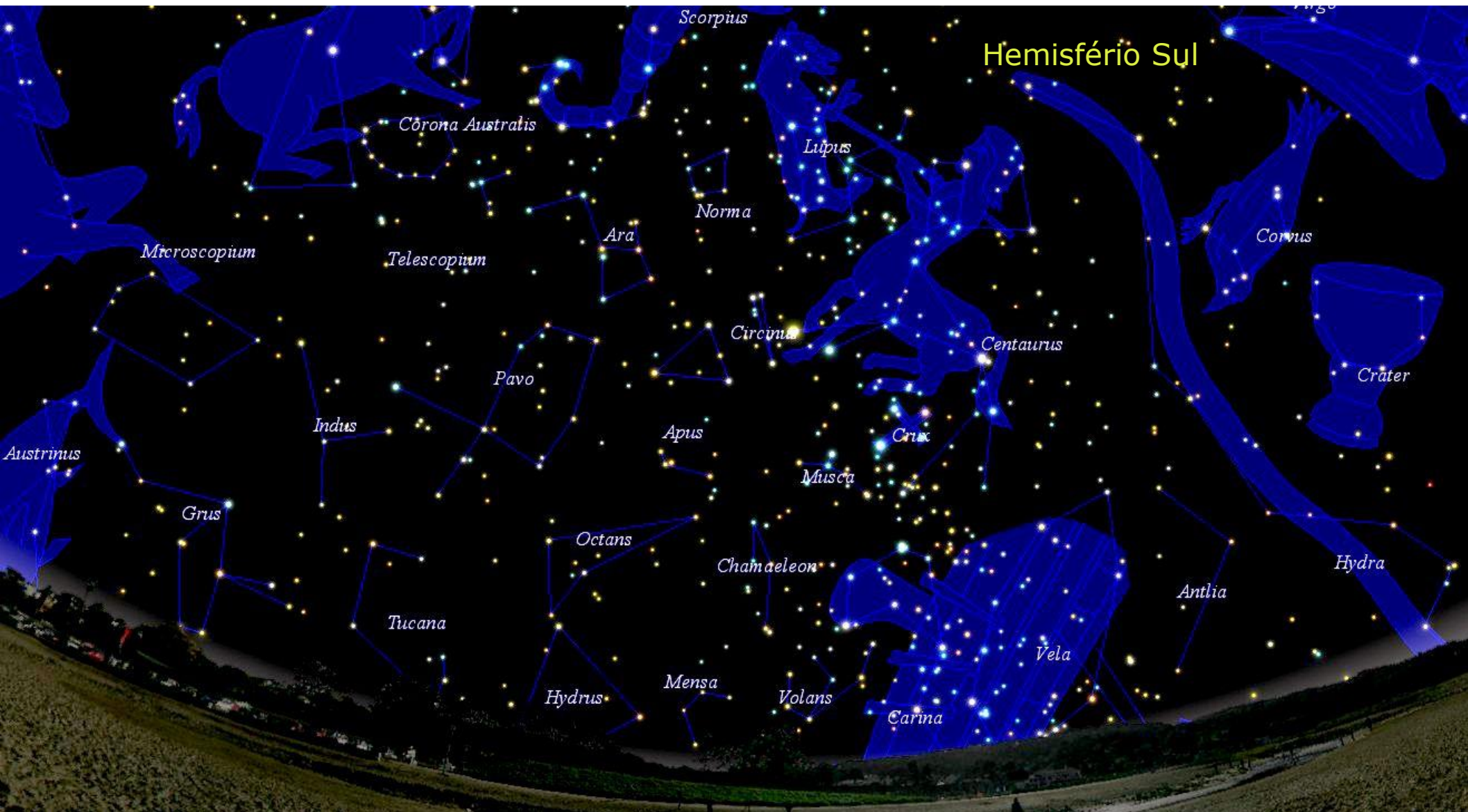
Orientação dos Pontos Cardeais
no Hemisfério Sul



Veremos adiante detalhes destes movimentos -->

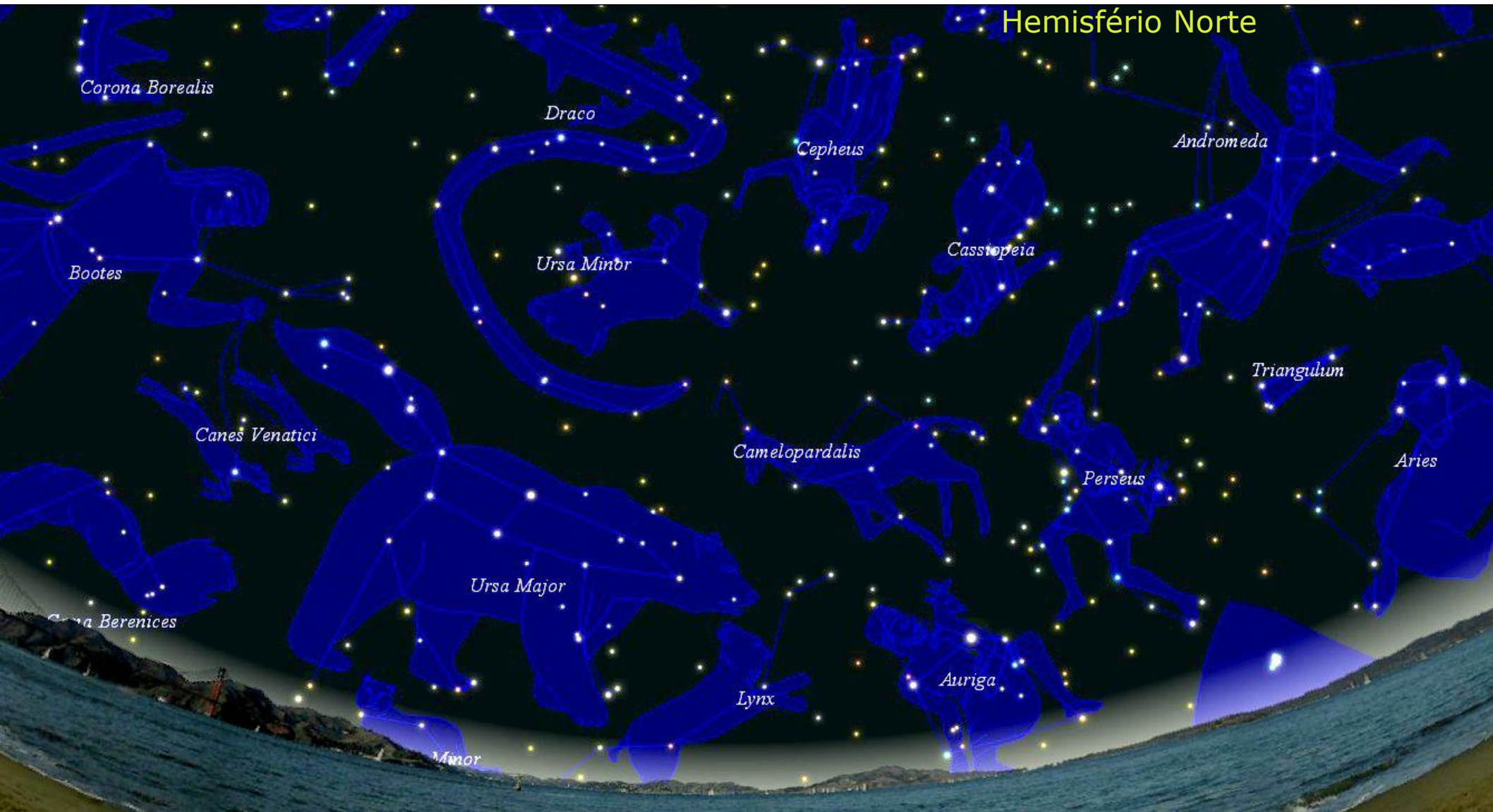
Vamos inicialmente comentar o 1º caso....
As constelações e sua utilidade

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

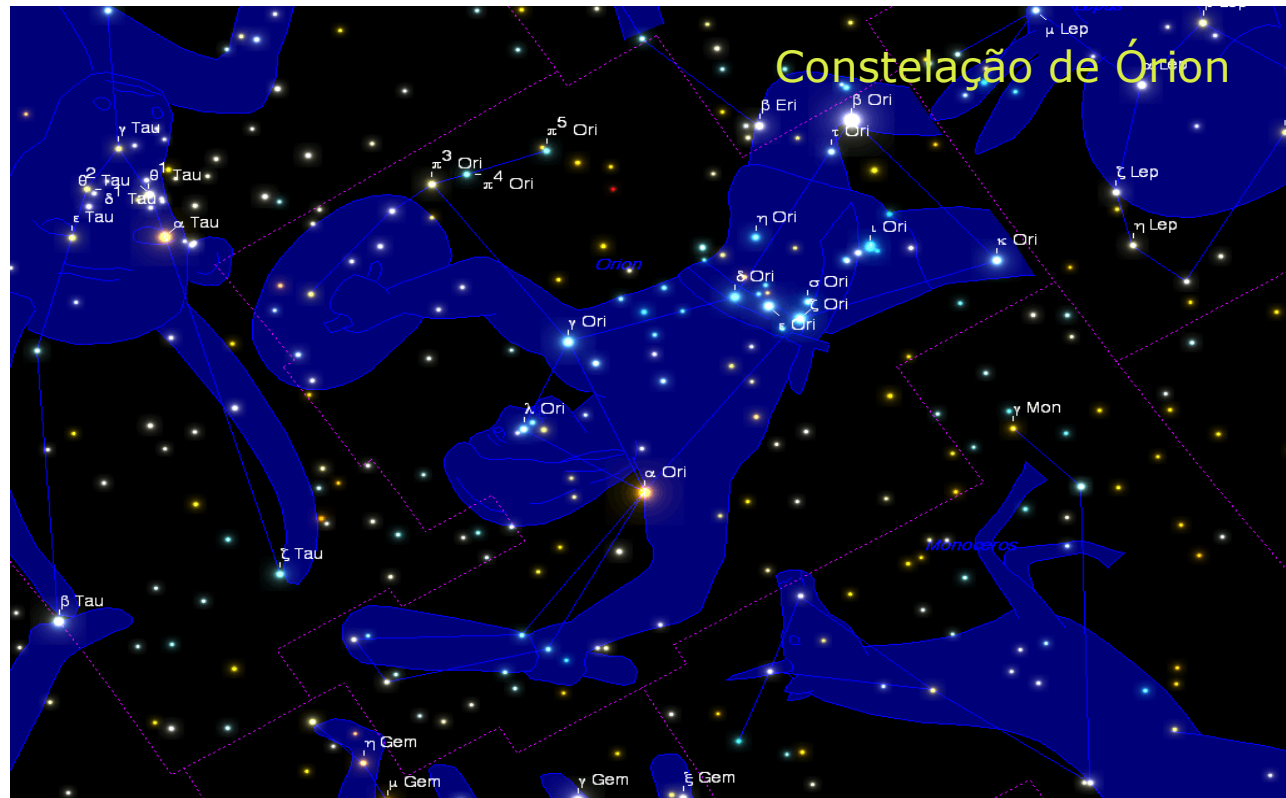


Constelações: organizadas da seguinte forma...

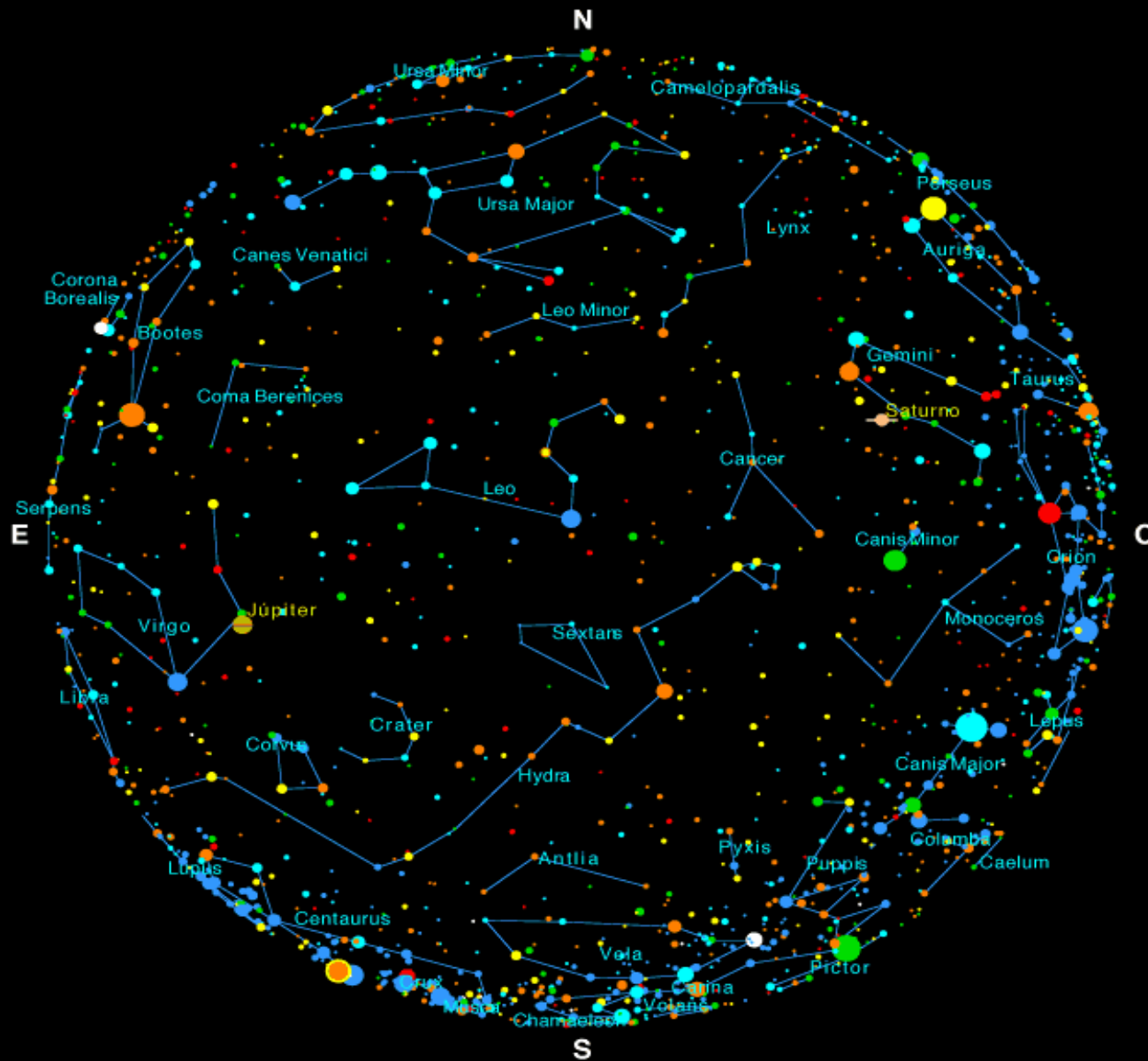
As estrelas são ordenadas segundo seu **brilho aparente**, proposto por Bayer em 1603

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”

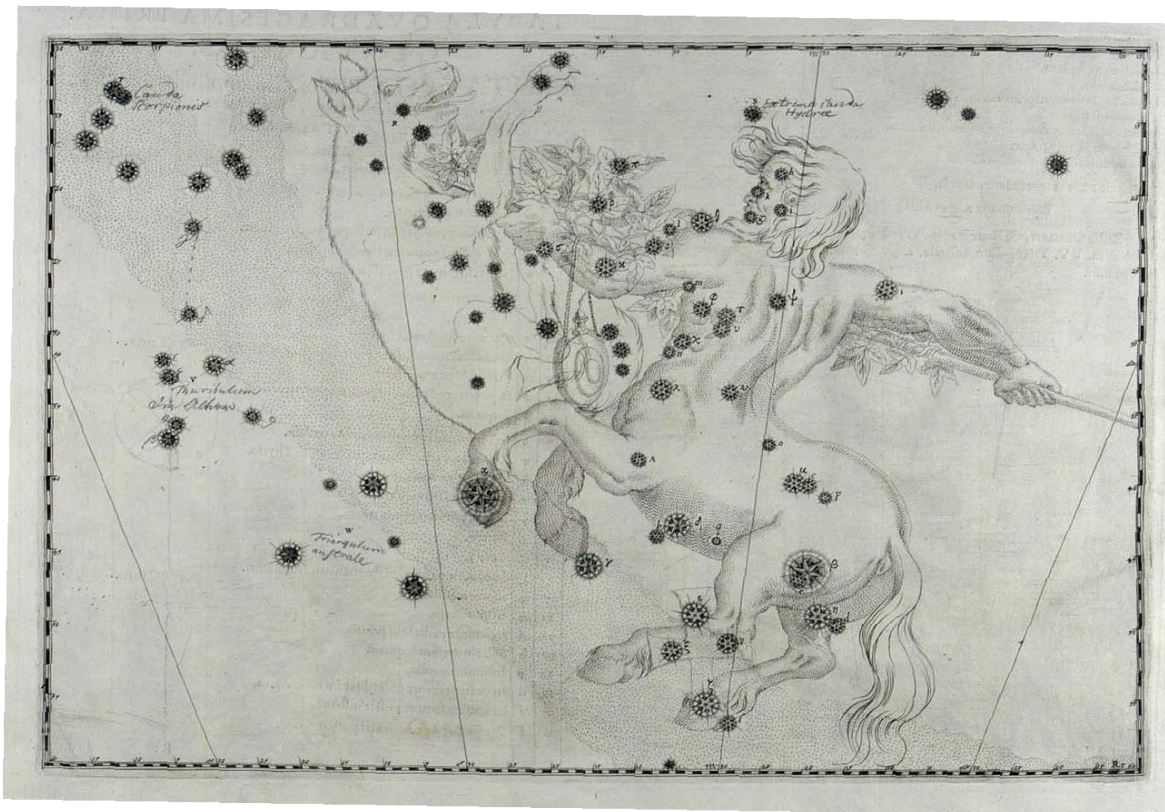


Constelações utilidade

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**

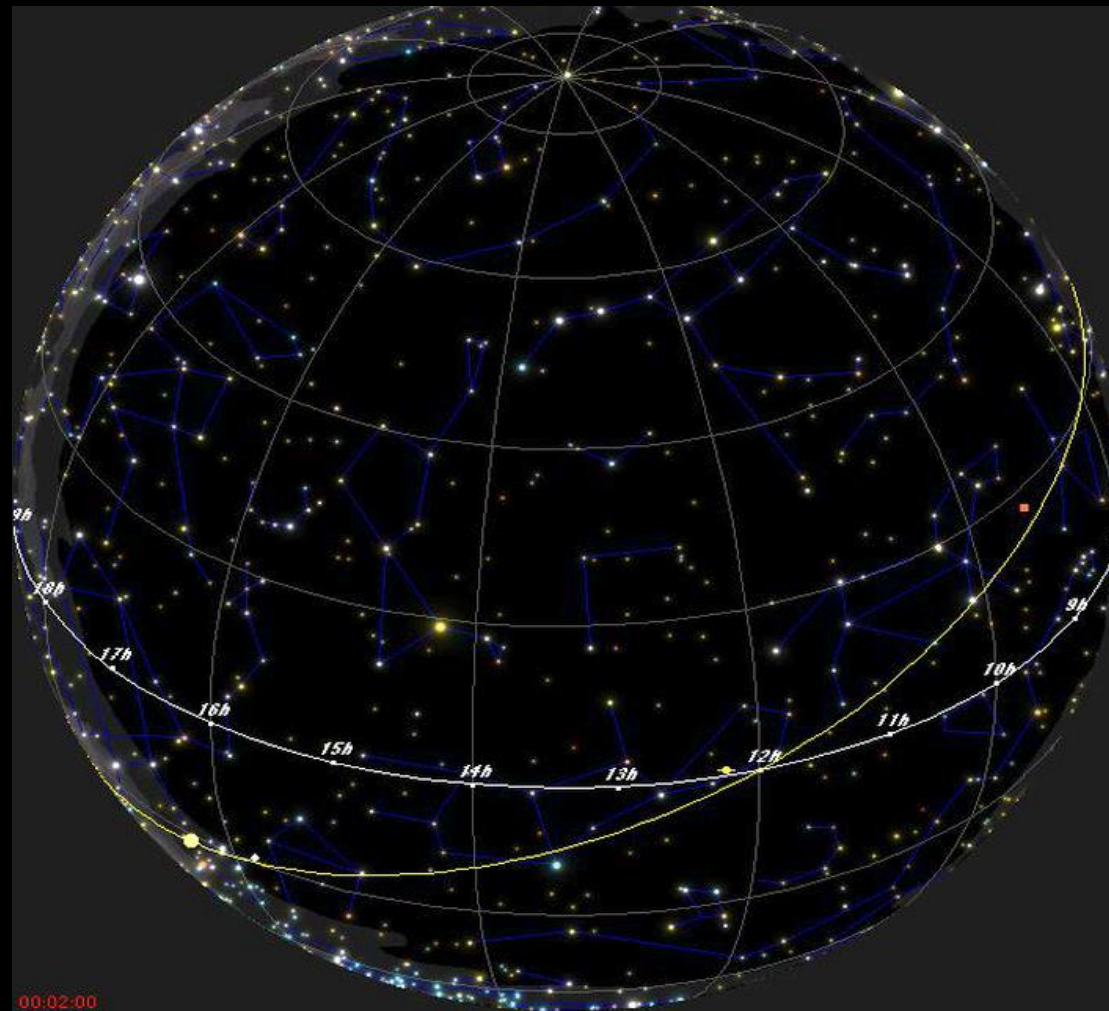


Uranografia ou cartografia estelar:
mapeamento de estrelas, galáxias e
outros objetos, na esfera celeste.

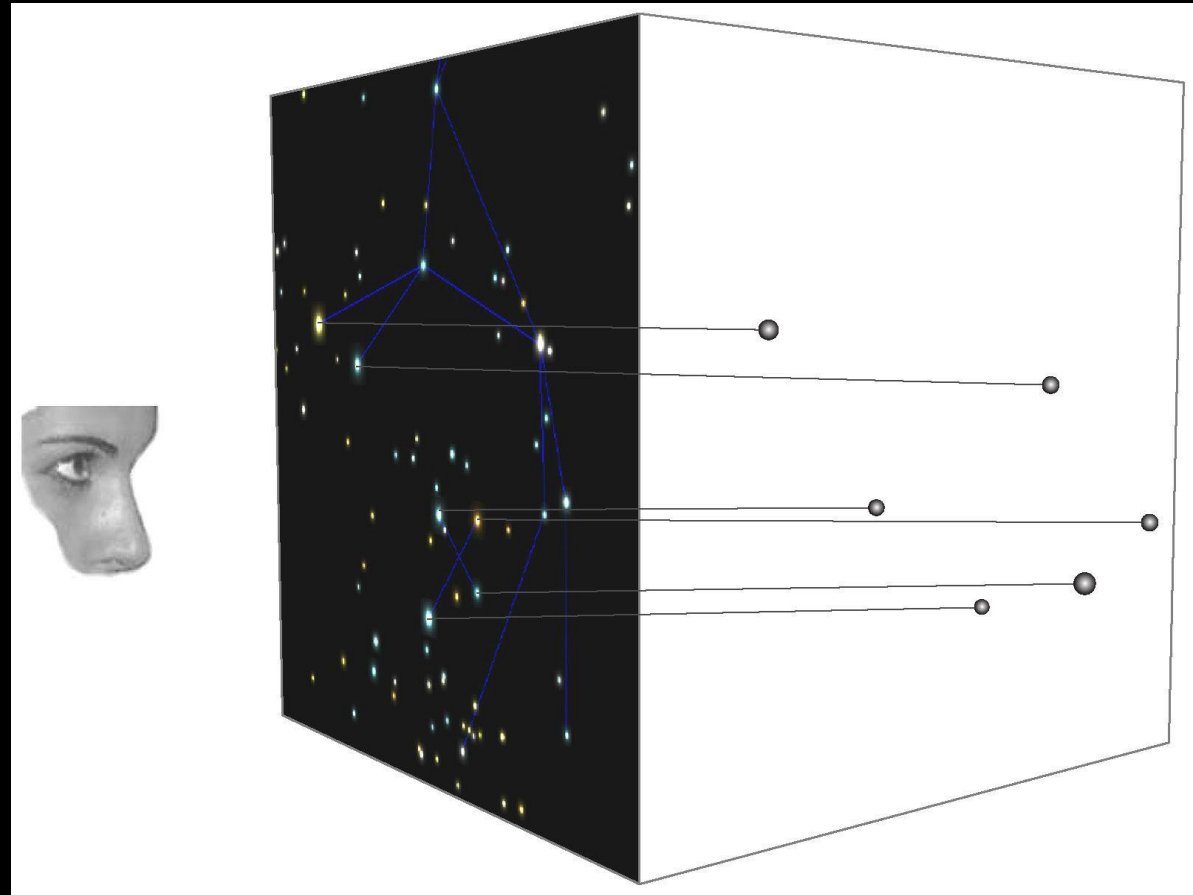
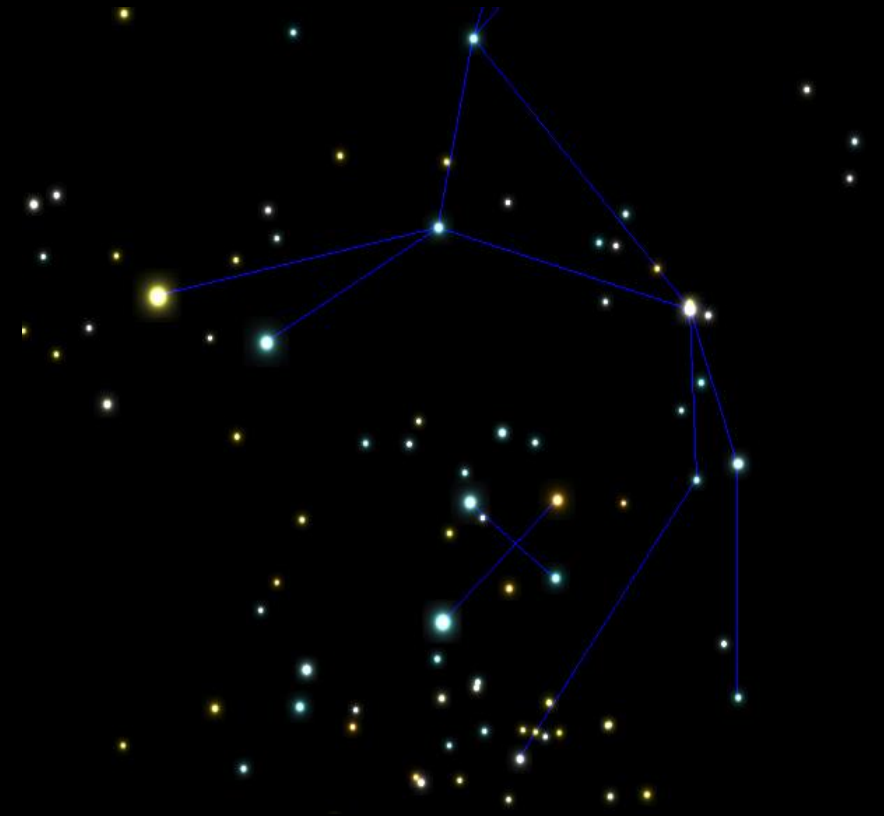
Uranografia de Bayer, 1603,
detalhe Centauro.

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...

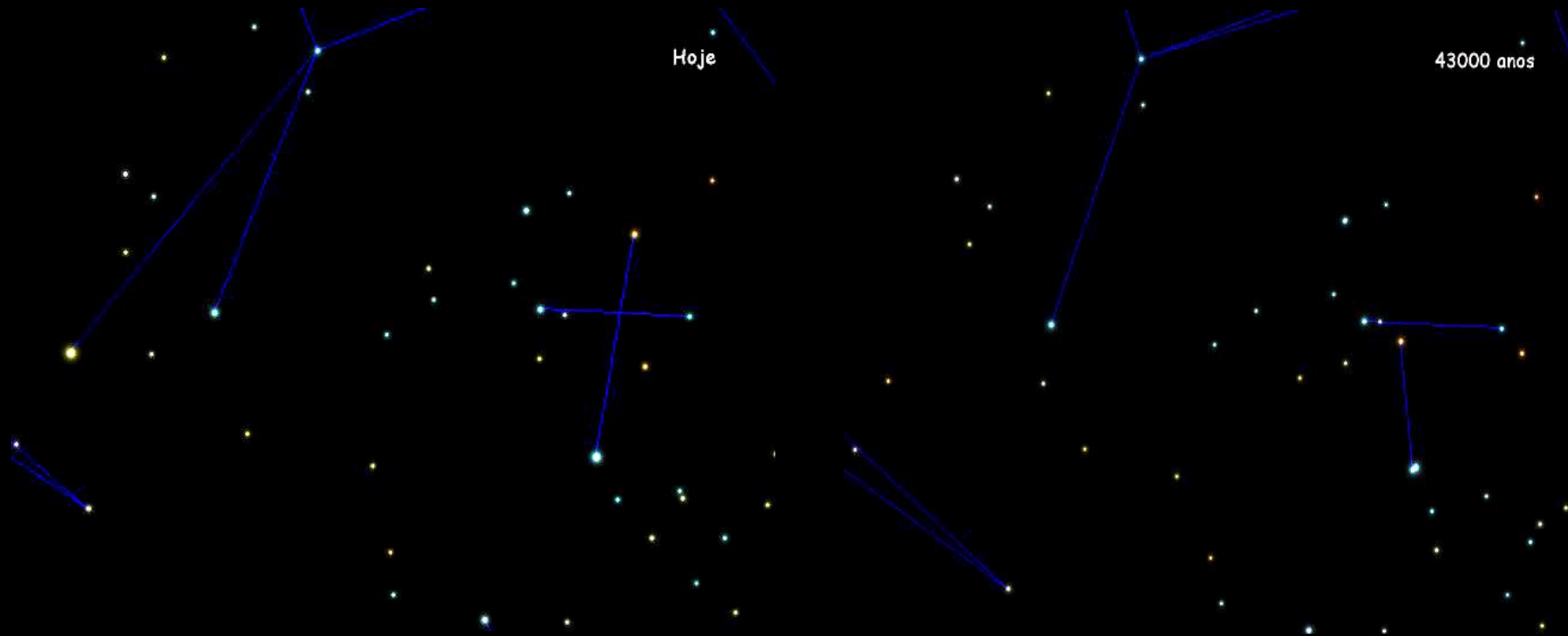


Entretanto, é preciso ficar claro que nas Constelações...



...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.

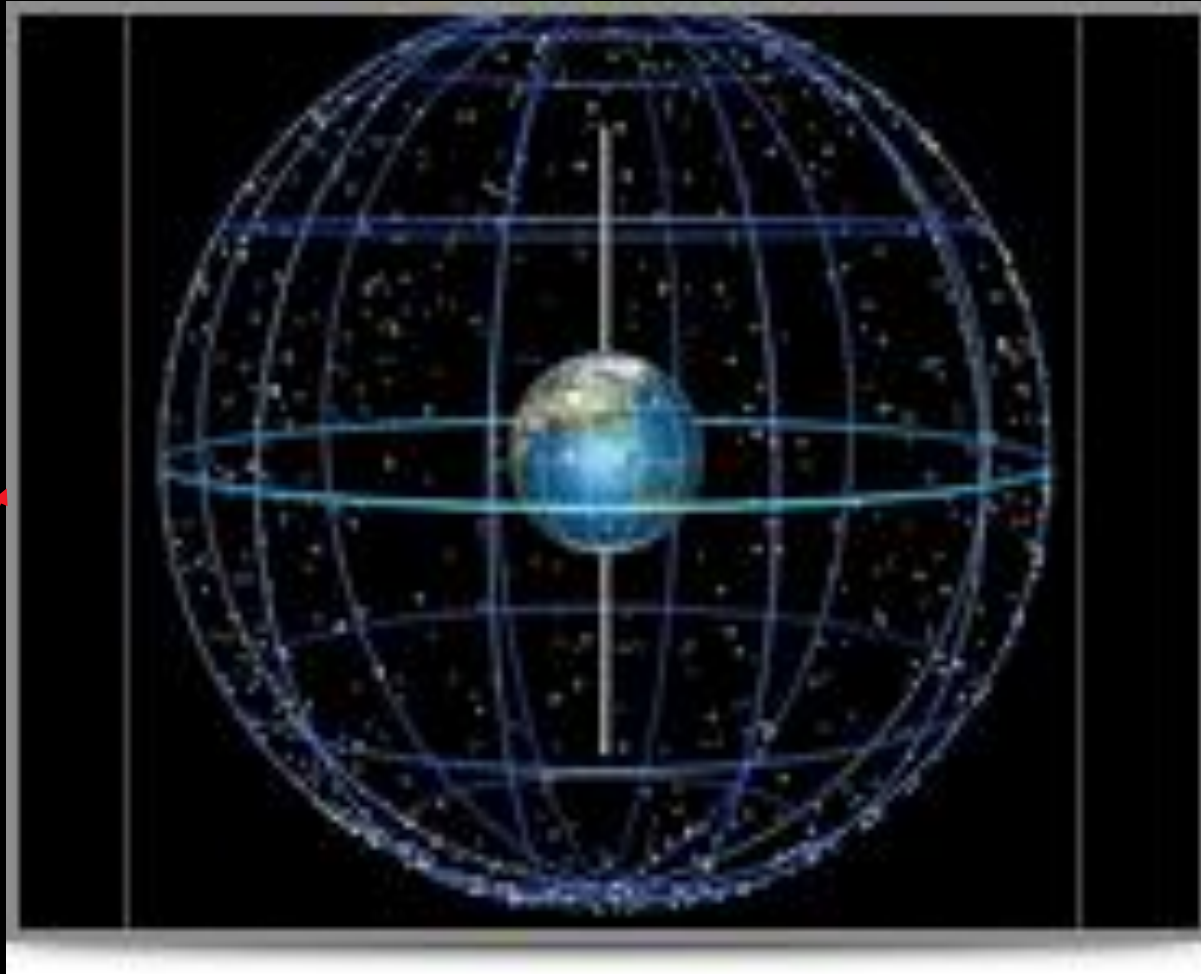
“Astronomia Fundamental de Posição”

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.

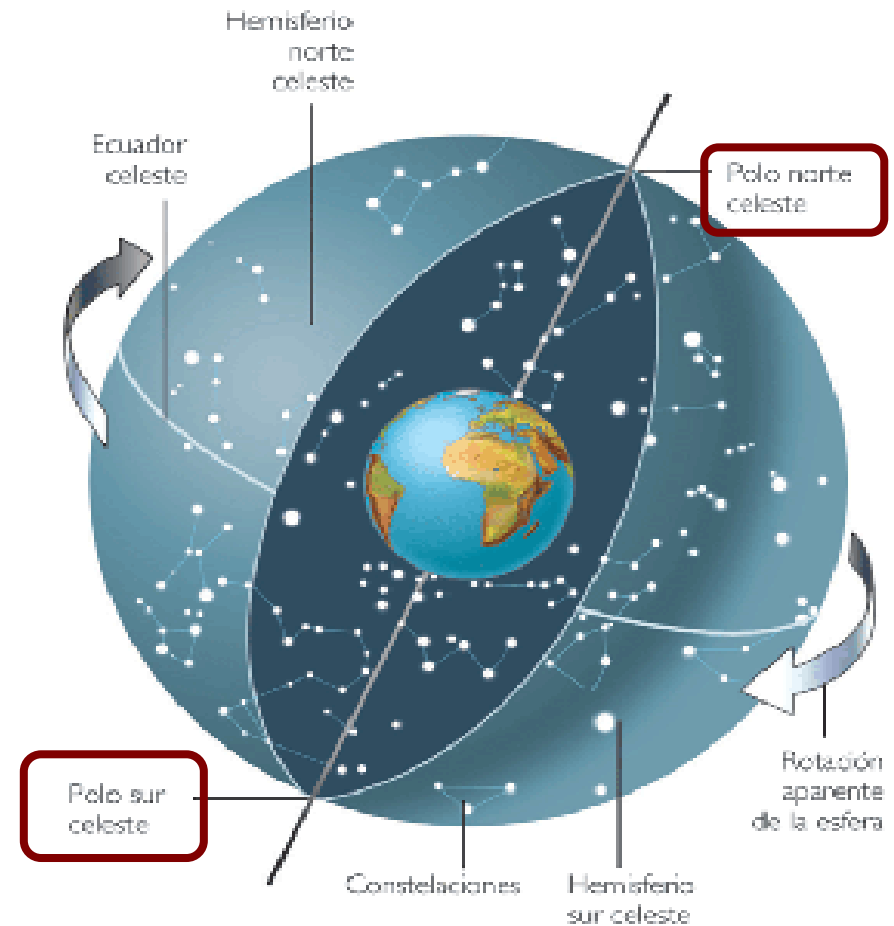
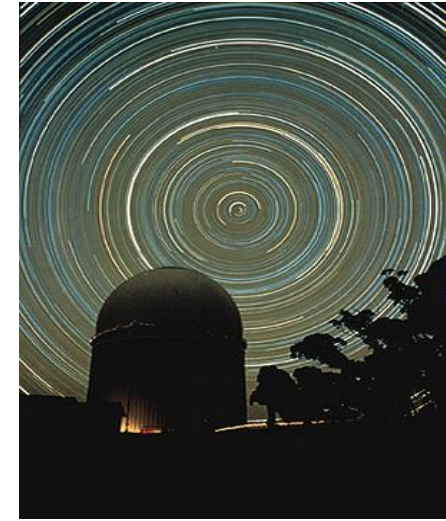


1a - Equador Celeste, por ex., seria um plano, prolongamento do **Equador Terrestre**.

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

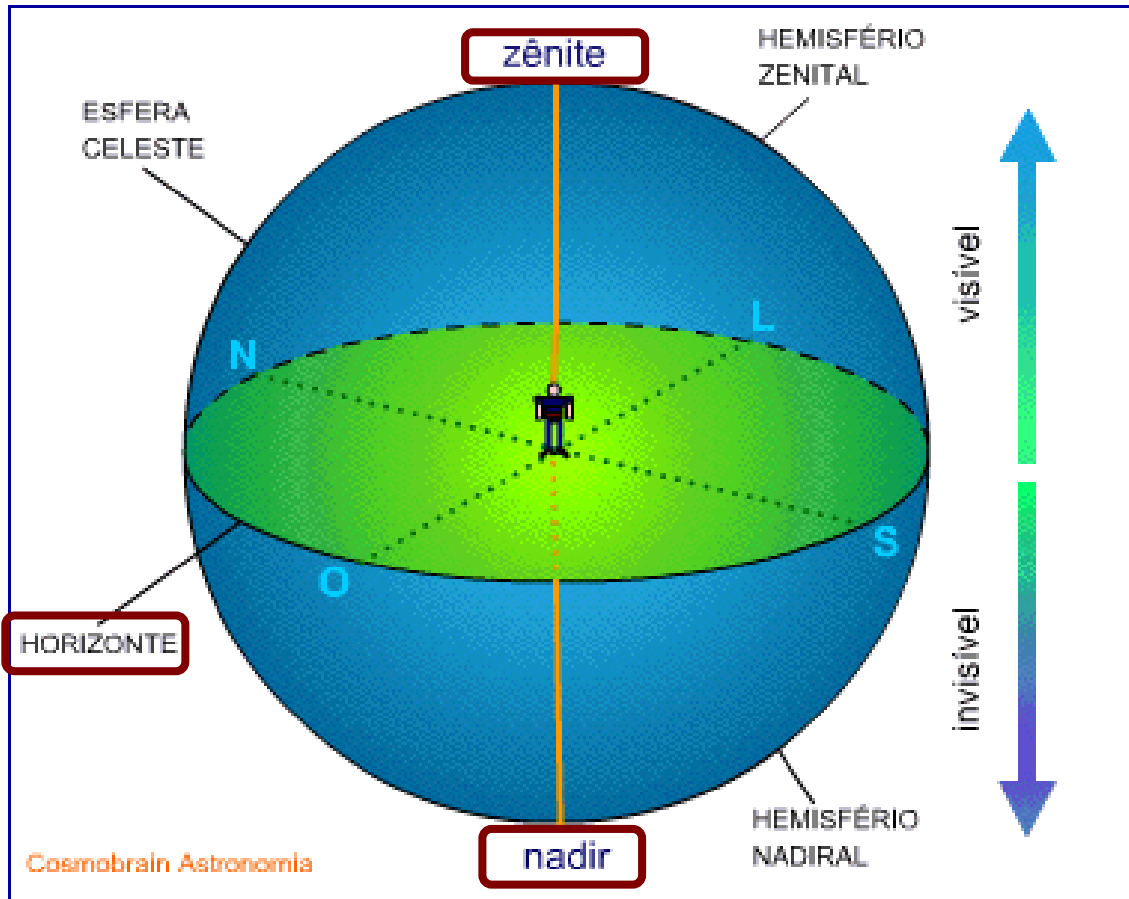
Este eixo intercepta a Esfera Celeste em 2 pontos fixo, definidos como **polos celeste norte e sul (PCN, PCS)**



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

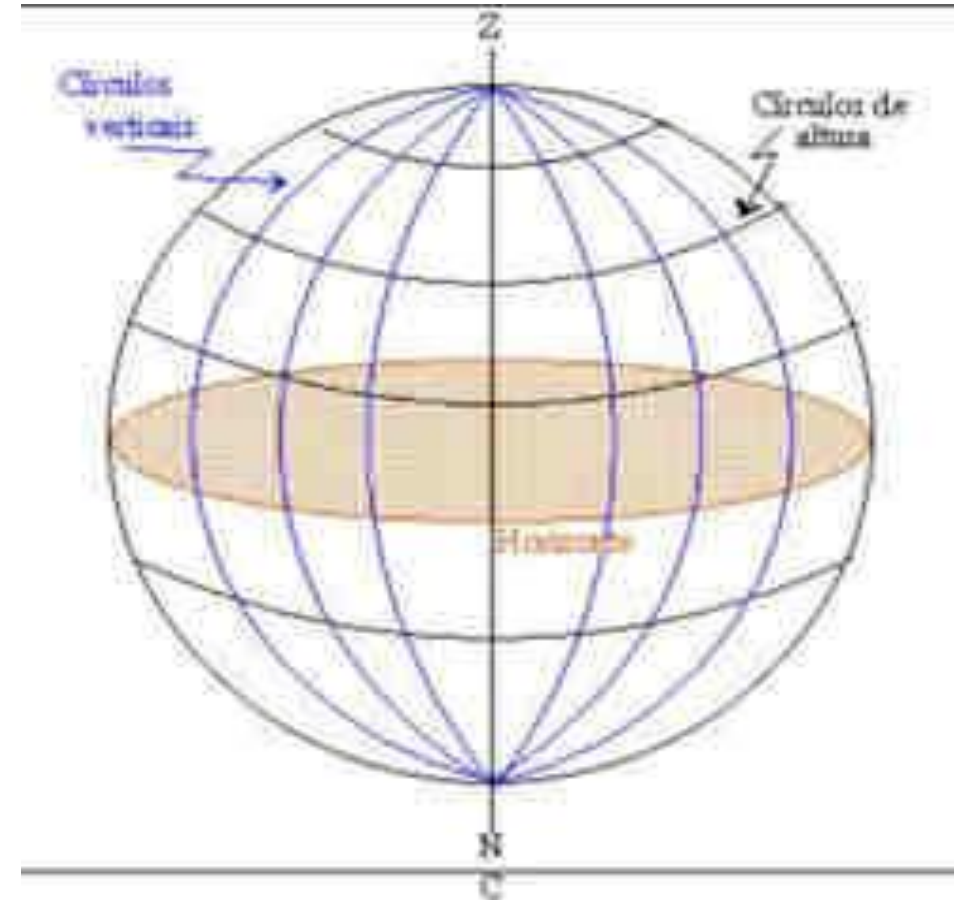
No referencial do observador, temos as referências:

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.



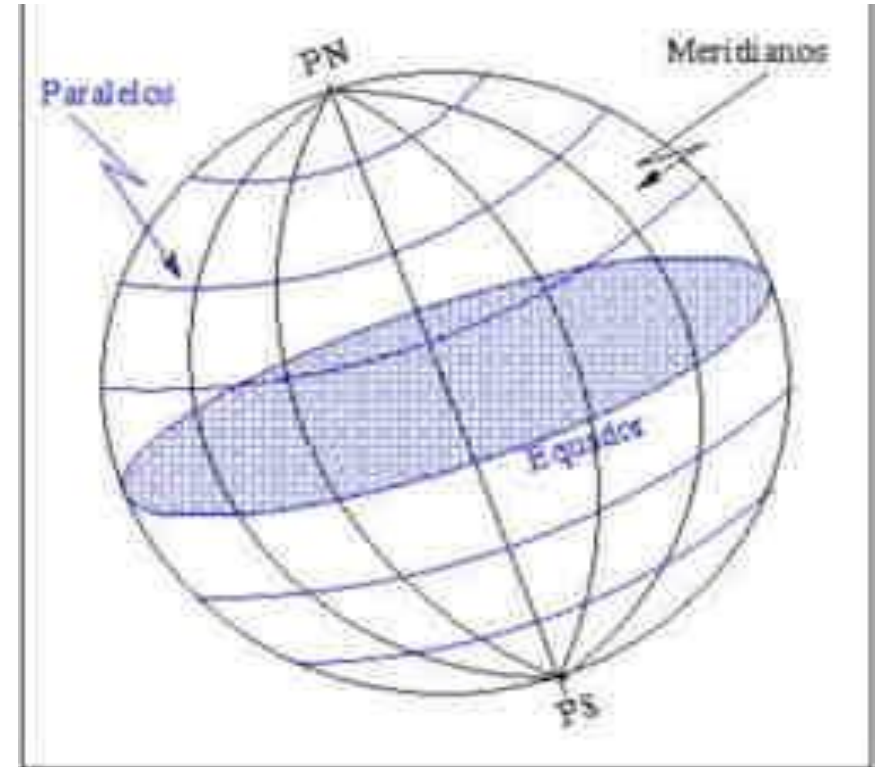
No referencial da Esfera Celeste
...que não depende do local do observador

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:

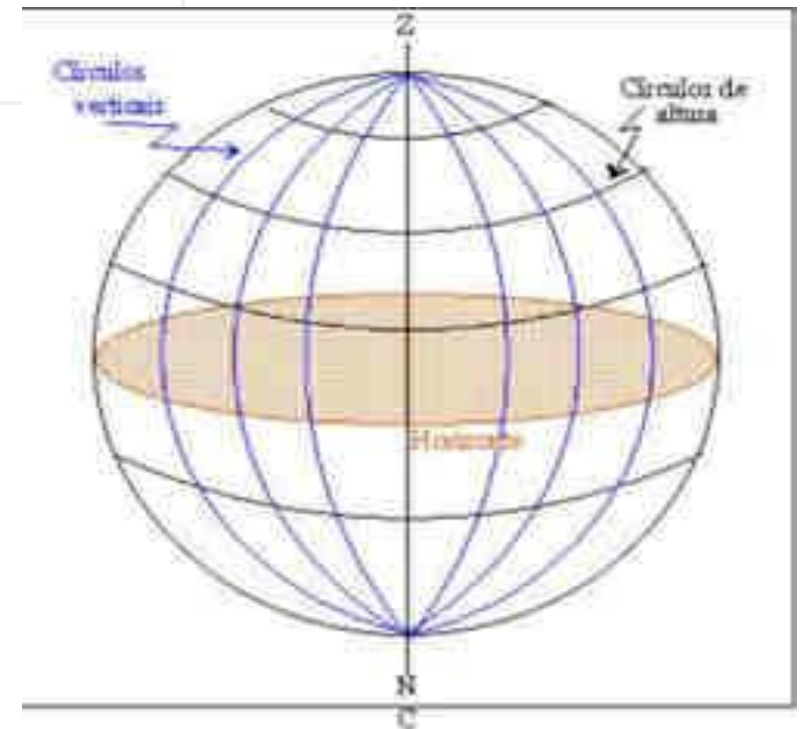
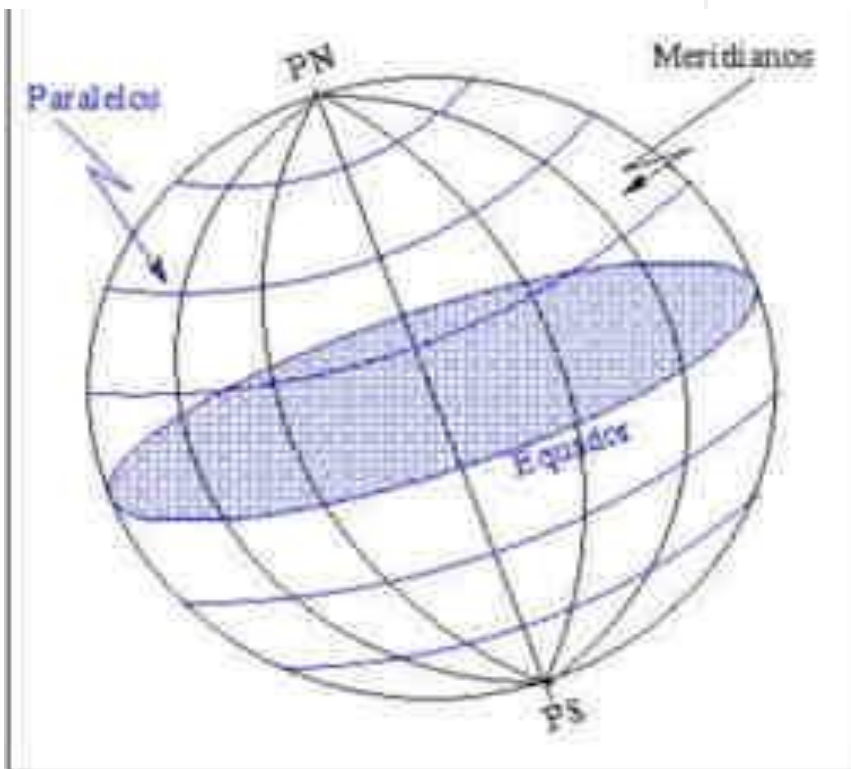
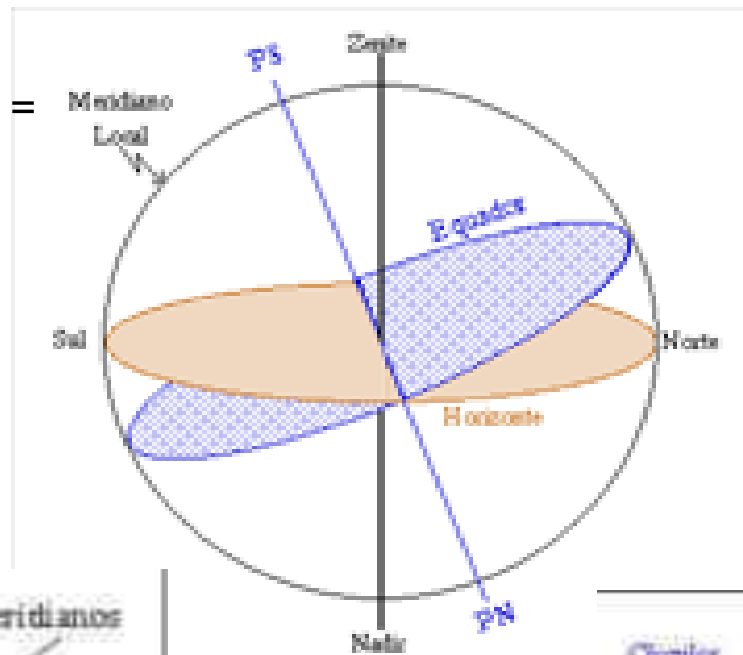
Qualquer círculo da Esfera Celeste paralelo ao Equador Celeste Também chamado Paralelo.



Pontos e Planos de Referência

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

Que passa pelo Zênite =



Métodos para Determinação da Posição dos Astros

Sistemas de Referência e de Tempo

1. Sistema de Coordenadas Astronômico Horizontal ou Azimutal - SH.
2. Sistema de Coordenadas Astronômico Equatorial Celeste - SEC.
3. Sistema de Coordenadas Astronômico Equatorial Horário - SEH.
4. Sistema de Coordenadas Astronômico Galáctico - SG.

Em qualquer **Sistema de Coordenadas** a **posição** é determinada a partir de
2 informações:

- 1 – Plano de Referência
- 2 – Coordenadas (x, y)

No caso da Astronomia, a medida de **posição** é determinada a partir de um **Plano de Referência** e **2 ângulos de posição**, já que estas determinações são realizadas na projeção da Esfera Celeste.

Um dos ângulos é medido sobre um Plano Fundamental (PF) a partir de uma origem.
O outro, medido perpendicularmente ao PF.

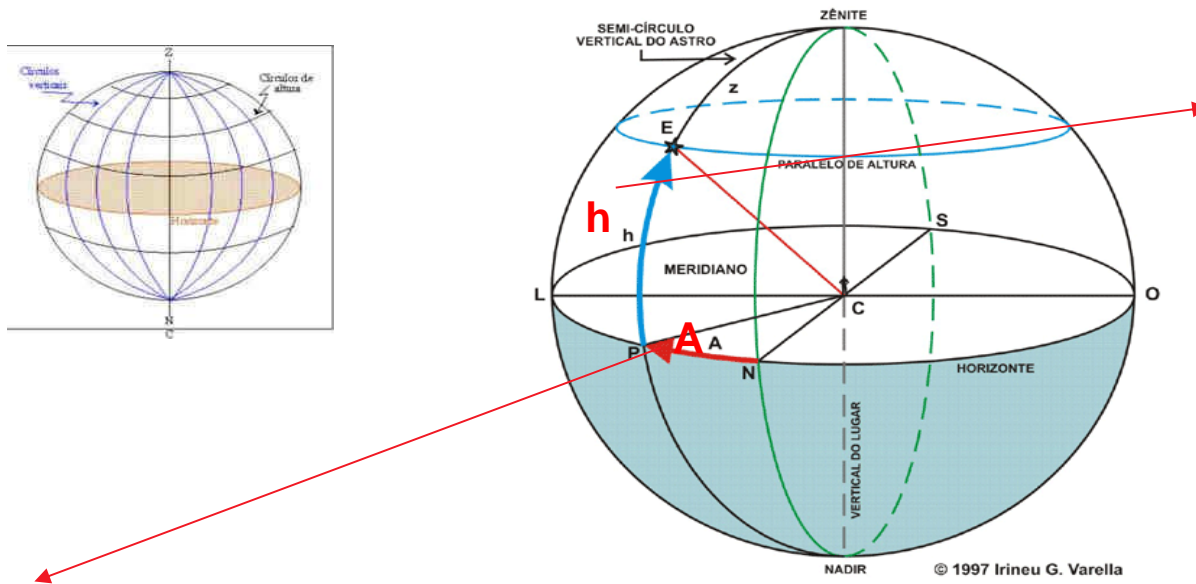
Vamos ver a seguir como são definidas estas referências nos 4 Sistemas de Coordenadas Astronômicos estudados aqui...

1. Sistema de Coordenadas Horizontais (SCH)

...é o Sistema mais intuitivo pq é local

Plano de Referência = Plano Fundamental - **Horizonte Celeste**

Coordenadas - 2 ângulos (**A e h**): Azimute (**A**) e Altura (**h**) ou complemento **z**



$-90^{\circ} \leq h \leq +90^{\circ}$ medido acima (+) e abaixo (-) do Horizonte

$0^{\circ} \leq z \leq 180^{\circ}$ (medida ao longo da vertical do astro)

$$h+z = 90^{\circ}$$

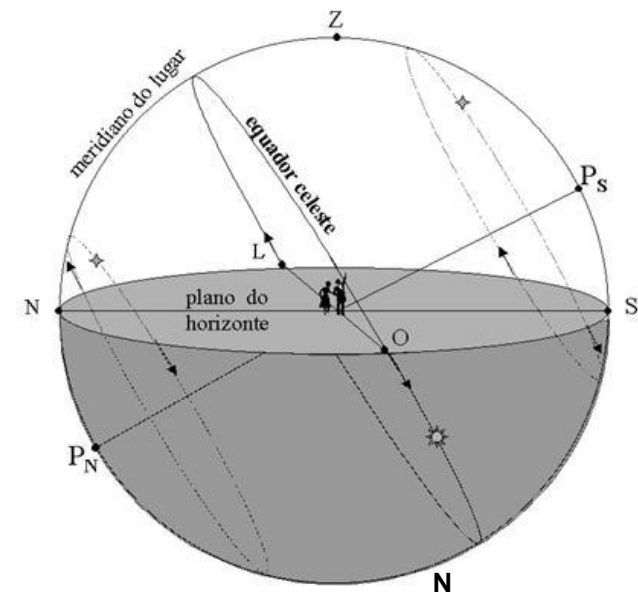
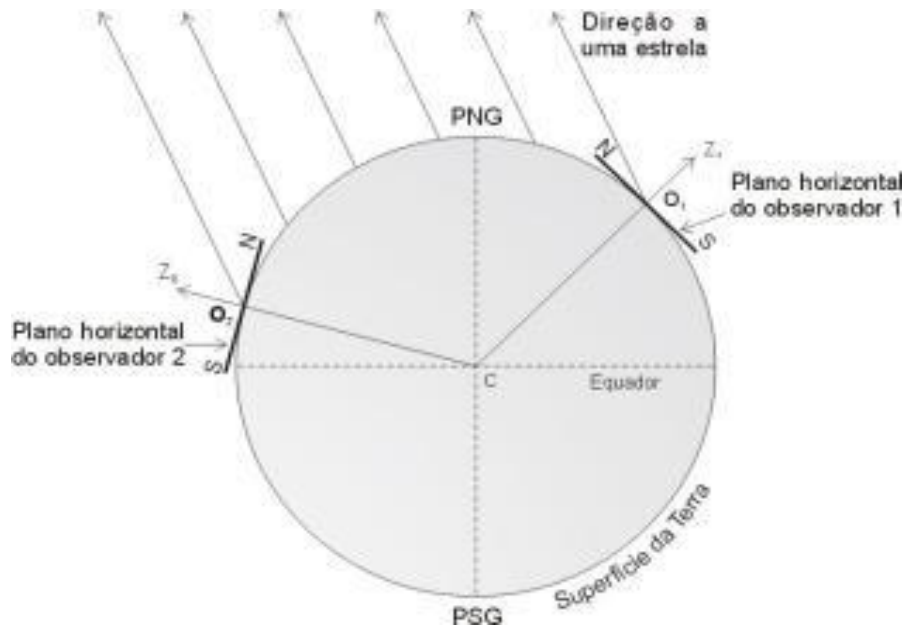
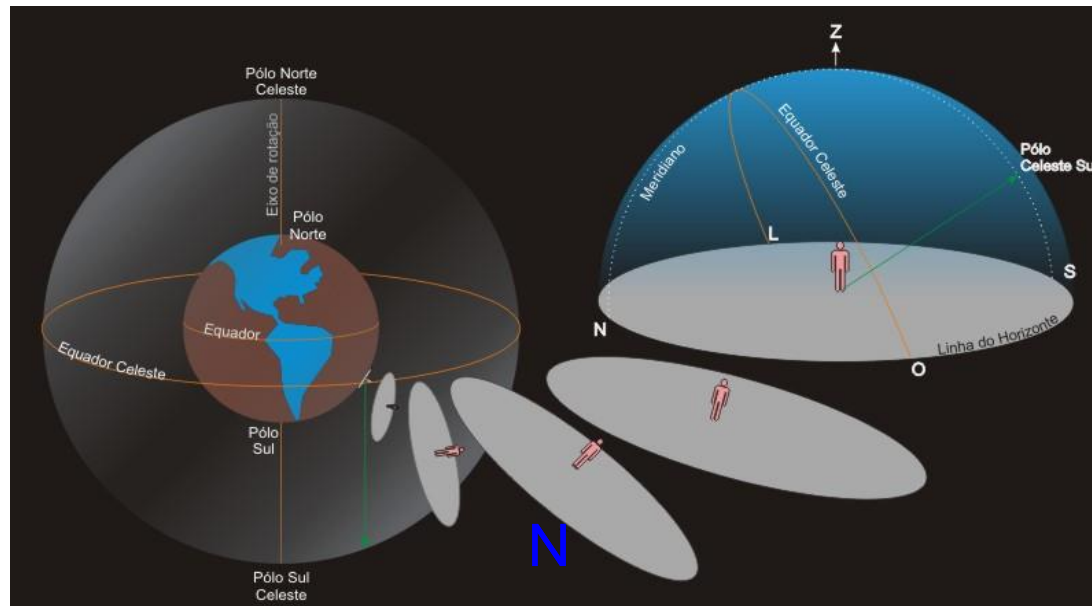
$0^{\circ} \leq A \leq 360^{\circ}$ medido sobre o Horizonte Celeste....onde a

Origem: se localiza no N geográfico (convenção) e **Extremidade:** finaliza no meridiano do astro

A medida do ângulo se faz no sentido de N \rightarrow L

Objetos que se encontram na área azul, abaixo do horizonte, com valores negativos, não podem ser observados (não-visíveis).

SCH - É um sistema local pois depende do lugar e do instante da observação, portanto, é limitado.



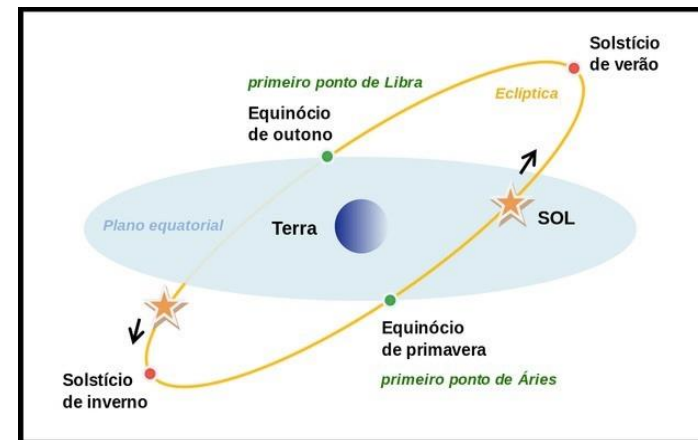
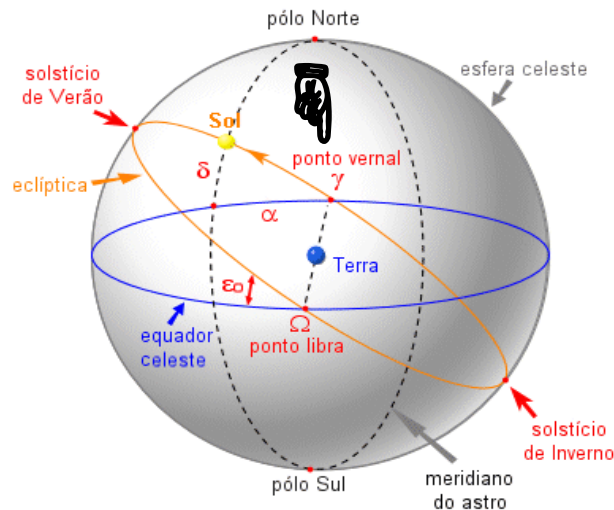
2-Sistema de Coordenadas Equatorial Celeste – SEC

...a Esfera Celeste é a referência....

Durante a trajetória aparente do Sol na Eclíptica (Figs 2 e 3) existem 4 pontos* de referência e de relevância para o SEC.

(1)- Ponto Vernal, Gama ou Aries - (Υ) e (2)- Ponto Libra - Ω : são pontos imaginários que resultam do cruzamento da trajetória aparente anual do Sol com o Equador Celeste, conhecidos como **Equinócio da Primavera** no HN (23 Setembro) e **Outono HS** (21 de Março). (Veremos mais detalhes adiante em Estações do Ano).

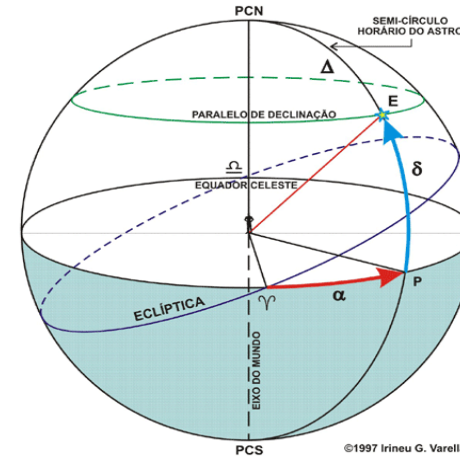
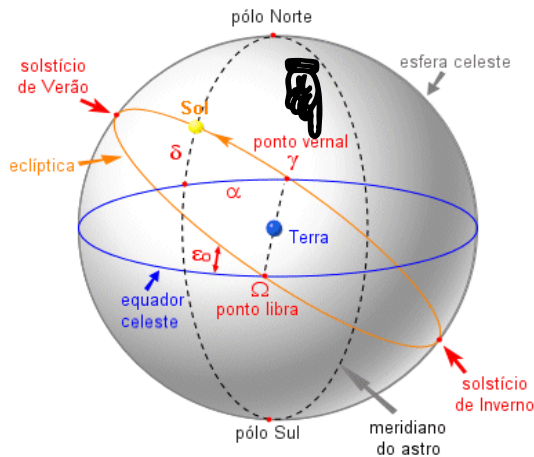
(3)- Pontos de culminação máxima e (4) mínima: corresponde as alturas máxima e mínima que o Sol atinge na Eclíptica durante o movimento de translação – os **Solstícios de Verão** no HN (21 de junho) e **de Inverno** no HS (22 dezembro)



* **Importância destes pontos:** estão associados a estações do ano. Veremos mais detalhes a seguir...

Definindo as Referências no SEC

Plano de Referência = Plano Fundamental – Equador Celeste
Coordenadas – 2 ângulos : Ascensão Reta (α ou AR) e Declinação (δ)



α ou AR ($0\text{h} \leq \alpha \leq 24\text{h}$, ou expresso em graus e horas $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$)

É o ângulo medido sobre o **equador celeste**, com **origem** no meridiano que passa pelo **Ponto Áries** (Gama ou Vernal) e **extremidade** no **Meridiano do Astro** (sentido anti-horário)

Declinação (δ) ($-90^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$). Nos Pólos: **PNC (positivo)** e **PSC (negativo)**

É ângulo medido sobre o meridiano do astro (perpendicular ao equador), com origem no equador e extremidade no astro.

Complemento de δ é a distância polar (Δ) - ($\delta + \Delta = 90^\circ$), sendo que os valores estão na faixa: ($0^\circ \leq \Delta \leq 180^\circ$)

3. Sistema Equatorial Horário - SEH

Plano Fundamental: o **Equador Celeste** (cuidado!...é a linha verde)

Coordenadas – 2 ângulos: **Declinação (δ)** e **Ângulo Horário (H)**

Declinação (δ) ($-90^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$)

Ângulo medido sobre o Meridiano do Astro (perpendicular ao equador), c/ origem no **equador** e extremidade no astro.

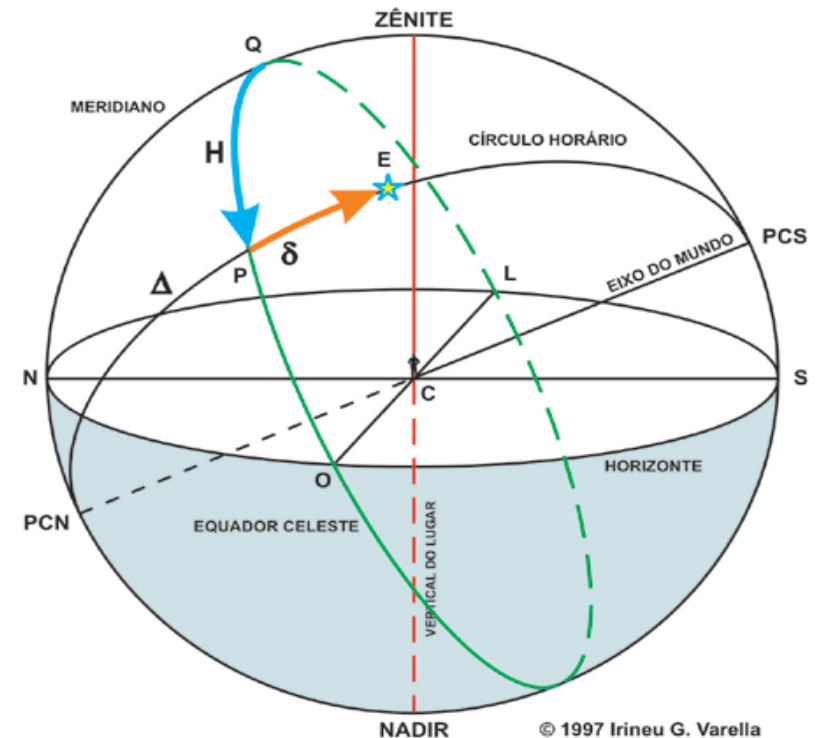
Complemento de δ é a distância polar (Δ)

($\delta + \Delta = 90^\circ$) ($0^\circ \leq \Delta \leq 180^\circ$)

Ângulo Horário (H) ($-12h \leq H \leq +12h$)

Ângulo medido sobre o equador (linha verde), com origem no **meridiano local** (linha que passa p/ PCN, PCS e passa pelo **Zênite**) e extremidade no meridiano do astro, contado a Oeste.

- Sinal negativo (leste do meridiano)
- Sinal positivo (oeste do meridiano)

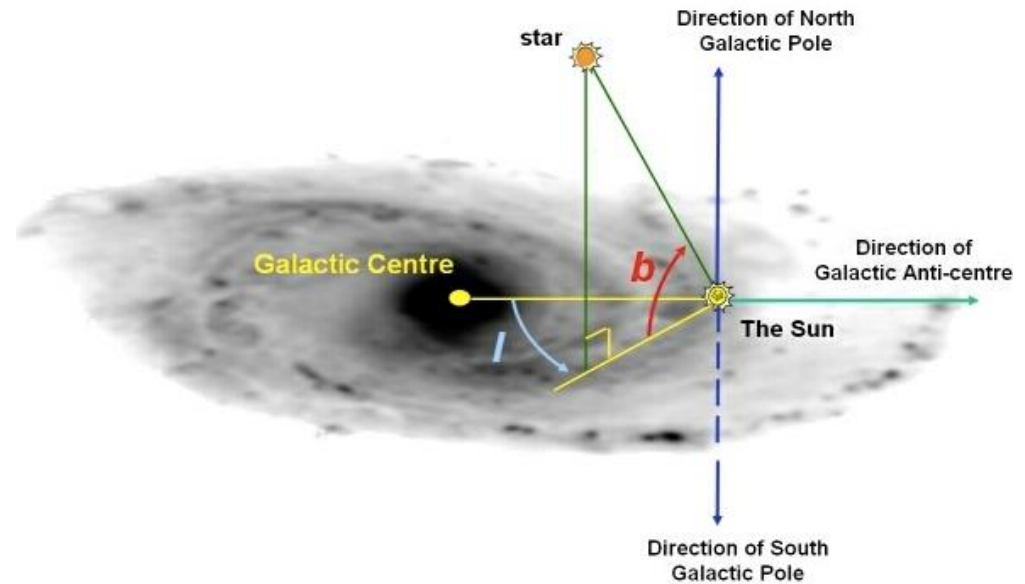
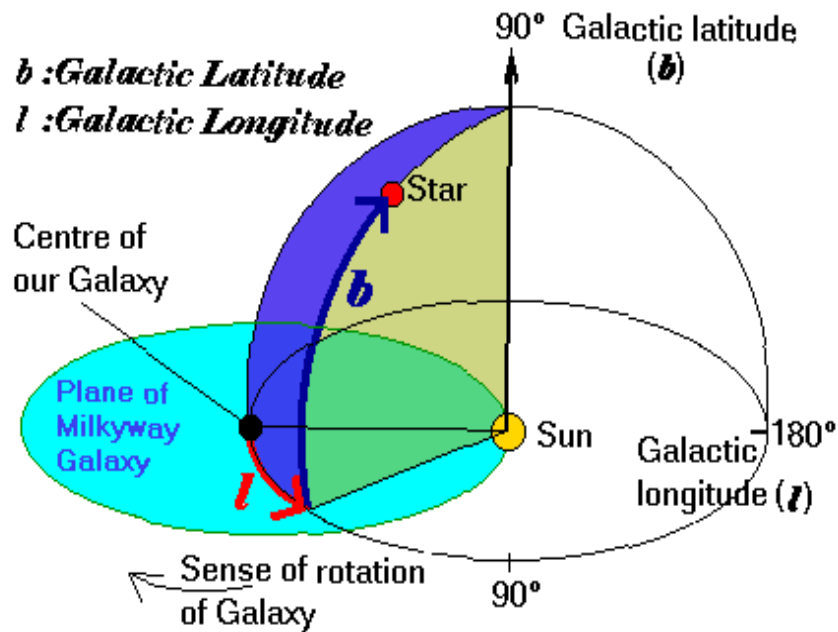


4. Sistema de Coordenadas Galácticas - SCG

...Utilizado apenas em astronomia extragaláctica.

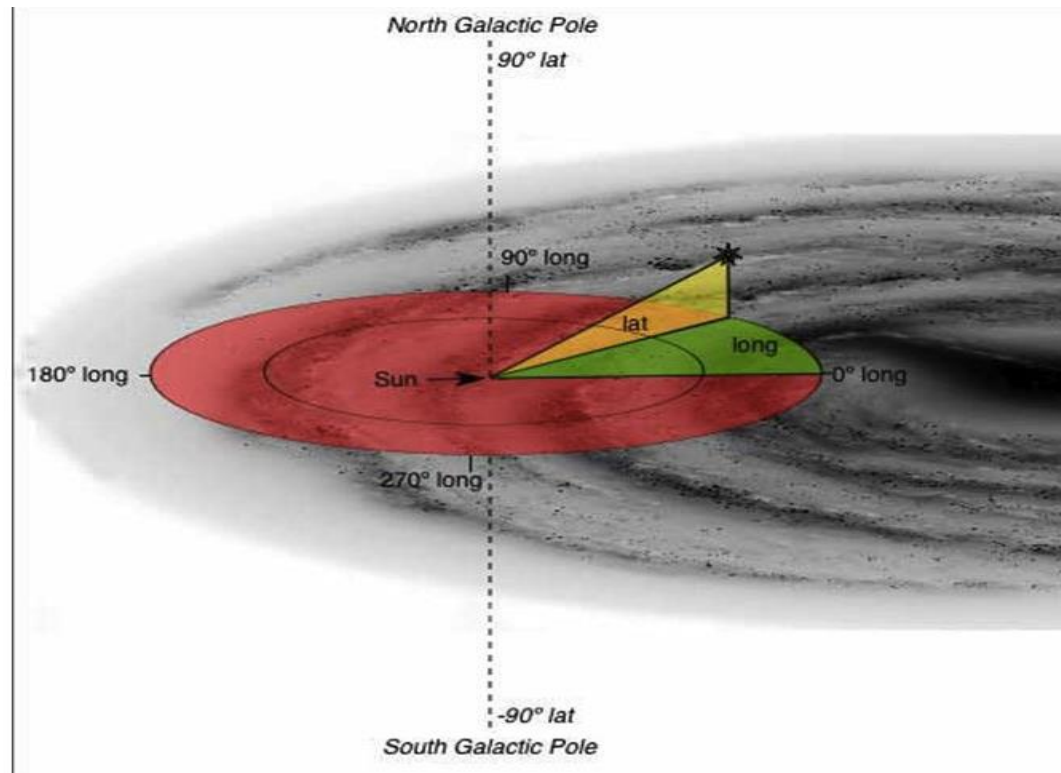
Plano Fundamental: plano do disco da Via Láctea, o **Equador Galáctico**.

Coordenadas - 2 ângulos: **longitude** – (l) e **latitude galáctica** (b).



Origem do Sistema: **centro da Galáxia** (medida no sentido oposto ao de rotação da Galáxia).

4. Sistema de Coordenadas Galácticas - SCG



Coordenadas galácticas

vista da Terra

optical