

Determinação da idade de aglomerados estelares

Oswaldo de Souza (IF/USP), Jane Gregório-Hetem (IAG/USP)

Objetivo:

Estimar a idade de aglomerados estelares jovens (grupo de estrelas que nasceram juntas em uma nuvem de gás) através de observações remotas e análise de imagens. A determinação da magnitude aparente em dois filtros permitirá o posicionamento das estrelas em um diagrama H-R e compará-las a curvas teóricas correspondentes a diferentes idades.

I. Introdução

Os Aglomerados Estelares

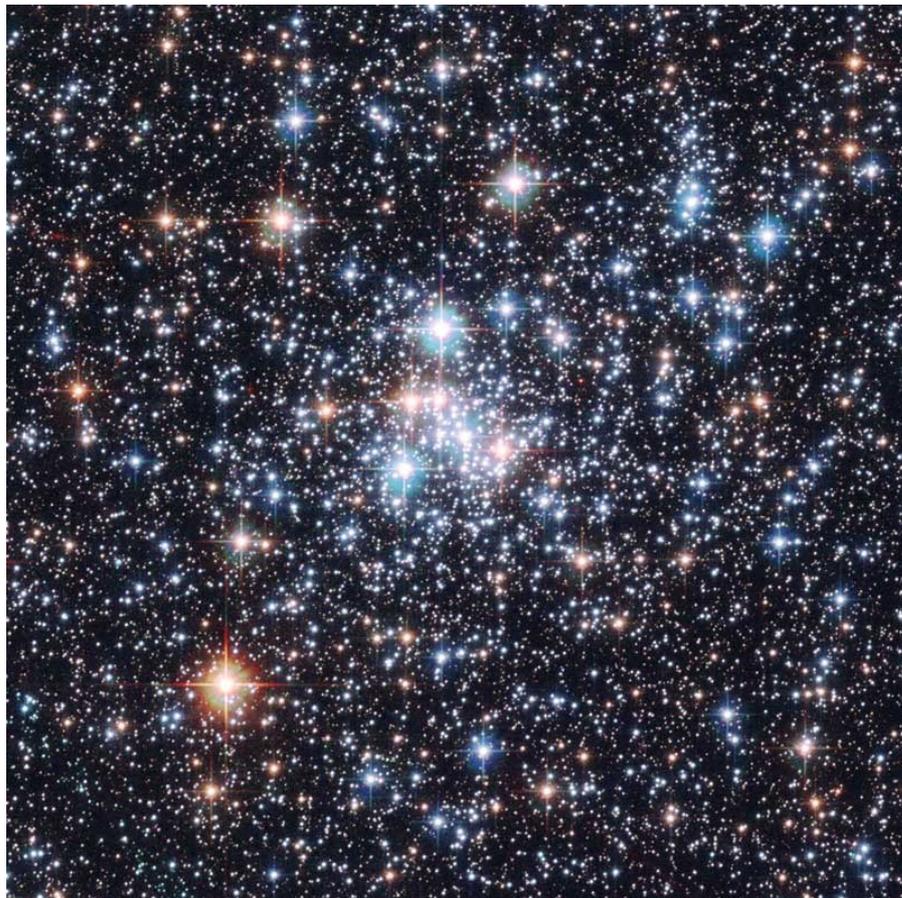


Figura1. Aglomerado aberto Caixinha de Jóias

Os aglomerados estelares abertos como o exemplo mostrado na Figura 1, são grupos de estrelas que nasceram em uma mesma nuvem de gás e poeira, ou seja, são aglomerados jovens.

Deste modo as estrelas desse grupo possuem a mesma idade e também estão aproximadamente a uma mesma distância de nós. Os aglomerados abertos mais conhecidos e mais observados pelos astrônomos amadores são citados abaixo:

Aglomerado Caixinha de Jóias, próximo ao Cruzeiro do Sul, que recebe este nome por conter estrelas de diversas cores.

Aglomerado Plêiades, um aglomerado de estrelas bastante jovens (aproximadamente 135 milhões de anos) que fica na constelação de Touro e pode ser visto a olho nu principalmente no verão do hemisfério sul.

Estrelas de um mesmo aglomerado possuírem a mesma idade não significa que todas sejam idênticas. Elas nasceram juntas, porém podem apresentar massas e tamanhos diferentes. Desta forma, seus aspectos são diferenciados em função das diversas temperaturas superficiais encontradas, estas temperaturas definem as cores das estrelas. Isso explica o aglomerado aberto Caixinha de Jóias (Figura 1) que possui estrelas de diferentes cores.

Outra informação que os aglomerados nos fornecem é o tamanho de uma estrela em relação à outra. De forma geral, quando olhamos para o céu, não podemos dizer que uma estrela é maior ou mais brilhante que outra, isso porque esta estrela pode estar mais perto de nós e assim parecer maior e/ou mais brilhante. Num aglomerado esta dificuldade deixa de existir, pois como foi dito, consideramos que estão todas à uma mesma distância.

Através das imagens utilizadas neste trabalho iremos estimar a magnitude de algumas estrelas e sua temperatura. Uma forma de correlacionar estas grandezas é através de um diagrama onde se pode comparar diversos parâmetros estelares como temperatura, massa, raio e luminosidade da estrela.

O diagrama H-R

O Diagrama de Hertzsprung-Russell, conhecido como diagrama H-R, foi descoberto independentemente pelo dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873-1967), e pelo americano Henry N. Russell (1877-1957), correlacionando luminosidade de uma estrela e sua temperatura superficial (ou magnitude absoluta e índice de cor).

Tanto a luminosidade como a temperatura superficial de uma estrela, são características facilmente determináveis para estrelas de distâncias conhecidas: a primeira pode ser encontrada a partir da magnitude aparente, e a segunda a partir de sua cor ou tipo espectral. A Figura 2 mostra um diagrama H-R para um conjunto de estrelas nas proximidades do Sol.

Nesse diagrama, adota-se a convenção em que a temperatura cresce para a esquerda, e a luminosidade para cima. A primeira coisa que se nota em um diagrama H-R, é que as estrelas não se distribuem aleatoriamente nele, mas concentram-se em algumas regiões. A maior parte das estrelas está distribuída ao longo de uma estreita faixa na diagonal que vai do extremo superior esquerdo (estrelas quentes e muito luminosas), até o extremo inferior direito (estrelas frias e pouco luminosas). Essa faixa é chamada Seqüência Principal. Como pode ser visto no diagrama H-R (Figura 2) podemos usar a magnitude absoluta (a magnitude que a estrela teria se estivesse a 10 parsecs de distância) no lugar da luminosidade, da mesma forma que o tipo espectral pode ser usado no lugar da temperatura.

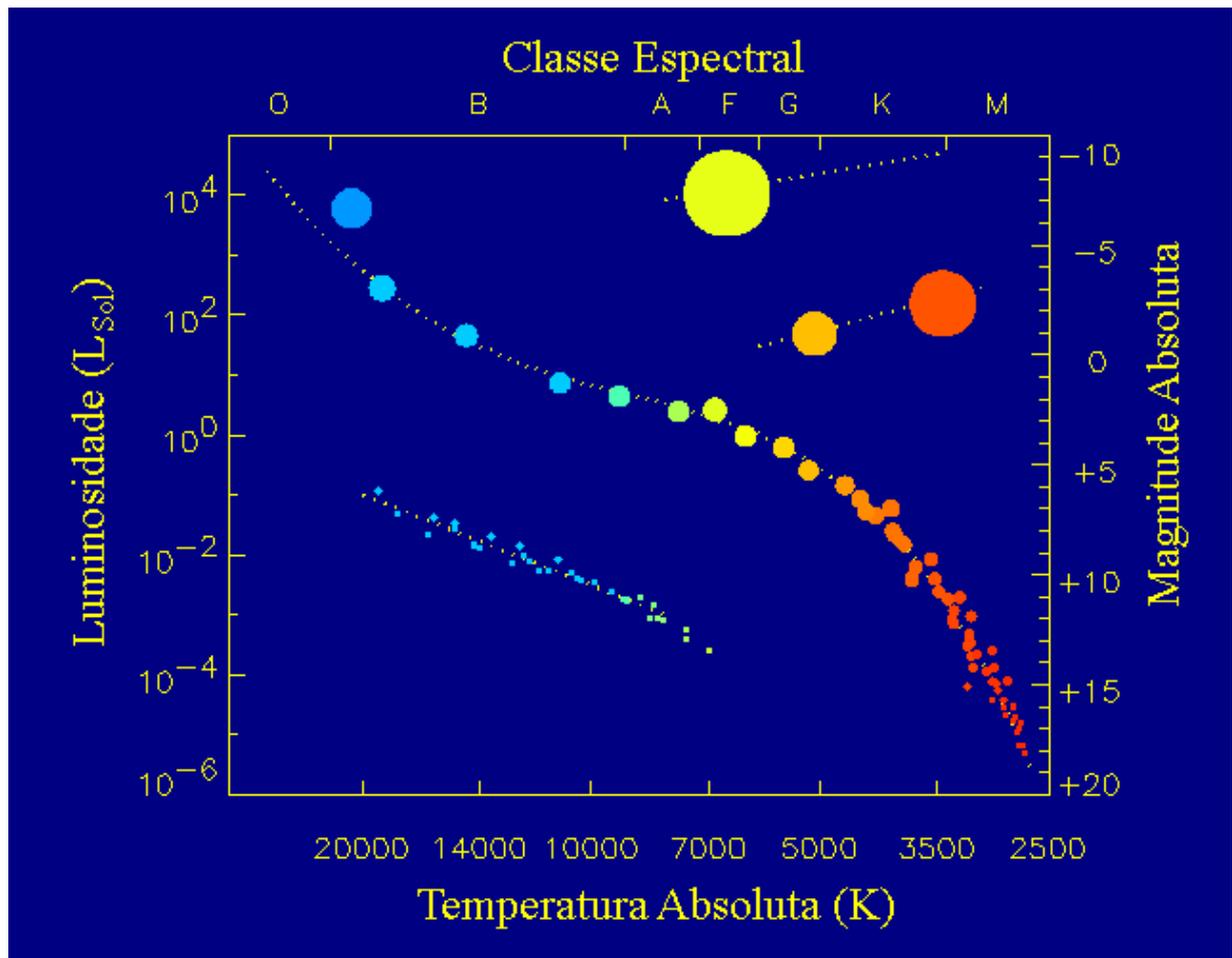


Figura 2. Diagrama H-R utilizando cores ilustrativas para as estrelas de diferentes temperaturas

Bibliografia sugerida:

- ✓ Parâmetros estelares e conceitos básicos de astrofísica são encontrados no capítulo 7 do livro: *Astronomia, uma visão geral*, EDUSP. 2000. Vários autores.
- ✓ Veja também os capítulos sobre Fotometria, Cor e Temperaturas de estrelas no livro: *Astronomia e Astrofísica*, Oliveira, Kepler de Souza e Saraiva, Maria de F. Oliveira. Livraria da Física. 2004.
- ✓ Para estudar o nascimento de estrelas semelhantes ao Sol veja o capítulo 12 do livro: *Descobrimo o Universo*, Edusp. 2004. Vários autores.
- ✓ Também sugerimos a leitura do livro (em inglês): *Astronomy*. Chaisson & McMillan, Publicado por Addison-Wesley. 2006.

Sitegrafia sugerida:

- ✓ Sugerimos que a atividade de fotometria seja realizada antes desta.
<http://www.astro.iag.usp.br/~aga0317/atividades/TecnicasFotometricas.pdf>
- ✓ A realização da atividade Cores das Estrelas fornece uma base importante para o trabalho nesta atividade de idades estelares.
<http://www.astro.iag.usp.br/~aga0317/atividades/gregoriocores.pdf>
- ✓ Textos introdutórios de fotometria podem ser encontrados em:
<http://astro.if.ufrgs.br/rad/rad/rad.htm>
- ✓ Capítulo da apostila da disciplina “Fundamentos de Astronomia” sobre magnitudes e distância das estrelas.
<http://www.telescopiosnaescola.pro.br/aga215/cap08.pdf>

II. Atividade

Você irá obter imagens de aglomerados estelares, através de um telescópio do TnE (ou imagens de banco de dados), medirá o número de contagens (que é proporcional ao número de fótons incidentes) e adotará uma estrela padrão para encontrar o brilho da estrela alvo, depois transformará esse brilho em magnitudes e por último irá plotar os dados obtidos num gráfico com curvas de idade para estimar a idade do aglomerado estudado.

1. Preparação

Para realizar este processo é importante conhecer os passos da Atividade 1: Técnicas Fotométricas.

Encontram-se disponíveis no site www.telescopiosnaescola.pro.br e na bibliografia deste projeto informações iniciais para os professores.

A leitura de textos básicos e introdutórios pelos professores e alunos constitui uma ferramenta importante para o desenrolar da atividade.

2. Escolhendo os alvos

Primeiro você deve verificar a disponibilidade do telescópio requisitando uma noite para fazer as observações, para isso deve entrar no site do TnE e clicar em agendamento. Com a data da observação escolhida você buscará na lista de objetos abaixo qual aglomerado está propício para observação nesta época (outros aglomerados jovens podem ser escolhidos).

Como existem muitas listas de aglomerados abertos, para melhor se escolher os alvos, recomenda-se trabalhar com aqueles mais conhecidos. Aglomerados visíveis a olho nu são especialmente interessantes, pois uma identificação visual do aglomerado com os alunos pode ser feita para que saibam exatamente com que objeto estarão lidando. Abaixo você pode encontrar uma lista de aglomerados abertos, suas coordenadas, distância e idades.

NOME	A.R. (2000)	DEC. (2000)	Idade (milhões de anos)	d(pc)
Ruprecht 119	16:28:15	-51:30:00	7	956
Lynga 14	16:55:04	-45:14:00	5	881
Collinder 96	06:30:18	02:52:00	11	962
NGC 6249	16:57:41	-44:48:42	24	981
<u>Melotte</u> 22(plêiades)	03 47 00	+24 07 00	135	150
<u>Melotte</u> 25(Hyades)	04 26 54	+15 52 00	787	45

Tabela 1. Ascensão Reta (A.R.) e Declinação (DEC.) são as coordenadas dos aglomerados para o ano de 2000. Na última coluna você encontrará a distância do aglomerado em Parsecs. 1 Parsec = 3,3 Anos-Luz ~ 31 trilhões de km.

Ao escolher o aglomerado você deve ter em mente que precisa de uma estrela padrão com coordenadas próximas a ele. Usará esta estrela como elemento de comparação para determinar a magnitude das estrelas do aglomerado. O ideal seria termos uma ou mais estrelas padrão que aparecessem na mesma imagem em que se encontra o aglomerado.

Para buscar estas estrelas padrão são usados catálogos como estes: <http://obswww.unige.ch/gcpd/indexform.html> ou <http://obswww.unige.ch/gcpd/cgi-bin/photoSysHtml.cgi?0>

Quando não for encontrada uma estrela padrão, uma estimativa da magnitude pode ser obtida por comparação com outra(s) estrela(s) de campo, ou seja, que não pertence ao aglomerado, mas encontra-se na mesma imagem. Neste caso, é necessário conhecer a magnitude aparente desta estrela e se possível a informação de que não se trata de um objeto variável.

3. Realização das observações

Nesta etapa serão realizadas as observações programadas. Um tutorial de como realizar as observações pode ser encontrado no site do TnE, clicando nos seguintes itens: [Escolha o telescópio](#) > [Como observar](#).

Deve-se salvar as observações no formato *fits* para serem tratadas posteriormente.

Para esta atividade será necessário obter imagens em dois filtros para que possamos encontrar o índice de cor e conseqüentemente a temperatura. (Vide: atividade Cores das estrelas)

4. Tratamento das imagens

Neste ponto você já deve ter feito uma identificação visual do objeto no céu (se possível) e usado o telescópio para obter as imagens. Você deverá abrir a imagem que fez no DS9 (Abra a imagens no filtro V, por exemplo) que contenham a estrela padrão e a estrela que deseja estudar para determinar a idade do aglomerado. Para ilustrar o procedimento vamos realizar as etapas para o aglomerado RUPRECHT 119.

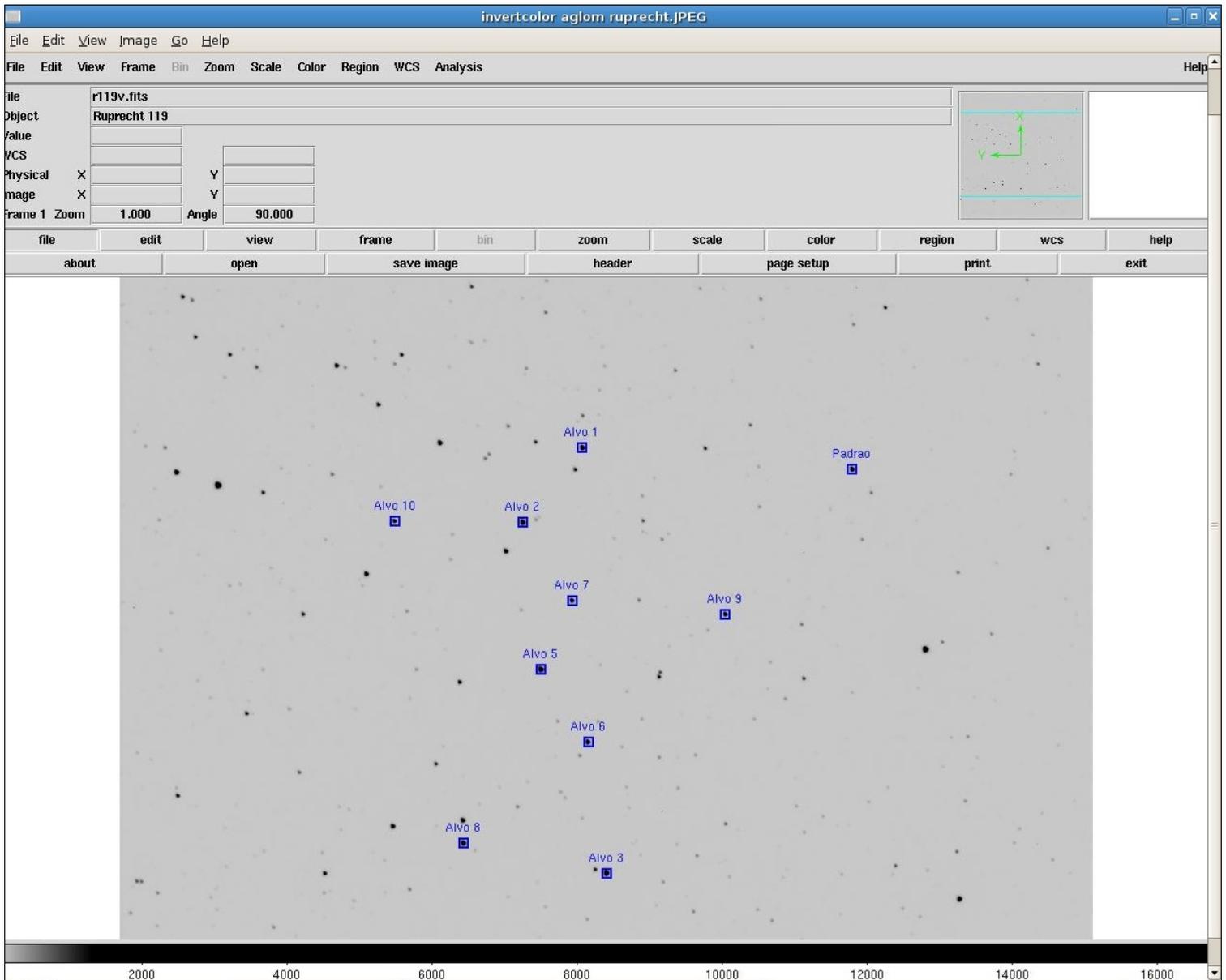


Imagem do aglomerado, aberta no programa DS9, indicando as estrelas que serão trabalhadas e uma estrela padrão.

A estrela padrão tem brilho (fluxo) conhecido, você vai determinar o número de contagens de cada uma das estrelas (alvo e padrão), a atividade FOTOMETRIA mostra como fazer isso, e usando a seguinte relação encontrará o brilho da estrela alvo:

$$C_a/C_p = B_a/B_p$$

Onde C é o nível de contagens e B o Brilho aparente.

Para uma explicação mais detalhada de como encontrar a contagem e trabalhar com o programa DS9, ler a Atividade 1 (Técnicas Fotométricas). De posse do brilho da estrela alvo, poderá determinar sua magnitude através da tabela encontrada no Anexo 1, no final deste texto. Faça isso para dez estrelas alvo. Marque os valores encontrados na Tabela 1.

	Contagem B	Contagem V	Brilho B W/m ² (Fluxo)	Brilho V W/m ² (Fluxo)	m _B	m _V	Índice de Cor (m _B - m _V)	Temperatura
Estrela 1								
Estrela 2								
Estrela 3								
Estrela 4								
Estrela 5								
Estrela 6								
Estrela 7								
Estrela 8								
Estrela 9								
Estrela 10								

Tabela 2.

Realizando o procedimento para dois filtros você será capaz de encontrar o índice de cor da estrela este índice está relacionado com sua temperatura. Por exemplo, o índice de cor (B-V) corresponde à diferença entre as magnitudes (m_B - m_V) dos filtros azul (B) e visível (V), respectivamente.

Sabendo o índice de cor e conseqüentemente a temperatura já podemos situar a estrela no eixo horizontal do diagrama H-R.

Agora precisamos verificar a posição da estrela no eixo vertical do diagrama, para isso devemos conhecer a luminosidade ou a magnitude absoluta da estrela que corresponde a seu brilho íntínseco. Existe uma relação entre magnitude absoluta e magnitude aparente que leva em conta a distância do objeto, esta relação é chamada de módulo de distância:

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

Usando a magnitude aparente (m) encontrada e a distância em parsecs obtém-se a magnitude absoluta (M).

Você agora pode posicionar a estrela no eixo vertical do diagrama. Fazendo isso para mais estrelas, perceberemos um agrupamento preferencial das estrelas no gráfico.

Usaremos este mesmo diagrama para plotar as isócronas (Figura 4) que nos indicarão a idade do aglomerado.

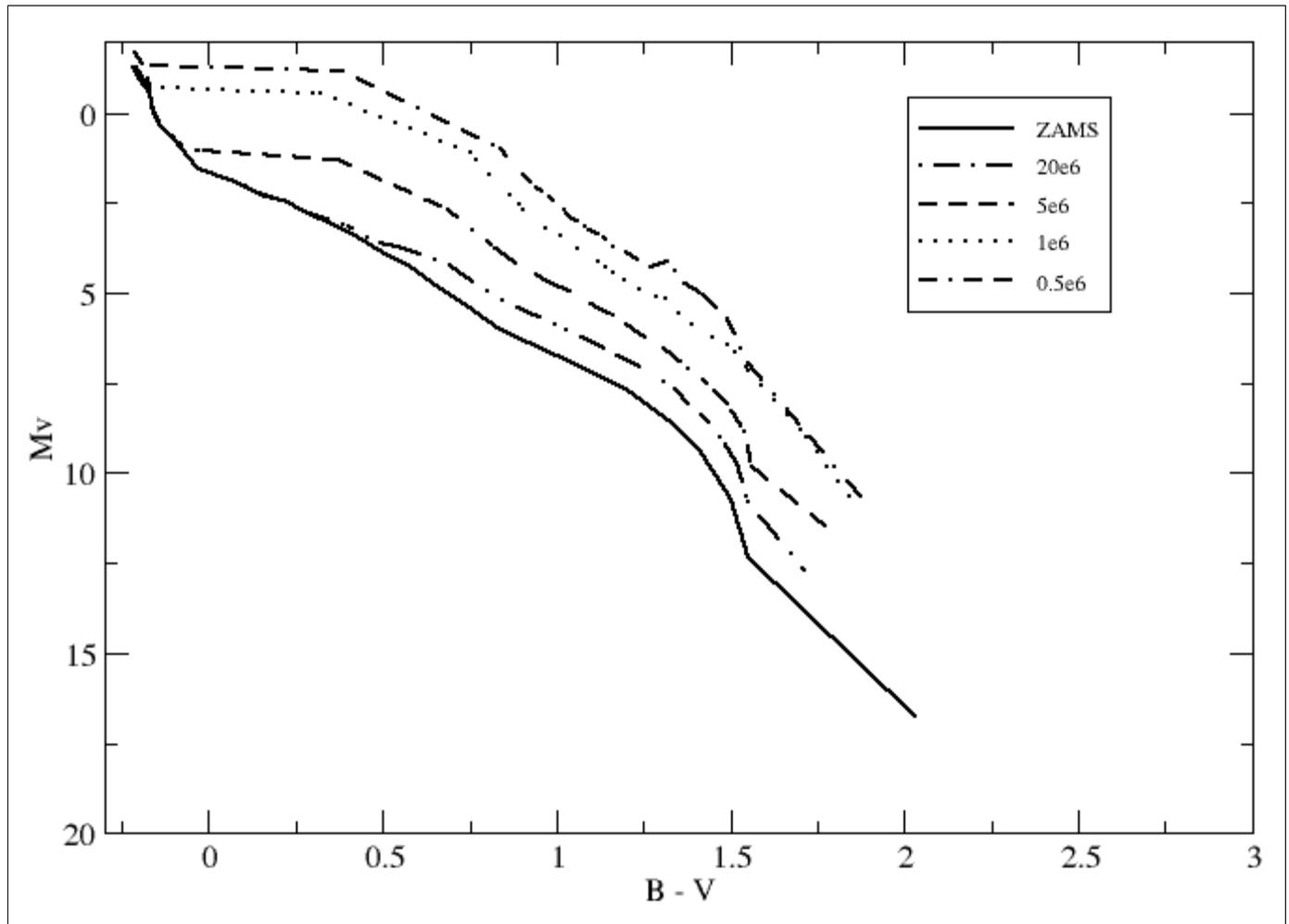


Figura 4. Diagrama cor ($B - V$) em função da magnitude absoluta na banda V com isócronas plotadas determinando as faixas de idades estelares. As Isócronas foram calculadas por modelos estelares de Siess et al. 2000.

Neste gráfico são plotadas diversas linhas (Isócronas) indicando as faixas de idade estelares, variando desde 0,5 milhões de anos até chegar na Sequência Principal de idade Zero (ZAMS)

Para o aglomerado Ruprecht 119, obtemos o seguinte gráfico:

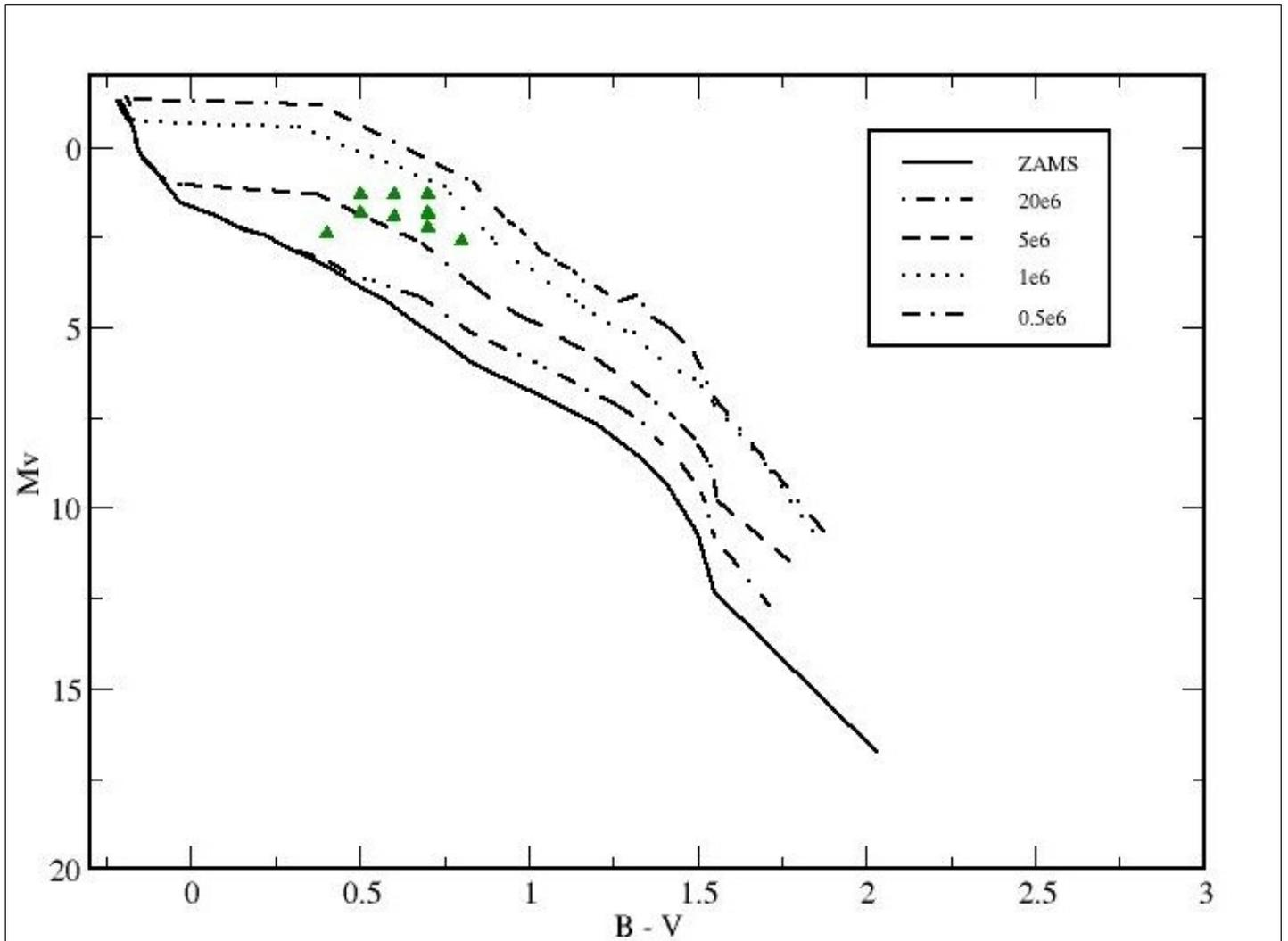


Figura 5. Diagrama cor x magnitude com dados do aglomerado Ruprecht 119 plotados.

De acordo com a distribuição das estrelas próximas a uma dada isócrona, estima-se a idade do aglomerado, neste caso entre 1 e 5 milhões de anos.

III. Relatório de Resultados

Da mesma forma que os cientistas publicam as descobertas da pesquisa realizada, você deve apresentar seus resultados através de um relatório. Além de divulgar seu trabalho, o principal objetivo desse relatório é ajudá-lo a fixar os conhecimentos adquiridos durante a atividade.

1) Objetivos

a) Quais foram os objetivos propostos nesta atividade?

2) Estudo Teórico

a) O que são aglomerados abertos?

b) Cite alguns aglomerados que podem ser vistos a olho nu.

c) Quais as vantagens em se estudar estrelas que pertencem a um aglomerado?

d) Qual foi a bibliografia consultada para a realização da atividade e para a elaboração do relatório?

3) Resultados

a) Quais foram os aglomerados observados?

b) Como esse resultado se compara com o esperado (dado na literatura)?

c) Quais foram as imagens utilizadas do banco de dados? Informe o nome dos arquivos.

4) Análise dos Resultados

a) Que idade você encontrou para os aglomerados observados?

5) Conclusões

a) Você atingiu os objetivos descritos na pergunta 1? Encontrou dificuldades? Quais?

b) Que comentários e/ou discussões surgiram durante a Atividade e a realização do relatório?

c) Alguma outra escola observou aglomerados? Quais foram seus resultados? Que conclusões eles obtiveram? Como se comparam os resultados deles com os seus?

IV. Avaliação pelo Professor

a) Em que conteúdos curriculares pode ser aplicada a Atividade de Idade de aglomerados? Quais são as finalidades?

b) O que os alunos aprenderam com essa Atividade? O que eles mais gostaram de aprender?

c) Existem comentários, críticas e/ou sugestões que o professor gostaria de fazer para a equipe do TnE?

d) Avaliação. Neste ponto o professor deve pensar numa forma de avaliação mais adequada à seus alunos.

Deve-se pensar numa forma de analisar se o aprendizado foi aquele esperado pelo professor.

Imaginamos que o aluno tenha que ter se familiarizado com o método de pesquisa.

Deve ter levantado hipóteses antes do trabalho e conclusões depois do trabalho e ter se familiarizado com alguns fenômenos físicos descritos neste projeto.

Enfim, a avaliação é sempre um processo de reflexão do professor e também do aluno.

V. Publicação

1) Enviar o relatório (III) e sua avaliação (IV) por e-mail

(tne@astro.iag.usp.br) para serem publicados na página do TnE.

2) Caso você tenha imagens ilustrativas ou fotos do grupo realizando a Atividade, e queira divulgá-las, favor anexá-las ao presente relatório.

Anexo 1
Tabela de conversão de Brilho (fluxo) em magnitudes

Mag.	I	R	V	B	U	Bolometric
5.0	2.40×10^{-11}	1.65×10^{-11}	3.61×10^{-11}	9.24×10^{-11}	1.83×10^{-11}	2.40×10^{-10}
5.1	2.19×10^{-11}	1.51×10^{-11}	3.29×10^{-11}	8.43×10^{-11}	1.67×10^{-11}	2.19×10^{-10}
5.2	2.00×10^{-11}	1.37×10^{-11}	3.01×10^{-11}	7.69×10^{-11}	1.52×10^{-11}	2.00×10^{-10}
5.3	1.82×10^{-11}	1.25×10^{-11}	2.74×10^{-11}	7.02×10^{-11}	1.39×10^{-11}	1.82×10^{-10}
5.4	1.66×10^{-11}	1.14×10^{-11}	2.50×10^{-11}	6.40×10^{-11}	1.27×10^{-11}	1.66×10^{-10}
5.5	1.52×10^{-11}	1.04×10^{-11}	2.28×10^{-11}	5.84×10^{-11}	1.16×10^{-11}	1.52×10^{-10}
5.6	1.38×10^{-11}	9.52×10^{-12}	2.08×10^{-11}	5.33×10^{-11}	1.06×10^{-11}	1.38×10^{-10}
5.7	1.26×10^{-11}	8.69×10^{-12}	1.90×10^{-11}	4.86×10^{-11}	9.63×10^{-12}	1.26×10^{-10}
5.8	1.15×10^{-11}	7.92×10^{-12}	1.73×10^{-11}	4.44×10^{-11}	8.79×10^{-12}	1.15×10^{-10}
5.9	1.05×10^{-11}	7.23×10^{-12}	1.58×10^{-11}	4.05×10^{-11}	8.02×10^{-12}	1.05×10^{-10}
6.0	9.57×10^{-12}	6.60×10^{-12}	1.44×10^{-11}	3.69×10^{-11}	7.32×10^{-12}	9.57×10^{-11}
6.1	8.76×10^{-12}	6.02×10^{-12}	1.32×10^{-11}	3.37×10^{-11}	6.68×10^{-12}	8.76×10^{-11}
6.2	7.99×10^{-12}	5.49×10^{-12}	1.20×10^{-11}	3.07×10^{-11}	6.09×10^{-12}	7.99×10^{-11}
6.3	7.29×10^{-12}	5.01×10^{-12}	1.10×10^{-11}	2.80×10^{-11}	5.56×10^{-12}	7.29×10^{-11}
6.4	6.65×10^{-12}	4.57×10^{-12}	1.00×10^{-11}	2.56×10^{-11}	5.07×10^{-12}	6.65×10^{-11}
6.5	6.07×10^{-12}	4.17×10^{-12}	9.13×10^{-12}	2.33×10^{-11}	4.63×10^{-12}	6.07×10^{-11}
6.6	5.54×10^{-12}	3.81×10^{-12}	8.33×10^{-12}	2.13×10^{-11}	4.22×10^{-12}	5.54×10^{-11}
6.7	5.05×10^{-12}	3.47×10^{-12}	7.60×10^{-12}	1.94×10^{-11}	3.85×10^{-12}	5.05×10^{-11}
6.8	4.61×10^{-12}	3.17×10^{-12}	6.93×10^{-12}	1.77×10^{-11}	3.51×10^{-12}	4.61×10^{-11}
6.9	4.21×10^{-12}	2.89×10^{-12}	6.33×10^{-12}	1.61×10^{-11}	3.21×10^{-12}	4.21×10^{-11}
7.0	3.84×10^{-12}	2.64×10^{-12}	5.77×10^{-12}	1.47×10^{-11}	2.93×10^{-12}	3.84×10^{-11}
7.1	3.50×10^{-12}	2.41×10^{-12}	5.27×10^{-12}	1.34×10^{-11}	2.67×10^{-12}	3.50×10^{-11}
7.2	3.20×10^{-12}	2.20×10^{-12}	4.80×10^{-12}	1.23×10^{-11}	2.44×10^{-12}	3.20×10^{-11}
7.3	2.91×10^{-12}	2.00×10^{-12}	4.38×10^{-12}	1.12×10^{-11}	2.23×10^{-12}	2.91×10^{-11}
7.4	2.66×10^{-12}	1.83×10^{-12}	4.00×10^{-12}	1.02×10^{-11}	2.03×10^{-12}	2.66×10^{-11}
7.5	2.43×10^{-12}	1.67×10^{-12}	3.65×10^{-12}	9.29×10^{-12}	1.85×10^{-12}	2.43×10^{-11}
7.6	2.21×10^{-12}	1.52×10^{-12}	3.33×10^{-12}	8.48×10^{-12}	1.69×10^{-12}	2.21×10^{-11}
7.7	2.02×10^{-12}	1.39×10^{-12}	3.04×10^{-12}	7.38×10^{-12}	1.54×10^{-12}	2.02×10^{-11}
7.8	1.84×10^{-12}	1.27×10^{-12}	2.77×10^{-12}	7.06×10^{-12}	1.41×10^{-12}	1.84×10^{-11}
7.9	1.68×10^{-12}	1.16×10^{-12}	2.53×10^{-12}	6.44×10^{-12}	1.28×10^{-12}	1.68×10^{-11}
8.0	1.51×10^{-12}	1.04×10^{-12}	2.28×10^{-12}	5.83×10^{-12}	1.16×10^{-12}	1.51×10^{-11}
8.1	1.38×10^{-12}	9.49×10^{-13}	2.08×10^{-12}	5.32×10^{-12}	1.06×10^{-12}	1.38×10^{-11}
8.2	1.26×10^{-12}	9.66×10^{-13}	1.90×10^{-12}	4.85×10^{-12}	9.66×10^{-13}	1.26×10^{-11}
8.3	1.15×10^{-12}	7.90×10^{-13}	1.73×10^{-12}	4.43×10^{-12}	8.81×10^{-13}	1.15×10^{-11}
8.4	1.05×10^{-12}	7.21×10^{-13}	1.58×10^{-12}	4.04×10^{-12}	8.04×10^{-13}	1.05×10^{-11}
8.6	8.71×10^{-13}	6.00×10^{-13}	1.32×10^{-12}	3.36×10^{-12}	6.69×10^{-13}	8.71×10^{-12}
8.5	9.55×10^{-13}	6.58×10^{-13}	1.44×10^{-12}	3.69×10^{-12}	7.34×10^{-13}	9.55×10^{-12}
8.7	7.95×10^{-13}	5.47×10^{-13}	1.20×10^{-12}	3.07×10^{-12}	6.11×10^{-13}	7.95×10^{-12}
8.8	7.25×10^{-13}	5.00×10^{-13}	1.10×10^{-12}	2.80×10^{-12}	5.57×10^{-13}	7.25×10^{-12}
8.9	6.62×10^{-13}	4.46×10^{-13}	9.99×10^{-13}	2.55×10^{-12}	5.08×10^{-13}	6.62×10^{-12}
9.0	6.04×10^{-13}	4.16×10^{-13}	9.12×10^{-13}	2.33×10^{-12}	4.64×10^{-13}	6.04×10^{-12}
9.1	5.51×10^{-13}	3.79×10^{-13}	8.32×10^{-13}	2.12×10^{-12}	4.23×10^{-13}	5.51×10^{-12}
9.2	5.03×10^{-13}	3.46×10^{-13}	7.59×10^{-13}	1.94×10^{-12}	3.86×10^{-13}	5.03×10^{-12}
9.3	4.59×10^{-13}	3.16×10^{-13}	6.93×10^{-13}	1.77×10^{-12}	3.52×10^{-13}	4.59×10^{-12}
9.4	4.18×10^{-13}	2.88×10^{-13}	6.32×10^{-13}	1.61×10^{-12}	3.21×10^{-13}	4.18×10^{-12}
9.5	3.82×10^{-13}	2.63×10^{-13}	5.77×10^{-13}	1.47×10^{-12}	2.93×10^{-13}	3.82×10^{-12}
9.6	3.48×10^{-13}	2.40×10^{-13}	5.26×10^{-13}	1.34×10^{-12}	2.68×10^{-13}	3.48×10^{-12}
9.7	3.18×10^{-13}	2.19×10^{-13}	4.80×10^{-13}	1.22×10^{-12}	2.44×10^{-13}	3.18×10^{-12}
9.8	2.90×10^{-13}	2.00×10^{-13}	4.38×10^{-13}	1.12×10^{-12}	2.23×10^{-13}	2.90×10^{-12}
9.9	2.65×10^{-13}	1.82×10^{-13}	4.00×10^{-13}	1.02×10^{-12}	2.03×10^{-13}	2.65×10^{-12}
10.0	2.41×10^{-13}	1.66×10^{-13}	3.65×10^{-13}	9.30×10^{-13}	1.85×10^{-13}	2.41×10^{-12}

Mag.	Fluxo em B	Fluxo em V
10,1	8,4817E-13	3,32323E-13
10,2	7,7354E-13	3,02914E-13
10,3	7,0548E-13	2,76109E-13
10,4	6,434E-13	2,51675E-13
10,5	5,8679E-13	2,29403E-13
10,6	5,3516E-13	2,09103E-13
10,7	4,8807E-13	1,90599E-13
10,8	4,4513E-13	1,73732E-13
10,9	4,0596E-13	1,58358E-13
11	3,7024E-13	1,44344E-13
11,1	3,3766E-13	1,31571E-13
11,2	3,0795E-13	1,19928E-13
11,3	2,8086E-13	1,09315E-13
11,4	2,5614E-13	9,96414E-14
11,5	2,3361E-13	9,08239E-14
11,6	2,1305E-13	8,27866E-14
11,7	1,943E-13	7,54606E-14
11,8	1,7721E-13	6,87828E-14
11,9	1,6162E-13	6,2696E-14
12	1,474E-13	5,71479E-14
12,1	1,3443E-13	5,20907E-14
12,2	1,226E-13	4,7481E-14
12,3	1,1181E-13	4,32793E-14
12,4	1,0197E-13	3,94494E-14
12,5	9,3E-14	3,59584E-14
12,6	8,4817E-14	3,27763E-14
12,7	7,7354E-14	2,98758E-14
12,8	7,0548E-14	2,7232E-14
12,9	6,434E-14	2,48222E-14
13	5,8679E-14	2,26256E-14
13,1	5,3516E-14	2,06234E-14
13,2	4,8807E-14	1,87984E-14
13,3	4,4513E-14	1,71348E-14
13,4	4,0596E-14	1,56185E-14
13,5	3,7024E-14	1,42364E-14
13,6	3,3766E-14	1,29766E-14
13,7	3,0795E-14	1,18282E-14
13,8	2,8086E-14	1,07815E-14