

Universidade Federal de Minas Gerais

## **Trabalho 2**

# **Distância das Estrelas, Diagrama H-R e a Idade de Aglomerados de Estrelas**

Taynara Souza

Astrofísica Estelar

Belo Horizonte, Março de 2021

# 1 Determinações de distância

Neste trabalho realizaremos a determinação de distâncias através de dois métodos: o método da Paralaxe espectroscópica e o Ajuste da Sequência Principal (ou Método do Aglomerado).

## **Método da Paralaxe Espectroscópica:**

No método da Paralaxe Espectroscópica obtemos a distância da estrela observando seu espectro, onde conseguimos informações como a  $T_{eff}$  e também sua localização na sequência principal (SP). Através da análise das linhas espectrais da estrela é possível determinar se ela é uma anã ou se é uma estrela gigante, já que para as gigantes temos uma gravidade superficial menor e portanto linhas espectrais menos largas que para as anãs. Sendo assim, sabendo que trata-se de uma estrela anã e conhecendo sua  $T_{eff}$  é possível encontrar seu índice de cor  $(B - V)_0$  e então, observando sua posição em uma sequência principal padrão, podemos determinar sua magnitude absoluta.

Sabemos que a magnitude ( $m$ ) está relacionada com a luminosidade, pela seguinte expressão:

$$\begin{aligned} m &= -2.5 \log \left( \frac{L}{4\pi d^2} \right) + C \\ m &= -2.5 \log(L) + 5 \log(d) + C' \end{aligned} \tag{1}$$

Onde por definição, na magnitude absoluta temos  $d = 10pc$  e portanto:

$$M = -2.5 \log(L) + 5 + C' \tag{2}$$

Temos que toda estrela na sequência principal com mesma temperatura apresentam a mesma luminosidade. Desta forma, observando uma SP padrão, ao determinar o valor da magnitude absoluta ( $M$ ), podemos comparar com o valor da magnitude aparente( $m$ ) medido da nossa estrela analisada e dessa forma subtraindo ambos temos:

$$m - M = (-2.5 \log(L) + 5 \log(d) + C') - (-2.5 \log(L) + 5 + C')$$

$$m - M = 5 \log(d) + 5 \quad (3)$$

Chamamos a diferença  $m - M$  de *Módulo de Distância*. Dessa forma, podemos então obter a distância (d) da estrela analisada, isolando d na equação 3:

$$d(pc) = 10^{\frac{m-M+5}{5}} \quad (4)$$

Partindo dessas informações foi feito o calculo da distância das 3 estrelas listadas na tabela abaixo. A isocrona padrão utilizada para obter o módulo de Distância se encontra na figura 1.

| Estrela        | $T_{ef}(K)$ | Tipo Esp. | $V_o$ |
|----------------|-------------|-----------|-------|
| $\nu$ Tau      | 9540        | A1V       | 3.91  |
| $\epsilon$ Eri | 4890        | K2V       | 3.73  |
| $\alpha$ For   | 6170        | F8V       | 3.87  |

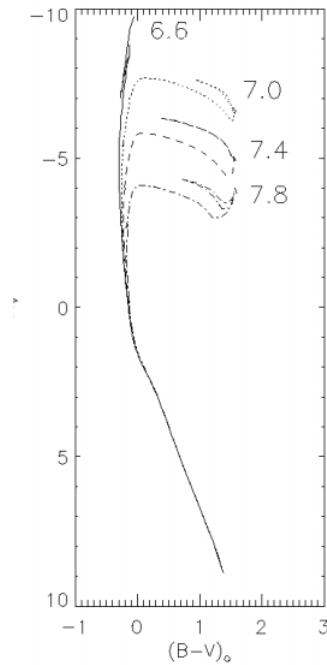


Figura 1: Diagramas cor-magnitude mostrando isócronas com idades entre  $6.6 < \log t(\text{anos}) < 7.8$ . A isócrona utilizada para cálculo da distância corresponde a curva de  $\log t(\text{anos}) = 6.6$

Inicialmente utilizamos dos dados da tabela para obtenção do índice de cor intrínseco  $(B - V)_0$ . Pela seguinte relação:

$$(B - V)_0 = -0.865 + \frac{8540}{T_{ef}} \quad (5)$$

Em seguida, foi utilizando o valor de  $(B - V)_0$  para obter o valor da magnitude absoluta no visual (já corrigida da extinção), como mostrado nas figuras abaixo para as 3 estrelas.

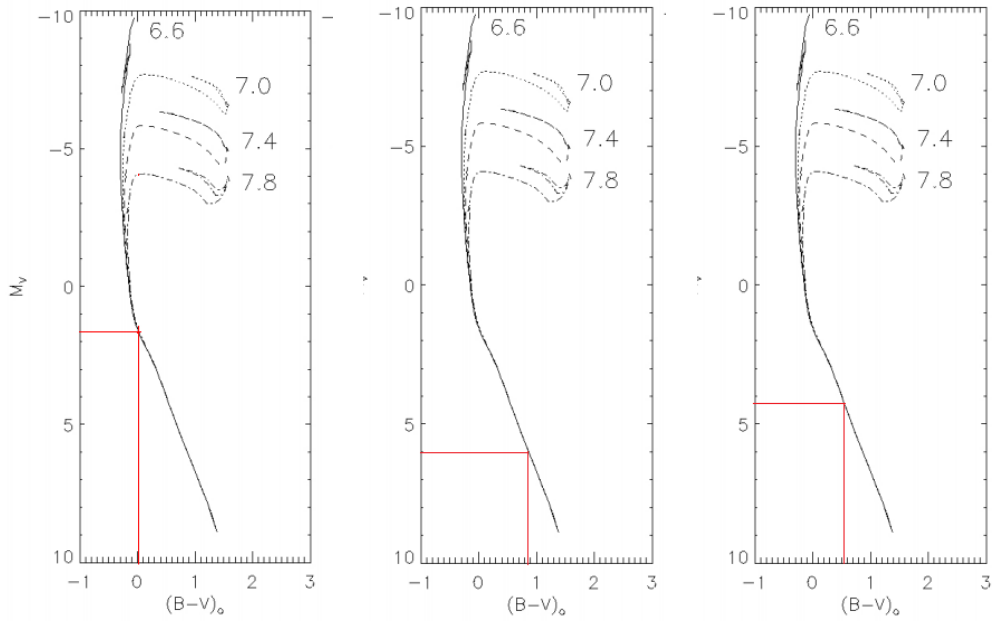


Figura 2: Obtenção de  $M_v$  para as três estrelas:  $\nu$  Tau,  $\epsilon$  Eri e  $\alpha$  For respectivamente

Com o valor de  $M_v$  já obtido, utilizamos a equação 4 para calcular a distância de cada estrela. A incerteza de  $d(pc)$  foi obtida pela seguinte expressão. Os resultados obtidos nessa etapa do trabalho estão contidos na tabela da figura 3

$$\Delta d = \sqrt{\left(\frac{-1}{5} 10^{\frac{V_0}{5}} 10^{\frac{-M_v}{5}} 10^{\frac{5}{5}}\right)^2 \Delta M_v^2}$$

$$\Delta d = \frac{1}{5} 10^{\frac{V_0 - M_v + 5}{5}} \Delta M_v \quad (6)$$

| Estrela        | $(B - V)_0$ | Magnitude absoluta( $M_v$ ) | distância(pc) |
|----------------|-------------|-----------------------------|---------------|
| $\nu$ Tau      | 0.003       | $1.6 \pm 0.5$               | $29 \pm 3$    |
| $\epsilon$ Eri | 0.881       | $6.0 \pm 0.5$               | $3.5 \pm 0.4$ |
| $\alpha$ For   | 0.519       | $4.2 \pm 0.5$               | $9.0 \pm 0.9$ |

Figura 3: Resultados obtidos pelo método da Paralaxe e Espectroscópica.

### Ajuste da Sequência Principal (ou Método do Aglomerado)

Este método é utilizado considerando-se que todas as estrelas de SP de mesma temperatura possuem a mesma luminosidade ou magnitude absoluta. Dessa forma, para aplicação deste método primeiramente identificamos as estrelas de SP no aglomerado cuja distância queremos determinar, a seguir comparamos com uma SP padrão, cuja magnitude absoluta das estrelas é conhecida. Dessa forma, conseguimos observar o quanto mais fracas estão as estrelas em relação ao que seriam se estivessem localizadas a uma distância de 10pc, sendo assim, com o auxílio da lei do inverso do quadrado conseguimos determinar a distância do aglomerado.

Nesta parte do trabalho desejamos encontrar a distância dos 3 aglomerados fictícios cujos diagramas cor-magnitude estão plotados nas figuras abaixo. Para determinação da distância e idade utilizamos isócronas disponibilizadas pelo professor em um artigo .txt.

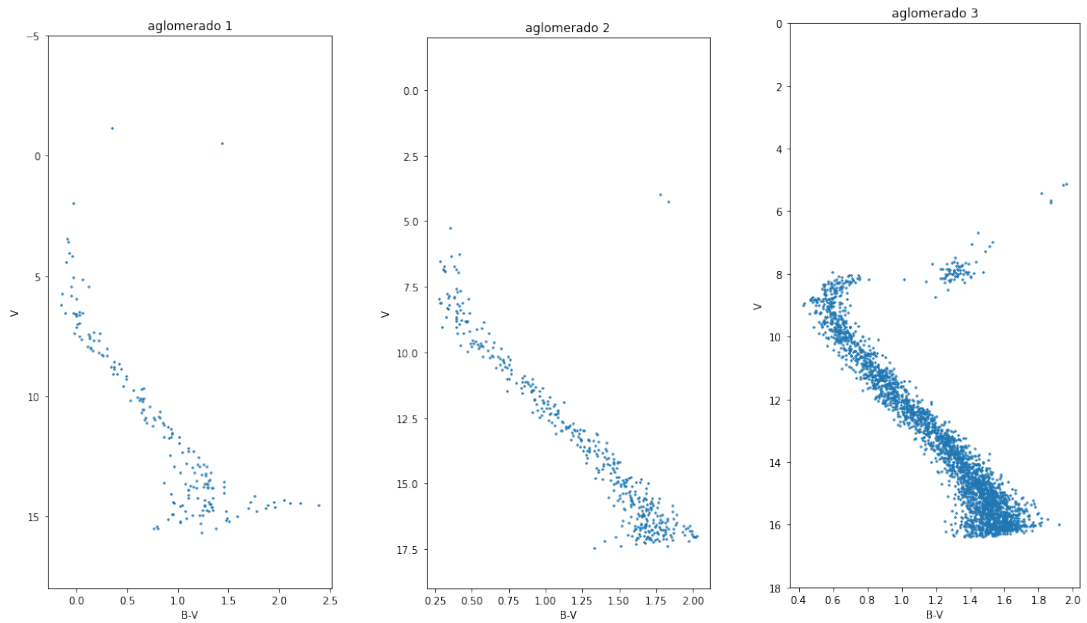


Figura 4: Diagrama cor-magnitude dos três aglomerados que serão analisados

Sabemos que entre nós e as estrelas existe um material absorvete (gás e poeira) que faz com que as estrelas apareçam menos brilhantes, dessa forma, com uma magnitude aparente maior. Tal efeito é chamado de extinção, e para corrigir a magnitude aparente observada de tal efeito, subtraímos o índice  $A_v$  correspondente a extinção, da magnitude  $V$ , dessa forma  $V_0 = V - A_v$ . Substituindo na equação 3, onde  $m = V$ , temos:

$$d(pc) = 10^{\frac{V - A_v - M + 5}{5}} \quad (7)$$

Sendo assim, foi feito a correção na magnitude  $V$  das estrelas dos aglomerados 1, 2 e 3, onde  $A_v$  foi calculado utilizando  $A_v = 3E(B - V)$ , sendo os valores de  $E(B - V)$  disponibilizados na tabela abaixo.

| Aglomerado | $E(B - V)$ |
|------------|------------|
| #1         | 0.1        |
| #2         | 0.5        |
| #3         | 0.3        |

Utilizando a correção no valor de  $V$  devido a extinção, sobrepomos a curva de cada aglomerado com as várias isócronas disponibilizadas no arquivo txt, como mostrado abaixo.

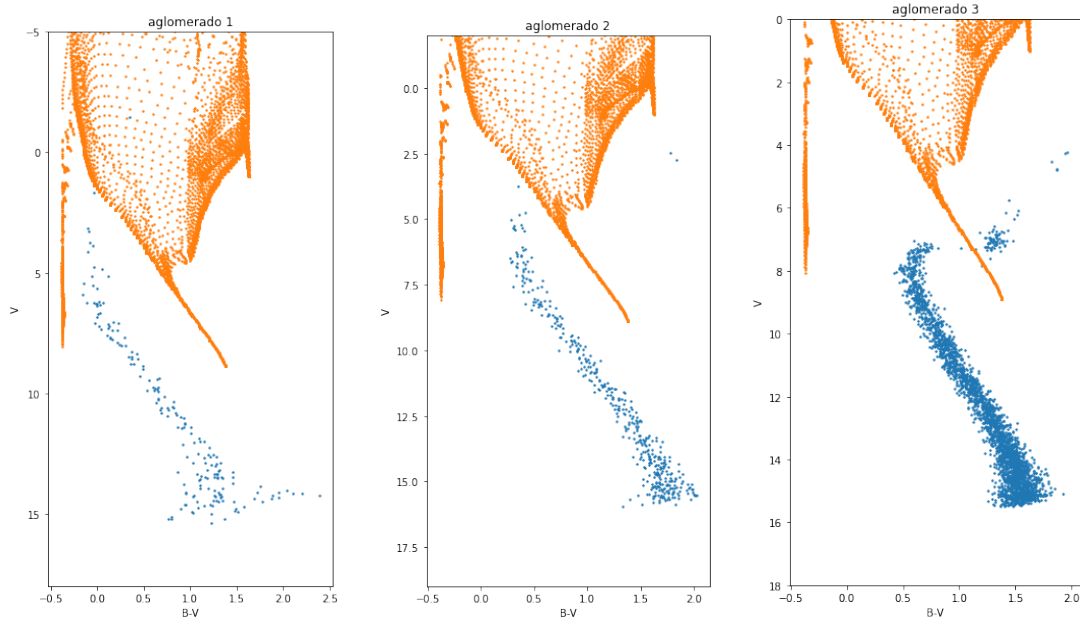


Figura 5: Diagrama cor-magnitude dos três aglomerados junto de todas as isócronas disponibilizadas

Em seguida, foi realizado um ajuste para tentar sobrepor as sequências principais, como mostrado na figura 6. Desta forma, o deslocamento dado pela magnitude aparente da SP dos aglomerados com a magnitude absoluta das isócronas nos permite obter o módulo de distância, equação 7 (onde  $V$  já está corrigido da extinção) e podemos então obter a distância de cada aglomerado.

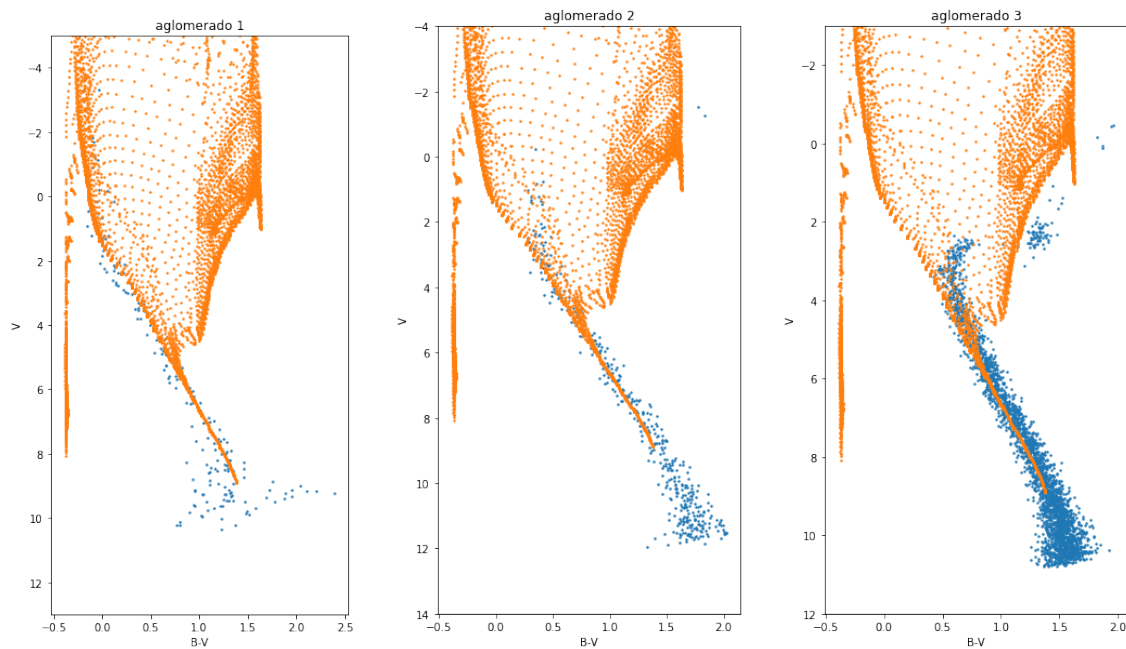


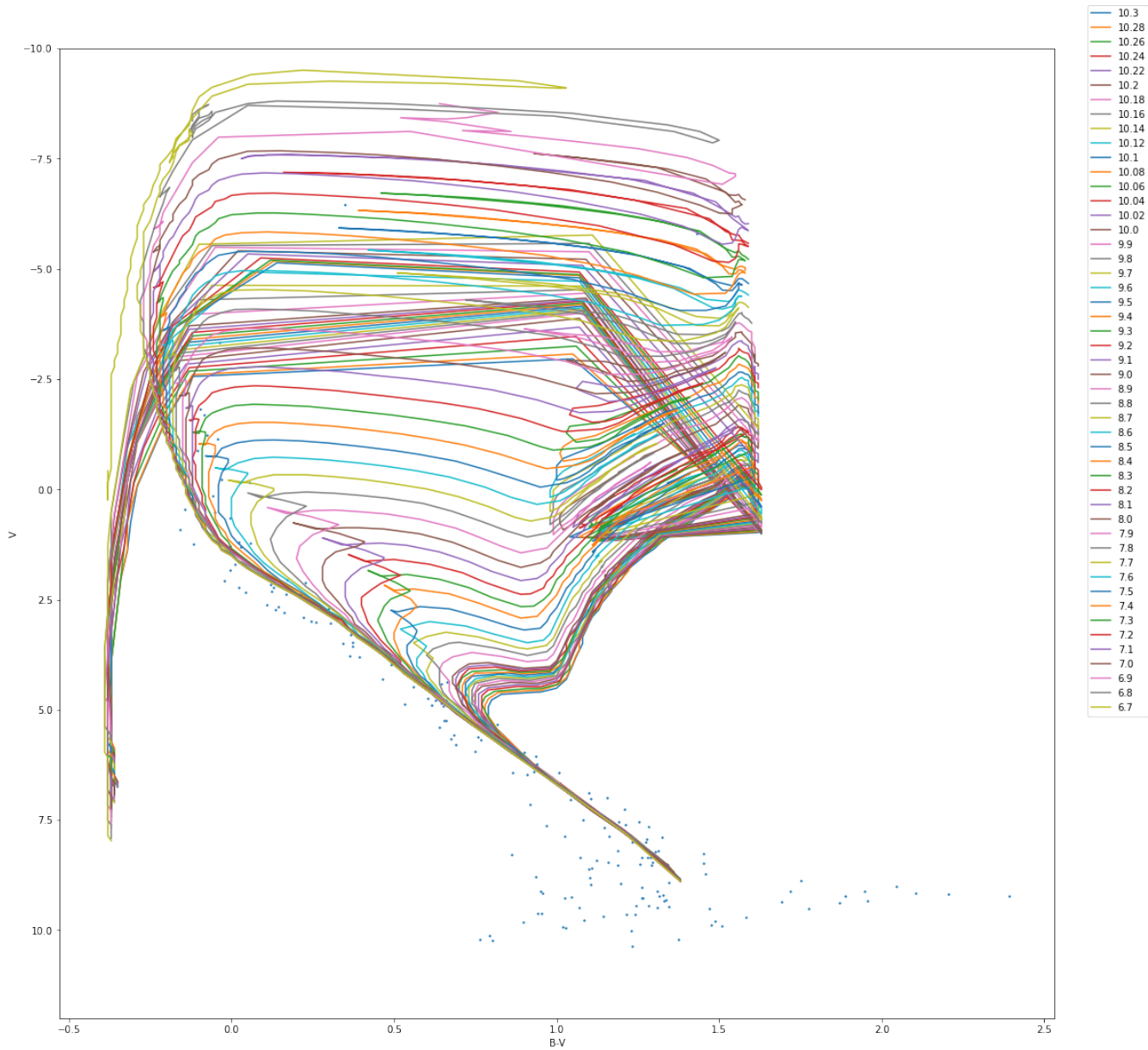
Figura 6: Ajuste realizado para sobrepor os três aglomerados com as isócronas disponibilizadas

| Aglomerado   | $V - A_V - M$ | Distância (pc) |
|--------------|---------------|----------------|
| Aglomerado 1 | 5             | 100            |
| Aglomerado 2 | 4             | 63             |
| Aglomerado 3 | 4.7           | 87             |

Agora para determinar a idade do aglomerado observamos qual das isócronas melhor se encaixa na curva da sequência principal de cada aglomerado. A seguir iremos exemplificar o processo feito para obter a idade do aglomerado 1, sendo este o mesmo para os aglomerados 2 e 3.

*Determinação da idade do aglomerado 1:*

- Fizemos um diagrama com diferentes cores para cada isócrona para assim tentar identificar a isócrona que melhor se aproxima da sequência principal analisada. Cada cor corresponde a uma isócrona de uma idade, que varia entre  $6.6 < \log t(\text{anos}) < 10.3$



- Com o auxílio da legenda, conseguimos observar que a isócrona que melhor se encaixa está em aproximadamente  $\log t(\text{anos}) \approx 7.8$ . Então fomos testando isócronas com valores próximos deste para então estimar a melhor curva.



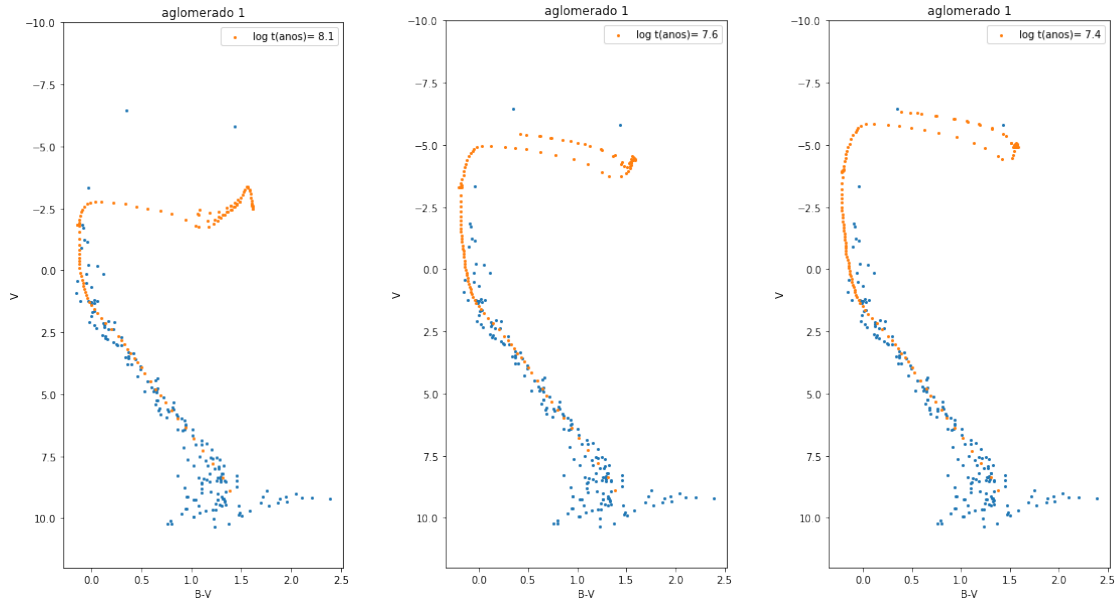
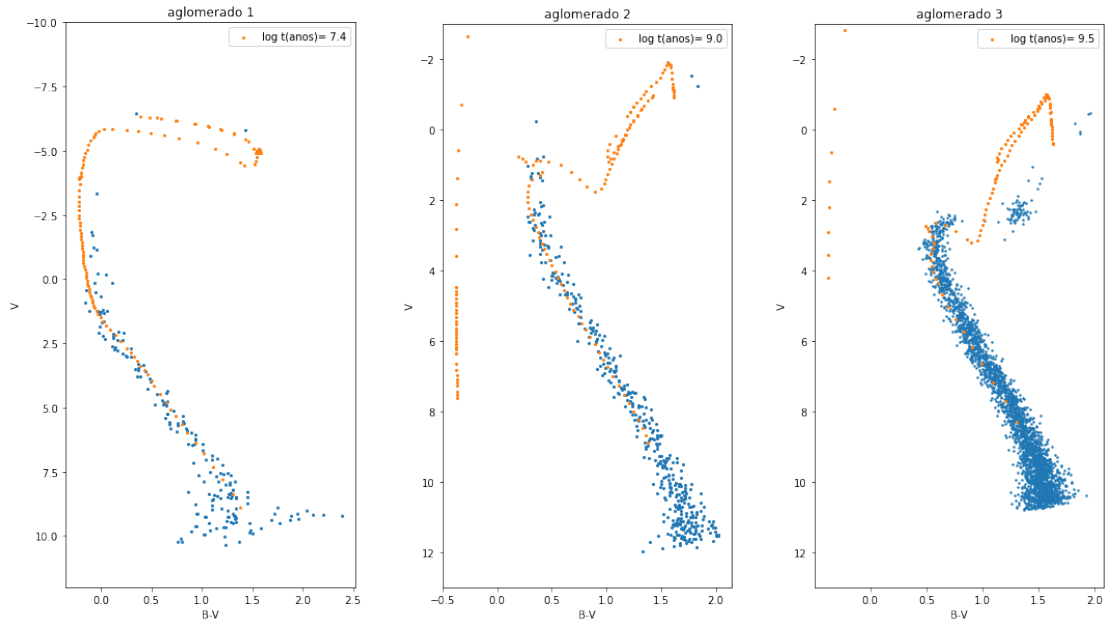


Figura 7: Testando isócronas para decidir a que melhor se aproxima da sequência principal do aglomerado 1

- Concluimos que a melhor sobreposição corresponde a isócrona de idade  $\log t(\text{anos}) = 7.4$

#### *Resultados para idade dos 3 aglomerados*

Dessa forma, repetindo o mesmo processo descrito acima encontramos os seguintes resultados para cada aglomerado.



A tabela a seguir apresenta a idade encontrada para os 3 aglomerados, de acordo

com a isocrona escolhida.

| Aglomerado   | Idade                  |
|--------------|------------------------|
| Aglomerado 1 | $2.5 \times 10^6$ anos |
| Aglomerado 2 | $1.0 \times 10^9$ anos |
| Aglomerado 3 | $3.2 \times 10^9$ anos |