

# As Vidas das Estrelas

**Alexandre Costa, Beatriz García,  
Ricardo Moreno, Rosa M. Ros**

*União Astronómica Internacional  
Agrupamento de Escolas João de Deus, Portugal  
Universidad Tecnológica Nacional, Argentina  
Colégio Retamar de Madrid, Espanha  
Universidad Politécnica da Catalunha, Espanha*



# Objetivos

- Entender a diferença entre magnitude aparente e magnitude absoluta.
- Entender o diagrama Hertzsprung-Russel representando um diagrama cor/magnitude.
- Compreender conceitos como supernova, estrela de nêutrons e buraco negro.

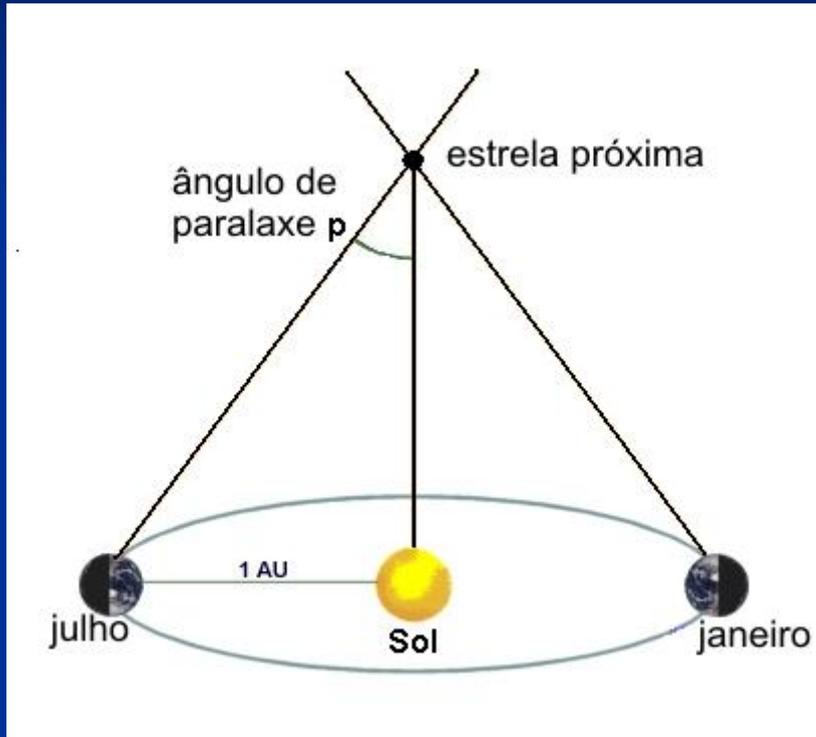


# Atividade 1: Simulando a paralaxe



- Mantenha o polegar apontando para cima, à distância do seu braço estendido.
- Primeiro, olhe para ele só com o olho esquerdo aberto, e depois apenas o olho direito aberto. O que observa?
- Agora, mova o dedo para mais próximo da cara, para meio caminho do nariz, e repita a observação. O que observa?

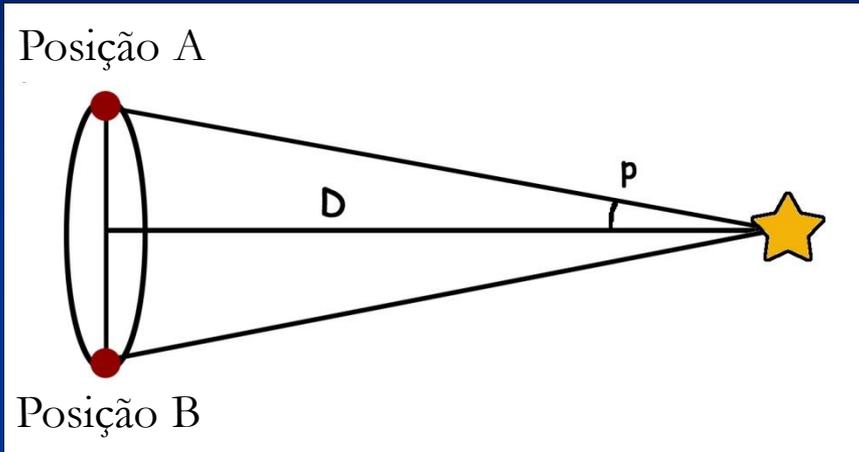
# Paralaxe



Fonte: Universidade de Columbia.

- A paralaxe é a mudança aparente de posição de um objeto quando é visto de locais diferentes.
- A posição de uma estrela próxima, de encontro ao fundo, parece mudar quando visto a partir de dois locais em órbita da Terra, ao longo de 6 meses.
- Então, saberemos a distância para estrelas próximas.

# Paralaxe



$$D = \frac{AB/2}{\tan p} = \frac{AB/2}{p}$$

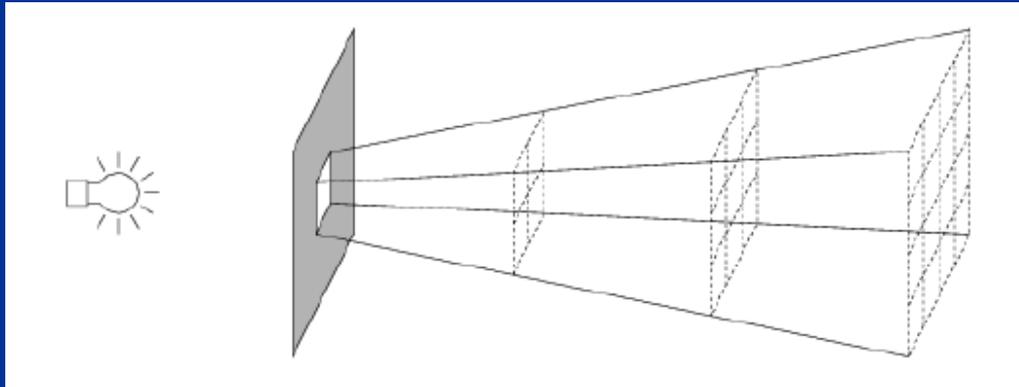
$$D \cong \frac{150\,000\,000}{2\pi/(360^\circ \times 60 \times 60)} = 30\,939\,720\,937\,064 \text{ km} = 3,26 \text{ a.l.}$$

$$1 \text{ pc} = 3.26 \text{ a.l.}$$

$$d = 1/p$$

# Atividade 2: Lei do inverso do quadrado

Uma estrela emite radiação em todas as direções. A intensidade que atinge uma distância  $D$  é a luminosidade  $L$  (= potência) dividida pela área da esfera centrada na estrela com raio igual à distância.



$$I = \frac{L}{4\pi D^2}$$

## Atividade 2: Lei do inverso do quadrado

Quando a distância duplica a área da luz incidente é quatro vezes maior, pelo que, a intensidade da luz (luz que chega por unidade de área) irá ser um quarto.

A intensidade é inversamente proporcional ao quadrado da distância da fonte.



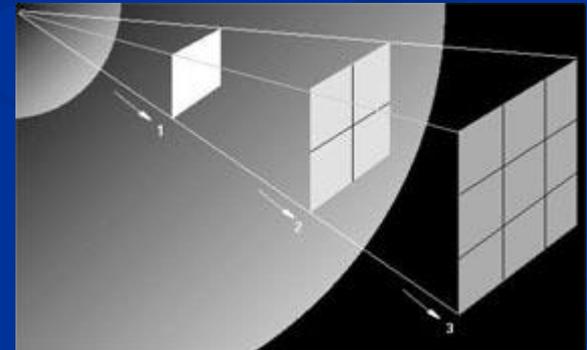
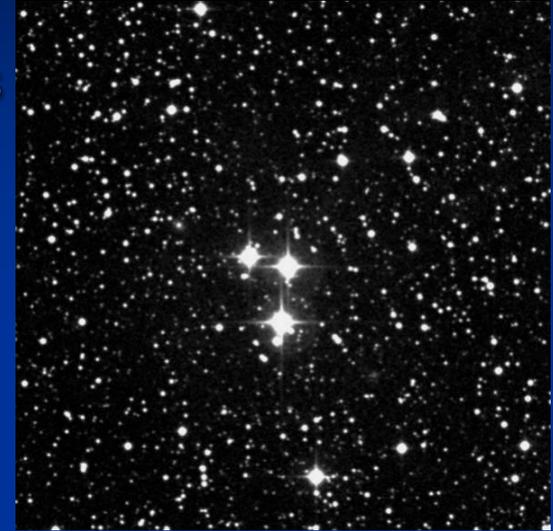
# Sistema de magnitudes

As estrelas apresentam diferentes brilhos (também designados por intensidades ou fluxos).

A mais brilhante pode ser pequena e próxima ou grande mas distante.

O brilho pode ser definido como:

$$B = F = \frac{L}{4\pi D^2}$$



# Sistema de magnitudes

Hiparco nasceu em Nicéia (agora conhecido como Iznik, Turquia), em 190 a.C. Acredita-se que ele morreu em Rhodes, na Grécia, em 120 a.C.

Cerca de 125 anos antes de Cristo definiu o sistema de magnitudes.



# Sistema de magnitudes

Hiparco chamou estrelas de primeira magnitude às mais brilhantes, de segunda ao grupo seguinte e assim sucessivamente, até às mais fracas, que designou como sendo de sexta magnitude.

Este sistema, ligeiramente adaptado, continua a ser válido até hoje: quanto maior a magnitude da estrela, mais fraco é o seu brilho.

Os astrónomos referem-se ao brilho de uma estrela quando falam sobre a sua magnitude.



# Sistema de magnitudes

Em 1850, Robert Pogson propôs que uma diferença de 5 grandezas deve ser exatamente igual a uma razão de brilho de  $100/1$ .

Esta é a definição formal da escala de magnitude utilizada pelos astrónomos atuais.



# Lei Pogson

Do ponto de vista da computação, é útil escrever esta relação, usando logaritmos:

$$2,5 \log (B_1/B_2) = m_2 - m_1$$

Por exemplo:

- Sírio, a estrela mais brilhante do céu, tem uma magnitude de -1,5;
- -4 é a magnitude de Vénus;
- -13 é a magnitude da Lua;
- A do Sol é -26,8.



# Magnitude aparente e absoluta

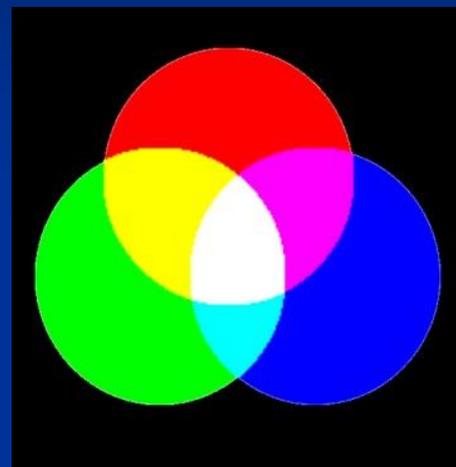
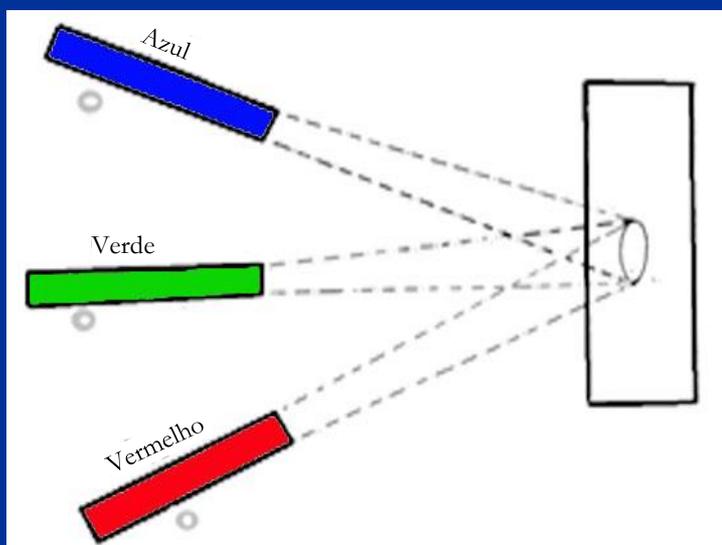
- No entanto, uma estrela muito luminosa e muito distante, poderá ter a mesma magnitude aparente,  $m$ , do que outra estrela, mais fraca mas mais próxima.
- Os astrónomos definiram o conceito de Magnitude Absoluta,  $M$ , que a estrela teria a uma distância de 10 parsecs (32 anos-luz).
- Com a Magnitude Absoluta podemos comparar o “brilho real” de duas estrelas, ou equivalentemente, a potência ou luminosidade.
- A relação matemática entre  $m$  e  $M$  é:

$$M = m + 5 - 5 \log d$$

onde “ $d$ ” é a distância real à estrela, em parsec.

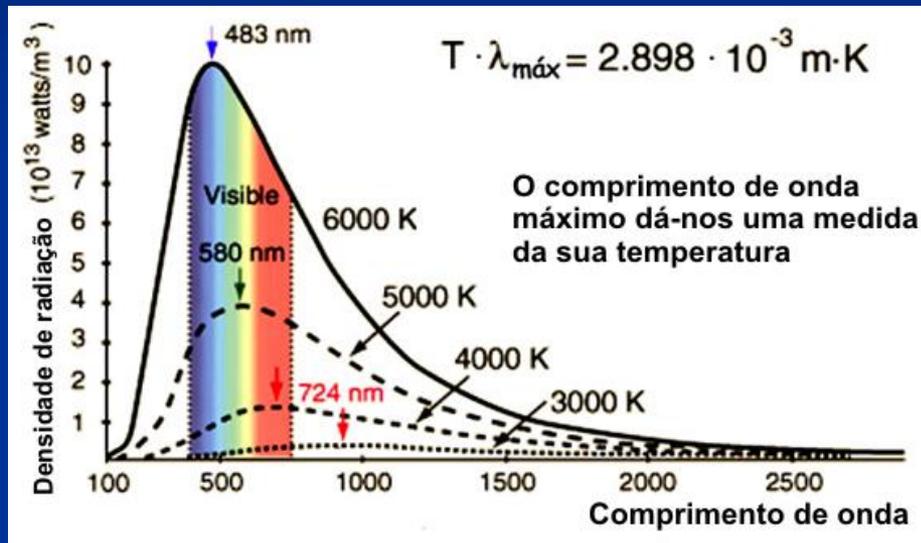
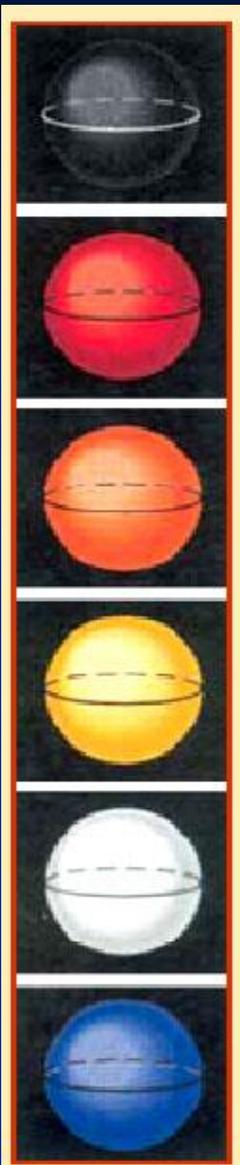
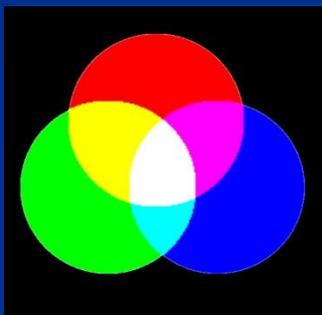


# Atividade 3: Cores de estrelas



# Atividade 3: Cores estelares

As estrelas apresentam cores diferentes em função da sua temperatura

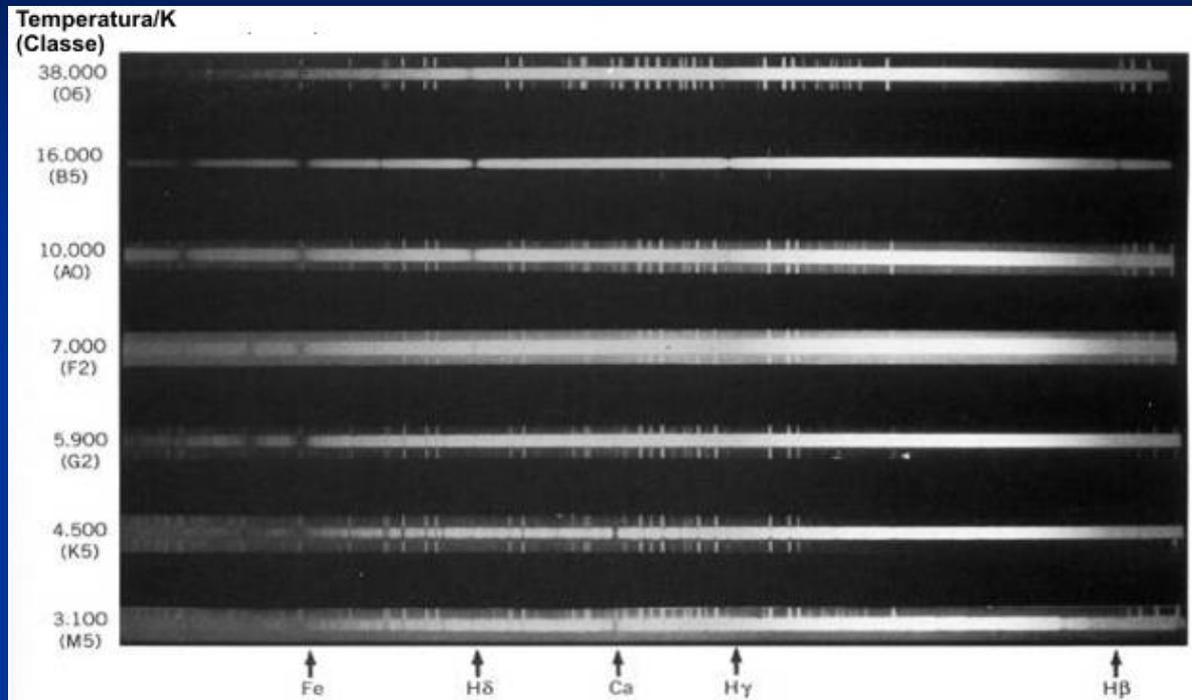


Estrelas de temperatura intermédia apresentam emissão máxima no verde, mas também emitem muita radiação vermelha e azul, sendo o resultado a média dos comprimentos de onda emitidos. A soma de todas as cores do espectro é o branco.

É por isso que não existem estrelas verdes!



# Classes espectrais



Relação entre a classificação espectral, e temperatura de cor das estrelas.

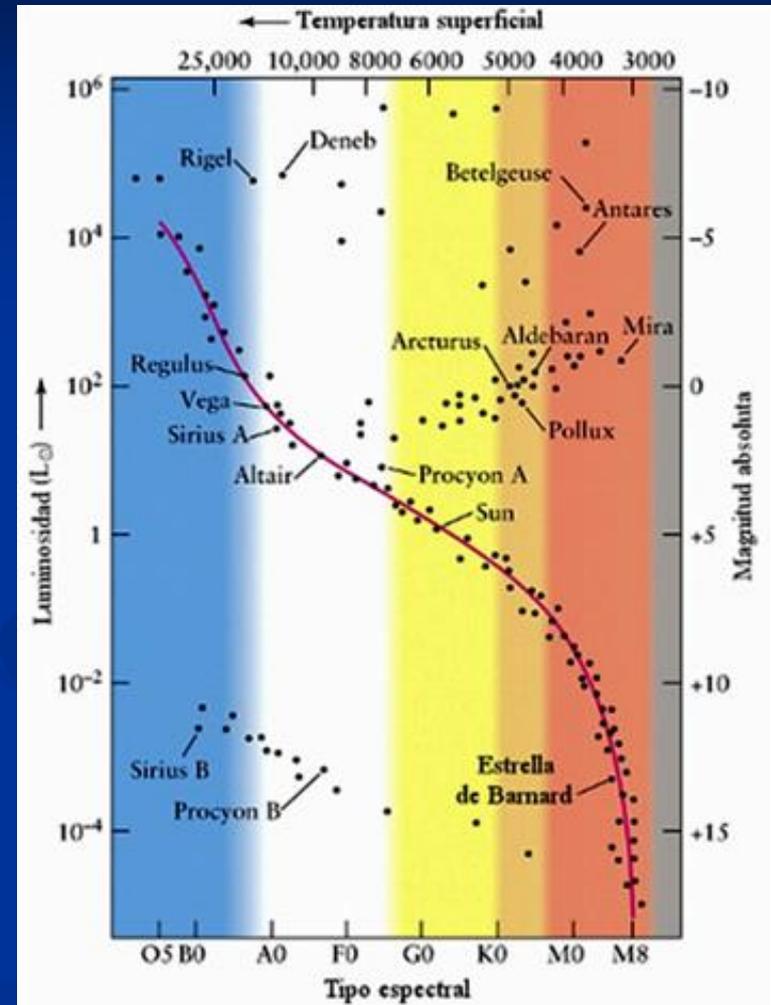


# Diagrama de Hertzsprung-Russell

As estrelas podem ser dispostas num diagrama empírico de luminosidade (ou magnitude absoluta) em função da temperatura superficial (ou tipo espectral).

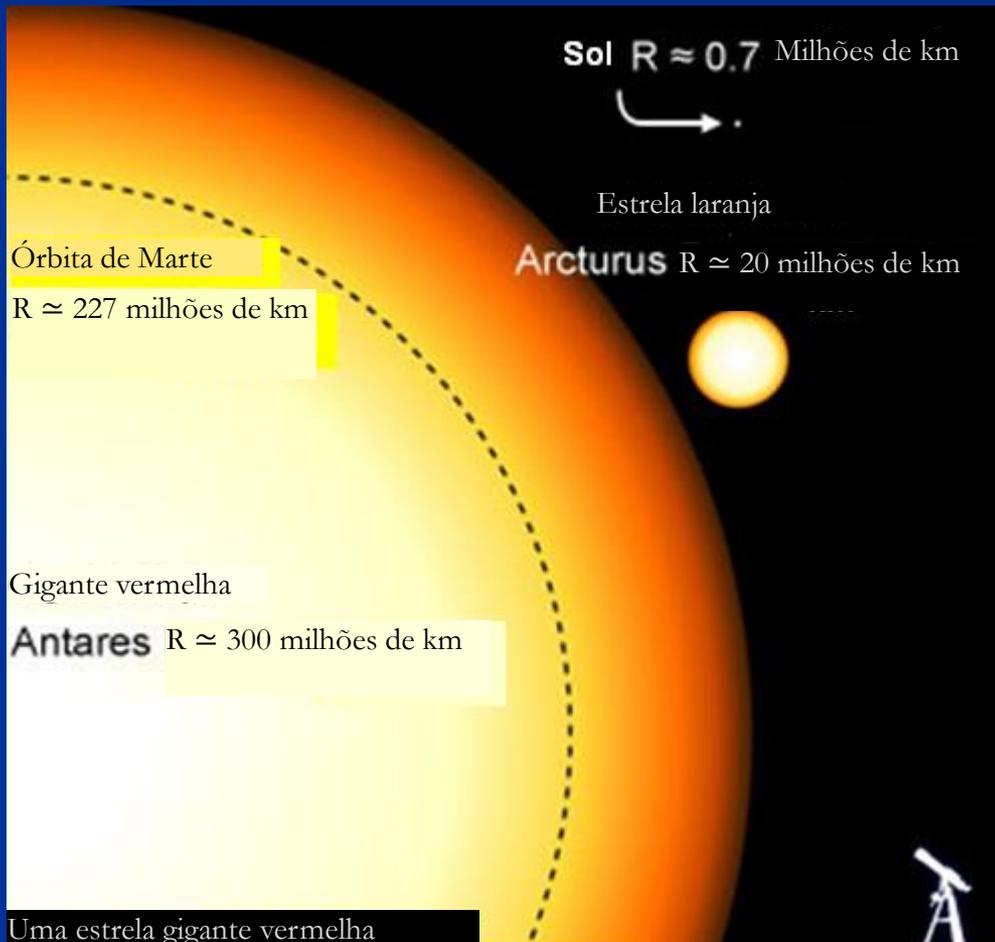
Em geral, as estrelas estão localizadas em determinadas regiões desse diagrama.

É possível dizer de que tipo é uma estrela e qual o seu estado evolutivo.



# Evolução estelar

## A formação de uma gigante vermelha



As estrelas evoluem passando por diferentes fases que dependem da massa com que elas nascem.

# Evolução estelar

## Formação da Anã Branca



Uma estrela de massa intermédia ou pequena, como o Sol, evolui para uma anã branca, uma forma de morte estelar não-catastrófica.



# Nebulosa da Hélice



O pequeno objeto branco central é uma anã branca, uma estrela morta, que já não produz mais energia por fusão e é visível apenas porque tem uma temperatura muito alta.

# Nebulosa Olho de Gato



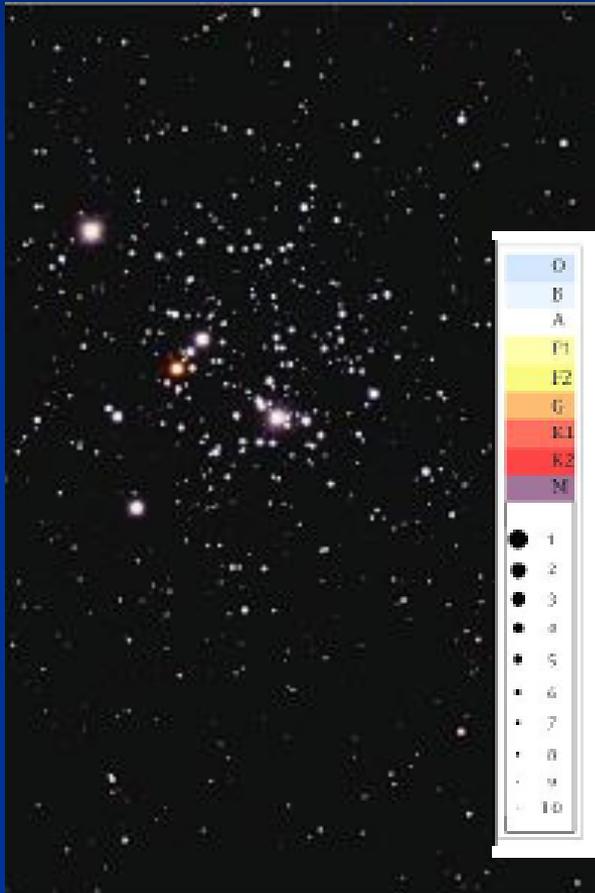
A nebulosa do olho de gato é uma nebulosa planetária de grande beleza. Aqui está a foto na região do visível (HTS) e de raios-X (Chandra).

# Atividade 4: A idade dos enxames abertos

Você pode determinar a idade de um enxame, comparando o diagrama HR do mesmo com os diagramas de outros *clusters*, cujas idades são conhecidas.



# Atividade 4: A idade dos enxames abertos

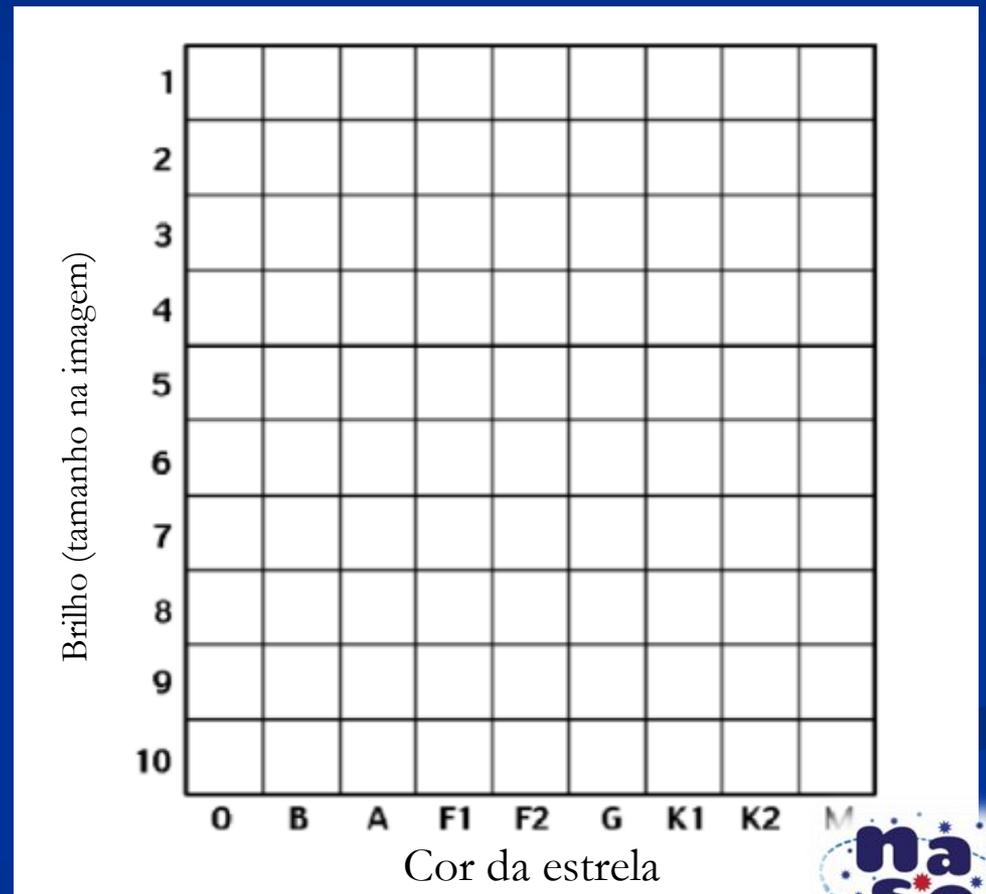


A Caixa de Joias (*Kappa Crucis*).

- Desenhe um quadrado com 4 centímetros de lado, centrado no enxame.
- Meça o brilho de uma estrela do quadrado, em comparação com a guia.
- Estime a cor da estrela usando a comparação de cores.

# Atividade 4: A idade dos enxames abertos

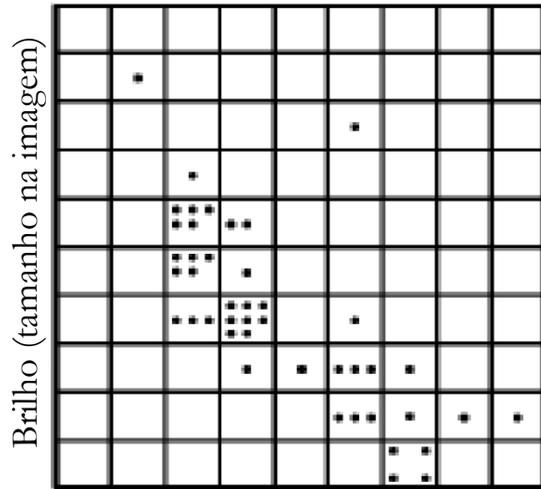
- Coloque a estrela na grelha à direita.
- Repita com outras estrelas.



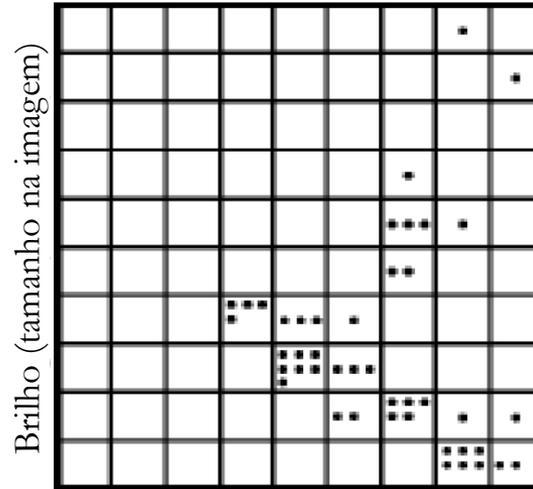
# Atividade 4: A idade dos enxames abertos

Comparar o diagrama obtido com estes.  
Que idade estima que tem o enxame?

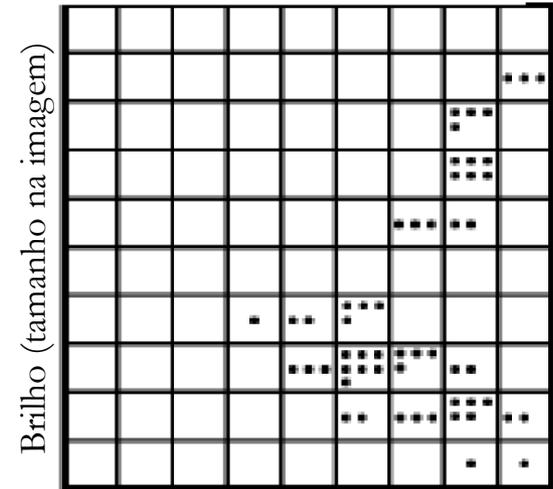
Enxame jovem (< 100 M. de anos)



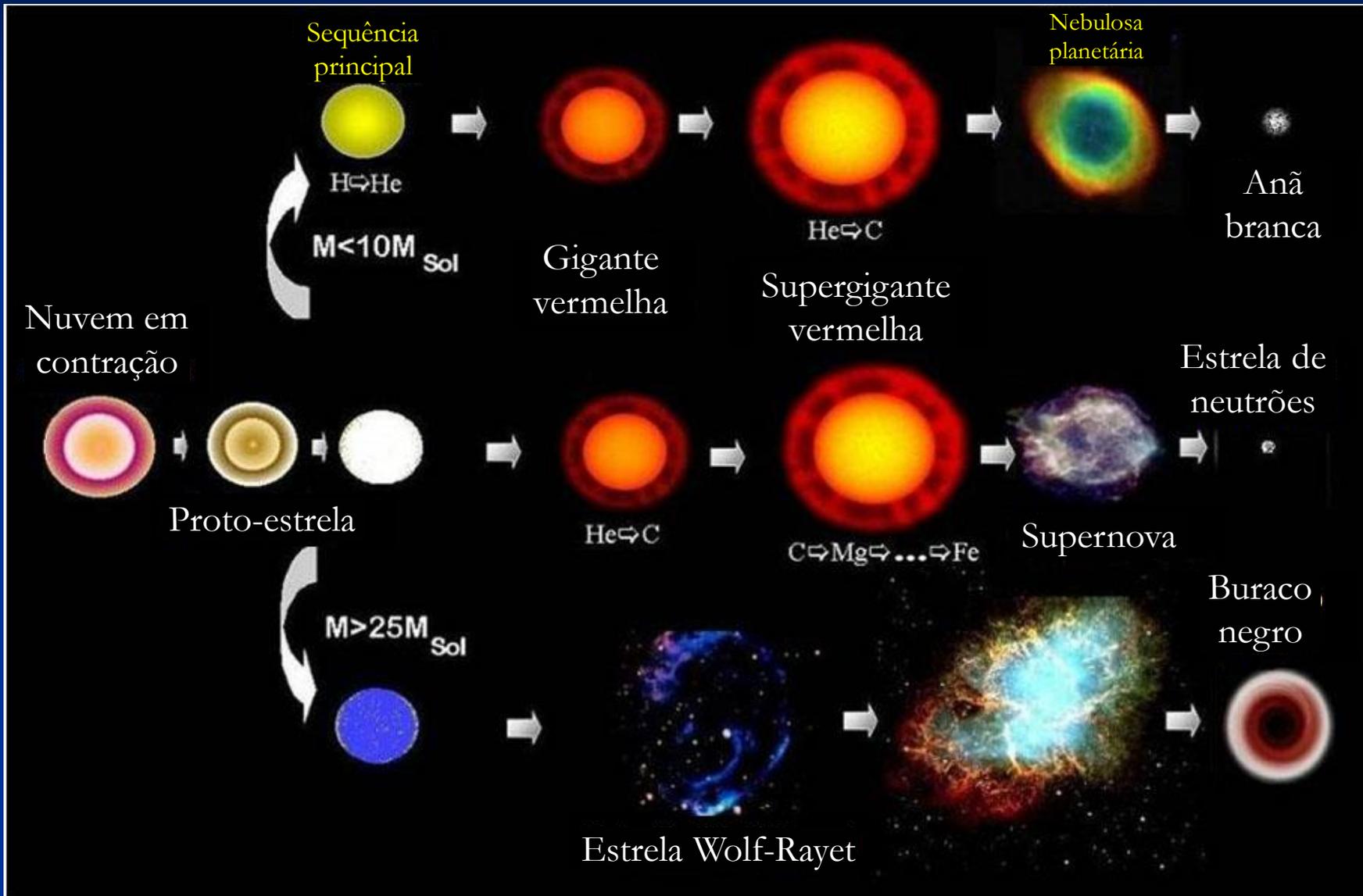
Enxame de idade intermédia  
(100-3 000 M. de anos)



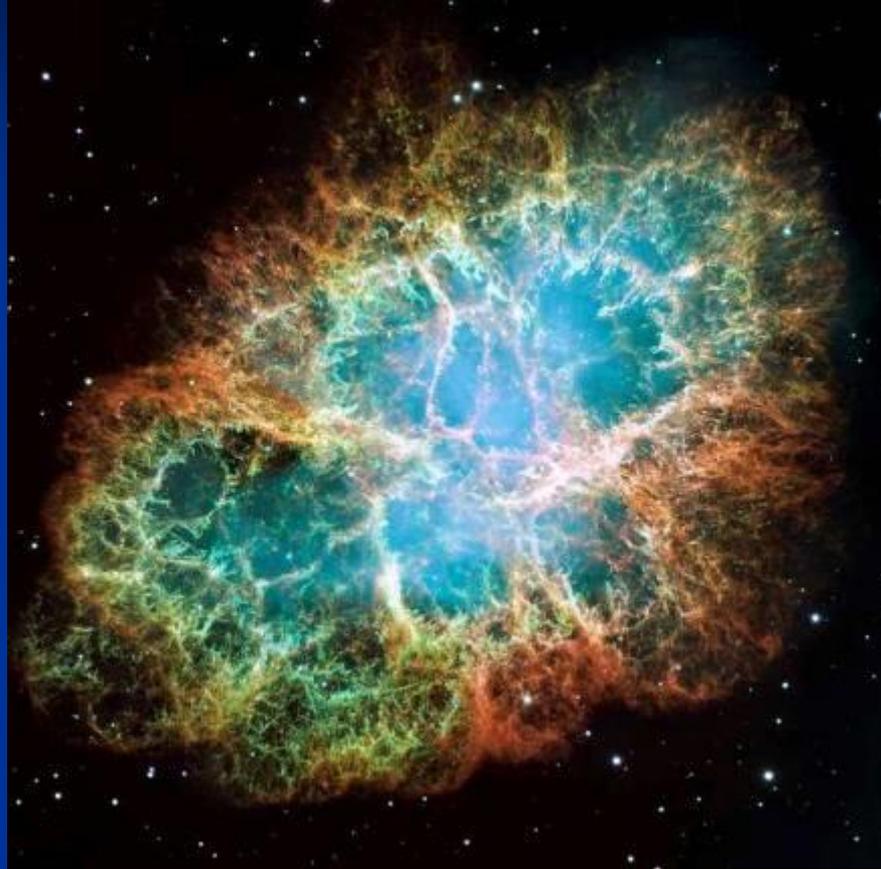
Enxame velho (> 3 000 M. de anos)



# Relação entre a massa e a morte de estrelas



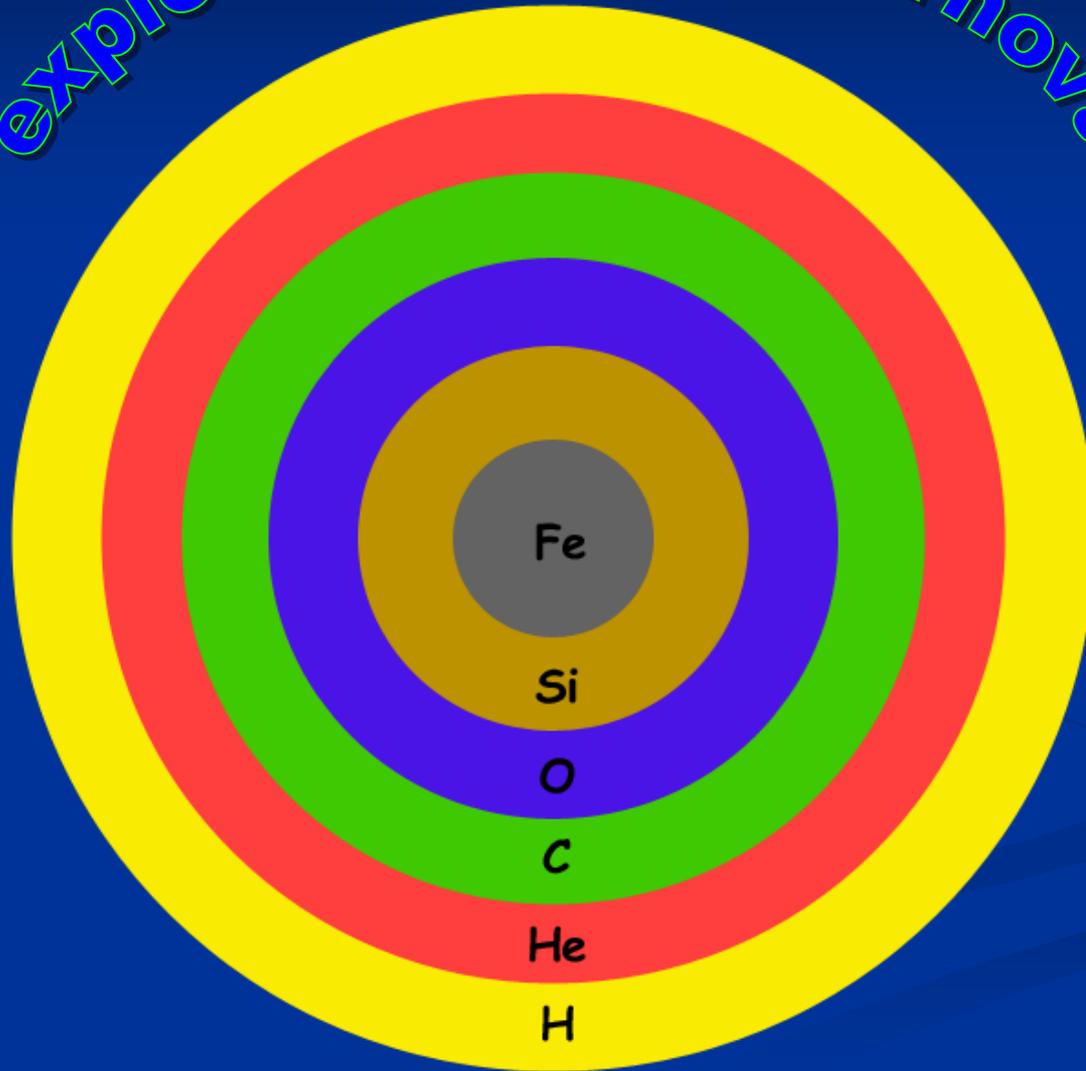
# A morte de estrelas massivas

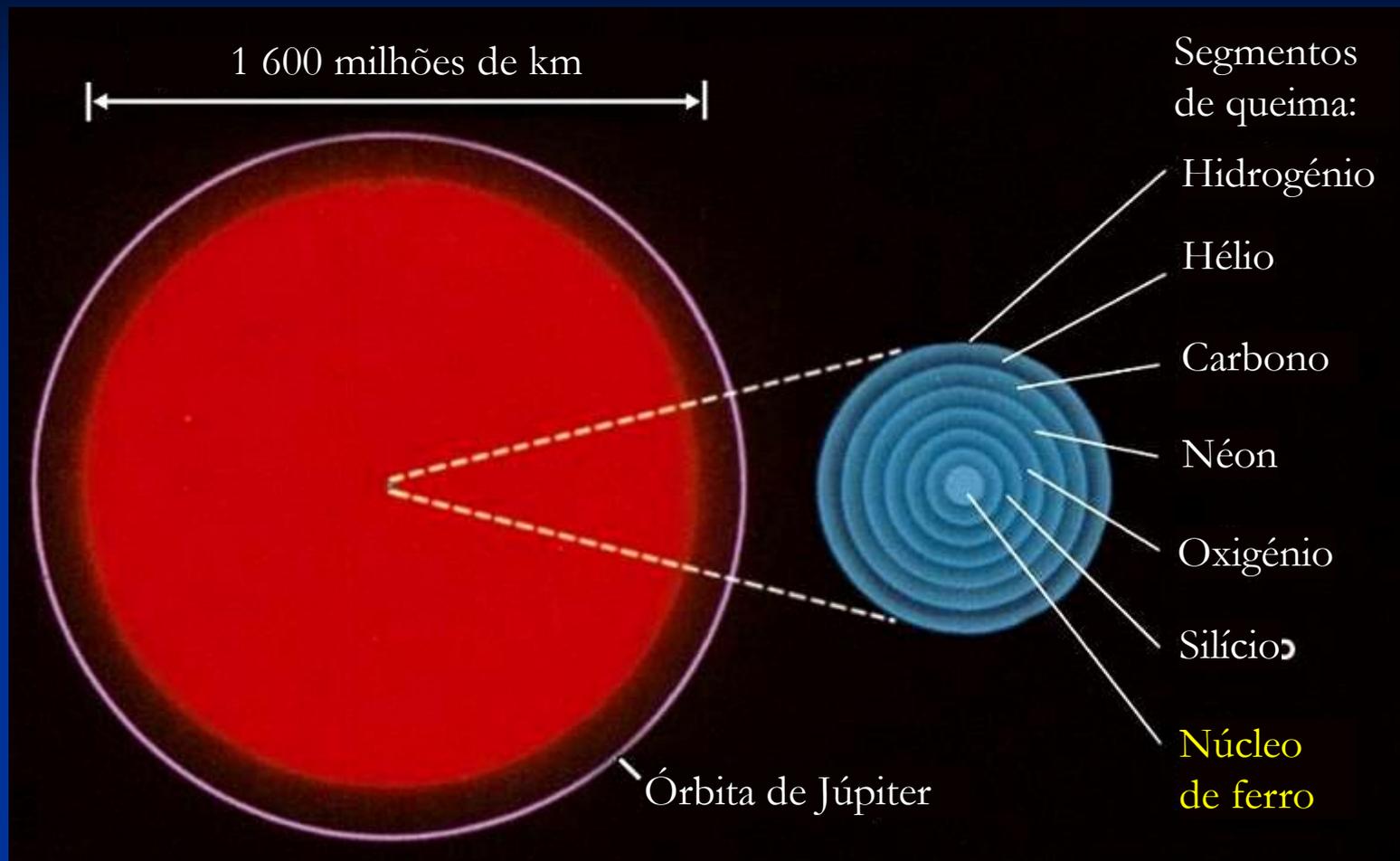


**M1: A Nebulosa do Caranguejo, em Touro, é o remanescente de uma supernova observada em 1054.**



# Estrela pronta para explodir como supernova





Uma estrela prestes a explodir como uma supernova.

# A estrela de 20 massas solares rígidos:

- 10 000 000 anos a queimar hidrogénio do seu núcleo (sequência principal).
- 1 000 000 anos a queimar hélio.
- 300 anos a queimar carbono.
- 200 dias a queimar oxigénio.
- 2 dias a consumir silício: a explosão em Supernova é iminente.



# Supernova 1987 A



A supernova 1987 A foi observada em 1987 na Grande Nuvem de Magalhães. A nuvem está a 168 000 a.l.: a luz levou esse tempo para chegar à Terra.



# Supernova 1987 A 10 anos depois



Após a explosão o material é ejetado a alta velocidade para longe da estrela.

Esta foto da SN 1987 A foi feita pelo Telescópio Espacial Hubble em 1997.





Exemplo de supernova numa galáxia distante. Em média, ocorre uma supernova em cada galáxia por cada século.

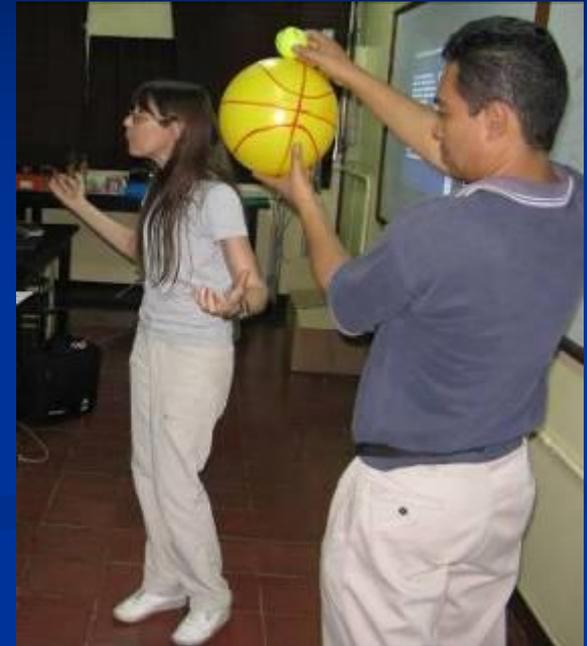
Na Via Láctea há 400 anos que uma supernova não é observada.



# Atividade 5: Simulação da explosão de uma supernova

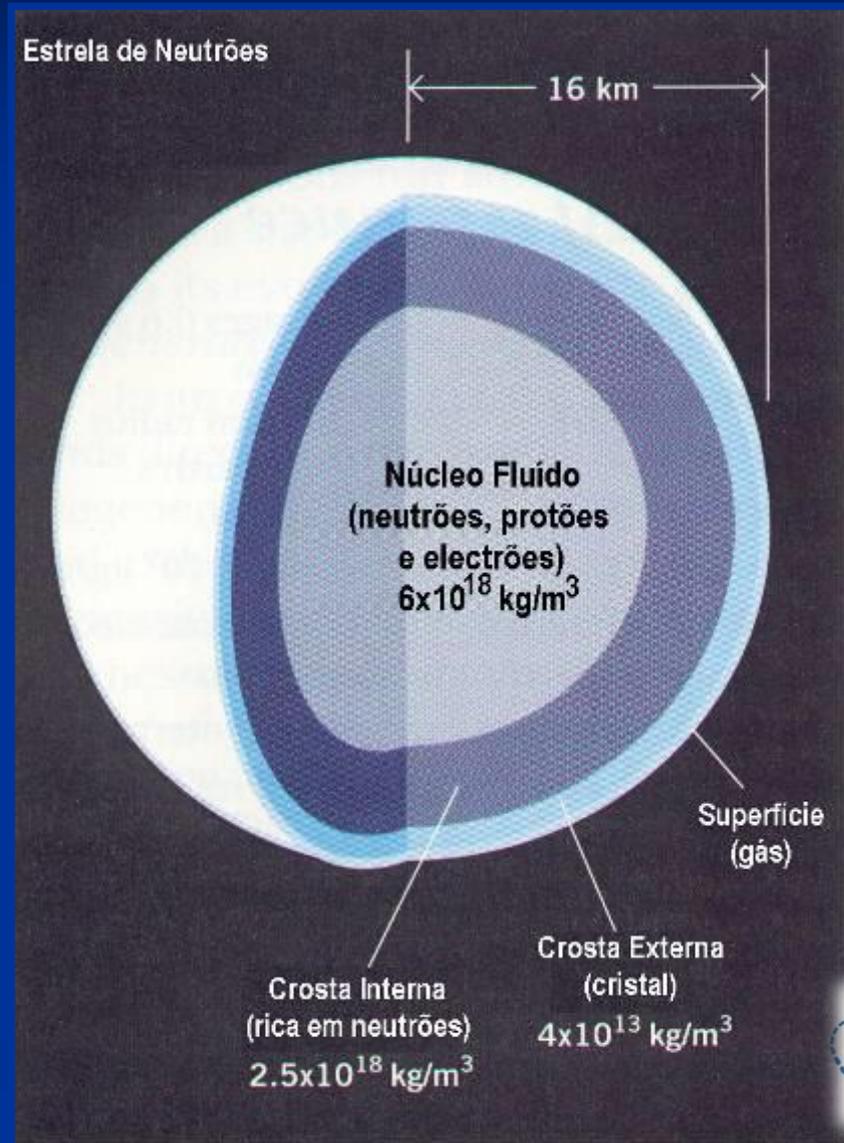
Quando uma estrela explode como uma supernova, os átomos mais leves das camadas exteriores caem sobre os átomos mais pesados que estão no interior, e eles são projetados para fora do núcleo sólido.

Neste modelo, o solo representa o núcleo da estrela de nêutrons, a bola de basquete seria um átomo pesado, que por sua vez empurra o átomo leve que vem depois dele, representado pela bola de tênis.

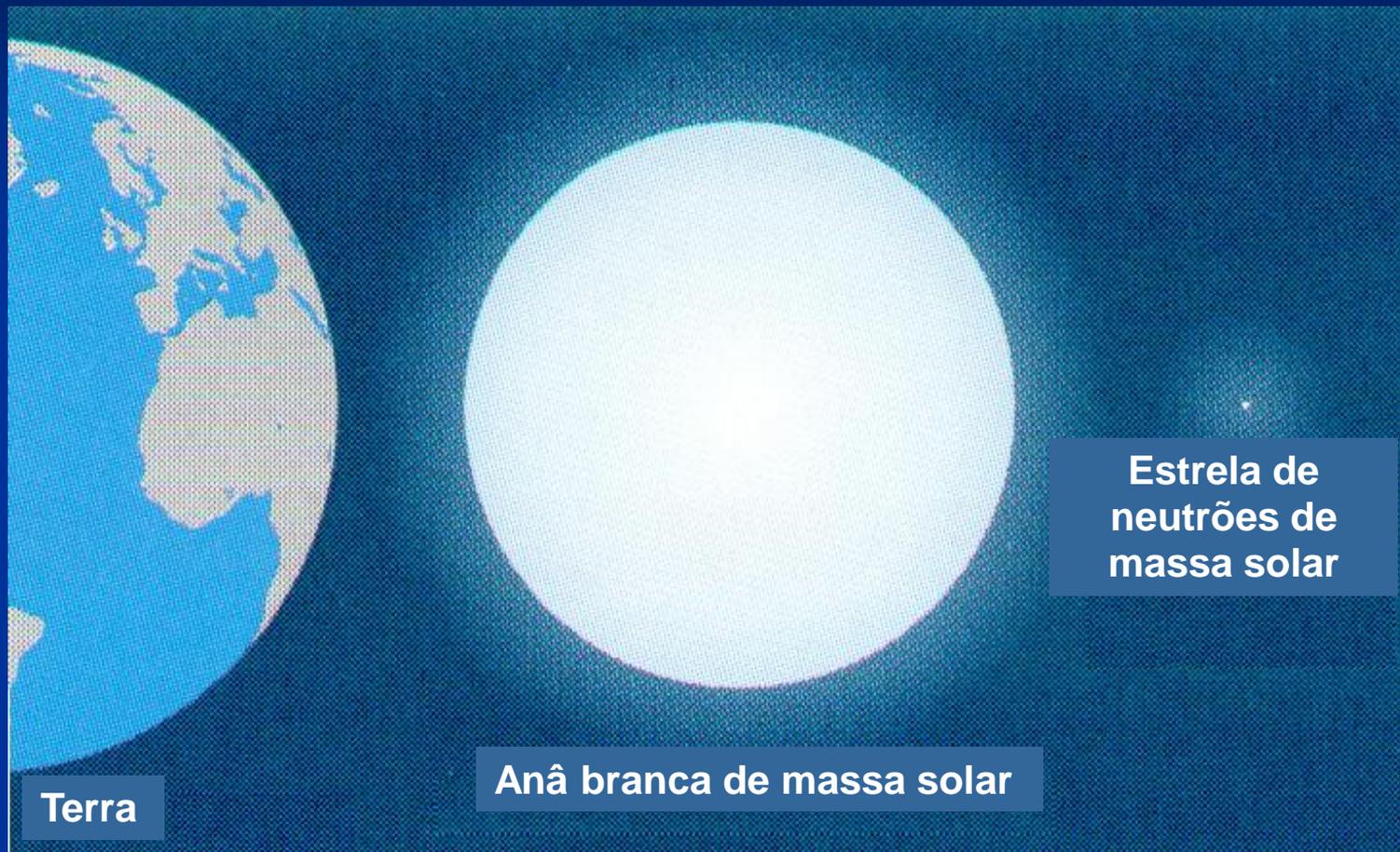


# Estrelas de Neutrões

Uma forma de morte estelar associada às supernovas são as estrelas de neutrões, ou pulsares.



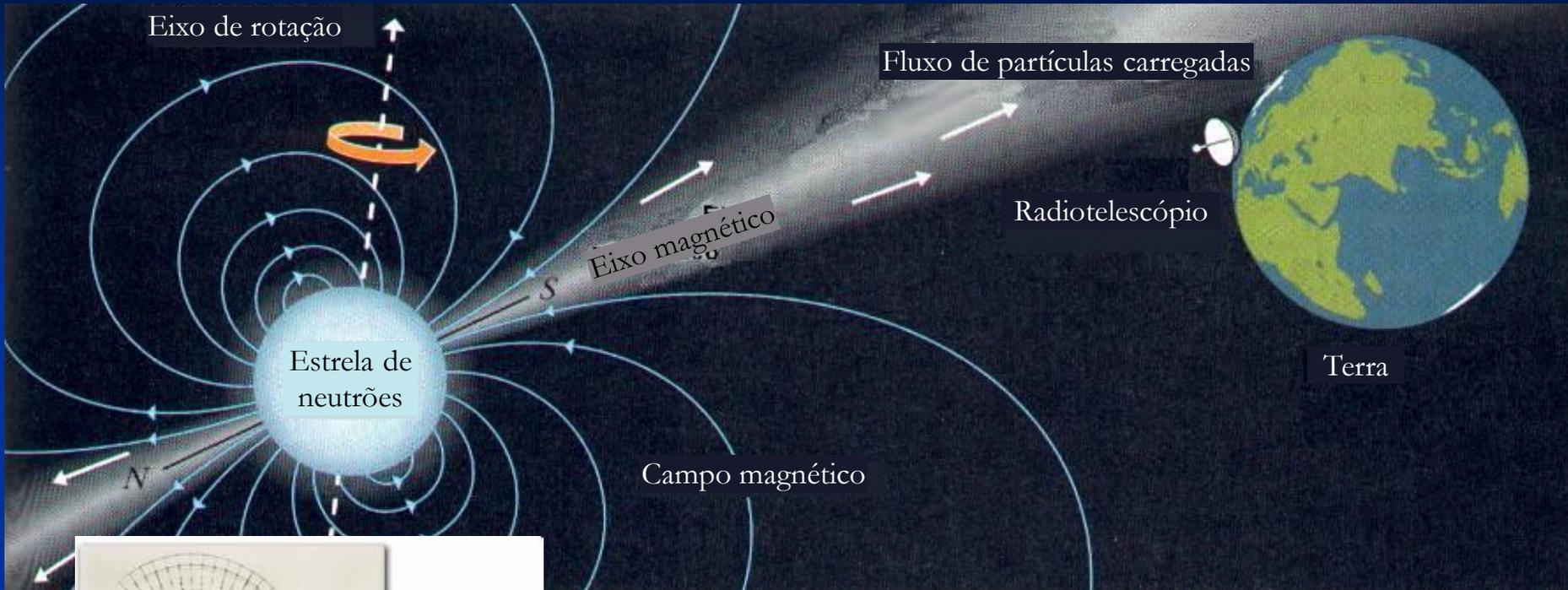
# Estrelas de Neutrões



Comparação de Tamanho



# Pulsares



**Radiação emitida por um pulsar  
pode ser recebida na Terra.**

**Foi Jocelyn Bell quem descobriu  
os pulsares.**



# Atividade 6: Simulação de um pulsar

Um pulsar é uma estrela de nêutrons, muito massiva, que gira muito rapidamente. Emite radiação, mas a fonte não está alinhado com o eixo de rotação, de modo que gira como um farol.

Se estiver alinhado para a Terra, o que vemos é uma radiação passando várias vezes por segundo.



Montagem



Rotação



# 3ª forma de morte estelar: Buracos Negros

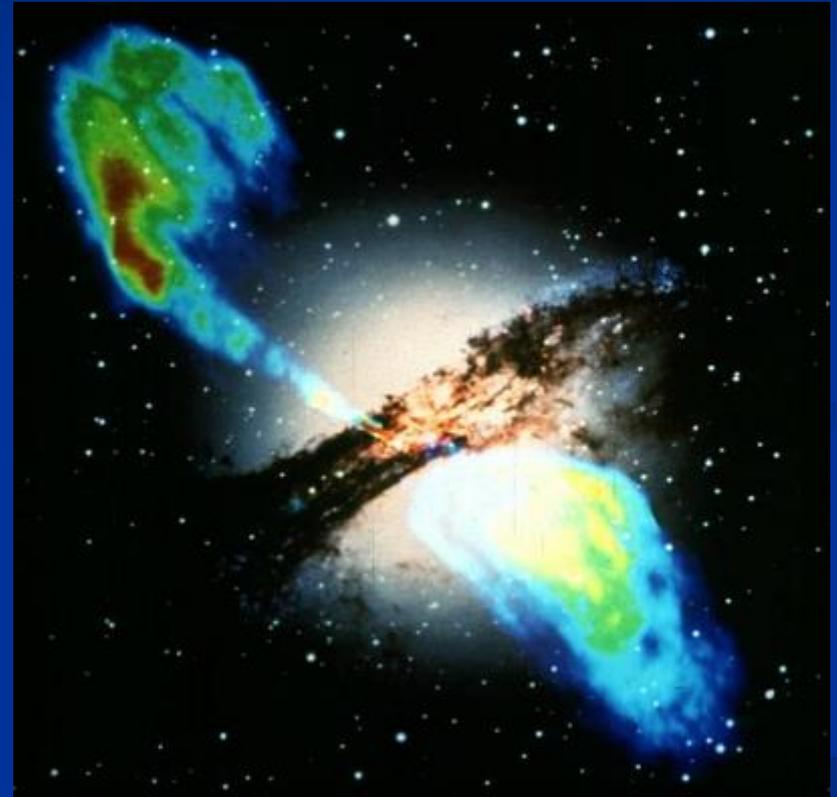
John Mitchell e Simon Laplace propuseram a possibilidade teórica de existirem objetos supermassivos, devido a um colapso gravitacional no final da sua vida.



Foram chamados buracos negros, já que seriam impossíveis de detetar opticamente, já que a sua gravidade seria tal que nada poderia escapar deles, nem mesmo a luz.



# Evolução Estelar: Buracos Negros



Há buracos negros supermassivos nos núcleos de galáxias.

# Atividade 7: Simulação da curvatura do espaço e de um buraco negro

É possível simular a curvatura do espaço determinado por um buraco negro usando um pedaço de tecido elástico (Lycra) e um balão cheio de água.



A trajetória da bola de ténis não é em linha reta, mas sim em curva.

# Atividade 7: Simulação da curvatura do espaço e de um buraco negro

Também serve uma ligadura elástica à venda nas farmácias.

Se distendermos um pouco o tecido, o buraco é maior e simulamos um buraco negro.



**Muito obrigado  
pela sua atenção!**