



astro1.webnode.page

Resumo Teórico – Seletiva de Astronomia

Prof. Thiago Paulin Caraviello

Índice

Parte 1: Mecânica Celeste

Leis de Kepler	02
Força Gravitacional.....	03
Aceleração Gravitacional.....	04
Velocidade Orbital	04
Energias	04
Estudo das Órbitas	05
Configurações planetárias.....	07
Período Sideral e Sinódico.....	07

Parte 2: Fotometria

Os fótons	08
Fluxo luminoso.....	08
Luminosidade.....	08
Magnitudes.....	09
Lei de Wien.....	09
Efeito Doppler	10
Lei de Hubble.....	10

Parte 3: Astronomia de Posição

Sistemas de Coordenadas.....	11
O Sol nas coordenadas equatoriais.....	12
Relação latitude e polo celeste visível.....	13
Meridianos.....	13
Fenômenos do movimento diurno da Terra.....	13
Fenômenos do movimento anual da Terra.....	14

Parte 4: Instrumentação

Telescópios.....	17
Conceitos físicos de instrumentação.....	18

Tabelas e Constantes	19
----------------------------	----

Guia de videoaulas.....	21
-------------------------	----

Processo de seleção para as competições internacionais	22
--	----

Parte 1: Mecânica Celeste

Leis de Kepler

- Primeira Lei de Kepler: “Lei das Órbitas”

As órbitas dos planetas em torno do Sol são elipses com o Sol em um dos focos.

Atenção: Embora as órbitas dos planetas sejam elipses, as excentricidades são tão pequenas que parecem círculos.

A elipse:

- A medida a é chamada de semieixo maior.
- A medida b é chamada de semieixo menor.
- O centro O é ponto médio entre os eixos da elipse.
- F_1 e F_2 são os focos da elipse cuja distância é chamada de distância focal. A medida c é chamada semidistância focal.
- Define-se excentricidade da elipse e como:

$$e = \frac{c}{a}$$

Quanto mais próxima de zero for a excentricidade da elipse, mais próxima de uma circunferência ela será.

- Na elipse, é válida a relação entre as medidas a , b e c :

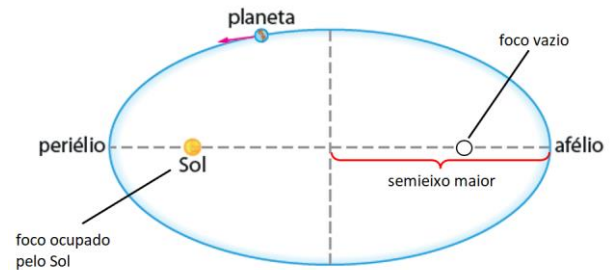
$$a^2 = b^2 + c^2$$

- Segunda Lei de Kepler: “Lei das Áreas”

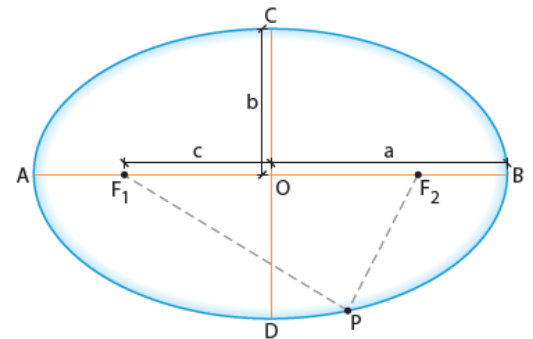
A velocidade areal de cada planeta é constante em sua órbita.

Como consequência, temos que a velocidade escalar orbital **não** é uniforme, sendo máxima no periélio e mínima no afélio.

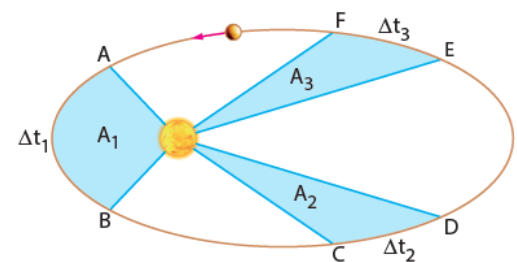
$$v_{areal} = \frac{A_1}{\Delta t_1} = \frac{A_2}{\Delta t_2} = \frac{A_3}{\Delta t_3}$$



Órbita elíptica (fora de escala)



Uma elipse é o conjunto dos pontos $P(x,y)$ no plano tais que a soma das distâncias de P a dois pontos fixos, chamados de focos F_1 e F_2 , é constante ($2a$).



Lei das áreas

Na figura acima, se os tempos para que o planeta percorra os arcos AB , CD e EF forem iguais, então as áreas A_1 , A_2 e A_3 serão iguais. Portanto, também é correto dizer que: *a linha que une cada planeta ao Sol, varre áreas iguais em tempos iguais.*

Sendo a e b respectivamente o semieixo maior e menor de uma elipse, e sendo P o período orbital do astro, a velocidade areal pode ser estimada por:

$$v_{areal} = \frac{A}{\Delta t} = \frac{\pi ab}{P}$$

- Terceira Lei de Kepler: “Lei Harmônica”

O quadrado do período orbital dos planetas é diretamente proporcional ao cubo dos semieixos maiores de suas órbitas elípticas.

Considere um corpo de massa m orbitando um astro M , com $m \ll M$ (lê-se m muito menor que M). Sendo a o semieixo maior da órbita, podemos expressar o período P como:

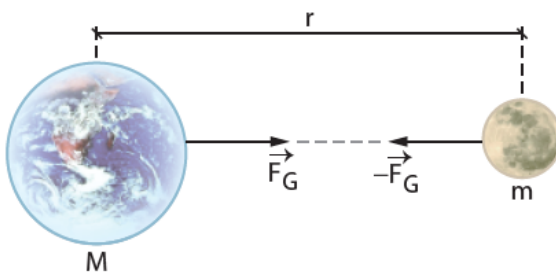
$$P^2 = k \cdot a^3$$

Onde: $k = \frac{4\pi^2}{GM}$ (constante kepleriana)

Se medirmos P em **anos**, e a em **unidades astronômicas** (distância média da Terra ao Sol), então $k = 1$, e podemos escrever a Terceira Lei de Kepler como:

$$P^2 = a^3$$

Força Gravitacional



Força gravitacional

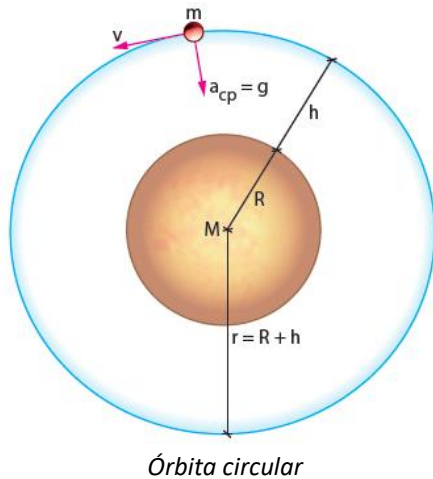
$$F_G = \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2}$$

Observações:

- A força gravitacional F_G é sempre de atração.
- A força gravitacional não depende do meio onde os corpos se encontram imersos.
- A constante da gravitação universal G teve seu valor comprovado experimentalmente por Henry Cavendish por meio de um instrumento chamado balança de torção. Seu valor, aproximado, é:

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2}$$

Aceleração Gravitacional



$$g = \frac{G \cdot M}{(R + h)^2}$$

Observações:

- Em uma órbita circular, a aceleração gravitacional aponta para o centro da órbita, ou seja, é igual a aceleração centrípeta $g = a_{cp}$.
- R é o raio do astro M .
- h é a altitude do corpo m .

Velocidade Orbital

Considere um corpo de massa m em órbita circular e uniforme (MCU) em torno de um astro de massa M , com $m \ll M$ (lê-se m muito menor que M) separados por uma distância $r = R + h$. É válido que:

$$\left| \begin{array}{l} a_{cp} = \frac{v^2}{r} \\ g = \frac{GM}{r^2} \end{array} \right. \Rightarrow a_{cp} = g \Rightarrow \frac{v^2}{r} = \frac{GM}{r^2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

Energias

- Energia Cinética (K):

$$K = \frac{mv^2}{2}$$

- Energia Potencial Gravitacional (U):

$$U = -\frac{GMm}{r}$$

- Lei da conservação da Energia:

A energia não pode ser criada ou destruída; pode apenas ser transformada, com sua quantidade total permanecendo constante.

Define-se como energia total ou mecânica (E) de um sistema, a soma das energias cinética e potencial. Para um corpo de massa m orbitando um astro M sob ação exclusiva da força gravitacional, da Lei da Conservação da Energia, a equação da energia mecânica é:

$$E = K + U = \frac{mv^2}{2} - \frac{GMm}{r}$$

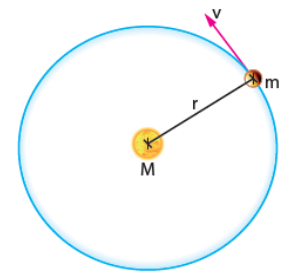
Estudo das Órbitas

- Órbitas Circulares:

Classificada como uma órbita fechada. Para que isso aconteça, módulo da energia potencial gravitacional deve ser maior que o da energia cinética $|U| > |K|$; consequentemente, a energia mecânica é negativa ($E < 0$).

Relações válidas para as órbitas circulares:

$$\left| \begin{array}{l} K = \frac{mv^2}{2} \\ v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \end{array} \right. \Rightarrow \boxed{K = \frac{GMm}{2r}} \quad \left| \begin{array}{l} K = \frac{GMm}{2r} \\ U = -\frac{GMm}{r} \end{array} \right. \Rightarrow \boxed{U = -2K} \quad \left| \begin{array}{l} E = K + U \\ U = -2K \end{array} \right. \Rightarrow \boxed{E = -K = -\frac{GMm}{2r}}$$



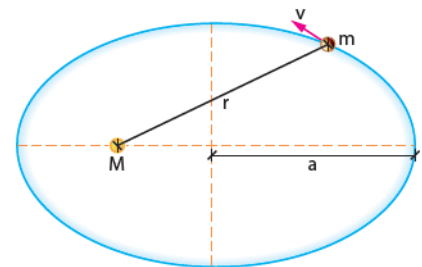
Órbita circular

- Órbitas Elípticas:

Assim como as órbitas circulares, as órbitas elípticas também são fechadas. Para que isso aconteça, módulo da energia potencial gravitacional deve ser maior que o da energia cinética $|U| > |K|$; consequentemente, a energia mecânica também será negativa ($E < 0$).

Em órbitas elípticas, de semieixo maior a , demonstra-se que a energia mecânica é:

$$\boxed{E = -\frac{GMm}{2a}}$$



Órbita elíptica

Já a velocidade orbital é dada por:

$$\left| \begin{array}{l} E = \frac{mv^2}{2} - \frac{GMm}{r} \\ E = -\frac{GMm}{2a} \end{array} \right. \Rightarrow -\frac{GMm}{2a} = \frac{mv^2}{2} - \frac{GMm}{r} \Rightarrow v^2 = 2\frac{GM}{r} - \frac{GM}{a} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v^2 = GM \cdot \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) \Rightarrow \boxed{v^2 = \mu \cdot \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}, \text{ onde: } \mu = GM$$

Para um astro orbitando o Sol, vale:

$$\frac{P^2[\text{anos}]}{a^3[\text{ua}]} = \frac{4\pi^2}{GM_{\text{Sol}}} = 1 \Rightarrow \mu = GM_{\text{Sol}} = 4\pi^2$$

- Órbitas Parabólicas:

Órbitas parabólicas devem ser associadas a situação em que a energia cinética é igual em módulo a energia potencial gravitacional $|K| = |U|$. Esta igualdade é condição suficiente para garantir que o astro “escape” da órbita e que, portanto, torne-se aberta. A energia mecânica em uma órbita parabólica é igual a zero ($E = 0$).

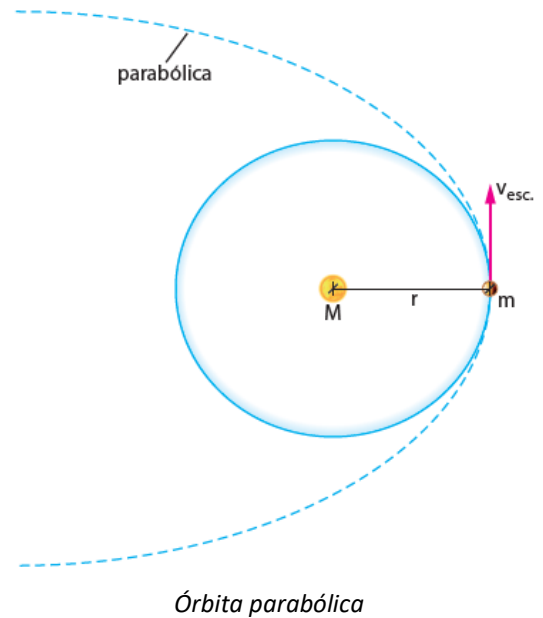
A velocidade de escape v_{esc} é a velocidade tangencial mínima necessária para o corpo escapar da órbita fechada, portanto:

$$\frac{m \cdot v_{esc}^2}{2} - \frac{GMm}{r} = 0 \Rightarrow \frac{m \cdot v_{esc}^2}{2} = \frac{GMm}{r} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

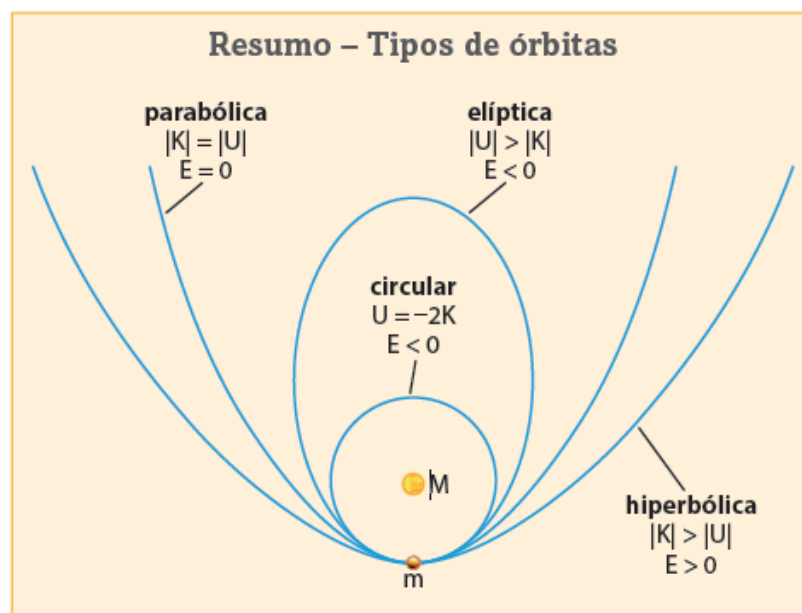
Comparando com a velocidade em órbitas circulares (v_{cir}), temos:

$$\left| \begin{array}{l} v_{cir} = \sqrt{\frac{GM}{r}} \\ v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{r}} \end{array} \right. \Rightarrow v_{esc} = v_{cir} \cdot \sqrt{2}$$



- Órbitas Hiperbólicas:

Em órbitas hiperbólicas, a energia cinética é maior que o módulo da energia potencial gravitacional $|K| > |U|$ o que faz a órbita ser aberta. Neste caso a energia mecânica é positiva ($E > 0$).



Configurações Planetárias

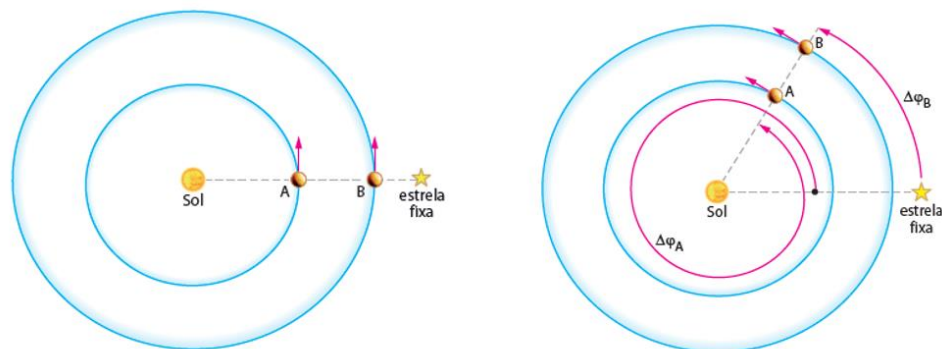
As posições relativas do Sol, da Terra e de um planeta definem as *Configurações Planetárias*. O esquema abaixo mostra as possíveis configurações planetárias de um planeta interior **A** (Mercúrio ou Vênus) e de um planeta superior **B** (demais planetas) em relação a Terra.



Período Sideral e Sinódico

Define-se período sideral, do latim *sidereum*, em relação ao céu, de um planeta P como o intervalo de tempo real de translação em torno do Sol, em relação a uma estrela fixa distante.

Já o período sinódico S é o intervalo de tempo entre duas configurações idênticas e sucessivas. É o período de revolução aparente de um planeta, em relação a Terra.



Período sinódico é o intervalo de tempo entre duas configurações idênticas e sucessivas.

Para dois astros A e B orbitando uma estrela no **mesmo sentido**, o período sinódico é dado por:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{P_A} - \frac{1}{P_B}$$

Onde P_A é o período sideral do astro de **menor** raio orbital e P_B o período sideral do astro de **maior** raio orbital.

Parte 2: Fotometria

Os fótons

Como avaliar as características das estrelas? As ondas emitidas pelos objetos astronômicos é o elemento chave para o entendimento da astrofísica. Informações sobre a temperatura, distância, velocidade, composição química e estado dinâmico desses objetos são obtidas a partir da interpretação da radiação por eles emitida. Essa radiação é chamada onda eletromagnética.

Em 1905, Einstein propôs que as ondas eletromagnéticas eram quantizadas, ou seja, encontradas apenas em múltiplos inteiros de uma quantidade elementar, o *quantum*. Hoje, a quantidade elementar de radiação eletromagnética é chamada de **fóton**. Segundo Einstein, um único fóton possui energia E de intensidade diretamente proporcional à sua frequência f . Matematicamente, temos:

$$E = h \cdot f$$

Onde h é a constante de Planck, que tem valor: $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s} = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV.s}$.

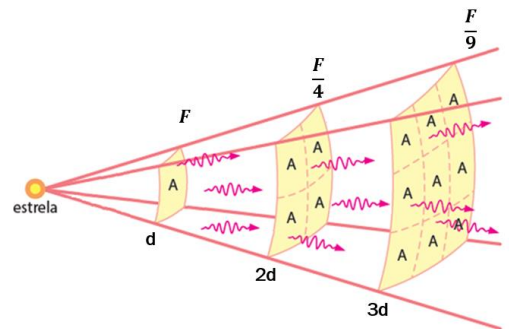
Uma vez que as velocidades das ondas eletromagnéticas são iguais no vácuo $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, também é correto:

$$\begin{cases} c = \lambda \cdot f \\ E = h \cdot f \end{cases} \Rightarrow E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Fluxo luminoso

Característica luminosa que varia com a distância de observação (aparente). O fluxo luminoso também é chamado **brilho**. Corresponde à energia medida ΔE_M , por unidade de área A , por unidade de tempo Δt .

$$F = \frac{\Delta E_M}{A \cdot \Delta t} \quad [F] = \frac{J}{m^2 \cdot s} = \frac{W}{m^2}$$



A medida que nos afastamos, a luz é espalhada por uma área maior e o fluxo luminoso (brilho) diminui.

Luminosidade

Característica luminosa que **não varia** com a distância de observação (real). Corresponde à energia total emitida (ΔE_T), em todas as direções, por unidade de tempo Δt . A luminosidade das estrelas depende de fatores próprios como o raio R e a temperatura T .

$$L = \frac{\Delta E_T}{\Delta t}$$

$$[L] = \frac{J}{s} = W$$

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

(Lei de Stefan-Boltzmann)

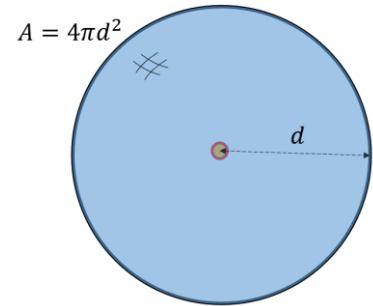
Onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann, que tem valor: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$.

Atenção:

Caso $\Delta E_M = \Delta E_T$, temos:

$$F = \frac{\Delta E_T}{A \cdot \Delta t} = \frac{L}{A} \Rightarrow \boxed{F = \frac{L}{4\pi d^2}}$$

Onde d é a distância de observação.

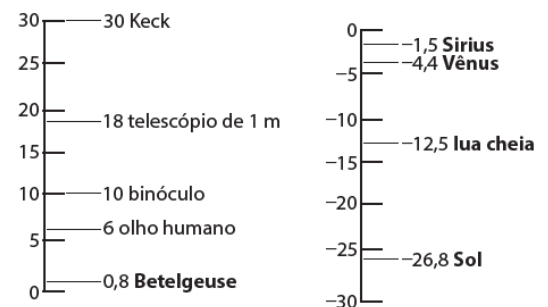


Situação em que a energia medida é igual a energia total emitida pelo astro.

Magnitudes

A escala de magnitude é utilizada em Astronomia para representar o brilho de um astro. É importante ressaltar que quanto **maior** a magnitude, **menor** é o brilho.

- **Magnitude aparente (m):** número associado ao brilho de um astro sem levar em conta a sua distância.
- **Magnitude absoluta (M):** magnitude teórica que expressa o brilho que um astro teria se estivesse a distância padrão de 10 parsecs (32,6 anos-luz).



Limite visual de instrumentos astronômicos e magnitude aparente de alguns astros.

Relação entre magnitude aparente e absoluta:

$$\boxed{m - M = 5 \log d - 5} \quad (\text{Equação de Pogson})$$

Onde d é a distância em parsecs.

Sejam dois astros **A** e **B**, suas magnitudes aparentes são relacionadas por:

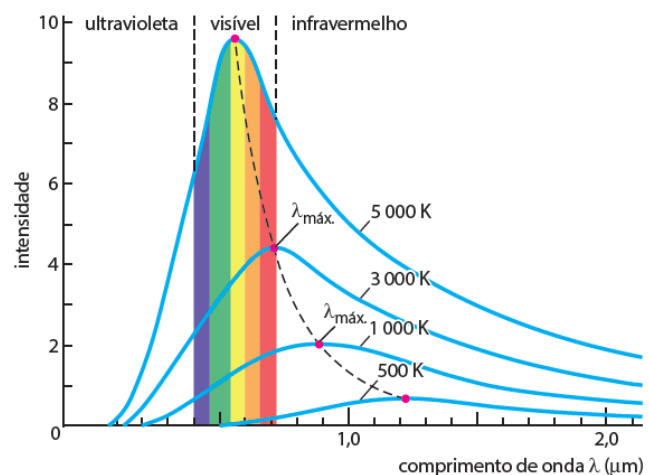
$$\boxed{m_A - m_B = -2,5 \log \left(\frac{F_A}{F_B} \right)} \quad (\text{Equação geral das magnitudes})$$

Lei de Wien

O comprimento de onda de pico da radiação emitida por um corpo negro ideal $\lambda_{\text{máx}}$ é inversamente proporcional à sua temperatura T .

Matematicamente:

$$\boxed{\lambda_{\text{máx}} \cdot T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ mK}}$$

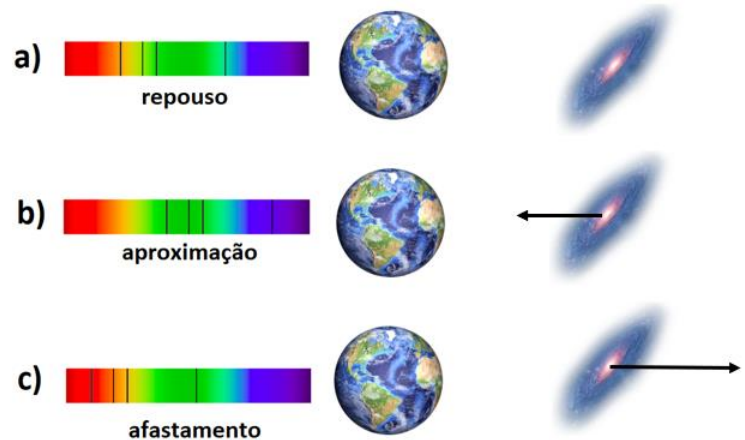


Efeito Doppler

Quando uma fonte emissora de luz se movimenta em relação ao observador, a radiação emitida pela fonte sofre efeito Doppler que se manifesta através da mudança da posição das linhas espectrais. Quando há aproximação entre o observador e a fonte, detecta-se desvio das linhas espectrais para o azul (fig.b), também conhecido como *blueshift*. Quando ocorre afastamento, há desvio para o vermelho, também denominado *redshift* (fig c).

Matematicamente:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c} = z$$



Representação do espectro de uma fonte em repouso (a), aproximando-se da Terra (b) e afastando-se da Terra (c).

Onde $\Delta\lambda$ é a diferença entre o comprimento de onda observado λ e o comprimento de onda com a fonte estacionária λ_0 , v é a velocidade radial em relação a fonte, z é um parâmetro chamado *redshift* e c é a velocidade da luz no vácuo ($3 \cdot 10^8$ m/s).

Importante:

- Se $\Delta\lambda < 0 \Rightarrow v < 0$, o objeto está se aproximando do observador (*blueshift*).
- Se $\Delta\lambda > 0 \Rightarrow v > 0$, o objeto está se afastando do observador (*redshift*).
- Se $\Delta\lambda = 0 \Rightarrow v = 0$, o objeto não possui velocidade radial em relação ao observador.

A equação anterior é válida para $z < 0,1$ (não relativístico). Para $z \geq 1$ (relativístico), temos:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \gamma \cdot \left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad (\gamma = \text{fator de Lorentz})$$

Lei de Hubble

A Lei de Hubble determina que a velocidade radial v é diretamente proporcional à distância d .

Matematicamente:

$$v = H_0 \cdot d$$

Onde H_0 é a constante de Hubble. A estimativa atual de H_0 é de, aproximadamente, 67,08 km/(s.Mpc).

A Lei de Hubble é uma das principais evidências que o universo está se expandindo. O trabalho de Edwin Hubble formou a base da teoria do *Big Bang* para a origem do universo.

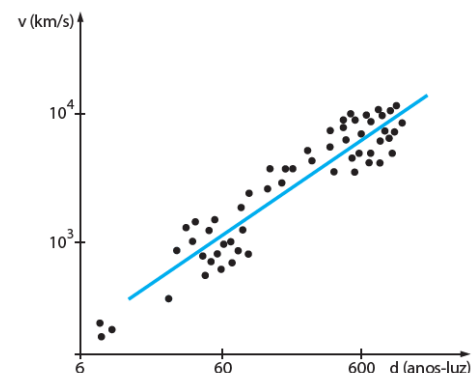


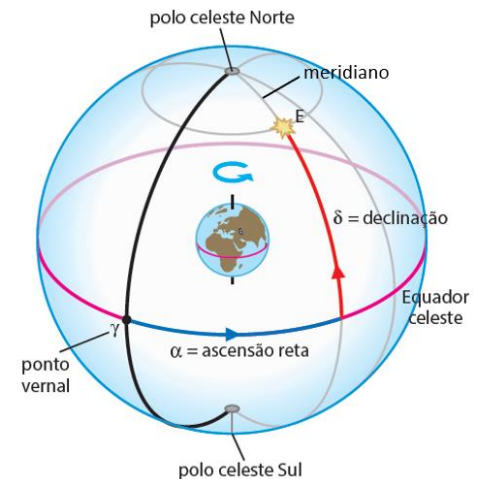
Gráfico da Lei de Hubble mostrando a relação entre distância e velocidade de afastamento.

Parte 3: Astronomia de Posição

Sistemas de Coordenadas

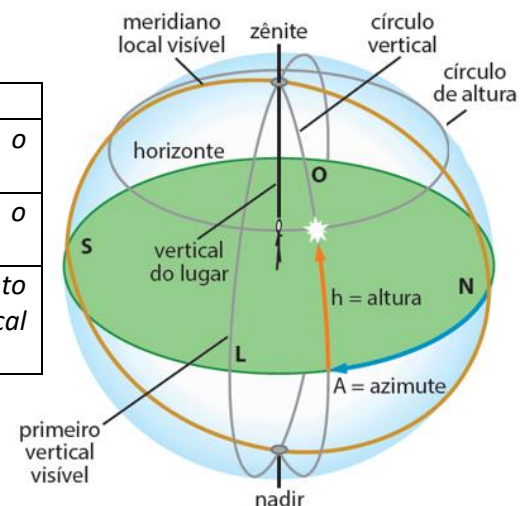
• Coordenadas Equatoriais

Coordenadas	Intervalo	Medido
$\delta = \text{declinação}$	$-90^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$	Sobre o meridiano do astro, com origem no equador celeste até o astro. Sinais: (+) Norte; (-) Sul.
$\alpha = \text{ascensão reta}$	$0h \leq \alpha < 24h$	Sobre o equador, desde o ponto vernal até o meridiano do astro. Sentido: Para Leste.



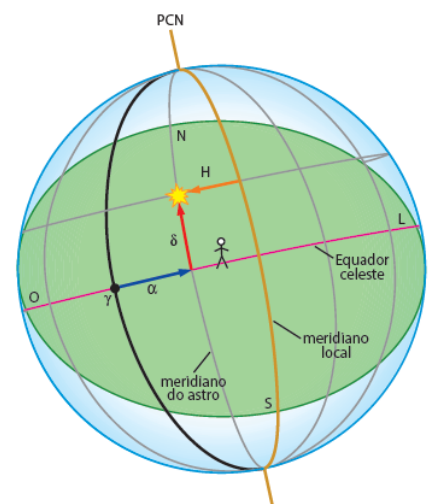
• Coordenadas Horizontais

Coordenadas	Intervalo	Medido
$h = \text{altura}$	$-90^\circ \leq h \leq 90^\circ$	Sobre o círculo vertical, desde o horizonte até o astro.
$z = \text{distância zenital}$	$0^\circ \leq z \leq 180^\circ$	Sobre o círculo vertical, desde o zênite até o astro.
$A = \text{azimute}$	$0^\circ \leq A < 360^\circ$	Sobre o horizonte, desde o ponto cardeal Norte até o círculo vertical do astro. NLSO (arbitrário).



• Coordenadas Horárias

Coordenadas	Intervalo	Medido
$\delta = \text{declinação}$	$-90^\circ \leq \delta \leq +90^\circ$	Sobre o meridiano do astro, com origem no equador celeste até o astro. Sinais: (+) Norte; (-) Sul.
$H = \text{ângulo horário}$	$-12h < H \leq 12h$	Sobre o equador celeste, com origem no meridiano local até o meridiano do astro. Sinais: (-) Leste; (+) Oeste.

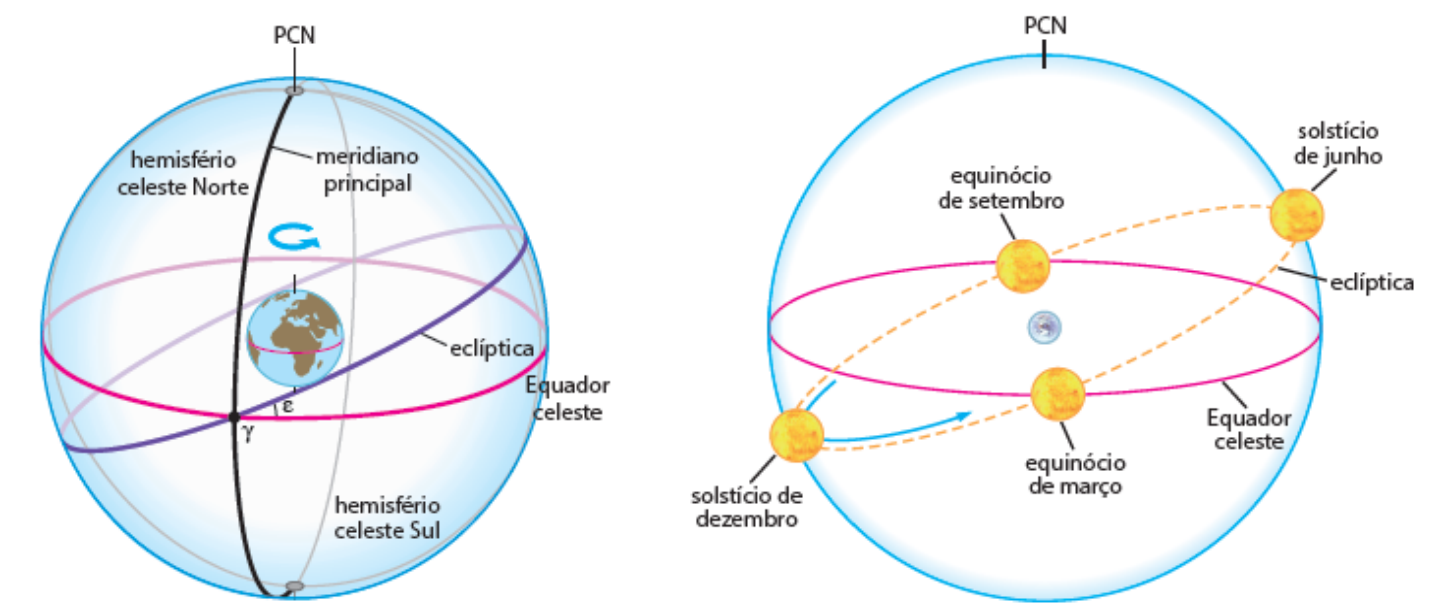


Define-se como **Tempo Sideral** ou **Hora Sideral** (T_{SL}) o ângulo horário do ponto vernal. Matematicamente:

$$T_{SL} = H + \alpha$$

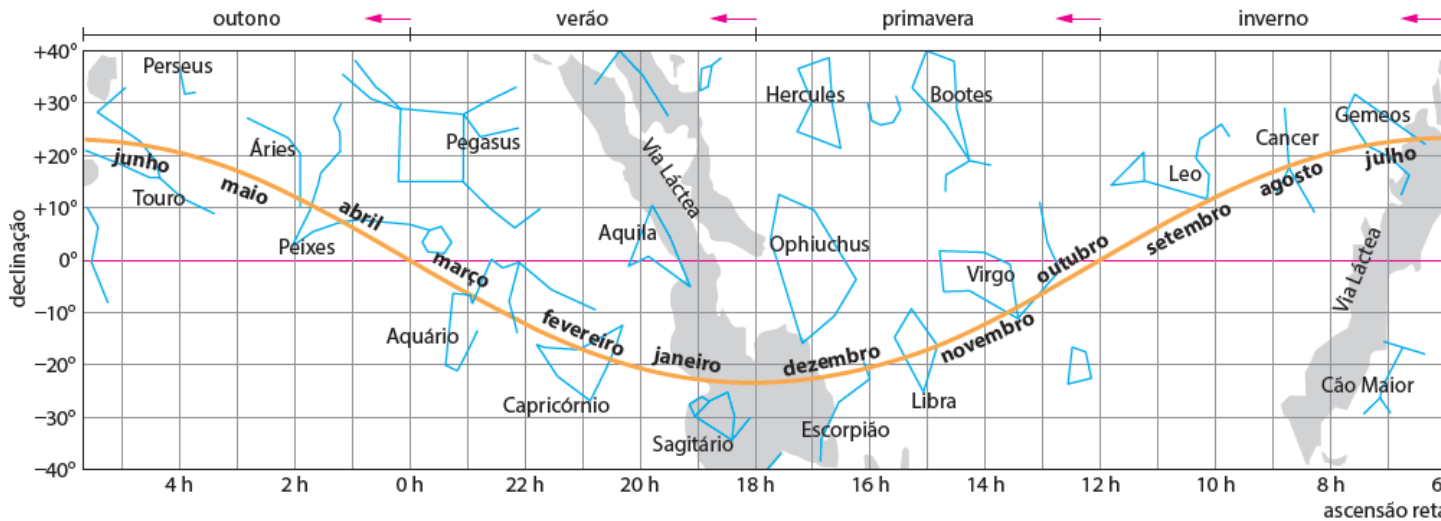
O Sol nas coordenadas equatoriais

Devido à inclinação do eixo de rotação da Terra, o Sol tem uma trajetória anual aparente, a **ecliptica**, inclinada em relação ao equador. Isto é a origem das estações do ano.



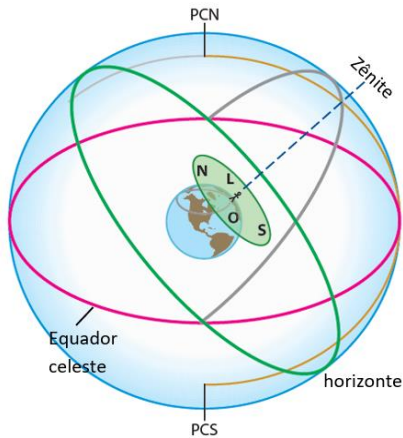
Em um ano, o Sol ocupa quatro posições características na eclíptica:

Evento	Data (~)	δ_{Sol}	α_{Sol}
Equinócio de março	21/03	0^0	0 h
Solstício de junho	22/06	$+23^0 27'$	6 h
Equinócio de setembro	21/09	0^0	12 h
Solstício de dezembro	22/12	$-23^0 27'$	18 h

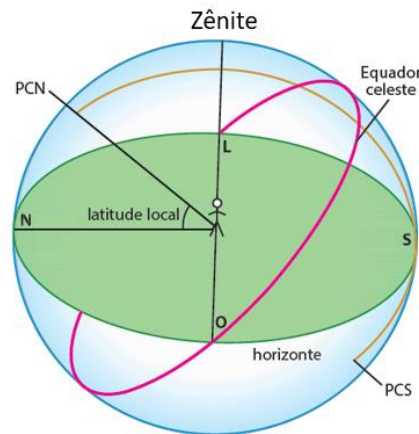


Detalhe da esfera celeste em coordenadas equatoriais, mostrando a eclíptica com os meses que correspondem à posição do Sol. O início das estações do ano, para o hemisfério Sul, está assinalado acima.

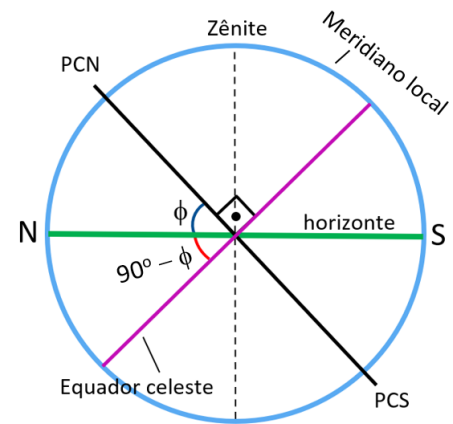
Relação latitude e altura do Polo Celeste visível



O horizonte astronômico é o plano tangente à superfície da Terra no lugar onde se encontra o observador.



A altura do polo celeste visível é sempre igual a latitude geográfica local (ϕ).



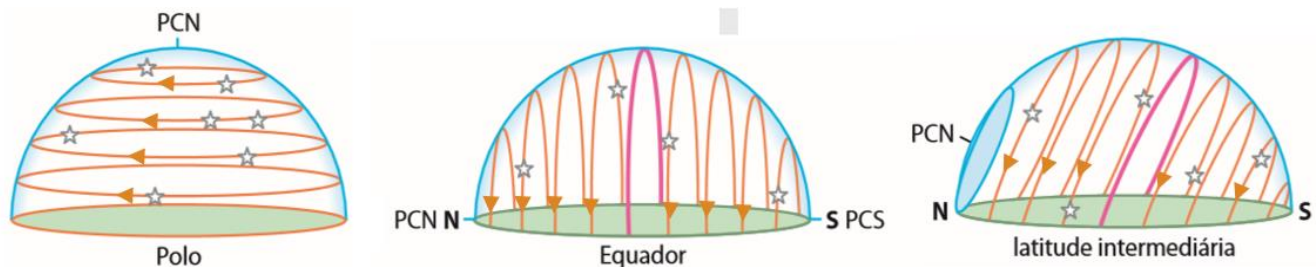
Representação meridiana

Meridianos

- **Visível ou local:** semicírculo que liga os pontos cardeais norte e sul passando pelo zênite.
- **Superior:** semicírculo que liga o polo celeste norte ao polo celeste sul passando pelo zênite.
- **Inferior:** semicírculo que liga o polo celeste norte ao polo celeste sul passando pelo nadir.

Fenômenos do movimento diurno da Terra

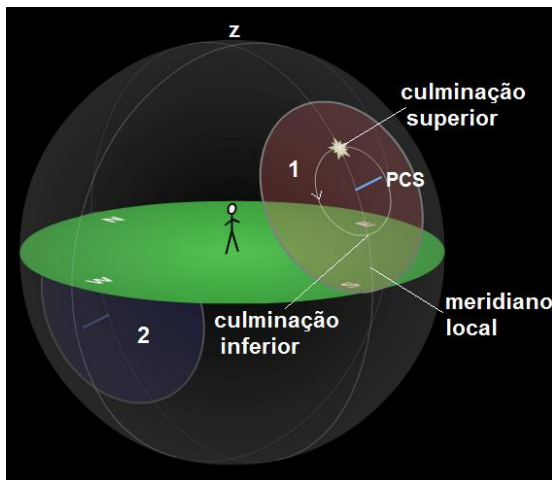
O movimento diurno dos astros, de leste para oeste, é um reflexo do movimento de rotação da Terra, de oeste para leste. Ao longo do dia, os astros descrevem no céu arcos paralelos ao Equador Celeste. A orientação desses arcos em relação ao horizonte depende da latitude do lugar.



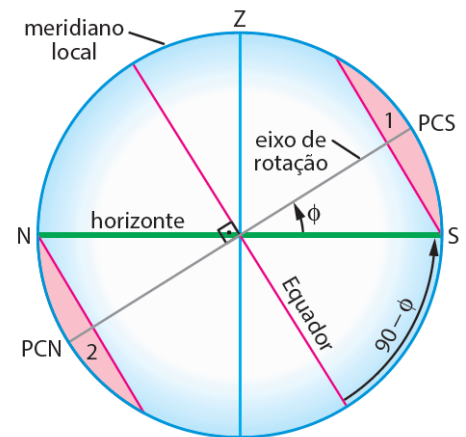
Movimento diurno aparente dos astros de acordo com a latitude.

- **Nascer e ocaso:** são instantes em que o astro aparece e desaparecendo horizonte, respectivamente. Nesses instantes, por definição, a altura do astro é zero, e sua distância zenital é 90° .
- **Passagem meridiana:** é o 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.

- **Estrelas circumpolares:** são aquelas que não têm nascer ou ocaso, descrevendo todo seu círculo diurno sempre baixo ou acima do horizonte. Se a estrela não nasce, é chamada de circumpolar não visível; quando não há ocaso é circumpolar visível.



- 1 – Região com estrelas que não se põem (circumpolares visíveis) para a latitude (ϕ) representada.
 2 – Região com estrelas que não nascem (circumpolares não visíveis).

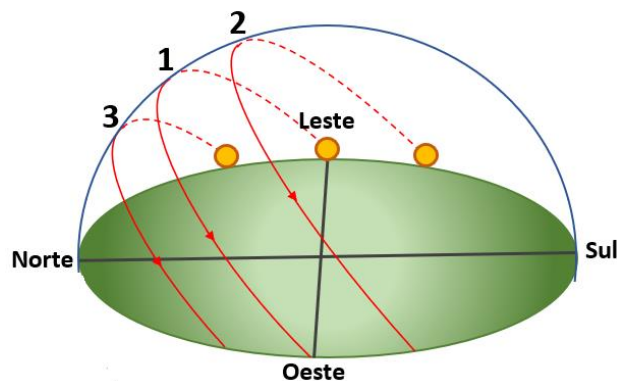


Representação Meridiana

- 1 – Região com estrelas circumpolares visíveis.
 2 – Região com estrelas circumpolares não visíveis.

Fenômenos do movimento anual da Terra

- **O nascer do Sol ao longo das estações:** A inclinação do eixo terrestre, associado ao movimento de translação da Terra, faz com que o Sol tenha o nascente e o poente em diferentes pontos do horizonte ao longo do ano.



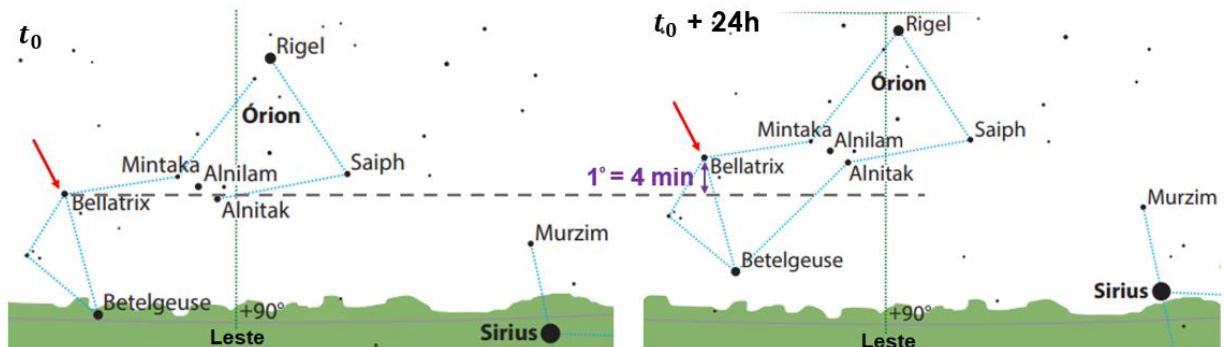
Movimento do Sol ao longo do ano para um observador cuja latitude é próxima a São Paulo.

- 1 – **Trajetória do Sol nos Equinócios.** O Sol nasce exatamente no ponto cardinal leste e se põe no ponto cardinal oeste.
 2 – **Trajetória do Sol no Solstício de dezembro.** O Sol nasce com o máximo afastamento à direita do ponto cardinal leste.
 3 – **Trajetória do Sol no Solstício de junho.** O Sol nasce com o máximo afastamento à esquerda do ponto cardinal leste.



Nascer do Sol em diferentes épocas do ano. A linha contínua (1) indica a posição do ponto cardinal leste.

- **Mudança do aspecto do céu:** o movimento diurno aparente das estrelas é causado pela rotação da Terra em torno de seu eixo, fazendo com que as estrelas pareçam se mover de leste para oeste a cada noite. Já o movimento anual aparente das estrelas é mais lento e só pode ser percebido ao compararmos a posição das estrelas em uma mesma hora ao longo de várias semanas ou meses.



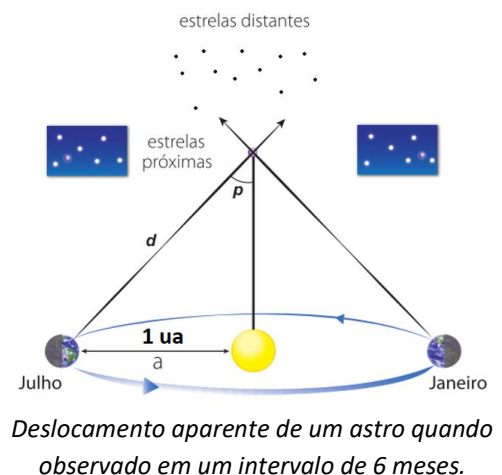
Se você observar uma estrela (Bellatrix, por exemplo), há mesma hora da noite, após 24 h ela aparecerá no céu deslocada 1° (ou 4 min) para oeste em relação à noite anterior.

Isso acontece porque a Terra percorre 360° em torno do Sol em aproximadamente 365 dias, o que dá quase 1° (ou 4 min) de deslocamento a cada 24 horas. Como o sentido do movimento de translação da Terra é para o leste, temos que a cada noite as estrelas aparecem 1° (ou 4 min) deslocada no sentido contrário, ou seja, para oeste em relação à noite anterior. Portanto, após cerca de 360 dias as estrelas ocuparão praticamente a mesma posição no céu no mesmo horário.

- **Paralaxe (p):** é a alteração da posição aparente de um objeto devido ao movimento do observador. Para se medir a paralaxe das estrelas, comparamos imagens de uma mesma região do céu tomadas em épocas diferentes, por exemplo, com seis meses de diferença. Neste caso, o raio da linha de base será aproximadamente uma unidade astronômica (1 ua). Matematicamente:

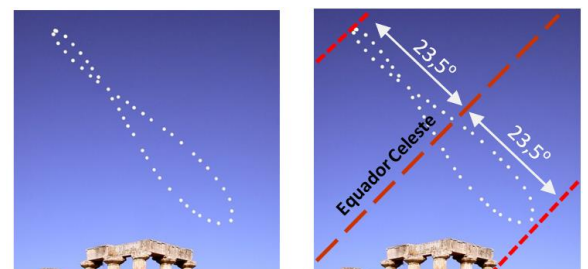
$$p = \frac{1 \text{ ua}}{d}$$

Onde p é o ângulo de paralaxe medido em **segundo de arco (")** é d a distância em **parsec (pc)**.



- **Analema:** Se marcamos a posição do Sol exatamente ao meio-dia civil (meio-dia marcado pelo relógio) durante um ano, veremos que as posições do Sol traçam a figura de um "oito". Esta figura é chamada analema.

Este fenômeno ocorre pois a velocidade de translação da Terra não é constante em sua órbita, fazendo que em determinadas épocas do ano o Sol pareça "adiantado" no céu em relação ao tempo civil, e em outras "atrasado".



Analema

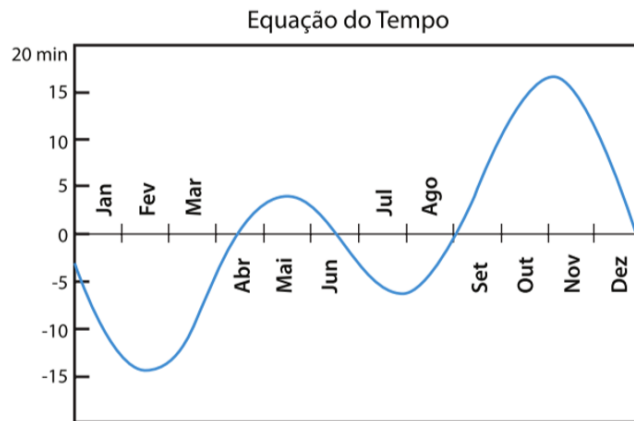
- **Medidas de Tempo:**

Tempo solar local aparente ou verdadeiro: dado pela posição aparente do centro do disco solar (intuitivo).

Tempo solar médio: dado pela posição do centro do disco solar médio. O Sol médio é um objeto fictício que se move ao longo do equador celeste com velocidade uniforme, enquanto que o Sol verdadeiro move-se ao longo da eclíptica com um ritmo não uniforme (devido principalmente à elipticidade da órbita da Terra e as perturbações da Lua e dos planetas).

Equação do tempo: diferença entre o Sol verdadeiro e o Sol médio é conhecida como equação do tempo.

$$\text{Equação do tempo} = \text{Tempo solar médio} - \text{Tempo solar verdadeiro}$$



O gráfico ao lado mostra a diferença entre o dia solar verdadeiro e o dia solar médio obtido através da equação do tempo.

Tempo civil: é a escala de tempo que utilizamos no nosso dia a dia (marcada pelos relógios).

Tempo universal (UT, *Universal Time*): é o tempo civil em *Greenwich*.

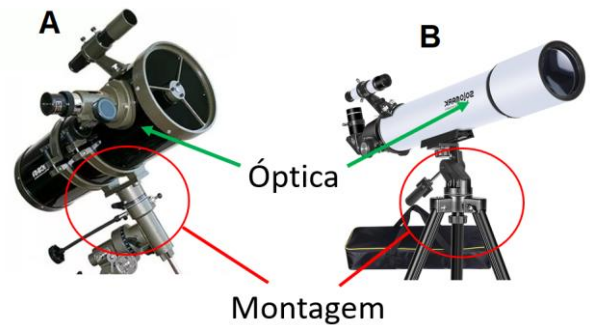
Parte 4: Instrumentação

Telescópios

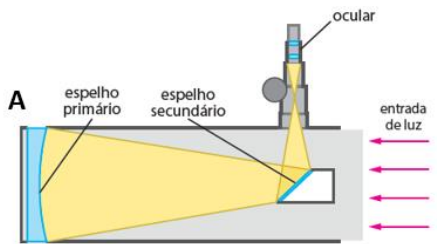
O telescópio é um instrumento capaz de estender a capacidade dos olhos humanos em observar e mensurar objetos longínquos.

Do ponto de vista óptico, podemos classificar os telescópios como refletores (telescópio A) e refratores (telescópio B).

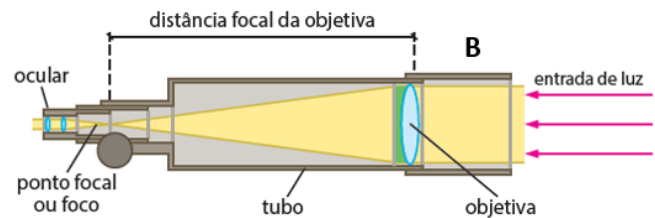
Define-se montagem como a estrutura que dará suporte e movimentação ao telescópio. Existem dois tipos de montagens mais utilizadas pelos astrônomos: a equatorial (telescópio A) e a altazimutal (telescópio B).



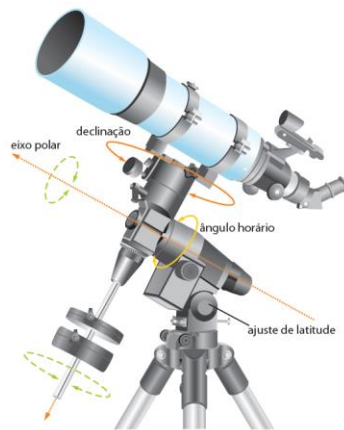
A – Telescópio refletor em montagem equatorial.
B – Telescópio refrator em montagem altazimutal.



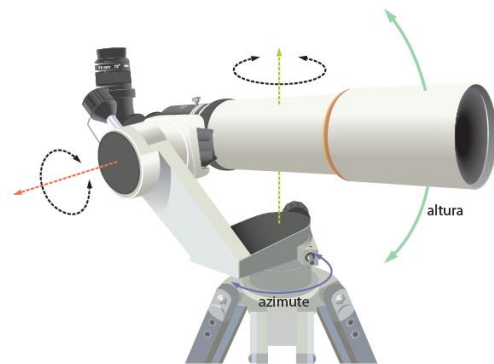
A - Óptica refletora



B - Óptica refratora

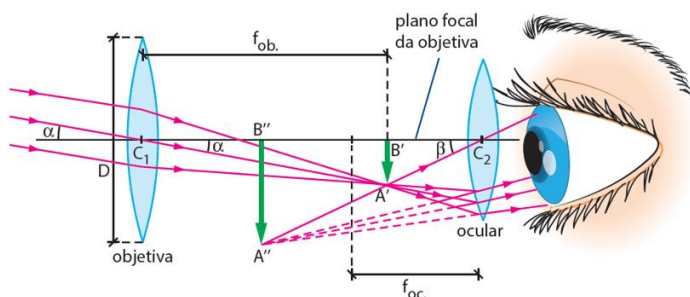


Movimentos da montagem equatorial



Movimentos da montagem altazimutal

- O caminho da luz



D = diâmetro da objetiva.

f_{ob} = distância focal da objetiva.

f_{oc} = distância focal da ocular.

Conceitos físicos de instrumentação

- **Razão focal (R):** Expressa o poder de um telescópio em produzir imagens brilhantes. Atenção: quanto maior a razão focal, mais tempo de exposição o telescópio precisa para produzir uma imagem brilhante. A razão focal é obtida através da relação entre a distância focal da objetiva f_{ob} e o seu diâmetro D .

Matematicamente:

$$R = \frac{f_{ob}}{D}$$

Usualmente a razão focal é apresentada pela notação f/n , onde n é a razão focal. Exemplo: Um telescópio $f/10$ possui $R = 10$.

- **Poder de resolução (θ_R):** É o menor ângulo a partir do qual é possível distinguir dois pontos a uma certa distância. Se a distância angular entre dois objetos for menor que θ_R , eles serão observados como se estivessem unidos na imagem.

Matematicamente:

$$\sin \theta_R \approx \theta_R = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D}$$

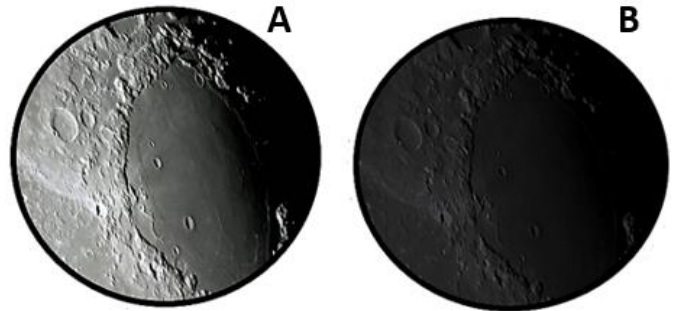
Onde D é a abertura do instrumento utilizado e λ o comprimento de onda incidente. É importante ressaltar que o valor de θ_R é medido em **radianos** e, desta forma, tanto λ quanto D precisam estar com a mesma unidade de medida.

- **Aumento ou Magnificação (A):** Propriedade da **ocular** em aumentar a imagem.

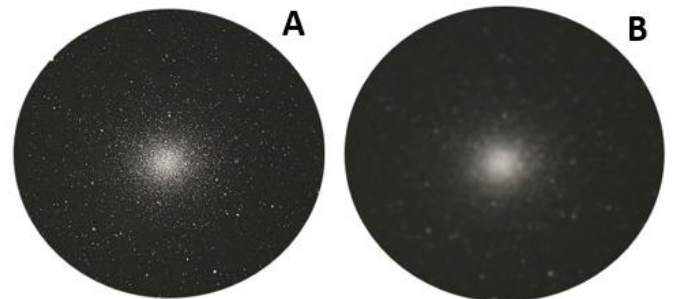
Matematicamente:

$$A = \frac{f_{ob}}{f_{oc}}$$

Onde f_{ob} é a distância focal da objetiva e f_{oc} é a distância focal da ocular. Usualmente o aumento ou magnificação é apresentada pela notação $n \times$, onde n é o aumento. Exemplo: Um telescópio $100 \times$, possui $A = 100$.



Considerando o mesmo tempo de exposição, podemos afirmar que o telescópio que produziu a imagem A possui menor razão focal que o telescópio que produziu a imagem B.



Nas imagens acima, a resolução angular do telescópio A é menor do que a do telescópio B.



Note que à medida que aumentamos a imagem, há diminuição do brilho, pois a quantidade de fótons que chega na objetiva é sempre a mesma. Eles estão sendo apenas distanciados!

Tabelas e Constantes

Alfabeto Grego

Maiúscula	Minúscula	Pronúncia
A	α	Alfa
B	β	Beta
Γ	γ	Gama
Δ	δ	Delta
E	ϵ, ε	Épsilon
Z	ζ	Zeta
H	η	Eta
Θ	θ	Teta

Maiúscula	Minúscula	Pronúncia
I	ι	Iota
K	κ	Capa
Λ	λ	Lambda
M	μ	Mi
N	ν	Ni
Ξ	ξ	Csi
O	$\omicron$	Ômicron
Π	π, ϖ	Pi

Maiúscula	Minúscula	Pronúncia
P	ρ	Rô
Σ	σ	Sigma
T	τ	Tau
Υ	υ	Úpsilon
Φ	ϕ, φ	Fi
X	χ	Qui
Ψ	ψ	Psi
Ω	ω	Ômega

Constantes Universais

Nome	Símbolo	Valor	Unidade
Carga Elementar do Elétron	e	$1,602 \times 10^{-19}$	C
Constante de Avogadro	N_A	$6,022 \times 10^{23}$	mol^{-1}
Constante de Boltzmann	k_B	$1,381 \times 10^{-23}$	$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$
Constante de dispersão de Wien	b	$2,898 \times 10^{-3}$	$\text{m} \cdot \text{K}$
Constante da Gravitação Universal	G	$6,674 \times 10^{-11}$	$\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
Constante de Hubble	H_0	$67,80 \pm 0,77$	$\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}$
Constante de Planck	h	$6,626 \times 10^{-34}$	$\text{J} \cdot \text{s}$
Constante de Stefan-Boltzmann	σ	$5,670 \times 10^{-8}$	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
Permeabilidade no vácuo	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$	$\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$
Constante dos Gases Ideais	R	8,314	$\text{J} \cdot \text{K} \cdot \text{mol}^{-1}$
Permissividade no Vácuo	ϵ_0	$8,854 \times 10^{-12}$	$\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$
Velocidade da Luz (vácuo)	c	$2,998 \times 10^8$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Unidades e Quantidades Físicas

Nome	Símbolo	Valor	Unidade
Ano-luz	1 a.l.	$9,461 \times 10^{15}$	m
Diâmetro da pupila humana		6	mm
Jansky	1 Jy	10^{-26}	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$
Luminosidade Solar	$L_{\odot}$	$3,828 \times 10^{26}$	W
Magnitude absoluta do Sol	$M_{\odot}$	4,83	
Massa de repouso do próton	m_p	$1,673 \times 10^{-27}$	kg
Massa de repouso do nêutron	m_n	$1,675 \times 10^{-27}$	kg
Massa de repouso do elétron	m_e	$9,109 \times 10^{-31}$	kg
Obliquidade da Eclíptica	ϵ	$23^\circ 26'$	
Parsec	1 pc	$3,086 \times 10^{16}$	m
		206 265	ua
		3,262	al
Polegada	1 pol	2,54	cm
Radiano	1 rad	$180^\circ/\pi \approx 57,3^\circ = 206\,265''$	
Unidade Astronômica	1 ua	$1,496 \times 10^{11}$	m

Unidades de Tempo

<i>Ano Anomalístico</i>	365,2596 dias (entre periélios)
<i>Ano Civil (Calendário Gregoriano)</i>	365,2425 dias
<i>Ano Lunar</i>	354,367 dias
	12 meses sinódicos
<i>Ano Sideral</i>	365,2564 dias (estrelas fixas)
<i>Ano Tropical</i>	365,2422 dias (entre equinócios)
<i>Dia Sideral</i>	23 h 56 min 4,09 s (tempo solar médio)
	24 h (tempo sideral)
<i>Dia Solar Médio</i>	24 h (tempo solar)
	24 h 03 min 56,56 s (tempo sideral)
	1,00274 dias siderais
<i>Mês Anomalístico</i>	27,5546 dias (perigeu a perigeu)
<i>Mês Sinódico</i>	29,5306 dias (entre luas novas)
<i>Mês Sideral</i>	27,3217 dias (estrelas fixas)
<i>Mês Tropical</i>	27,3216 dias (equinício vernal)

Dados da Terra (⊕)**Dados do Sol (☉)**

<i>Massa</i>	$1,989 \times 10^{30}$ kg
<i>Raio</i>	$6,960 \times 10^8$ m
<i>Temperatura efetiva</i>	5785 K
<i>Luminosidade</i>	$3,9 \times 10^{26}$ W
<i>Magnitude visual aparente na banda V</i>	-26,78
<i>Magnitude visual absoluta na banda V</i>	+4,79
<i>Magnitude bolométrica absoluta</i>	+4,72
<i>Inclinação do Equador com a Eclíptica</i>	7° 15'
<i>Diâmetro angular aparente</i>	30'
<i>Distância ao centro da galáxia</i>	8,5 kpc

<i>Massa</i>	$5,974 \times 10^{24}$ kg
<i>Raio polar</i>	$6,357 \times 10^6$ m
<i>Raio Equatorial</i>	$6,378 \times 10^6$ m
<i>Raio da esfera de mesmo volume</i>	$6,371 \times 10^6$ m
<i>Perímetro aproximado da linha do equador</i>	40 000 km
<i>Volume</i>	$1,087 \times 10^{21}$ m ³
<i>Densidade média</i>	5,52 g/cm ³
<i>Constante Solar</i>	1 366 W/m ²
<i>Velocidade orbital média</i>	29,783 km/s
<i>Distância Média ao Sol</i>	$1,496 \times 10^{11}$ m
<i>Aceleração da gravidade (ao nível do mar a 45° de latitude)</i>	9,807 m/s ²

Dados da Lua

<i>Massa</i>	$7,348 \times 10^{22}$ kg
<i>Raio médio</i>	$1,738 \times 10^6$ km
<i>Distância média Terra-Lua</i>	$3,844 \times 10^8$ m
<i>Densidade Média</i>	3,36 g/cm ³
<i>Aceleração da Gravidade na superfície</i>	1,62 m/s ²
<i>Temperatura</i>	-170 °C a +120 °C
<i>Inclinação média da órbita com a eclíptica</i>	5,145°

Dados do Sistema Solar

	<i>Mercúrio</i>	<i>Vênus</i>	<i>Terra</i>	<i>Marte</i>	<i>Júpiter</i>	<i>Saturno</i>	<i>Urano</i>	<i>Netuno</i>
Diâmetro Equatorial (km)	4 878	12 100	12 756	6 786	142 984	120 536	51 108	49 538
Massa ($M_{\oplus}$)	0,055	0,815	1	0,107	317,9	95,2	14,6	17,2
Distância média ao Sol (10^6 km)	57,9	108,5	149,6	227,9	778,3	1 423,6	2 867	4 488
Excentricidade da órbita	0,206	0,0068	0,0167	0,093	0,048	0,056	0,046	0,010
Inclinação do eixo em relação à normal ao plano da órbita	0,1°	177°	23° 27'	25° 59'	3° 05'	27° 44'	98°	30°
Período de revolução (d = dias, a = anos)	87,9 d	224,7 d	365,25 d	686,98 d	11,86 a	29,46 a	84,04 a	164,8 a
Período de Rotação (d = dias)	58,6 d	−243 d	23h 56min	24h 37min	9h 48min	10h 12min	−17h 54min	19h 06min
Densidade (g/cm³)	5,4	5,2	5,5	3,9	1,3	0,7	1,3	1,6
Gravidade superficial em relação à Terra ($g_{\oplus}$)	0,37	0,88	1	0,38	2,64	1,15	1,17	1,18

Guia de videoaulas

As aulas a seguir estão disponíveis na área exclusiva.

Capítulo 1	O Sistema Solar
aula 01	O Sol e os planetas
aula 02	Formação do Sistema Solar/ Corpos Menores I
aula 03	Corpos Menores II
aula 04	Distâncias em Astronomia
aula 05	Configurações planetárias
Capítulo 2	A Terra e a Lua
aula 06	A Terra e seus movimentos
aula 07	Estações do ano
aula 08	A Lua e suas fases
aula 09	Eclipses I
aula 10	Eclipses II
Capítulo 3	Reconhecimento do céu
aula 11	Constelações e asterismos
aula 12	A esfera celeste
aula 13	Explorando o céu
aula 14	Recursos para reconhecimento do céu
Capítulo 4	História da Astronomia
aula 15	Astronomia Antiga
aula 16	Nova ordem cosmológica
aula 17	Universo mecânico
aula 18	Geometria e Astronomia

Capítulo 5	Mecânica Celeste
aula 19	Leis de Kepler I
aula 20	Leis de Kepler II
aula 21	Mecânica de Newton I
aula 22	Mecânica de Newton II
aula 23	Astronáutica I
aula 24	Astronáutica II
Capítulo 6	Astronomia de Posição
aula 25	Sistemas de Coordenadas I
aula 26	Sistemas de Coordenadas II
aula 27	Variação das coordenadas e medidas de tempo
aula 28	Trigonometria esférica
Capítulo 7	Fotometria e Espectroscopia I
aula 29	Ondas
aula 30	O espectro eletromagnético
aula 31	Radiação Térmica
aula 32	Espectros luminosos
Capítulo 8	Fotometria e Espectroscopia II
aula 33	Grandezas típicas da radiação
aula 34	Magnitude: a escala de brilho dos astros I
aula 35	Magnitude: a escala de brilho dos astros II
aula 36	Efeito Doppler
aula 37	A expansão do Universo
Capítulo 9	Óptica e Telescópios I
aula 38	Lentes esféricas
aula 39	Conceitos físicos de instrumentação
aula 40	Telescópios refratores
aula 41	Espelhos esféricos
aula 42	Telescópios refletores
Capítulo 10	Óptica e Telescópios II
aula 44	Outros instrumentos astronômicos
aula 45	CCD e o efeito fotoelétrico
aula 46	Noções da teoria geral da relatividade
Capítulo 11	Estrelas
aula 47	O Sol: estrutura
aula 48	Tipos de estrelas: o diagrama HR
aula 49	O meio interestelar e a formação das estrelas
aula 50	O Sol: principais fenômenos
aula 51	Evolução pós-sequência principal
aula 52	Estágios finais da evolução estelar
Capítulo 12	O Universo
aula 54	Galáxias
aula 55	Cosmologia
aula 56	Astrobiologia

Processo de Seleção para as Olimpíadas Internacionais de Astronomia

OBA: Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica

Primeira prova para quem pretende participar de uma competição internacional de Astronomia. Ocorre no mês de maio, de forma presencial, no colégio onde o aluno estuda. Os alunos do ensino fundamental II (6º ao 9º ano) fazem a prova do Nível 3. Já os alunos do ensino médio (1º ao 3º ano) a prova do Nível 4. A prova é composta por 10 questões: 7 de Astronomia e 3 de Astronáutica. As provas anteriores estão disponíveis no site: www.oba.org.br em Provas e Gabaritos.



Provas Online

Os alunos do 9º ano (Nível 3) com nota maior ou igual a 9 pontos e os alunos do ensino médio (Nível 4) com nota maior ou igual a 7 pontos na OBA serão convidados a fazer três provas online. As provas acontecem nos meses de outubro, novembro e dezembro (os meses de aplicação podem sofrer pequenas alterações a cada edição). Cada prova é composta por 20 questões de múltipla escolha que devem ser resolvidas em até 2 horas. Os selecionados para essa fase receberam, por e-mail, um link e um código de acesso para entrarem no ambiente de prova. As provas anteriores estão disponíveis no site: www.oba.org.br em Seletivas.



Provas Presenciais

As três provas online (P_1 , P_2 e P_3) vão gerar uma média (P_M) obtida através da seguinte equação:
$$P_M = \frac{P_1 + 2P_2 + 3P_3}{6}$$

A partir de uma média, definida a cada edição, cerca de 300 estudantes serão convidados para as Provas Presenciais. As provas presenciais acontecem no mês de março no Hotel fazenda Ribeirão, na cidade de Barra do Pirai (RJ). Os estudantes serão avaliados em duas provas teóricas (T_1 e T_2) e duas provas observacionais: planetário (P_p) e prática do céu (P_c) (observação ou carta celeste). A nota final (NF) das provas presenciais será obtida através da seguinte equação:
$$NF = 0,3 T_1 + 0,4 T_2 + 0,1 P_p + 0,2 P_c$$



Treinamentos

Após a realização das Provas Presenciais, serão selecionados 40 estudantes para os Treinamentos conforme o seguinte critério:

- 5 estudantes meninas com as melhores notas finais;
- 5 estudantes de escolas públicas com as melhores notas finais;
- 5 estudantes do 1º ano do ensino médio*.

As demais vagas serão preenchidas pelos demais estudantes com as melhores notas finais.

* Pode haver superposição, ou seja, uma menina pode ser do 1º ano e também de escola pública.



Olimpíadas Internacionais de Astronomia

No final dos treinamentos, a comissão organizadora da OBA selecionará 5 estudantes que irão compor as equipes mistas* da OLAA (Olimpíada Latino-americana de Astronomia e Astronáutica) e também mais 5 estudantes que irão compor as equipes mistas da IOAA (*International Olympiad on Astronomy and Astrophysics*).

* A equipe deve ter pelo menos uma representante do sexo feminino.