# Aula 11: Distâncias Astronômicas

Maria de Fátima Oliveira Saraiva, Kepler de Souza Oliveira Filho & Alexei Machado Müller.

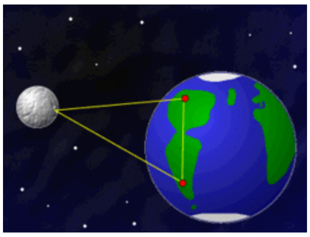


Ilustração do uso da triangulação para medir a distância da Terra à Lua.

**Unidades de medidas astronômicas:**

Unidade astronômica: UA
ano-luz: al
parsec: pc
**Lembre-se:**

1 kpc = 1 000 pc
1 Mpc = 1 000 000 pc

## Introdução

Prezado aluno

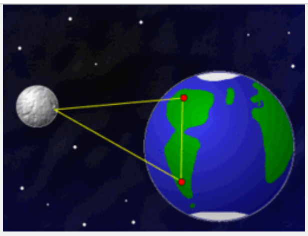
No dia a dia, quando precisamos medir distâncias, usamos réguas, trenas, ou eventualmente instrumentos mais sofisticados, como a trena eletrônica. No entanto, quando as distâncias são grandes, esses instrumentos não servem mias a nosso propósito, e temos que recorrer a outros métodos.

O método mais comum para medir grandes distâncias é a triangulação, muito conhecida em topografia. Em escalas astronômicas, a triangulação permite medir distâncias dentro do sistema solar e de suas vizinhanças. Para distâncias maiores temos que recorrer a métodos indiretos, alguns dos quais veremos em outras aulas desta disciplina.

Outro problema que se apresenta é a unidade de medida a ser utilizada. Enquanto o Sistema Internacional de Unidades indica o metro como unidade padrão de comprimento, com seus múltiplos e submúltiplos, na Astronomia temos que recorrer a unidades próprias, pois a ordem de grandeza das medidas de distância vai muito além do que é familiar para nós.

A Astronomia adota como unidades de distância a unidade astronômica (UA), o ano-luz (al) e o parsec (PC).

Bom estudo!



# Objetivos

Nesta aula trataremos de determinação de distâncias astronômicas e paralaxe, e esperamos que ao final você esteja apto a:

- definir as unidades de medida de distância da Astronomia: unidade astronômica, ano-luz e parsec;
- estabelecer a relação entre paralaxe e distância;
- diferenciar entre paralaxe geocêntrica e paralaxe heliocêntrica.
- Aplicar o conceito de paralaxe na resolução de problemas.

# Como se sabe as distâncias das estrelas?

### Medidas Astronômicas

Para medir distâncias a pontos inacessíveis podemos usar a triangulação. Na Figura 02.01.01, esquematizamos como é possível medir a distância que se encontra uma árvore do outro lado do rio, sem ter que atravessá-lo.

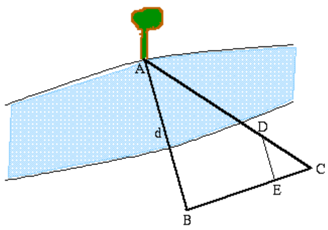



Figura 02.01.01: Ilustração do método de triangulação para a medida da distância d entre A e B.

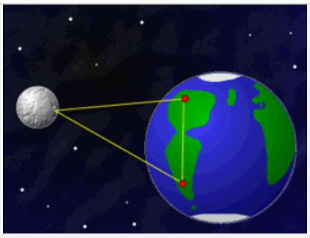
Olhando a árvore de dois pontos distintos, o ponto B e o ponto C, podemos construir o triângulo ABC, em que a base é formada pela reta unindo B e C, e os lados BA e CA são as direções em que a árvore é vista, em relação a um objeto existente no fundo (uma montanha distante, por exemplo), a partir dos pontos B e C.

Traçando uma reta DE paralela à direção BA temos outro triângulo menor, DEC, semelhante ao ABC. Os lados do triângulo pequeno e a distância entre os dois pontos B e C podem ser medidos usando uma trena, por exemplo, de forma que DE, EC, DC e BC são conhecidos. O lado AB pode ser conhecido aplicando a propriedade dos triângulos semelhantes:

$$\frac{AB}{DE}=\frac{BC}{EC} \quad \text{então} \quad AB=\frac{BC.DE}{EC},$$

Dessa forma, determinamos a distância d, que definimos como sendo o lado AB.

Alternativamente, em vez de usar semelhança de triângulos podemos usar trigonometria:



**Paralaxe:**

Mudança aparente na posição de um objeto devido ao deslocamento do observador.

Chamando Â o ângulo entre os lados BA e CA, sabemos que tan Â = BC/d  e portanto  d  = BC/tan Â

O ângulo Â é mudança na direção  da árvore em relação ao plano de fundo quando este se desloca de B para C. A percepção dessa mudança só é possível se existe um objeto no plano de fundo que possa ser tomado como referência.  A mudança na direção do objeto devido à mudança de posição do observador é chamada paralaxe. A figura 02.01.02 mostra um caso familiar de paralaxe, em que uma bolinha colocada na frente de dois objetos é fotografada a partir de duas posições diferentes. A mudança de posição do fotógrafo causa a mudança da direção da bolinha em relação aos dois objetos mais distantes, fazendo com que a bolinha pareça se mover entre os dois objetos. Portanto, também se pode definir paralaxe como o deslocamento aparente de um objeto devido ao movimento do observador.

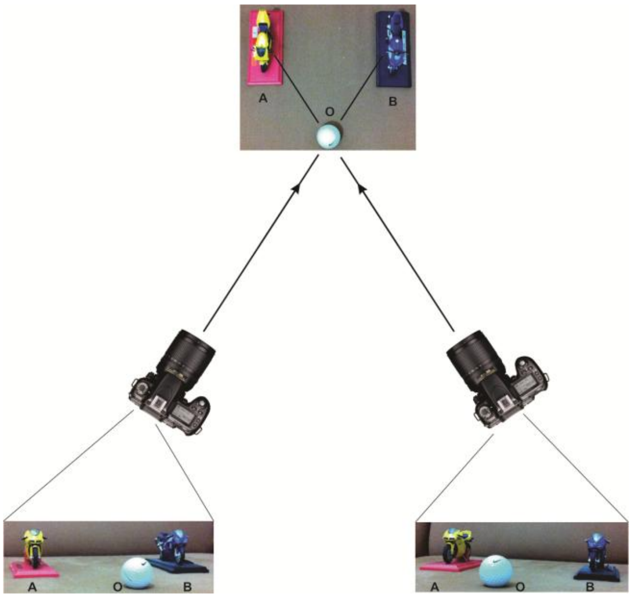
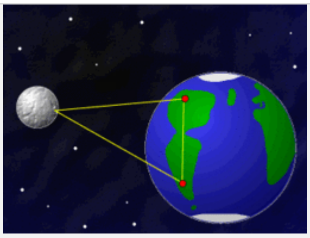



Figura 02.01.02: Uma esfera O e dois objetos A e B são fotografadas de duas posições diferentes. Na foto da esquerda o objeto O aparece mais perto do objeto B; na da direita, o mesmo objeto parece estar mais próximo do objeto A. (Crédito: Luiz Carlos Goulart)

Para medir com precisão o ângulo pelo qual o objeto se desloca precisamos tomar como referência um objeto que permaneça fixo frente ao deslocamento do observador, ou seja, precisamos tomar como referência um objeto muito mais distante do que aquele que queremos medir. A figura 02.01.03 ilustra essa situação, em que O corresponde ao objeto cuja distância queremos medir, d é a distância a ser medida e 2D é o deslocamento do observador., que define a linha de base do triângulo paráctico. As duas retas perpendiculares à linha de base 2D apontam na direção do objeto distante tomado como referência. Quando visto da extremidade esquerda da linha de base, a direção do objeto O em relação ao objeto faz um ângulo A1  com a direção do objeto de referência; quando visto da extremidade esquerda da linha de base, a direção do objeto faz um ângulo de  -A2 com o objeto de referência (o sinal "-" é colocado aqui só para indicar que o ângulo é contado no sentido contrário ao de A1).  A mudança na direção do objeto quando visto de um lado e do outro da linha de base  é dada A1 + A2 = 2p.



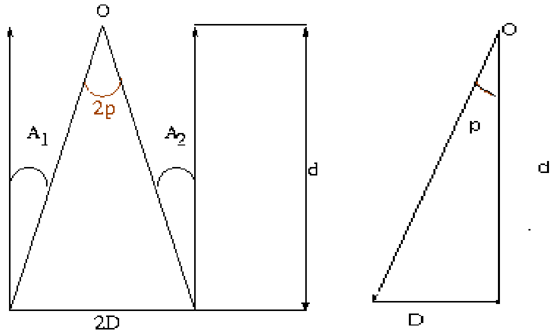



Figura 02.01.03: O representa o objeto cuja distância d se quer medir, 2p é o deslocamento aparente do objeto em relação a um objeto mais distante, quando o observador se desloca de uma distância 2 D. As duas retas perpendiculares à linha de base 2D, apontam na direção do objeto distante tomado como referência. $A_1$ e $A_2$ são os ângulos entre a direção desse objeto distante e a direção do objeto O observado de cada extremidade do deslocamento do observador. A figura da direita mostra o triângulo retângulo formado por p, d e D.

**Importante:**

Observe que, para uma mesma linha de base, a paralaxe é tanto menor quanto maior for a distância entre o observador e o objeto.

Simulador de Paralaxe Estelar

Utilizando as razões trigonométricas teremos:

$$\tan p = \frac{D}{d}\,.$$

Como , $p = \dfrac{A_1 + A_2}{2}$ e $A_1$, $A_2$ e $D$ são medidos, podemos isolar $d$ e obter a distância até o objeto: d = D/ (tan p)

**Lembre-se:**

Se p≤ 4º,
tan p= sen p = p (rad)

Como:
360º = 2π rad

p(rad) = p x π/180

É importante notar que, para D constante, quanto maior for a distância d, menor será o ângulo p.

Em Astronomia as distâncias são sempre muito grandes, de forma que os valores de p são sempre muito pequenos. Para ângulos muito pequenos (≤ 4º), a tangente do ângulo fica praticamente igual do próprio ângulo em radianos (o valor do ângulo em radianos é igual ao ângulo multiplicado por π/180º).

Dessa forma, sempre podemos considerar *tan p = p (em radianos)*.

Então, teremos:

**d = D/[p(em radianos)]**

## Paralaxe Geocêntrica e Heliocêntrica

A triangulação é utilizada para medir distâncias entre estrelas. Porém como elas estão muito distantes a linha de base (que corresponde ao deslocamento do observador em nosso exemplo anterior) deve ser muito grande para que o ângulo paralático (*p*) seja perceptível. Para fazer a medida de distância entre a Terra e planetas do sistema solar, ou até a Lua, o diâmetro da Terra pode ser usado como linha de base. Já para medir a distância da Terra às estrelas próximas, é utilizado o diâmetro da órbita da Terra como a linha de base.

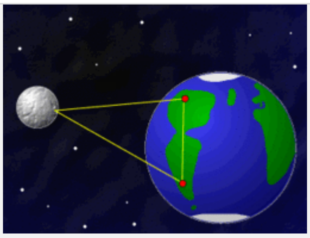
**Distância medida por paralaxe geocêntrica:**

$$d = \frac{R_{Terra}}{p(rad)}$$

## Paralaxe Geocêntrica (paralaxe diurna)

A distância da Terra à Lua e aos planetas mais próximos, hoje, é feita com a utilização de radares, mas, antes de sua invenção, os astrônomos mediam a distância desses objetos à Terra usando a paralaxe resultante da observação em pontos extremos da Terra.

A posição da Lua, por exemplo, em relação às estrelas, é medida duas vezes, em lados opostos da Terra. A paralaxe geocêntrica é definida como a metade da variação na direção observada nos dois lados da Terra, como mostrado na Figura 02.01.04.



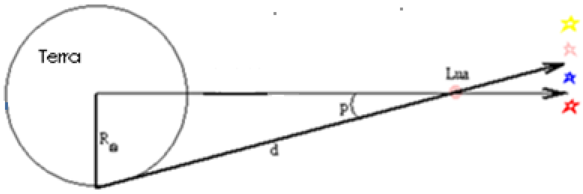



Figura 02.01.04: Esquema definindo paralaxe geocêntrica, que é o ângulo *p* entre a direção do objeto visto do centro da Terra e a direção do objeto visto da superfície da Terra.

Essa será a paralaxe geocêntrica (*p*) e será calculada por:

$$p(rad) = \frac{R_{Terra}}{d} \Rightarrow d = \frac{R_{Terra}}{p(rad)}.$$

**Distância medida por paralaxe heliocêntrica:**

$$d = \frac{1UA}{p(rad)}$$

## Paralaxe heliocêntrica (paralaxe anual)

Para medir distâncias até estrelas mais próximas é utilizada a paralaxe heliocêntrica. Essa medida é realizada da seguinte forma: é feita a medição da direção de uma estrela em relação às estrelas de fundo quando a Terra está de um lado do Sol e seis meses depois, quando a Terra estiver do outro lado do Sol, a medida é refeita.

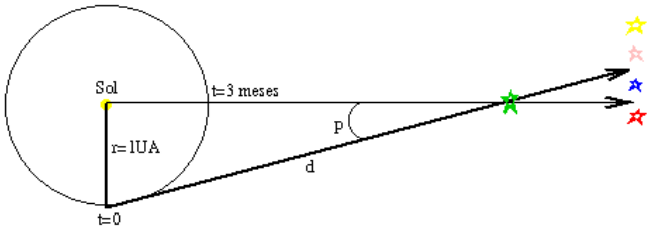



Figura 02.01.05: A paralaxe heliocêntrica é o ângulo p entre a direção da estrela vista da posição do Sol e a direção da estrela vista da Terra. Também podemos pensar no ângulo p como o tamanho angular do raio da órbita da Terra visto a partir da estrela.

**Unidade astronômica:** Distância média entre a Terra e o Sol.

**Ano-luz:** Distância que a luz, propagando-se no vácuo, percorre em um ano.

**Parsec:** Distância de um objeto que apresenta uma paralaxe heliocêntrica de 1".

A metade do desvio total na posição da referida estrela corresponde à paralaxe heliocêntrica (*p*) e nos possibilita calcular a distância (d), usando a relação:

$$p(rad) = \frac{R_{oT}}{d} \Rightarrow d = \frac{R_{oT}}{p(rad)},$$

sendo $R_{oT}$ o raio de órbita da Terra e p(rad) o valor da paralaxe em radianos.

Como o raio médio da órbita da Terra é definido como unidade astronômica, podemos expressar a distância medida por paralaxe heliocêntrica como:

$$d = \frac{1UA}{p(rad)}$$

## Unidades de distâncias astronômicas:

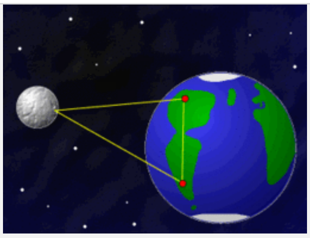
### A unidade astronômica (UA)

É a unidade mais adequada para medidas de distâncias dentro do sistema solar, e seu valor, em km, é:

$$1\,UA = 1{,}496 \times 10^8\ km$$

Para saber como se mede a unidade astronômica acesse o *link*:

http://astro.if.ufrgs.br/dist/dist.htm#cayennemarte.gif



Pela definição de paralaxe heliocêntrica, decorre que a distância de um objeto, medido em unidades astronômicas,será:

$$d(UA) = \frac{1}{p(rad)}.$$

**O ano-luz (al)**

Distância que a luz, propagando-se no vácuo, percorre em um ano. Essa distância é dada por:

1al= c(km/s) x 1(ano) =2,9979 x $10^5$ km/s x 3,1557 x $10^7$s,

Logo:

1al = 9,46 x $10^{12}$ km.

Para saber como é determinada a velocidade da luz no vácuo acesse o *link*:

http://astro.if.ufrgs.br/dist/dist.htm#luz

**Lembre-se:**

A distância de 1 pc corresponde à paralaxe de 1".

**O parsec (pc):**

Um parsec corresponde à distância de um objeto que apresenta uma paralaxe heliocêntrica de 1". Dizendo em outras palavras, um parsec corresponde à distância da Terra que estaria um objeto tal que um observador localizado nesse objeto veria o raio da órbita da Terra com um tamanho angular de 1".

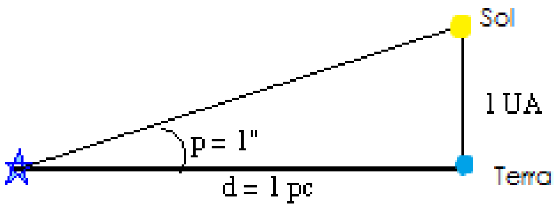



Figura 02.01.06: Uma estrela cuja paralaxe heliocêntrica é de 1" está a uma distância da Terra de 1*parsec*.

A distância em parsecs a que se encontra um objeto em relação ao observador é dada pelo inverso da paralaxe medida em segundos de arco:

$$d(pc) = \frac{1}{p('')}.$$

**Relação entre parsec, unidade astronômica e ano-luz:**

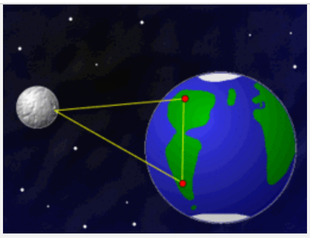
Pelas definições de UA e parsec, podemos escrever que

1 pc = 1/1´´ e 1 UA = 1/1 rad.

Então, para sabermos a relação entre parsec e UA basta sabermos quantos segundos de arco tem um radiano. Fazendo a conta:

$$1'' = \frac{1^{\circ}}{3.600''} x \frac{2\pi rad}{360^{\circ}} = 4{,}848 x 10^{-6} rad.$$

Logo , 1 pc = 1,4848x$10^{-6}$ UA = 206265 UA



Como 1 UA = $1{,}496\times10^8$ km,

1 pc = 206265 x $1{,}496\times10^8$ km = $3{,}003\times10^{13}$ km.

Como 1 a1 = $9{,}46 \times 10^{12}$ km, a relação entre parsec e ano-luz fica:

1pc = $3{,}003\times10^{13}$ km/ ($9{,}46 \times 10^{12}$ km/al) = 3,26 al.

# Resumo

O principal método de determinação das distâncias astronômicas se baseia no fenômeno da ***paralaxe***, que é o deslocamento aparente que um objeto sofre quando visto de posições diferentes:

A paralaxe é inversamente proporcional à distância: **$d \propto 1/p$**

A paralaxe geocêntrica (paralaxe diurna) é definida como o deslocamento aparente sofrido pelo objeto quando observado de dois pontos separados por uma distância igual ao raio da Terra. É utilizada para medir distâncias até os planetas mais próximos.

A paralaxe heliocêntrica (paralaxe anual) é definida com o deslocamento aparente sofrido pelo objeto quando observado de dois pontos separados por uma distância igual ao raio da Terra (1 UA), e é o único método direto para medir distâncias estelares (no alcance de estrelas da vizinhança solar). A distância de um objeto medida em UA é :

$$d(UA)=\frac{1}{p(rad)}.$$

O parsec (paralaxe de 1 segundo) é uma unidade de distância definido como o inverso da paralaxe medida em segundos de arco; 1 parsec é a distância de um objeto que apresenta uma paralaxe heliocêntrica de 1". A distância de um objeto medida em parsec é:

$$d(pc)=\frac{1}{p('')}.$$

# Questões de fixação

Agora que vimos o assunto previsto para a aula de hoje resolva as questões de fixação e compreensão do conteúdo a seguir, utilizando o fórum, comente e compare suas respostas com os demais colegas.

Bom trabalho!

1)Sabendo que a visão humana apresenta paralaxe, desde que a pessoa tenha os dois olhos em condições normais de funcionamento, considerando que a distância típica entre os dois olhos é de 7 cm, determine qual é a paralaxe da visão humana para um objeto que se encontra a:

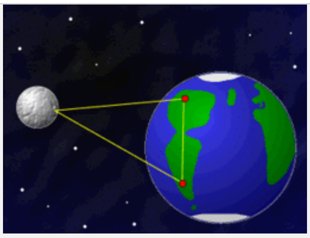
a) 1 m de distância do observador?

b) 10 m de distância do observador?

c) 100 m de distância do observador?

d) 1 km de distância do observador?

e) de acordo com seus resultados, qual é a relação entre a paralaxe da visão humana e a distância ao objeto observado?



2) Sabendo-se que Netuno está a 30 UA do Sol, responda: (quando necessário use o raio da Terra = 6.400 km).

a) Qual é a paralaxe geocêntrica de Netuno?

b) Qual é a paralaxe heliocêntrica de Netuno?

c) Os telescópios atuais têm precisão de 0,001; se você fosse medir a distância de Netuno, que método usaria: paralaxe geocêntrica ou heliocêntrica?

3) Sabendo-se que a paralaxe heliocêntrica de Spica é 0,013", *responda:*

a) Qual é a distância de Spica? (Dê a sua resposta em parsec, em unidades astronômicas, em anos-luz e em quilômetros).

b) Qual seria a paralaxe de Spica se fosse medida por um observador na Lua, usando como linha de base o raio da órbita lunar?(Use raio da órbita lunar = 384000 km).

c) Qual seria a paralaxe heliocêntrica de Spica se ela fosse medida de Marte?

4) Usando o simulador de paralaxe estelar, responda:

a) o tipo de paralaxe simulada é geocêntrica ou heliocêntrica?

b) sabendo que, nessa simulação, os valores de paralaxe estão em segundos de arco, em que unidades estão as distâncias?

c) Sabendo que a estrela mais próxima do Sol está a uma distância de 4 anos-luz de nós, as diferentes posições da "estrela" nessa simulação podem corresponder a distâncias reais de estrelas? Se sim, a partir de qual valor de paralaxe? (qual a distância da estrela mais próxima do Sol?)

## Resposta da questão introdutória:

Sabe-se as distâncias das estrelas próximas medindo-se sua paralaxe anual (heliocêntrica). As estrelas mais distantes medidas por esse método estão a 1000 parsecs, correspondendo a paralaxes de 0,001 segundos de arco, que é a menor paralaxe que os instrumentos atuais conseguem medir.