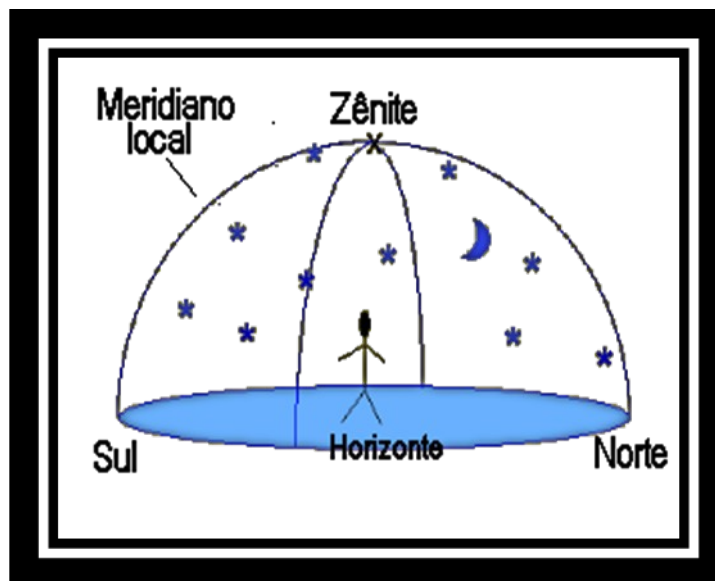


## Esfera Celeste e o Sistema de Coordenadas

- A Esfera Celeste

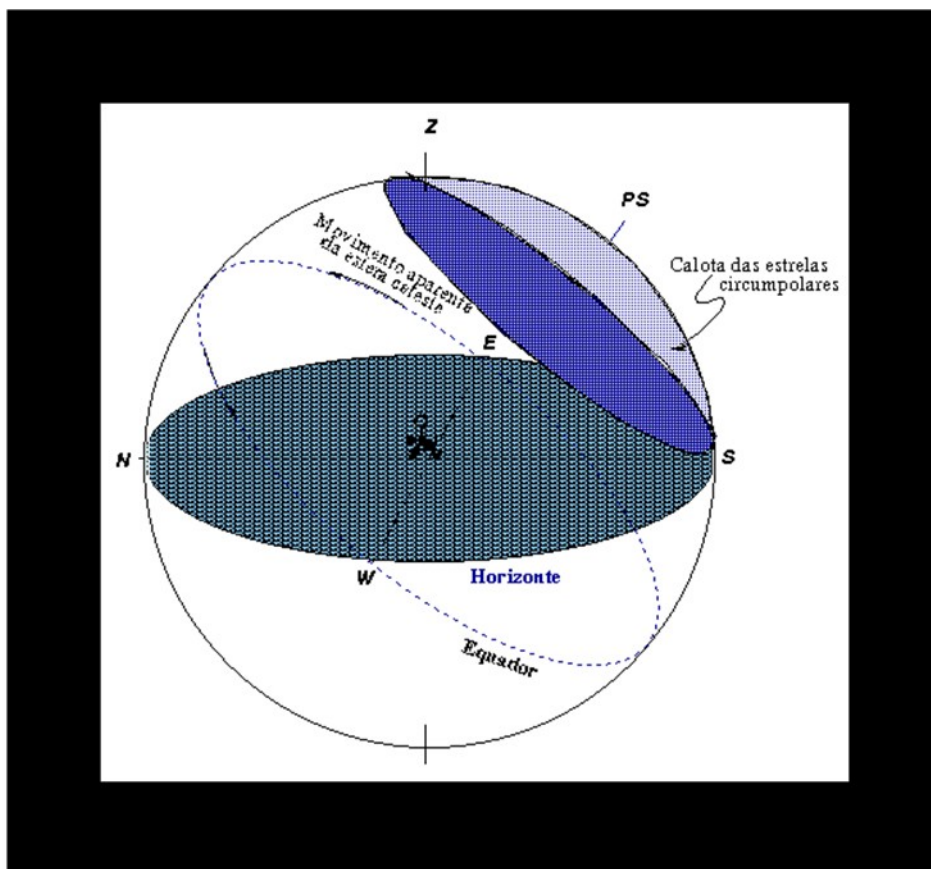
- o Observando o céu em uma noite estrelada, não podemos evitar a impressão de que estamos no meio de uma grande esfera incrustada de estrelas. Isso inspirou, nos antigos gregos, a ideia do céu como uma **Esfera Celeste**.



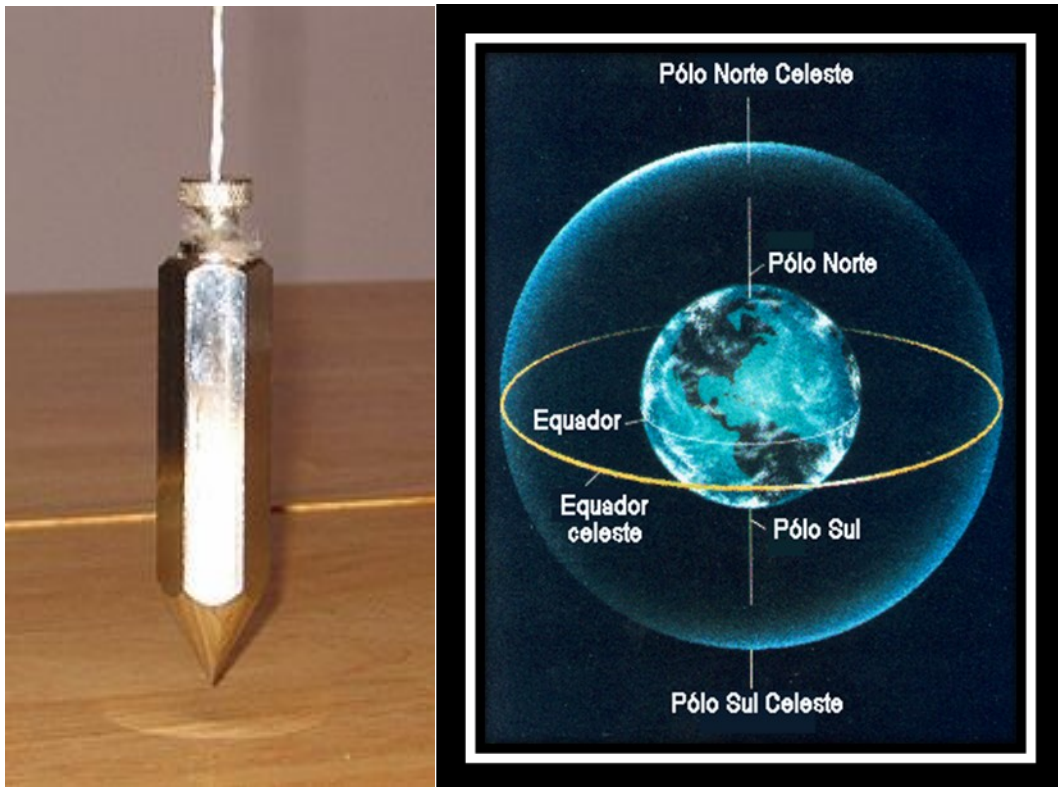
- o Com o passar das horas, os astros se movem no céu, nascendo a leste e se pondo a oeste. Isso causa a impressão de que a esfera celeste está girando de leste para oeste, em torno de um eixo imaginário, que intercepta a esfera em dois pontos fixos, os **Pólos Celestes**. Na verdade, esse movimento, chamado **movimento diurno dos astros**, é um reflexo do movimento de rotação da Terra, que se faz de oeste para leste. O eixo de rotação da esfera celeste é o prolongamento do eixo

de rotação da Terra, e os pólos celestes são as projecções, no céu, dos pólos terrestres.

- o Embora o Sol, a Lua, e a maioria dos astros, aqui na nossa latitude (aproximadamente  $-25.9$ ), tenham nascer e ocaso, existem astros que nunca nascem nem se põem, permanecendo sempre acima do horizonte. Se pudéssemos observá-los durante 24 horas, os veríamos descrevendo uma circunferência completa no céu, no sentido horário. Esses astros são chamados **circumpolares**. O centro da circunferência descrita por eles coincide com o Pólo Celeste Sul. Para os habitantes do hemisfério norte, as estrelas circumpolares descrevem uma circunferência em torno do Pólo Celeste Norte. Mas as estrelas que são circumpolares lá não são as mesmas estrelas que são circumpolares aqui, pois o fato de uma estrela ser circumpolar ou não depende da latitude do lugar de observação.

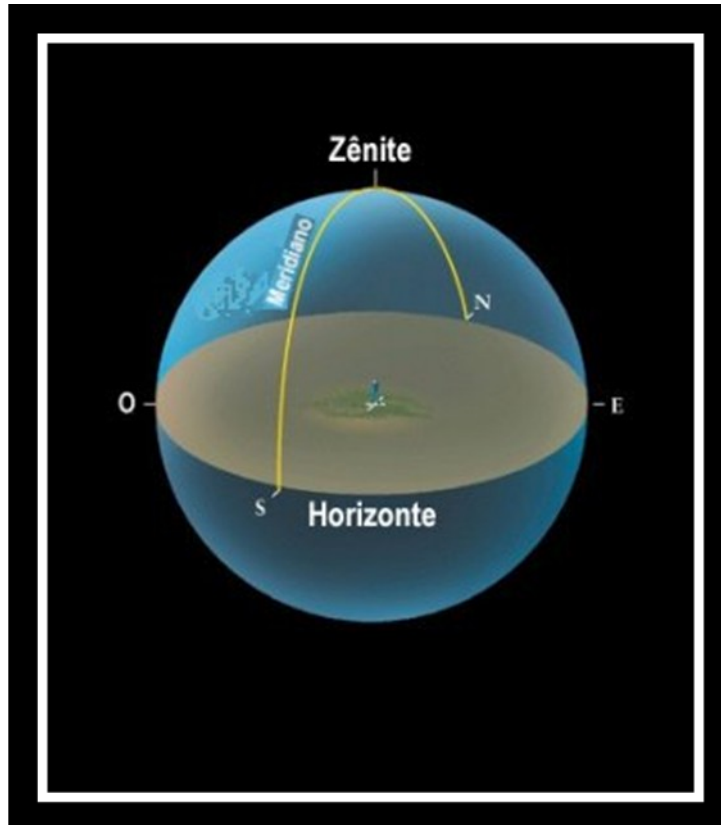


- o Os antigos gregos definiram alguns planos e pontos na esfera celeste, que são úteis para a determinação da posição dos astros no céu. São eles:
  - **Horizonte:** plano tangente à Terra no lugar em que se encontra o observador. Como o raio da Terra é desprezável frente ao raio da esfera celeste, considera-se que o Horizonte é um círculo máximo da esfera celeste, ou seja, passa pelo seu centro.
  - **Zénite:** ponto no qual a vertical do lugar (perpendicular ao horizonte) intercepta a esfera celeste, acima da cabeça do observador. A vertical do lugar é definida por um fio a prumo.
  - **Nadir:** ponto diametralmente oposto ao Zénite.

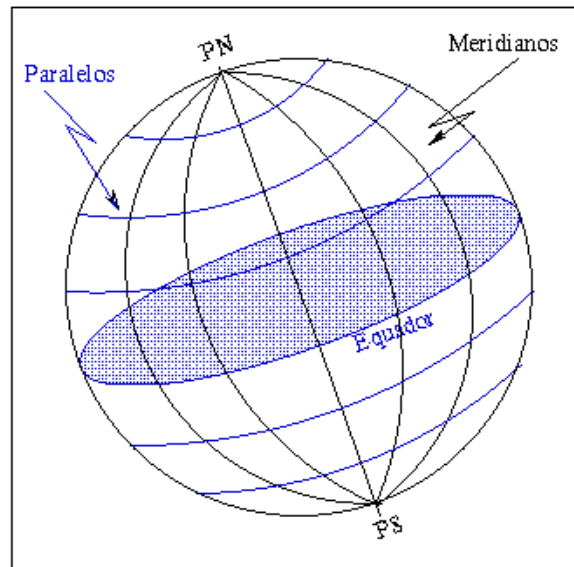
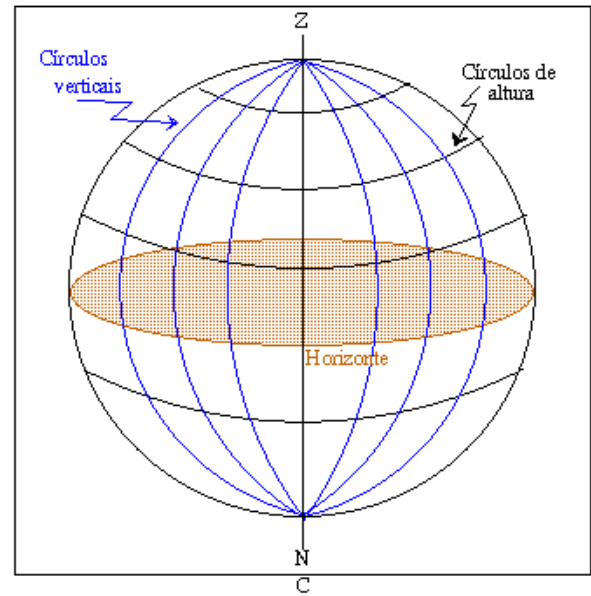
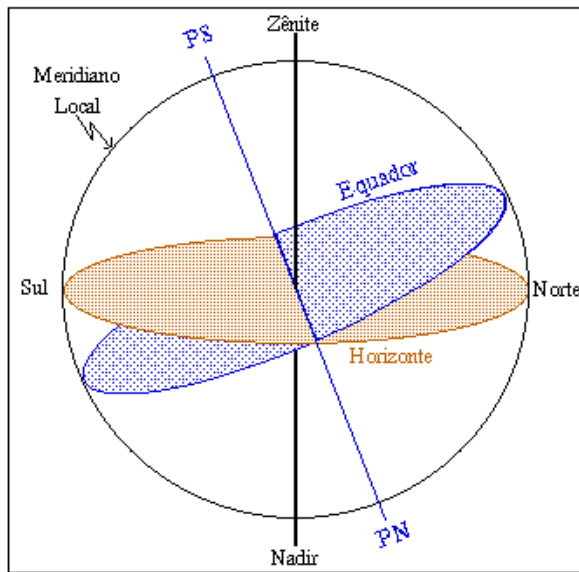


- **Equador Celeste:** círculo máximo em que o prolongamento do equador da Terra intercepta a esfera celeste.
- **Pólo Celeste Norte:** ponto em que o prolongamento do eixo de rotação da Terra intercepta a esfera celeste, no hemisfério norte.
- **Pólo Celeste Sul:** ponto em que o prolongamento do eixo de rotação da Terra intercepta a esfera celeste, no hemisfério sul.

- Para definirmos uma posição sobre uma esfera precisamos definir um eixo e um plano perpendicular a este eixo.
  - **Círculo vertical:** qualquer semi-círculo máximo da esfera celeste contendo a vertical do lugar. Os círculos verticais começam no Zénite e terminam no Nadir.
  - **Ponto Geográfico Norte:** ponto em que o círculo vertical que passa pelo Pólo Celeste Norte intercepta o Horizonte. É também chamado **Ponto Cardinal Norte**.
  - **Ponto Geográfico Sul:** também chamado **Ponto Cardinal Sul**, é o ponto em que o círculo vertical que passa pelo Pólo Celeste Sul intercepta o Horizonte. A linha sobre o Horizonte que liga os pontos cardiais Norte e Sul chama-se linha Norte-Sul, ou **meridiana**. A linha Leste-Oeste é obtida traçando-se, sobre o Horizonte, a perpendicular à meridiana.
  - **Círculo de altura:** qualquer círculo da esfera celeste paralelo ao Horizonte. É também chamado **almucântara**, ou **paralelo de altura**.
  - **Círculo horário ou meridiano:** qualquer semi-círculo máximo da esfera celeste que contém os dois pólos celestes. É também chamado **meridiano**. O meridiano que passa pelo Zénite se chama **Meridiano Local**.



- **Paralelo:** qualquer círculo da esfera celeste paralelo ao equador celeste. É também chamado **círculo diurno**.

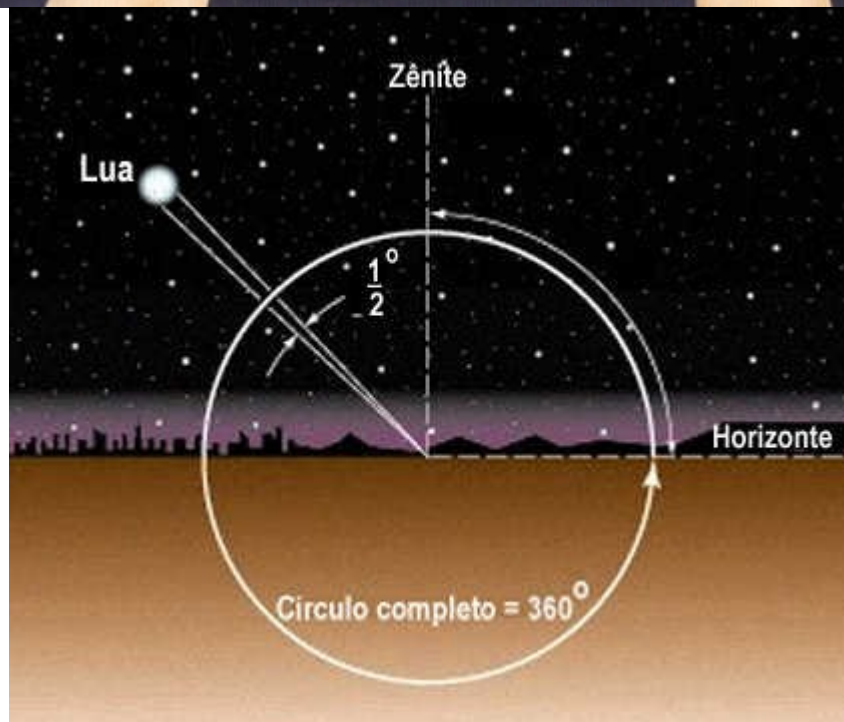
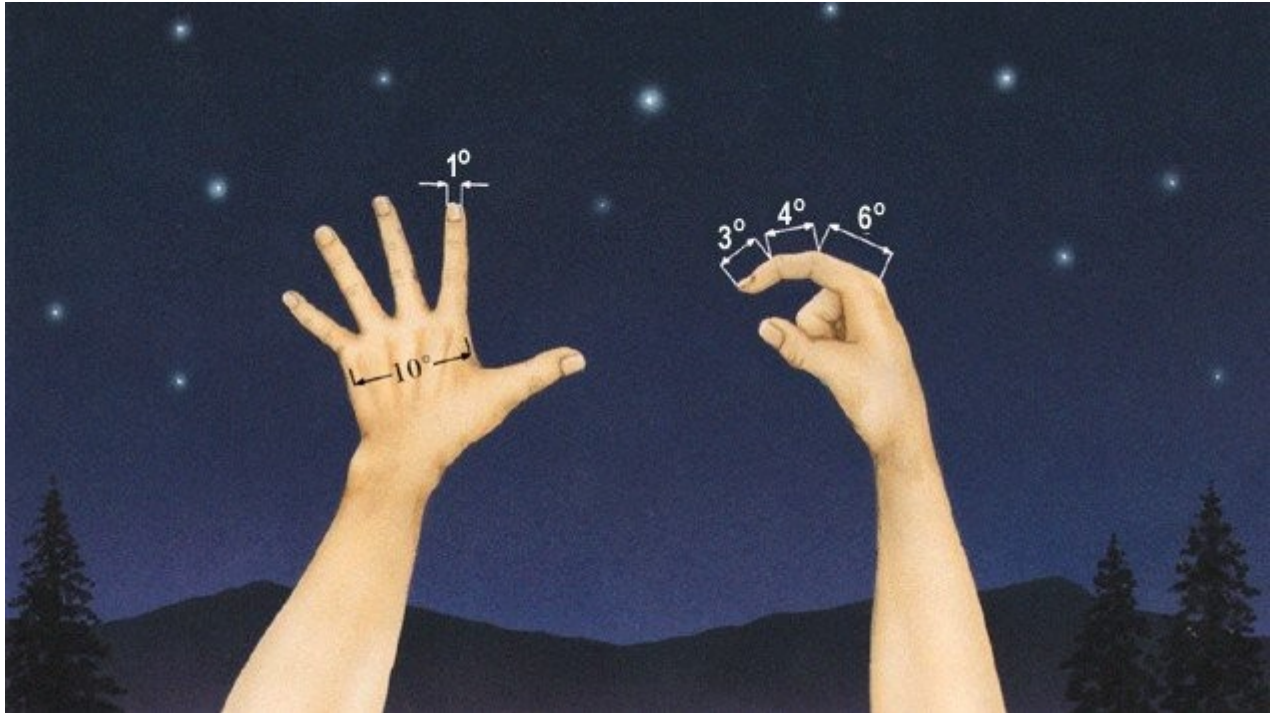


- E qual é a velocidade angular aparente diariamente do Sol?



- o Como um dia é definido como uma volta completa do Sol, isto é, o Sol percorre  $360^\circ$  em 24 horas, a velocidade aparente é de:

$$V_{\text{aparente}} = 360^\circ/24 \text{ h} = 15^\circ/\text{h}$$



- Um grau tem 60 minutos de arco e um minuto de arco tem 60 segundos de arco. Logo:

$$1^\circ = 60' = 3600''$$

- Como 1 hora tem 60 minutos de tempo e 1 minuto de tempo tem 60 segundos de tempo.

$$1 \text{ h} = 60\text{m} = 3600\text{s}$$

- o Mas como a rotação da Terra em torno de seu próprio eixo percorre  $360^\circ$  em 24 horas:

$$1 \text{ h} = 15^\circ$$

$$1 \text{ m} = 15'$$

$$1 \text{ s} = 15''$$

- **Sistemas de Coordenadas**

- o Para determinar a posição de um astro no céu, precisamos definir um sistema de coordenadas. Nesse sistema, vamos utilizar apenas coordenadas angulares, sem nos preocuparmos com as distâncias dos astros. A posição do astro será determinada através de dois ângulos de posição, um medido sobre um plano fundamental, e o outro medido perpendicularmente a ele. Antes de entrarmos nos sistemas de coordenadas astronômicas, convém recordarmos o sistema de coordenadas geográficas, usadas para medir posição sobre a superfície da Terra. Nesse sistema as coordenadas são **latitude** e a **longitude**.

- **longitude geográfica ( $\lambda$ ):** é o ângulo medido ao longo do equador da Terra, tendo origem em um meridiano de referência (o meridiano de Greenwich), e extremidade no meridiano do lugar. Na Conferência Internacional Meridiana, realizada em Washington em Outubro de 1884, foi definida como variando de 0 a  $+180^\circ$  (Oeste de Greenwich) e de 0 a  $-180^\circ$  (Leste). Na convenção usada em astronomia, varia entre  $-12\text{h}$  (Oeste) e  $+12\text{h}$  (Leste).

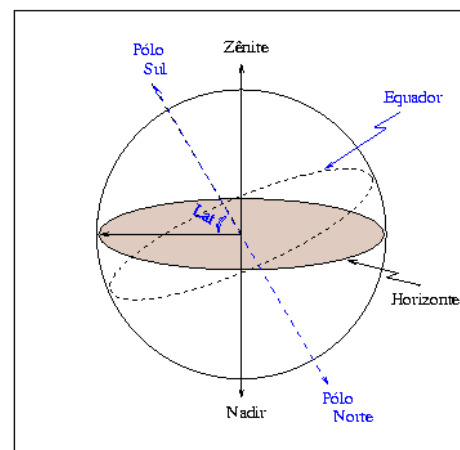
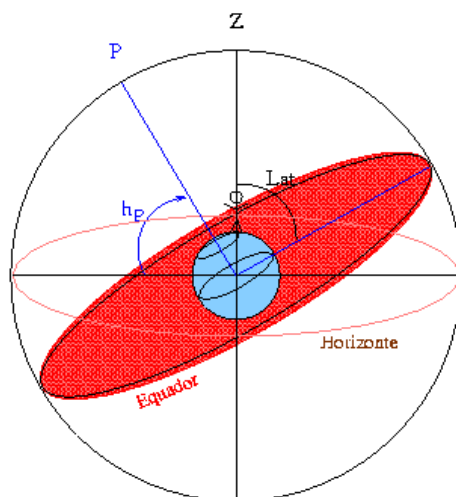
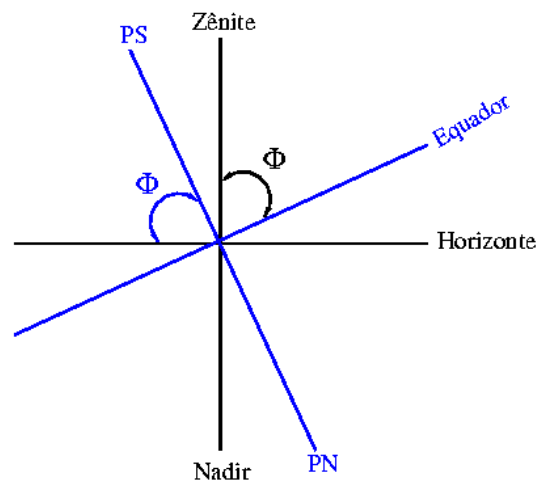
$$-12\text{h} \leq \lambda \leq +12\text{h}$$



- **latitude geográfica ( $\phi$ ):** ângulo medido ao longo do meridiano do lugar, com origem no equador e extremidade no zênite do lugar. Varia entre  $-90^\circ$  e  $+90^\circ$ . O sinal negativo indica latitudes do hemisfério sul e o sinal positivo hemisfério norte.

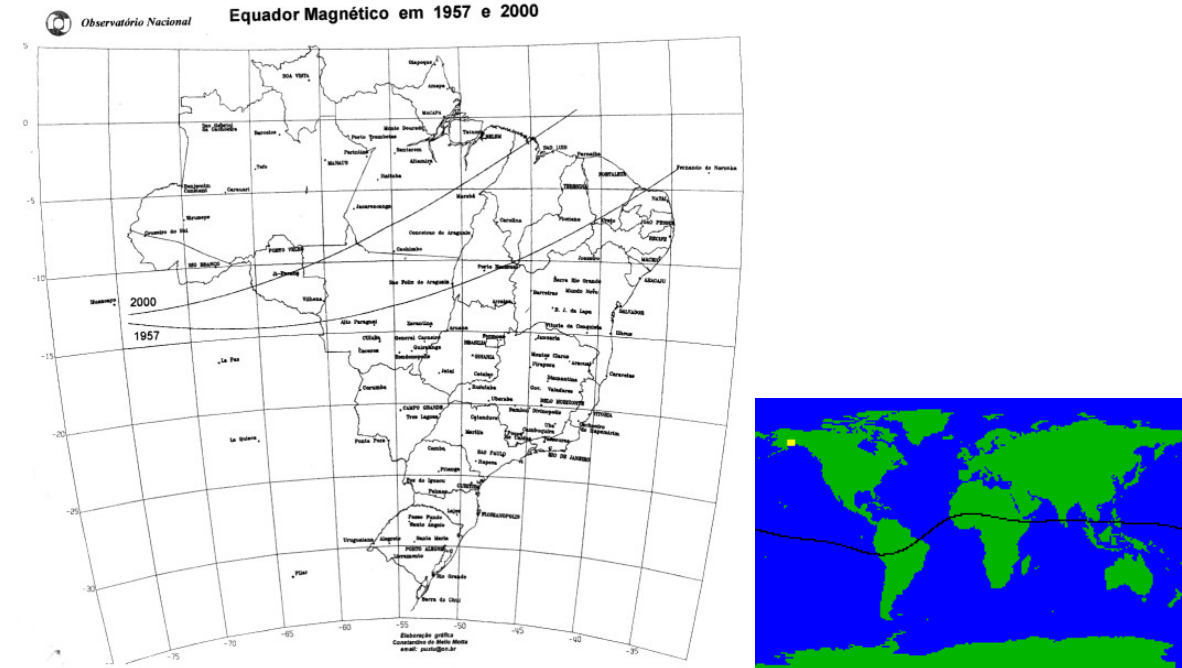
$$-90^\circ \leq \phi \leq +90^\circ$$

- **Definição astronômica de latitude:** A latitude de um lugar é igual à altura do pólo elevado ( $h_P$ ).

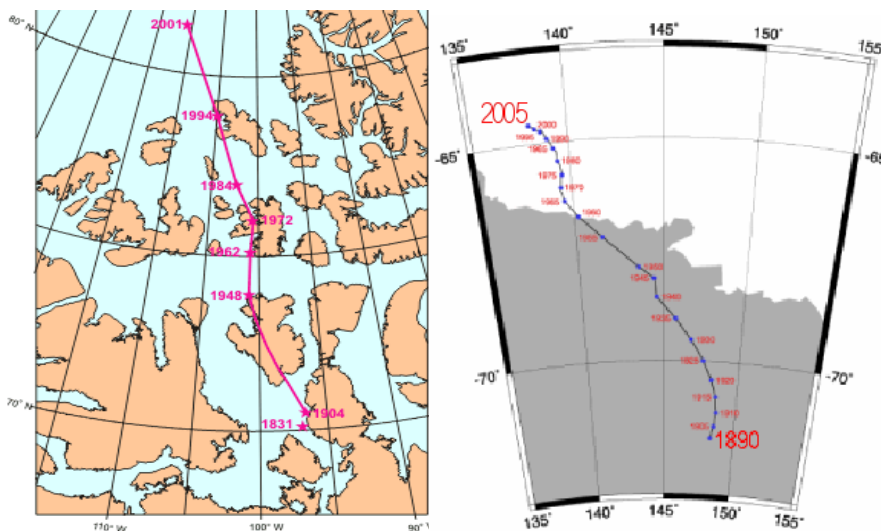


- As coordenadas geográficas não são iguais às magnéticas.

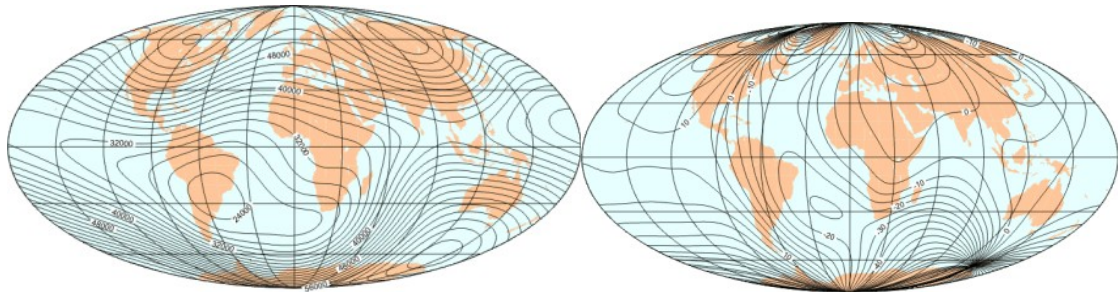
## Variação do Equador Magnético com o Tempo



A posição dos polos magnéticos podem ser calculados usando os coeficientes medidos. O modelo atual dá a posição do polo magnético norte em 2005 em  $83,21^\circ\text{N}$  e  $118,32^\circ\text{O}$  e o polo magnético sul em  $64,53^\circ\text{S}$  e  $137,86^\circ\text{E}$ .



Deslocamentos dos polos nortes e sul com o passar dos anos.



Mapas de intensidade e declinação magnéticas em 2005. A intensidade do campo magnético da Terra é de aproximadamente 25 000 a 65 000 nT (0,25 a 0,65 gauss). A declinação magnética é o ângulo entre o norte magnético e o norte geográfico.

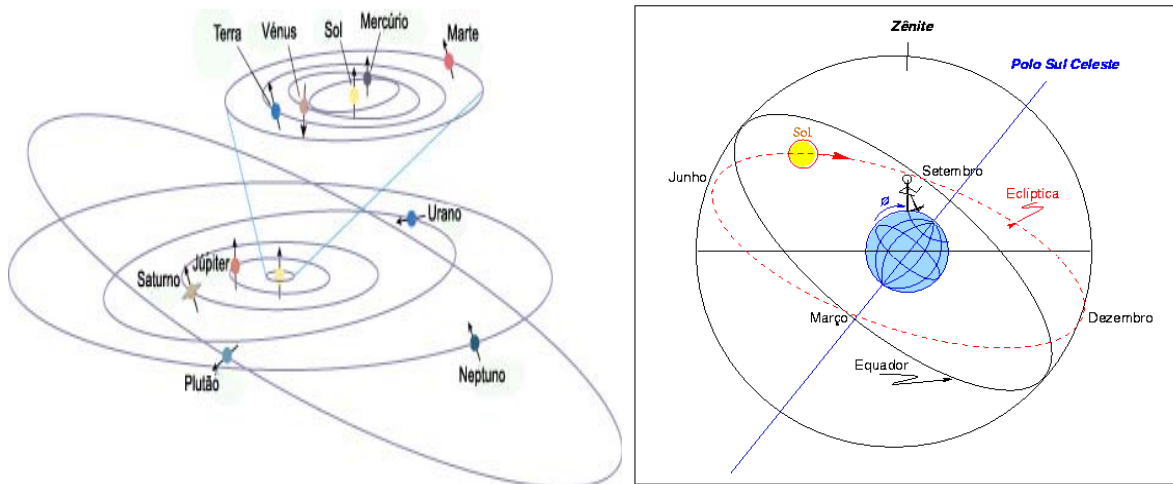
A posição do centro do dipolo calculado para 2005 é (552 km, 22,2°N, 141,6°E). A posição do polo observada é de difícil determinação pois as posições mudam de dezenas a centenas de quilômetros diariamente devido às variações reais diárias e às tempestades magnéticas. A medida de 2001 mostrava uma variação de 40 km por ano. As medidas indicavam, para o polo norte:

Ano	Latitude (°N)	Longitude (°O)
2001	81.3	110.8
2002	81.6	111.6
2003	82.0	112.4
2004	82.3	113.4
2005	82.7	114.4

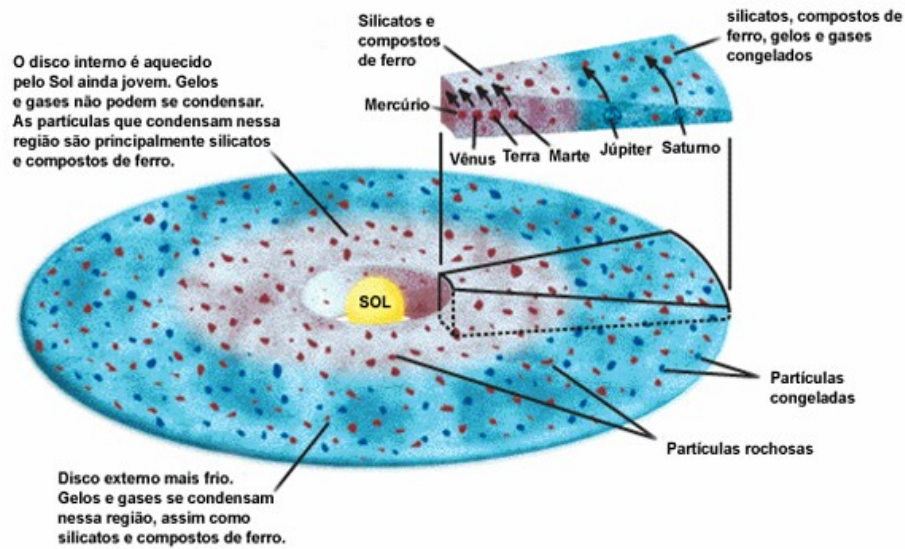
- **Coordenadas Astronómicas**



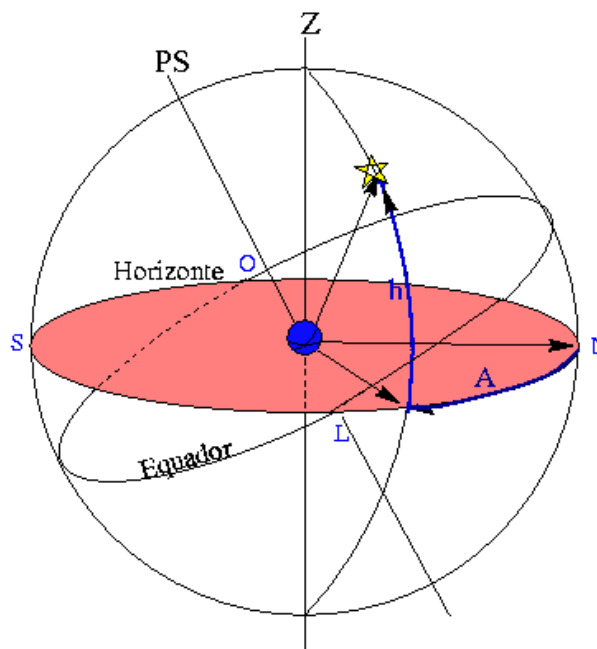
Foto tirada pela espação nave Clementina, mostrando a Lua, a coroa do Sol nascendo atrás da Lua, e os planetas Saturno, Marte e Mercúrio. O plano da **elíptica** é o plano imaginário contendo a órbita da Terra em volta do Sol. Durante o ano, a posição aparente do Sol está neste plano, assim como todos os planetas estão próximos deste plano, pois foram formados no disco proto-planetário.



## A formação de planetesimais congelados e rochosos



- O Sistema Horizontal



- O Sistema Horizontal utiliza como plano fundamental o Horizonte celeste. As coordenadas horizontais são **azimute** e **altura**.

- **Azimute (A):** é o ângulo medido sobre o horizonte, no sentido horário (NLSO), com origem no Norte geográfico e extremidade no círculo vertical do astro. O azimute varia entre  $0^\circ$  e  $360^\circ$ .

$$0^\circ \leq A \leq 360^\circ$$

- **Altura (h):** é o ângulo medido sobre o círculo vertical do astro, com origem no horizonte e extremidade no astro. A altura varia entre  $-90^\circ$  e  $+90^\circ$ . O complemento da altura se chama **distância zenital (z)**. Assim, a distância zenital é o ângulo medido sobre o círculo vertical do astro, com origem no zênite e extremidade no astro. A distância zenital varia entre  $0^\circ$  e  $180^\circ$ :

$$(h + z = 90^\circ)$$

$$\begin{array}{c} -90^\circ \leq h \leq +90^\circ \\ 0^\circ \leq z \leq 180^\circ \end{array}$$

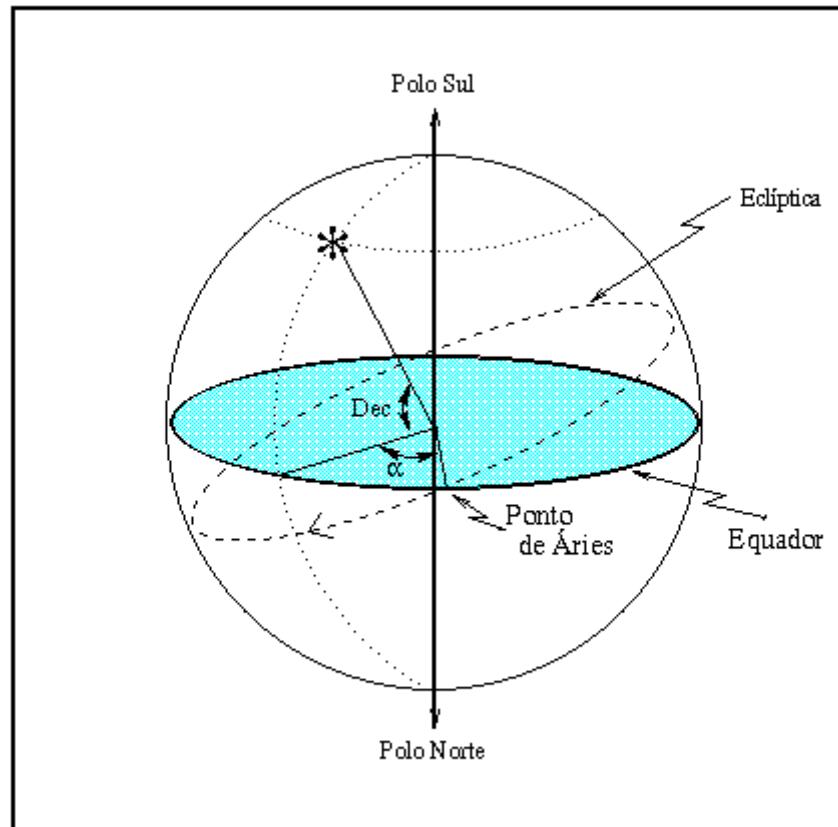
- o O sistema horizontal é um sistema *local*, no sentido de que é fixo na Terra. As coordenadas azimute e altura (ou azimute e distância zenital) dependem do lugar e do instante da observação, e não são características do astro.

- **O Sistema Equatorial Celeste**





- o O Sistema Equatorial Celeste utiliza como plano fundamental o Equador Celeste. Suas coordenadas são a **ascensão reta** e a **declinação**.



- **Ascensão reta ( $\alpha$  ou AR):** ângulo medido sobre o equador, com origem no meridiano que passa pelo ponto Áries, e extremidade no meridiano do astro. A ascensão reta varia entre 0h e 24h (ou entre 0° e 360°) aumentando para leste.

$$0h \leq \alpha \leq +24h$$

- O **Ponto Áries**, também chamado **Ponto Gama** ( $\gamma$ ), ou **Ponto Vernal**, é um ponto do equador, ocupado pelo Sol no equinócio de primavera do hemisfério norte, isto é quando o Sol cruza o equador vindo do hemisfério sul (geralmente em 22 de Março de cada ano).
- **declinação ( $\delta$ ):** ângulo medido sobre o meridiano do astro (perpendicular ao equador), com origem no equador e extremidade no astro. A declinação varia

entre  $-90^\circ$  e  $+90^\circ$ . O complemento da declinação se chama **distância polar** ( $\Delta$ ). ( $\delta + \Delta = 90^\circ$ ).

$$-90^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$$

$$0^\circ \leq \Delta \leq 180^\circ$$

- O sistema equatorial celeste é fixo na esfera celeste e, portanto, suas coordenadas *não dependem* do lugar e instante de observação. A ascensão reta e a declinação de um astro permanecem praticamente constantes por longos períodos de tempo.

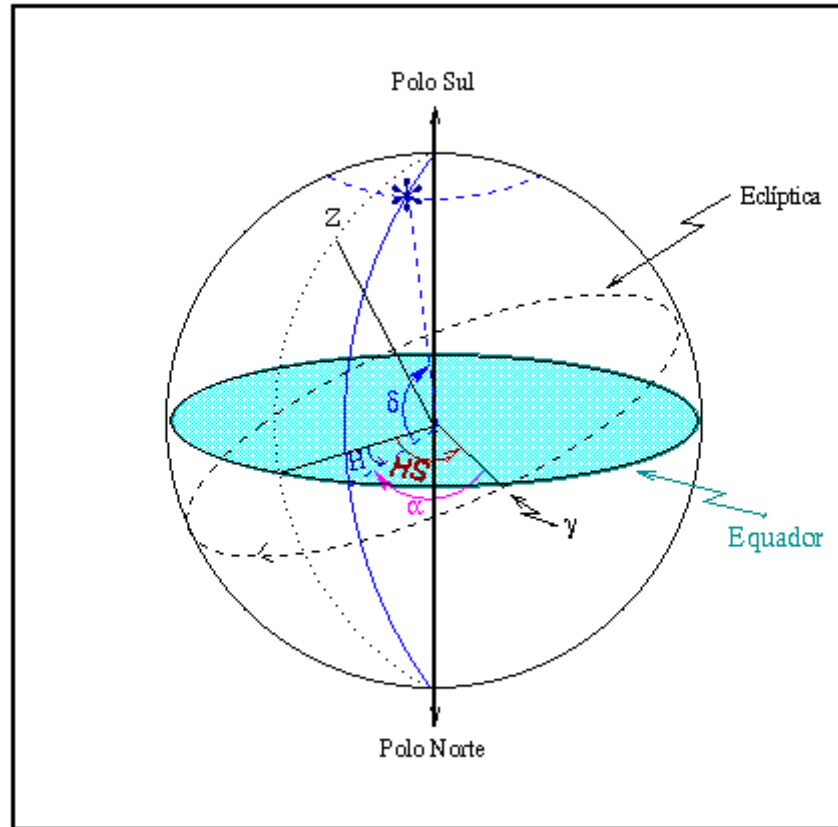
- **Sistema Equatorial Horário**

- Nesse sistema o plano fundamental continua sendo o Equador, mas a coordenada medida ao longo do equador não é mais a ascensão reta, e sim uma coordenada não constante chamada **ângulo horário**. A outra coordenada continua sendo a **declinação**.

- **Ângulo horário (H)**: ângulo medido sobre o equador, com origem no meridiano local e extremidade no meridiano do astro. Varia entre  $-12h$  e  $+12h$ . O sinal negativo indica que o astro está a leste do meridiano, e o sinal positivo indica que ele está a oeste do meridiano.

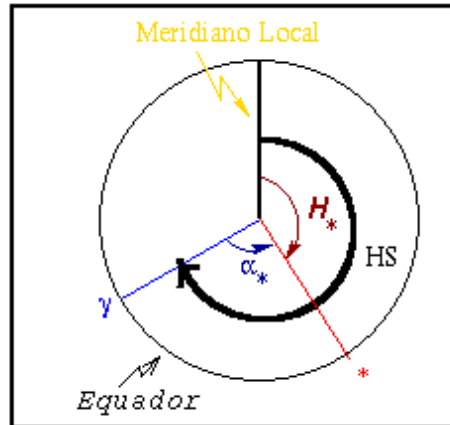
$$-12h \leq H \leq +12h$$

- **Tempo Sideral**

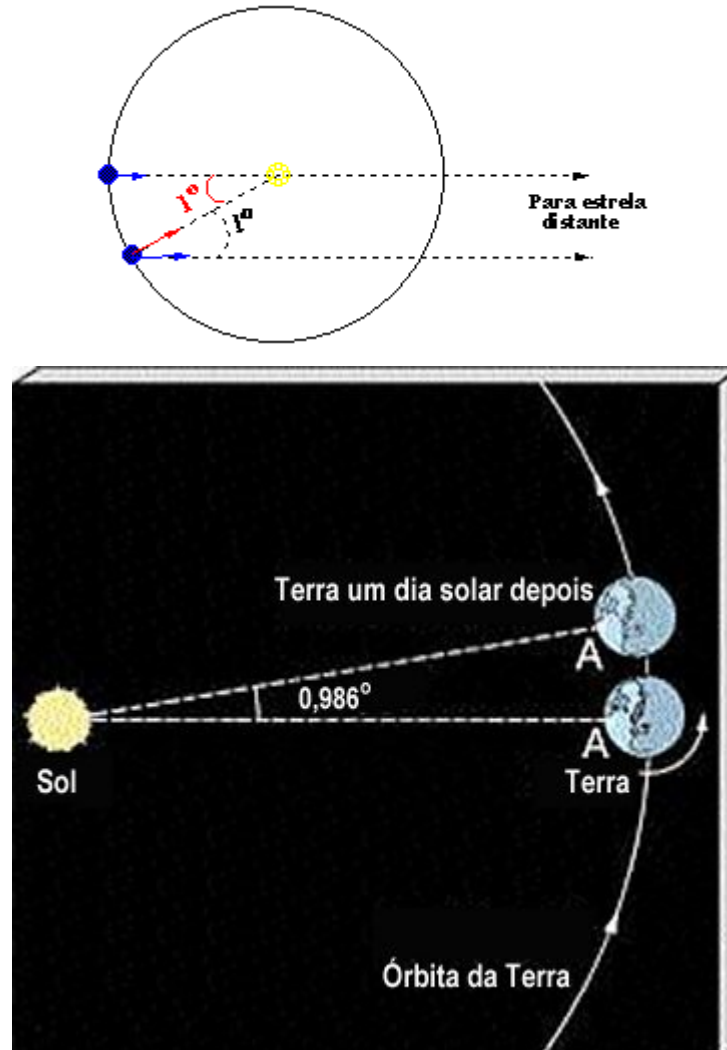


- O sistema equatorial celeste e o sistema equatorial horário, juntos, definem o conceito de **tempo sideral**. O tempo sideral, assim como o tempo solar, é uma medida do tempo, e aumenta ao longo do dia.
  - **Hora sideral (HS)**: ângulo horário do ponto Áries. Pode ser medida a partir de qualquer estrela, pela relação:

$$HS = H_{\star} + \alpha_{\star}$$



- o **Dia Sideral:** é o intervalo de tempo decorrido entre duas passagens sucessivas do ponto  $\gamma$  pelo meridiano do lugar.

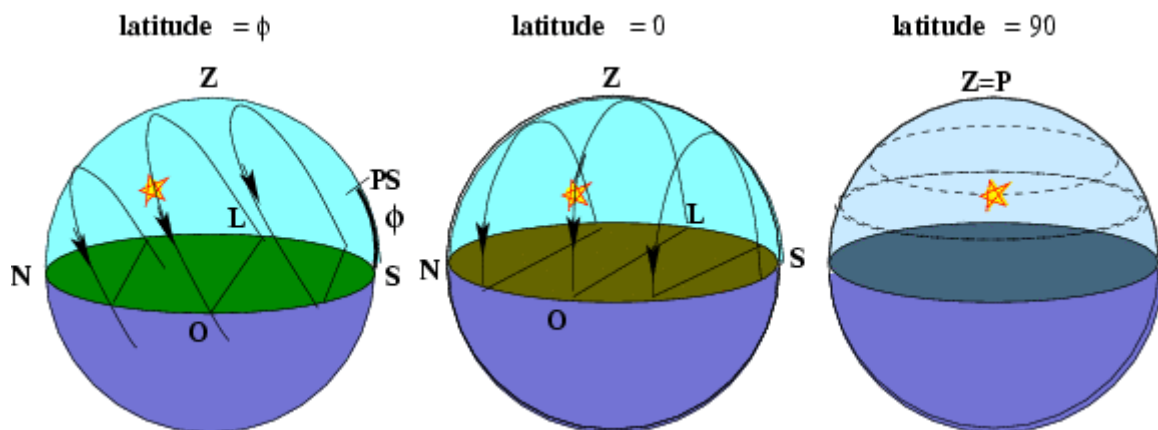


- o **Dia Solar:** é o intervalo de tempo decorrido entre duas passagens sucessivas do Sol pelo meridiano do lugar. É  $3^m56^s$  mais longo do que o dia sideral. Essa diferença é devida ao movimento de translação da Terra em torno do Sol, de aproximadamente 1 grau (4 minutos) por dia ( $360^\circ/\text{ano}=0,986^\circ/\text{dia}$ ). Como a órbita da Terra em torno do Sol é elíptica, a velocidade de translação da Terra em torno do Sol não é constante, causando uma variação diária de  $1^\circ 6'$  ( $4^m27^s$ ) em Dezembro, e  $53'$  ( $3^m35^s$ ) em Junho.



• **Movimento Diurno dos Astros**

- O movimento diurno dos astros, de leste para oeste, é um reflexo do movimento de rotação da Terra, de oeste para leste. Ao longo do dia, todos os astros descrevem no céu **arcos paralelos ao Equador**. A orientação desses arcos em relação ao horizonte depende da latitude do lugar.
  - **1. Nos pólos ( $\phi = \pm 90$ ):** Todas as estrelas do mesmo hemisfério do observador permanecem 24 h acima do horizonte (não têm nascer nem ocaso), e descrevem no céu círculos paralelos ao horizonte. As estrelas do hemisfério oposto nunca podem ser vistas.
  - **2. No equador ( $\phi = 0$ ):** Todas as estrelas nascem e se põem, permanecendo 12h acima do horizonte e 12h abaixo dele. A trajetória das estrelas são arcos perpendiculares ao horizonte. Todas as estrelas do céu (dos dois hemisférios) podem ser vistas ao longo do ano.
  - **3. Em um lugar de latitude intermediária:** Algumas estrelas têm nascer e ocaso, outras permanecem 24h acima do horizonte, outras permanecem 24h abaixo do horizonte. As estrelas visíveis descrevem no céu arcos com uma certa inclinação em relação ao horizonte, a qual depende da latitude do lugar.



- **Passagem Meridiana de um Astro**

- o Chama-se **passagem meridiana** ao instante em que o astro cruza o meridiano local. Durante o seu movimento diurno, o astro realiza duas passagens meridianas, ou duas **culminações**: a culminação superior, ou passagem meridiana superior, ou ainda máxima altura (porque nesse instante a altura do astro atinge o maior valor), e a passagem meridiana inferior, ou culminação inferior. No instante da passagem meridiana superior, cumpre-se a seguinte relação entre  $z$ ,  $\delta$  e  $\phi$ :

$$z = \pm(\delta - \phi)$$

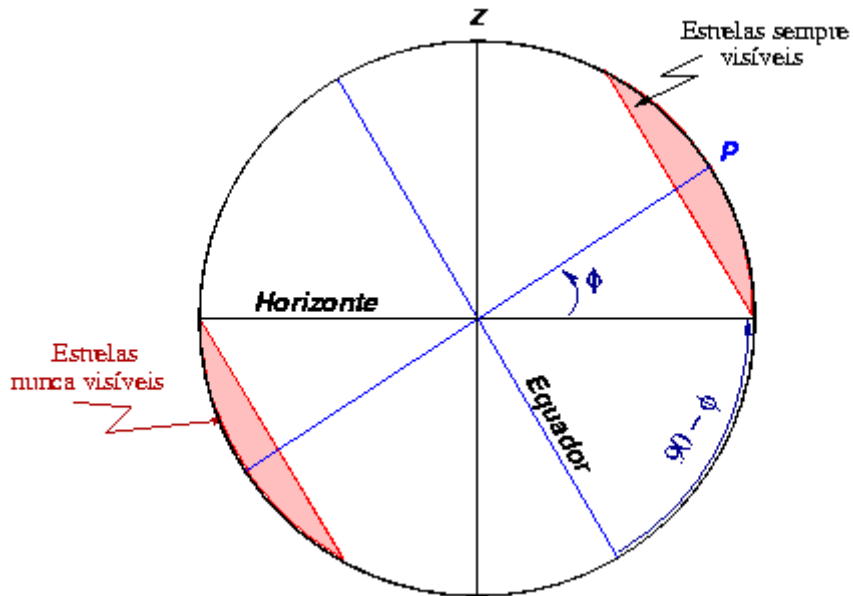
- onde o sinal + vale se a culminação é feita ao norte do zênite e o sinal - se a culminação é feita ao sul do zênite.

- **Estrelas Circumpolares**

- o Estrelas circumpolares são aquelas que não têm nascer nem ocaso, descrevendo seu círculo diurno completo acima do horizonte. Portanto, as estrelas circumpolares fazem as duas passagens meridianas acima do horizonte. Para uma certa estrela com declinação  $\delta$  ser circumpolar em um lugar de latitude  $\phi$  deve se cumprir a relação:

$$|\delta| \geq 90^\circ - |\phi|$$

com  $\delta$  e  $\phi$  de mesmo sinal.



- Importa salientar que para se derivar as relações entre os sistemas de coordenadas, é necessário utilizar-se a **Trigonometria Esférica**.