

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA

Estágios Finais da Evolução de Aglomerados Abertos*

Daniela Borges Pavani

Dissertação realizada sob orientação do Dr. Eduardo L. D. Bica e apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Física.

Porto Alegre
Maio - 2001

*Trabalho financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

Aos meus pais, Carlos e Luci.
*O amor e apoio incondicional de vocês sustentam a busca pela realização dos meus
sonhos.*

Agradecimentos

★ Ao Eduardo Bica por estar sempre pronto a discutir todos os assuntos, incentivando-me a descobrir caminhos e também apontando-os. Por seu apoio, disposição e presença constante dando significado a palavra *orientador*.

★ Ao Horácio Dottori, pelo incentivo e colaborações fundamentais.

★ À Fabi e ao Fabricio, irmã e cunhado, pelo amor, por serem fiéis entusiastas e apoiadores incondicionais da minha escolha pela Astronomia.

★ À Fafá e a Paola, afilhada e sobrinhas, por tornarem minha vida mais iluminada. Que minha presença nem tão constante não as impeça de continuar querendo “.....*trabalhar no céu com a Didi.....*”.

★ Ao Ricardo, meu afilhado, pela felicidade que seu sorriso e olhos brilhando proporcionam quando nos encontramos. Que minha presença pouco constante não o impeça de admirar as estrelas.

★ À Simone, minha prima, pelo amor, amizade, e momentos compartilhados.

★ Aos colegas da sala M208 e seus frequentadores virtuais: Guilherme, Henrique, André, Marco, Tiago, Mesquita, Arlei, Sandro, Alison, Marcinha, Silvana, Verônica, Karen, Renato, Leila, Leandro (Dick), Volmir, Dirk, Quico, Marina, Erlon, Marcelo e Andrea, Mau e Margarete, Liza e Olavo. Dos quais a amizade e apoio são fundamentais em minha vida. Em especial ao Evy, pela assessoria computacional e amizade.

★ Ao Carlos, Jules e Leandro, pelos auxílios e discussões fundamentais no aperfeiçoamento e na conclusão deste trabalho.

★ Ao Planetário da UFRGS Prof. José Baptista Pereira, onde “as portas do céu se abriram” através do trabalho desenvolvido, horizontes expandidos, e onde solidifiquei o desejo de ser astrônoma. Representado pelas pessoas que lá trabalham, cuja amizade e convivência me fizeram ver o mundo com outros olhos.

★ Aos professores e colegas do Departamento de Astronomia, pelo convívio e troca de experiências que fazem nosso dia-a-dia alegre e instrutivo.

★ À todos os professores, funcionários e colegas do Instituto de Física que com suas opiniões e ações incentivaram e colaboraram para que este trabalho fosse iniciado, e concluído.

Resumo

No presente trabalho estudamos aglomerados abertos e/ou grupos estelares não tão densos com o objetivo de identificar prováveis estágios dinâmicos evoluídos de aglomerados abertos. A seleção dos grupos estelares partiu de uma lista de candidatos relativamente concentrados mas pouco povoados que seriam prováveis candidatos ao fenômeno dinâmico buscado (Bica et al. 2001 [7]). Estes candidatos estão localizados a latitudes Galáticas relativamente altas ($|b| > 15^{\circ}$). Os grupos estelares NGC 1252 e NGC 1901 foram estudados nas bandas B e V através de fotometria CCD. O aglomerado aberto clássico velho M67 (NGC 2682) e o grupo estelar NGC 2664 foram estudados nas bandas J e H com dados do catálogo infravermelho 2MASS. NGC 1252 é uma concentração com aproximadamente 20 estrelas localizada a 20' ao norte das coordenadas originais no *New General Catalogue*, e a sudoeste da extensa região previamente indicada como sendo o objeto na literatura. O diagrama cor-magnitude de NGC 1252 sugere um *turnoff* e uma sequência principal, e um total de 12 prováveis membros. Simulamos um diagrama cor-magnitude do campo Galático na direção de cada um dos grupos estelares. Para NGC 1252 a simulação não apresentou semelhanças com o mesmo, e sugere que NGC 1252 não se trate de uma flutuação de campo. O ajuste de isócronas para os prováveis membros é consistente com um avermelhamento $E(B-V) = 0.02$, uma distância ao Sol $d_{\odot} = 0.64 \pm 0.07$ kpc ($Z = -0.46$ kpc) e uma idade de 3 ± 1 Gano. Os dados disponíveis indicam que não podemos descartar a possibilidade de NGC 1252 ser um grupo físico, e se o for as evidências apontam não para um aglomerado aberto clássico mas sim um aglomerado aberto remanescente. NGC 1901 é freqüentemente descrito como um aglomerado aberto, encontramos uma clara sequência principal e similaridade com as Hyades. Obtivemos um avermelhamento de $E(B-V) = 0.04$, $d_{\odot} = 0.45 \pm 0.04$ kpc ($Z = -0.23$ kpc) e uma idade de 0.6 ± 0.1 Gano. NGC 1901 é conclusivamente um sistema físico, dinamicamente comparável ou mais evoluído que as Hyades. Como análises com o catálogo 2MASS apenas começam a ser feitas, utilizamos M67 como objeto de comparação. Investigamos também se existe alguma relação entre M67 e NGC 2664, pois estão projetados próximos ($\sim 1^{\circ}$). Para obtenção dos parâmetros fundamentais de M67 partimos de valores presentes na literatura, que constatamos não estarem perfeitamente estabelecidos. Obtivemos para M67 um avermelhamento $E(J-H) = 0.0$, $d_{\odot} = 0.72 \pm 0.07$ kpc, e idade de 3.5 ± 0.5 Ganos. Para NGC 2664 obtivemos um diagrama cor-magnitude sugerindo uma sequência principal, e a ocorrência pelo menos de 9 prováveis membros. O ajuste de isócronas é compatível com um avermelhamento $E(J-H) = 0.0$, $d_{\odot} = 0.69 \pm 0.1$ kpc e idade de 1.5 ± 0.5 Gano. Subtrações estatísticas no diagrama cor-magnitude de estrelas de campos circundantes dão apoio a NGC 2664 como um sistema físico. Ele parece ser um remanescente de aglomerado aberto do disco velho com aproximadamente metade da idade de M67. Para uma análise conclusiva são necessários astrometria, velocidades radiais e tipos espectrais para todos os prováveis membros. Aglomerados abertos evoluem

dinamicamente e modelos de N-corpos têm indicado que um grande número de remanescentes são esperados próximos à dissolução. Só recentemente iniciaram-se esforços sistemáticos para detectá-los observacionalmente. O presente estudo, baseado no diagrama cor-magnitude indica que NGC1252 e NGC 2664 são prováveis candidatos ao fenômeno. NGC 1901 parece ser um elo entre um aglomerado aberto clássico e seus remanescentes.

Abstract

In the present work we study open clusters and/or loose stellar groups in view of identifying probable late stages of open cluster dynamical evolution. The selection of stellar groups was from a list of relatively concentrated and poorly populated probable candidates to open cluster remnants (Bica et al. 2001 [7]). These candidates are located at relatively high galactic latitudes ($|b| > 15^\circ$). The stellar groups NGC 1252 and NGC 1901 are studied in the B and V bands with CCD photometry. The classical old open cluster M67 (NGC 2682) and the stellar group NGC 2664 are studied in the J and H bands from the 2MASS survey. NGC 1252 consists of a concentration of about 20 stars centered $\sim 20'$ north of the original New General Catalogue coordinates, and at the southwest edge of the large region previously assigned to this object in the literature. The colour-magnitude diagram of NGC 1252 suggests a turnoff and main sequence, and a total of 12 probable members. We simulated the Galactic field colour-magnitude diagrams in the directions of both stellar groups. The field simulation for NGC 1252 is a poor match, suggesting that NGC 1252 is not a field fluctuation. Isochrone fitting to the probable members is consistent with a reddening $E(B-V) = 0.02$, a distance from the Sun $d_\odot = 0.64 \pm 0.07$ Kpc ($Z = -0.46$ kpc) and an age 3 ± 1 Gyr. NGC 1252 cannot be ruled out as a physical group with the available data. If so, evidence is found that it is not a classical open cluster, but rather an open cluster remnant. NGC 1901 is often described as an open cluster. We find a clear main sequence and NGC 1901 shares similarities with the Hyades. We derive $E(B-V) = 0.04$, $d_\odot = 0.45 \pm 0.04$ kpc ($Z = -0.23$ kpc) and an age 0.6 ± 0.1 Gyr. NGC 1901 is conclusively a physical system, dynamically comparable to or more evolved than the Hyades. The 2MASS infrared photometry is very recent, so we explore it by means of M67, which is used as comparison object. We investigate whether M67 and NGC 2664 are related owing to their angular proximity ($\sim 1^\circ$). To derive fundamental parameters for M67 we tested literature values, which we realized not to be perfectly established. We obtained for M67 $E(J-H) = 0.0$, $d_\odot = 0.72 \pm 0.07$ kpc, and an age 3.5 ± 0.5 Gyr. For NGC 2664 the colour-magnitude diagram suggests a main sequence, and 9 probable members. Isochrone fitting is compatible with $E(J-H) = 0.0$, $d_\odot = 0.69 \pm 0.1$, and an age 1.5 ± 0.5 Gyr. Statistical subtractions of surrounding field color-magnitude diagrams further support NGC 2664 as a physical stellar group. If so, it appears to be an old disc open cluster remnant with about half the age of M67. For a more conclusive analysis astrometry, radial velocities and spectral types for all probable members are required. Open clusters dynamically evolve and N-body simulations suggested that many remnants are expected close to dissolution. Only recently more systematic efforts have been made to observationally detect open cluster remnants. The present study based on the analysis of colour-magnitude diagrams indicates that NGC 1252 and NGC 2664 are probable candidates to the phenomenon. NGC 1901 appears to be a link between classical open clusters and their remnants.

Sumário

Resumo	ii
Abstract	iv
1 Introdução	1
1.1 A Galáxia	1
1.2 Aglomerados Abertos e seus Remanescentes	3
1.3 Ajuste de Isócronas e Distância ao Sol	5
1.4 Determinação das Coordenadas Galatocêntricas	7
1.5 Bancos de Dados: fonte de parte do material a analisar	8
1.5.1 Estudo ótico	8
1.5.2 Estudo infravermelho	8
1.6 O presente trabalho	9
2 Estudo ótico de dois candidatos à dissolução	11
2.1 Introdução	11
2.1.1 Observações	12
2.1.2 Redução de Dados	12
2.1.3 Erros	13
2.1.4 Comparação com um modelo de campo	14
2.2 NGC 1252: Possível Aglomerado Aberto Remanescente	14
2.2.1 Redução de imagem de NGC 1252	16
2.2.2 Erros da fotometria de NGC 1252	18
2.2.3 Discussão	18
2.2.4 Comparação com um modelo de campo	24
2.2.5 Astrometria disponível	25
2.3 NGC 1901: Aglomerado Aberto Pouco Povoado	31
2.3.1 Redução das imagens de NGC 1901	31
2.3.2 Erros da fotometria de NGC 1901	35
2.3.3 Discussão	35
2.3.4 Comparação com o modelo de campo	40
2.3.5 Astrometria disponível	40
2.4 Comparação com as Hyades	46

3	Estudo Infravermelho de um Candidato à Aglomerado em Dissolução	50
3.1	Introdução	50
3.2	Fotometria do 2MASS	50
3.3	O aglomerado aberto M67	52
3.4	O Candidato NGC 2664	64
3.4.1	Astrometria disponível	66
3.4.2	Subtração estatística do campo	71
3.4.3	Discussão final	76
4	Comentários finais	80
4.1	Conclusões	80
4.2	Perspectivas	81
A	Artigo Publicado - Lista de Candidatos	83
B	Artigo Publicado - NGC 1252 e NGC 1901	84

Lista de Figuras

1.1	Braços da Galáxia.	2
1.2	Coordenadas Galatocêntricas ℓ e b	7
2.1	NGC 1252: reprodução da Figura 1 (Bouchet & Thé 1983 [12]), com aproximadamente 1° de diâmetro.	15
2.2	NGC 1252: imagem CCD em V com 40 segundos de exposição e dimensões $12.4' \times 8.3'$. O noroeste esta à esquerda e o nordeste para cima.	16
2.3	NGC 1252: no painel superior temos o erro interno (B-V) e no inferior o interno V como função da magnitude V.	18
2.4	NGC 1252: diagrama (B-V) \times V para as 12 estrelas com fotometria CCD. Erros totais em cor são mostrados. Os triângulos abertos são estrelas da fotometria de Bouchet & Thé. A linha indica o limite em magnitude para as estrelas observadas apenas na presente fotometria CCD.	19
2.5	NGC 1252: diagrama (B-V) \times V com mesmos símbolos que a Figura 2.4. São mostradas as isócronas de Padova com metalicidade solar, para idades de 2 e 4 Ganos.	21
2.6	NGC 1252: diagrama (B-V) \times V para fotometria de Bouchet & Thé (1983) [12] com mesma solução de isócronas que na Figura 2.5	22
2.7	O painel à esquerda apresenta o diagrama (B-V) \times V predito pelo modelo de estrutura Galática descrito no texto. Ele corresponde a uma região de 1° de diâmetro na mesma direção que NGC 1252. O painel à direita mostra a superposição das mesmas isócronas para NGC 1252 da Figura 2.5.	24
2.8	Diagrama HR teórico do campo Galático para o ângulo sólido da região do CCD. É mostrada a mesma solução de isócronas da Figura 2.5 para o NGC 1252. A linha pontilhada indica o limite das observações da fotometria CCD.	26
2.9	NGC 1252: mapa do céu com as estrelas extraídas do catálogo Tycho em uma região de $80'$ de diâmetro centrada na concentração de estrelas. O comprimento das flechas é proporcional ao módulo dos movimentos próprios. A flecha maior tem módulo de 121.2 msa/ano. O círculo maior tem $14'$ de diâmetro e engloba NGC 1252. Os círculos pequenos indicam as estrelas do Hipparcos fora da concentração de estrelas.	28

2.10	Diagrama $(B-V) \times V$ para estrelas com fotometria extraída de BT e que localizam-se fora do ângulo sólido do CCD (concentração de estrelas). Os pontos indicam as estrelas consideradas membros e os círculos abertos indicam os não membros segundo a classificação de Bouchet & Thé (1983) [12]. A mesma solução de isócronas de NGC 1252 da Figura 2.5 é mostrada.	29
2.11	NGC 1252: mesmo mapa do céu, com estrela extraídas do Tycho, que na Figura 2.9. O círculos pequenos marcam as estrelas compatíveis com a solução de isócronas para a concentração de estrelas.	30
2.12	NGC 1901: reprodução da Figura 1 de Sanduleak & Philip (1968) [56] para uma região de $\sim 60'$ de diâmetro.	32
2.13	NGC 1901: diagrama $V \times (B-V)$ contendo as 30 estrelas da fotometria CCD. A linha separa as prováveis estrelas da Grande Nuvem de Magalhães das do presente grupo estelar.	33
2.14	NGC 1901: os erros internos em $(B-V)$ são apresentados no painel superior e os erros internos em V no inferior, ambos estão em função da magnitude V	36
2.15	NGC 1901: diagrama $V \times (B-V)$ para as 20 estrelas com fotometria CCD. Erros totais em cor são mostrados.	37
2.16	NGC 1901: diagrama $V \times (B-V)$ com as 30 estrelas da fotometria CCD (círculos pequenos e grandes), as estrelas das extensões norte (triângulos abertos para cima) e sul (triângulos abertos para baixo) e a estrela TYC2 573 (quadrado fechado). São mostradas as isócronas de Padova com metalicidade Solar. A linha pontilhada indica a região em que encontram-se as estrelas prováveis pertencentes à Grande Nuvem de Magalhães.	39
2.17	Diagrama $(B-V) \times V$ predito pelo modelo de estrutura Galático descrito no texto. O diagrama corresponde a uma região de diâmetro 1° na direção de NGC 1901, e não inclui a Grande Nuvem de Magalhães.	41
2.18	Diagramas $(B-V) \times V$ teóricos preditos pelo modelo de estrutura Galática cobrindo o mesmo ângulo sólido da região CCD.	42
2.19	NGC1901: mapa do céu de $60'$ de diâmetro de com estrelas do catálogo Tycho. Os comprimentos das flechas são proporcionais aos módulos dos movimentos próprios. A maior flecha tem módulo 113.5 msa/ano. O círculo maior engloba as estrelas internas ao ângulo sólido coberto pelo CCD e tem $12'$ de diâmetro.	44
2.20	NGC1901: mesmo mapa do céu da Figura 2.19, mas somente com as estrelas da região CCD (internas ao círculo), extensões norte e sul além das estrelas HIP 24671 (HD 35230) e HIP 24763 (HD 269320). A maior flecha tem módulo 29.8 msa/ano.	45
2.21	NGC1901: Função de luminosidade comparada com a das Hyades. É mostrada em cada intervalo de magnitude a fração em porcentagem $f(\%)$ da população total de prováveis membros.	48
2.22	NGC 1252: mesma Figura que 2.21.	49
3.1	M67: diagrama $(J - H) \times H$ com uma extração de raio $8'$	54

3.2	M67: a) erros totais em J (τ_J) em função da magnitude J; b) erros totais em H (τ_H) em função da magnitude H; c) erros totais em K_S (τ_{K_S}) em função da magnitude K_S	55
3.3	M67: diagrama com barras de erros na cor (J-H). As barras de erro foram calculadas considerando o erro total da calibração (τ).	56
3.4	M67: mesmo diagrama da Figura 3.3 mas agora para cor (J- K_S) e magnitude K_S	57
3.5	M67: diagrama com barras de erro na cor (J-H). As bandas de erros foram obtidas considerando somente os erros internos em magnitude (ϵ).	58
3.6	M67: diagrama (J-H) \times H para para uma extração de raio 8'. São mostradas isócronas de Padova de 2.5, 3 e 5 Gano e metalicidade solar.	61
3.7	M67: mesmo diagrama da Figura anterior, mas só com a isócrona de 3 Gano.	62
3.8	M67: diagrama (J-H) \times H com extração de raio 8'. São mostradas isócronas de Padova de 2.5, 3 e 5 Gano e metalicidade subsolar ($z = 0.008$).	63
3.9	M67: diagramas (J-H) \times H de regiões nos limites internos, com raio de 4'.	64
3.10	M67: diagramas (J-H) \times H do campo Galático na direção do aglomerado, extrações de raio 4'.	65
3.11	NGC 2664: diagrama (J-H) \times H com uma extração circular de raio 4'.	68
3.12	NGC 2664: mesmo diagrama da Figura 3.14 com a sobreposição de barras de erro em cor, calculadas considerando o erro interno em magnitude (ϵ).	69
3.13	NGC 2664: diagrama (J-H) \times H com isócronas de Padova e extração circular de raio 4'.	70
3.14	NGC2664: mapa do céu para estrelas Tycho disponíveis na região de raio 4' centrada na concentração. O comprimento das flechas é proporcional ao módulo dos movimentos próprios. A maior flecha tem módulo 26,04 msa/ano.	72
3.15	Diagramas (J-H) \times H de campos de estrelas a 15' do centro de NGC 2664. Um localiza-se ao norte e outro a oeste. Ambos cobrem uma região de 8' de diâmetro.	73
3.16	Diagramas (J-H) \times H para 4 campos em torno de NGC 2664 com alta densidade estelas visual estimada, com extrações de 8' de diâmetro.	74
3.17	Mesmos diagramas da Figura 3.17 mas limitados em magnitude H = 14.5, a escala e os limites em cor são os mesmos. Isócronas de Padova com mesma solução que as da Figura 3.15 são apresentadas.	75
3.18	Subtração estatística para NGC 2664: no diagrama à esquerda temos a probabilidade de pertinência das estrelas para a comparação com os campos norte/oeste; à direita para os campos de mais alta densidade.	78

Lista de Tabelas

2.1	NGC 1252: tabela com os resultados da fotometria CCD.	17
2.2	NGC 1901: resultados da fotometria CCD.	34
2.3	NGC 1901: informações disponíveis para as estrelas das concentrações norte e sul.	43
3.1	M67: parâmetros extraídos da literatura.	60
3.2	NGC 2664: Resultado da fotometria 2MASS.	67
3.3	NGC 3664: probabilidade de pertinência de cada estrela.	77

Capítulo 1

Introdução

1.1 A Galáxia

Ao voltarmos nossos olhos para o céu à noite vemos uma faixa brilhante que o atravessa. Temos uma visão da nossa Galáxia revelando-se através das estrelas, manifestando sua estrutura mais evidente. Thomas Wright, no início do século 18, sugeriu que a grande faixa de estrelas que cruza o céu era um sistema disco do qual nós fazemos parte. Mais tarde William Herschel tentou determinar o tamanho e a forma da Via-Láctea por meio de contagens de estrelas. Hoje sabemos que parte da matéria visível se distribui na forma de um disco, na direção de cujo plano vemos uma enorme quantidade de estrelas, enquanto que na direção perpendicular a ele vemos um número relativamente menor. De estudos sobre a distribuição espacial de aglomerados globulares da nossa Galáxia, feitos por Shapley & Shapley (1919) [60], tornou-se clara a existência de uma componente esferoidal na Galáxia, e a posição do Sol ficou basicamente determinada.

A região de 1 kpc em torno do Sol, a vizinhança solar, é fundamental no estudo da Galáxia. Certas estrelas intrinsecamente muito débeis só podem ser vistas nesta região, sendo possível obter-se através delas uma melhor estatística, por exemplo, da função de luminosidade. Mas para termos uma idéia da estrutura Galáctica em grande escala podemos fazer uso de grandes telescópios aplicados a objetos distantes. A Via-Láctea pode ser dividida em três partes principais: halo e bojo (componentes esferoidais) e o disco. Dentro desta estrutura os objetos são classificados em populações estelares (Baade 1944 [1]) que levam em conta idades, distância ao plano da Galáxia, suas órbitas e composição química. Nas últimas décadas o conceito evoluiu à População II do Halo (subanãs, aglomerados globulares pobres em metais, estrelas RR Lyrae com $P > 0.4$ d); População II do bojo (aglomerados globulares ricos em metais, gigantes do bojo); População I dos discos intermediário e velho (nebulosas planetárias, estrelas novas, estrelas gigantes vermelhas, aglomerados abertos evoluídos) e População I Jovem (associada a gás e poeira e braços espirais, estrelas pré-sequência principal – T Tau, estrelas OB, supergigantes, aglomerados abertos embebidos).

O halo da Galáxia é aproximadamente esférico e tem diâmetro de 30 a 60 kpc, sua densidade estelar é maior em direção ao centro Galáctico e decresce à medida que nos afastamos do mesmo. As órbitas de seus objetos podem ser muito excêntricas. O bojo é a estrutura central da Galáxia, com um diâmetro de ~ 3 kpc. É difícil observá-lo no ótico pois existe grande quantidade de poeira no disco que bloqueia a passagem da luz visível. Possui uma grande quantidade de estrelas: 1

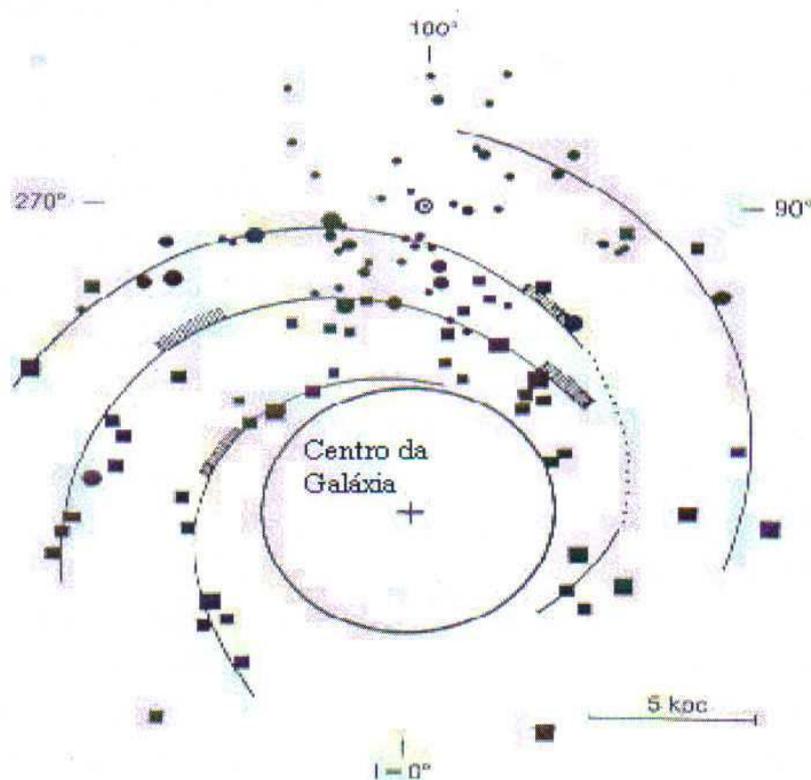


Figura 1.1: Braços da Galáxia.

milhão de vezes a densidade da vizinhança solar. De acordo com evidências observacionais e modelos o bojo central da Via-Láctea poderia ter uma barra (Blitz & Spergel 1991 [10]). Quanto ao centro da Galáxia só podemos observá-lo através de ondas de rádio, infravermelho, raios X e raios gama. Através de seu estudo temos acesso a um fenômeno em menor escala do que o que ocorre em galáxias com núcleo ativo muito mais violento. Acredita-se que no centro da Via-Láctea exista um buraco negro de alguns milhões de massas solares.

O disco ou plano Galáctico tem ~ 30 kpc de diâmetro e ~ 0.6 kpc de altura. Está em rotação não girando como um corpo rígido. As partes mais externas do disco giram mais lentamente e incluem os braços espirais ¹(Figura 1.1), regiões de maior densidade e grande atividade de formação estelar. A explicação das estruturas espirais foi inicialmente sugerida por B. Lindblad e construída matematicamente por Lin e Shu (1967) [39]. Os braços espirais que vemos atualmente não são os mesmos que eram visíveis tempos atrás. O padrão é gerado por uma onda de densidade que se move entre o gás e as estrelas. Isto explica de forma natural a ocorrência dos objetos mais jovens como nuvens moleculares, regiões H II, e estrelas brilhantes jovens que se formam nos braços. O gás passa através da onda, e é fortemente comprimido, e sua gravidade interna torna-se mais importante causando o colapso que formará as estrelas.

Para melhor estudarmos a estrutura e a distribuição da Galáxia utiliza-se o sistema de coordenadas esféricas no qual o plano fundamental é o plano da própria Via-Láctea. Ele é definido como o plano formado pela distribuição de hidrogênio neutro, e concorda quase que

¹Figura adaptada do livro *Fundamental Astronomy* (3ª edição) [36].

completamente com o plano definido pela distribuição de estrelas na vizinhança do Sol. A origem do sistema é a direção do centro da Via-Láctea, localizado na constelação de Sagitário ($\alpha = 17^h 45.7^m$, $\delta = -29^\circ 00'$ em J2000). As coordenadas angulares são a longitude (ℓ) e a latitude (b) Galática.

São os objetos constituintes da Galáxia que nos permitem avançar no conhecimento da mesma, e no estudo da estrutura da Via-Láctea os aglomerados estelares assumem um papel de importantes ferramentas. A distribuição espacial e de idades de aglomerados abertos podem fornecer um melhor entendimento dos processos de formação, evolução dinâmica e dissolução dos mesmos, sendo também excelentes para testes de evolução estelar. Através dos aglomerados abertos velhos ($T > 0.7$ Gano, também chamados aglomerados de idade intermediária) podemos analisar a componente mais evoluída do disco Galático. Dados fotométricos e espectroscópicos fornecem informações de idade, abundâncias e cinemáticas que clarificam as relações entre aglomerados abertos velhos e outras populações Galáticas. O estudo em faixas cada vez maiores em distância e idades, é usado para explorar possíveis gradientes de abundância e a relação entre idade e abundância de aglomerados, e eles apontam para uma complexa história do enriquecimento químico e mistura no disco (Friel 1995, [28]).

1.2 Aglomerados Abertos e seus Remanescentes

Aglomerados abertos contêm normalmente de algumas dezenas a centenas de estrelas observadas. Acredita-se que o nascimento de aglomerados ocorra a partir de nuvens moleculares, e suas características globais estariam relacionadas às das nuvens progenitoras (Burki 1980, [13]). Em alguns casos a identificação de aglomerados abertos é bastante fácil, pois possuem uma densidade de estrelas excedendo a do fundo do céu. Mas o estudo sistemático destes objetos requer o desenvolvimento de diversos métodos e técnicas para obtenção de parâmetros que permitam avançar no conhecimento dos mesmos e conseqüentemente da estrutura Galática. Além dos aglomerados encontramos grupos de estrelas jovens espalhados sobre diversas regiões do céu, cuja identificação torna-se difícil se levarmos em conta somente sua aparência. Um exemplo são os grupos de estrelas bem mais jovens, as associações, usualmente identificadas a partir das propriedades das estrelas da sequência principal superior, e das estrelas em estágios pré-sequência principal: as T Tau. De acordo com o tipo são chamadas de associações OB ou T Tau. As associações rapidamente se dispersam pois o pequeno número de estrelas envolvidas não é suficiente para manter o equilíbrio gravitacional necessário para que estas permanecem unidas por um longo período.

Um dos métodos utilizados na identificação e estudo dos aglomerados abertos é a construção, a partir de observações fotométricas e/ou espectroscópicas, de diagramas Hertzsprung-Russel²(HR) ou diagrama cor-magnitude observacionais. As estrelas observadas aparecem agrupadas em seqüências típicas dentro do diagrama, que correspondem aos estágios evolutivos (Chiosi 1998 [19], Girardi et al. 2000 [30], Bertelli et al. 1994 [6]) em que se encontram. É a ocorrência ou não destas seqüências que nos permite caracterizar o objeto analisado. Encontraremos estrelas agrupadas na sequência principal (MS), no ramo das subgigantes (SGB), das gigantes

²Utilizaremos as usuais abreviaturas dos termos em inglês.

vermelhas (RGB), no ramo horizontal azul (BHB), no ramo horizontal vermelho (RHB), na faixa de instabilidade das variáveis RR Lyrae (RR) e no ramo assintótico das gigantes (AGB).

A maioria dos membros de aglomerados pertence à MS mas encontramos também algumas estrelas supergigantes ou gigantes dependendo da idade do aglomerado. Podemos encontrar também algumas estrelas a aproximadamente 0.75 magnitudes acima da MS (Santiago et al. 1996a [57], Elson et al. 1998 [26]), são aparentemente estrelas binárias cujas componentes não estão totalmente resolvidas. Consideramos um sistema binário que produz este efeito, aquele em que ambos componentes tem mesma magnitude m e o mesmo índice de cor. Se o sistema é não resolvido, o índice de cor será o mesmo, mas a magnitude observada será acrescida de $\Delta m = -0.75$, isto é, um pouco menos que uma magnitude mais brilhante. A MS de aglomerados abertos está geralmente localizada na mesma região do HR. Isto por que o material do qual são formados não varia muito, pois sua composição química inicial é aproximadamente constante. Em aglomerados jovens, a MS se estende a tipos espectrais brilhantes e quentes. Normalmente podemos ver claramente o ponto onde, no diagrama, a MS termina e inclina-se para o ramo gigante, este é o chamado *turnoff point* (TO). A localização deste ponto no HR está fortemente relacionada com a idade dos aglomerados e, portanto, podemos usá-la na determinação de idades. Assim como através do HR de aglomerados podemos estimar suas idades, também podemos estimar suas distâncias. O método é chamado de ajuste da sequência principal, e será detalhado adiante.

A energia cinética dos seus membros, a rotação diferencial da Via-Láctea, perturbações gravitacionais externas e a própria evolução dinâmica dos aglomerados podem dissolvê-los. Assim o tempo de vida de um aglomerado aberto e sua dissolução estão ligados tanto a um estado dinamicamente evoluído como à sua posição na Galáxia. Wielen (1971) [66] estudou a evolução e escala de tempo de dissolução de aglomerados abertos. Ele supôs uma taxa constante de formação de aglomerados e obteve a seguinte estatística para a distribuição de idades para uma região de $r_{\odot} < 1$ kpc: 50 % dos aglomerados novos se desintegram em menos de 2 Ganos, 10 % têm um tempo de vida maior que 0.5 Ganos, e somente 2 % vivem mais do que 1 Ganos. Wielen também encontrou que somente uma pequena fração de estrelas de campo seriam sistemas múltiplos resíduos de aglomerados em dissolução. Além disso tornou-se claro que a idade dinâmica de um aglomerado Galáctico está fracamente relacionada à sua idade absoluta.

A vida de um aglomerado aberto é um tênue limite entre estados fracamente ligados e levemente não-ligados. Os catálogos mostram esta situação ao incluírem concentrações pobremente povoadas ou com baixa densidade de estrelas, as quais podem ter diferentes naturezas. Ao procurarmos por aglomerados abertos podemos encontrar seus resíduos finais, associações, partes de associações e sistemas múltiplos, ou ainda efeitos não-físicos como flutuações de campo. Assim no estudo de aglomerados abertos torna-se fundamental também sermos capazes de identificar em que estágio de sua evolução eles estão, o que não é trivial. Podemos citar como exemplo o aglomerado aberto das Pleiades que apesar de ter 80 Manos ainda permanece relativamente povoado, ou ainda o bem conhecido aglomerado das Hyades com idade estimada em 700 Manos que segundo estimativas pode ter perdido 90 % de sua massa inicial (Weidemann 1992, [65]). Lodén (1977) [40], por exemplo, apresentou uma lista de concentrações de estrelas relativamente esparsas que apresentam estrelas de tipo espectral sugerindo idades jovens. Elas são provavel-

mente pequenas associações ou partes de associações que nunca foram ligadas. Temos o caso dos objetos Basel (Hassan 1974 [34], e referências lá citadas) que são concentrações de estrelas relativamente esparsas que aparentam serem grupos estelares físicos quando confrontados com concentrações produzidas por flutuações randômicas no campo de estrelas da Via-Láctea. Dentro da mesma linha de estudo, Carraro e Patat (1975) [17] encontraram evidências de que o objeto Ruprecht 46 é uma flutuação de campo em vez de um aglomerado aberto.

O resíduo final de um aglomerado aberto tem recebido a denominação de aglomerado aberto remanescente, e o número de tais objetos em nossa Galáxia é provavelmente muito maior do que os já identificados. Já foi mostrado, do ponto de vista teórico, que é impossível um aglomerado aberto se evaporar totalmente. São apontados dois destinos finais possíveis: evaporação provocada por colisões gravitacionais entre estrelas, ou evaporação levando à situação de binariedade ou sistemas múltiplos (de la Fuente Marcos 1998, [22]). Simulações numéricas de evolução de aglomerados abertos na vizinhança solar, que levam em conta o número de membros, a abundância primordial de binárias e a função de massa inicial, foram feitas por de la Fuente Marcos. Estas simulações sugerem que muitas concentrações no céu podem ser aglomerados abertos remanescentes. Recentemente, Bassino et al. (2000) [3] apresentou evidências de que a concentração de estrelas M73 (NGC 6994), em relativamente alta latitude galáctica, seria um aglomerado remanescente. Eles encontraram um significativo contraste de densidade de estrelas no diagrama cor-magnitude em relação a do campo galáctico predito por modelos de contagem de estrelas para a mesma área. Bica et al. (2001) [7] identificaram 34 objetos com características semelhantes.

Como podemos ver, a discussão sobre o aglomerados abertos e seus estágios evolutivos, assim como a identificação de prováveis aglomerados abertos remanescentes, tem sido abordada na literatura, caracterizando-se como um debate atual.

A seguir serão discutidos alguns métodos e ferramentas úteis para este trabalho, e que são comuns ao que é desenvolvido nos capítulos subseqüentes.

1.3 Ajuste de Isócronas e Distância ao Sol

Para obtermos estimativas de idades e distâncias para aglomerados a partir de seus HRs utilizamos isócronas. Estas são curvas resultantes de modelos dos caminhos da evolução estelar. São consistentes com cores e magnitudes de estrelas de referência levando em conta intervalos iniciais de massas e metalicidades, cobrindo as fases principais de evolução estelar, e adotando dados físicos avançados e homogêneos. Um dos mais populares destes conjuntos de isócronas vem do grupo de Padova (Bertelli et al 1994 [6], Girardi et al. 2000 [30], e referências lá citadas), cuja base de dados completa cobre uma grande faixa de massas estelares (0.6 a $120 M_{\odot}$) e metalicidades ($Z = 0.0004$ a 0.05). As principais características destes modelos é a adoção de opacidades OPAL, de uma razão constante de enriquecimento hélio-metal $\frac{\Delta Y}{\Delta Z}$, moderado overshooting convectivo para um núcleo convectivo, e perda de massa de estrelas massivas. As isócronas que utilizaremos no presente trabalho serão as de Padova com metalicidade solar que fazem parte do conjunto para estrelas de baixa-massa e intermediária (0.15 a $7 M_{\odot}$) e $Z = 0.004$ a 0.03 construídas por Girardi et al. (2000) [30].

O processo de ajuste da isócrona no HR do objeto parte de uma primeira estimativa visual sobre a localização das seqüências estelares envolvidas. O ajuste das isócronas se dá pelos seus deslocamentos verticais e horizontais sobre o diagrama. O deslocamento horizontal está vinculado ao avermelhamento ou excesso de cor que está sofrendo o objeto e o deslocamento vertical está vinculado ao melhor ajuste da isócrona sobre a distribuição de estrelas, o que resultará na definição do módulo de distância aparente.

Até o início do século passado acreditava-se que o espaço entre as estrelas fosse vazio, mas observações mostraram que existe matéria neste espaço (Barnard 1919 [2]). Este material produz efeitos importantes na luz que o atravessa. A presença de matéria interestelar enfraquece a luz que chega até nós causando, por exemplo, problemas na determinação de distâncias. Dizemos que os objetos estão avermelhados já que a absorção não é neutra (depende $\approx \frac{1}{\lambda}$) e precisamos corrigir tal efeito.

O avermelhamento é causado pelo espalhamento e absorção que a luz sofre ao atravessar o meio interestelar. A luz azul é espalhada e mais absorvida que a vermelha e desta forma o índice de cor (B-V) sofre um acréscimo [36]. Uma vez obtido qual é o valor do avermelhamento $E(B-V)$ é necessário considerar a razão de extinção total-seletiva R_V para obter a correção por absorção interestelar A_V

$$R_V = \frac{A_V}{E(B-V)}, \quad (1.1)$$

ao adotarmos $R_V = 3.1$ [15] teremos que $A_V = 3.1 \times E(B-V)$.

O módulo de distância absoluto $(m-M)_0$ será obtido subtraindo-se do módulo de distância aparente $(m-M)$ a correção por absorção interestelar A_V

$$(m-M)_0 = (m-M) - A_V \quad (1.2)$$

Tendo-se o módulo de distância absoluto pode-se obter a distância do aglomerado ao Sol através da expressão

$$d_{\odot} = 10^{\frac{[(m-M)_0+5]}{5}} \quad (1.3)$$

que é resultado da manipulação da expressão

$$(m-M)_0 = -2.5 \lg 10^2 + 2.5 \lg r^2 \quad (1.4)$$

onde

$$r = d_{\odot} \quad (1.5)$$

que tem sua origem na relação fluxo/magnitude

$$m = -2.5 \lg F + C \quad (1.6)$$

onde fluxo e luminosidade se relacionam por

$$F = \frac{L}{4\pi r^2} \quad (1.7)$$

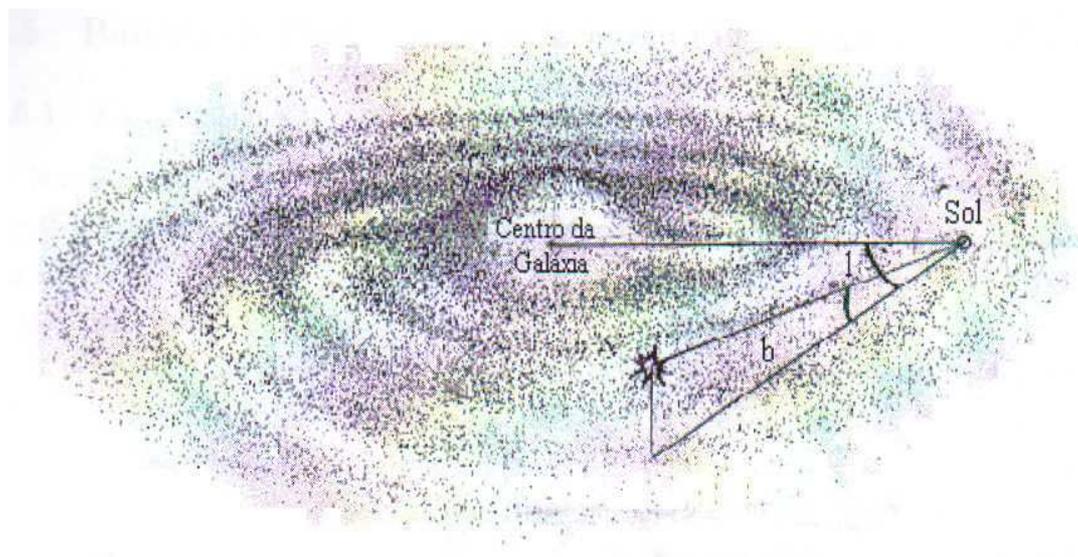


Figura 1.2: Coordenadas Galatocêntricas ℓ e b .

1.4 Determinação das Coordenadas Galatocêntricas

Ao estudarmos a nossa galáxia, a Via-Láctea, precisamos estabelecer um sistema de referência que possibilite nossa localização em qualquer ponto dela. Definimos um plano que é o próprio plano da Via-Láctea. Como o Sol está muito próximo dele coloca-se a origem de nosso referencial ou de nossas coordenadas no plano da Via-Láctea e assim definimos a longitude Galática ℓ medida no sentido anti-horário desde o centro da Galáxia na constelação de Sagitário (J2000 $\alpha = 17^h 45.7^m$, $\delta = -29^{\circ}00'$) e a latitude Galática b medida a partir do plano, sendo positiva em direção ao norte e negativa em direção ao sul ³(Figura 2.1).

Agora, se considerarmos o centro da Galáxia como origem e construímos um sistema de coordenadas x, y, z em que o plano da Galáxia está contido no plano xy , o Sol estará a 8 kpc da origem (centro galático) sobre o eixo x , e o eixo z nos dará a altura do objeto em relação ao plano da Galáxia. A partir deste sistema de coordenadas obtemos as seguintes equações para coordenadas heliocêntricas:

$$X_{\odot} = r_{plano} \cos \ell, \quad (1.8)$$

$$Y_{\odot} = r_{plano} \sin \ell, \quad (1.9)$$

$$Z_{\odot} = d_{\odot} \sin b, \quad (1.10)$$

$$r_{plano} = d_{\odot} \cos b, \quad (1.11)$$

e para coordenadas galatocêntricas

³figura adaptada do livro Fundamental Astronomy (3ª edição) [36]

$$X = x_{\odot} - d_{GC}, \quad (1.12)$$

$$Y_{GC} = y_{\odot}, \quad (1.13)$$

$$Z = z_{\odot}, \quad (1.14)$$

Para a distância do Sol ao centro da Galáxia (Galatocêntrica) d_{GC} adotamos 8 kpc (Reid 1993 [52]).

1.5 Bancos de Dados: fonte de parte do material a analisar

1.5.1 Estudo ótico

No estudo ótico dos objetos NGC 1252 e NGC1901, a ser apresentado no Capítulo 2, uma das fontes de pesquisa utilizadas para a obtenção de parâmetros existentes e/ou extração fotométrica das estrelas foi o banco de dados disponível na internet WEBDA, organizado por Mermilliod J. C. [43], [44].

O WEBDA é um banco de dados que visa reunir toda a publicação de dados disponíveis sobre estrelas pertencentes a aglomerados abertos e que são fundamentais no estudo dos membros, do conteúdo estelar e propriedade dos mesmos. Sua origem está associada à construção do primeiro banco de dados desta natureza o BDA, iniciado em 1987 no Instituto de Astronomia da Universidade de Lausanne (Suíça) e organizado pelo Dr. Mermilliod. Compreendendo uma extensa coleção dos principais dados observacionais de mais de 100000 estrelas em 500 aglomerados NGC, IC ou com outras denominações.

Estão incluídas medidas na maioria dos sistemas fotométricos (UBV, uvby, Geneva, Vilnius, DDO e outros) e dados espectroscópicos como classificação espectral, velocidades radiais, velocidades rotacionais, astrometria na forma de coordenadas e movimentos próprios, além de um conjunto geral de dados como prováveis membros, períodos para vários tipos de estrelas variáveis. Possui também uma lista de estrelas peculiares além de um conjunto de referências bibliográficas. Os dados estão, na sua maioria, na forma original com a indicação da fonte, mas também como uma média de valores ou ainda uma seleção de dados quando relevante. Os valores médios para UBV (fotográficos, fotoelétricos ou CCD) não estão expressos mas podem ser obtidos. Mapas de mais de 200 aglomerados estão disponíveis.

O WEBDA está disponível na internet no endereço <http://obswww.unige.ch/webda>, onde podem ser obtidas maiores informações sobre o banco de dados, e pode ser feita a pesquisa por aglomerado, estrela ou referência bibliográfica.

1.5.2 Estudo infravermelho

Para o estudo no infravermelho, a ser apresentado no Capítulo 3, a fotometria das estrelas foi extraída do catálogo *The Two Micron All Sky Survey*, cuja sigla em inglês é 2MASS, e assim será citado daqui para frente.

O 2MASS é o aprimoramento do primeiro estudo em infravermelho do céu, ocorrido em 1969, e que detectou aproximadamente 5,700 fontes de radiação infravermelha e cobriu aproximadamente 70% do céu. Foi denominado *Two Micron Sky Survey*, TMSS. Nos 30 anos que nos separam desta primeira iniciativa, um grande avanço tecnológico ocorreu levando ao desenvolvimento de novos detectores para o infravermelho. Hoje os mais sensíveis detectam objetos astronômicos 100 milhões de vezes mais fracos do que aqueles detectados pelo TMSS.

Na investigação do céu através do 2MASS são utilizados 2 novos e altamente automatizados telescópios de 1.3 metros, um em Mount Hopkins, Arizona - EUA, e outro no CTIO, Chile. Cada telescópio é equipado com uma câmara de três canais, cada canal consistindo em detectores de HgCdTe de 256×256 píxeis com capacidade de observar o céu simultaneamente nas bandas J ($1.25 \mu\text{m}$), H ($1.65 \mu\text{m}$) e K_S ($2.17 \mu\text{m}$). O 2MASS possui dois catálogos principais, o Catálogo de Fontes Pontuais (*Point Source Catalog* - PSC) e o Catálogo de Fontes Extensas (*Extended Source Catalog* - XSC) além da produção de imagens reunidas em um Atlas (*Atlas Images*). No hemisfério norte o 2MASS iniciou suas operações em junho de 1997 e no hemisfério sul em março de 1998. Desde então foram feitas duas atualizações dos dados disponíveis nos catálogos e atlas. A última atualização ocorreu em março de 2000 chamada 2MASS *Second Incremental Data Release* cobrindo ao todo 84% do céu.

No estudo do Capítulo 3 serão utilizados os dados do Catálogo de Fontes Pontuais (PSC, a partir daqui) já com as atualizações de março de 2000. O PSC possui na versão atual um total de 162,213,354 objetos, sendo que na banda J foram detectados 157,820,597 objetos, na banda H 149,650,034 objetos e na banda K_S 130.337.158. A maioria das fontes pontuais encontra-se na direção do plano Galáctico, 77% dos objetos do PSC estão em $|b| < 20^\circ$. Para altas latitudes o PSC possui uma precisão de detecção 0.5 - 1.0 magnitudes mais fracas que o limite nominal de completude que é $J = 15.8$, $H = 15.1$ e $K_S = 14.3$ mag, isto devido à menor densidade de estrelas. O PSC fornece duas medidas de incertezas fotométricas para cada banda, que serão detalhadas no Capítulo 3. O catálogo possui astrometria e fotometria nas três bandas para todo o conjunto de objetos e as posições estão associadas ao catálogo ACT ou USNOA

Durante o trabalho de tese, a busca de dados no 2MASS foi feita acessando a página na web <http://irsa.ipac.caltech.edu/applications/CatScan/> que fornece uma tabela a ser preenchida em 4 campos: o catálogo de interesse (PSC), as coordenadas α e δ do aglomerado assim como o raio em segundos de arco da região a ser feita a extração, os limites em ℓ e b do céu para a extração de estrelas (se desejado) e que informações são de interesse a respeito de cada estrela - α e δ ou posição de campo, quais bandas, quais erros e assim por diante dentro de uma lista de parâmetros fornecida. Para maiores informações e detalhamentos basta acessar a página na internet <http://www.ipac.caltech.edu/2mass/>. Na data atual uma nova interface foi criada, chamada GATOR.

1.6 O presente trabalho

O objetivo do presente trabalho é estudar aglomerados abertos e/ou grupos estelares não tão densos buscando identificar prováveis estágios evolutivos de aglomerados abertos remanescentes. Um aglomerado aberto pode ser definido como uma concentração de estrelas pouco povoada,

resultado da evolução dinâmica de um sistema físico mais massivo mas ainda apresentando membros suficientes para formar uma sequência evolutiva no diagrama cor-magnitude. Simulações de N-corpos indicam que um grande número de remanescentes é esperado próximo à dissolução.

Estudamos os grupos estelares NGC 1252 e NGC 2664, e NGC 1901, os dois primeiros como candidatos a aglomerado aberto remanescente. NGC 1901 é um objeto pouco denso cuja literatura caracteriza freqüentemente como aglomerado aberto. Questionamos seu estágio evolutivo como aglomerado aberto clássico. Seria ele um objeto de transição entre aglomerados abertos e seus remanescentes? Buscando compreender o que caracteriza um aglomerado aberto remanescente comparamos NGC 1252 e NGC 1901 ao aglomerado de idade intermediária Hyades. O estudo de NGC 2664 está associado ao do aglomerado aberto M67, estando ambos na mesma direção na Galáxia. Discutiremos se os objetos tiveram uma origem comum, ou se ocorre algum tipo de interação como uma captura de NGC 2664 por parte de M67, ou ainda se está ocorrendo uma passagem próxima sem captura. Analisaremos se NGC 2664 é um grupo físico estelar, incluindo experimentos de subtração estatística de campos da Galáxia.

NGC 1252, NGC 2664 e NGC 1901 foram selecionados de uma lista de 34 prováveis candidatos a aglomerado aberto remanescente. Os objetos da lista estão localizados em latitudes Galácticas relativamente altas ($|b| > 15^\circ$) e são pouco povoados em relação ao que se espera usualmente para aglomerados. Ainda assim possuem um alto contraste de densidade em número de estrelas em comparação ao campo Galáctico (Bica et al. 2001 [7], Apêndice A).

O estudo de NGC 1252, do objeto de transição NGC 1901 e das Hyades será feito através de fotometria ótica e é apresentado no Capítulo 2. O estudo de NGC 2664 e de M67 será feito com fotometria infravermelha e é apresentado no Capítulo 3, as conclusões e perspectivas serão apresentadas no Capítulo 4.

Capítulo 2

Estudo ótico de dois candidatos à dissolução

2.1 Introdução

Neste capítulo vamos apresentar a fotometria nas bandas B e V de dois grupos estelares NGC 1252 e NGC 1901, ambos localizados no hemisfério sul e caracterizados por uma certa polêmica quanto ao seu estado evolutivo, ou mesmo à sua própria realidade física como sistema (NGC 1252).

O grupo estelar NGC 1252 está descrito no New General Catalogue (NGC) como possuindo entre 18 e 20 estrelas. Bouchet e Thé (1983) [12] o descreveram como um aglomerado aberto apresentando uma distribuição esparsa de estrelas, cobrindo uma região de aproximadamente 1° e contendo 16 prováveis membros. Discussões a respeito de sua classificação como aglomerado aberto ou não vêm ocorrendo nos últimos anos. Recentemente, o banco de dados WEBDA (Seção 1.3.1) que até então fornecia os parâmetros obtidos por Bouchet & Thé (1983) [12], deixou de considerá-lo como aglomerado aberto baseado no recente estudo de Baumgardt (1998) [4]. No presente estudo é apresentada a fotometria CCD da concentração de aproximadamente 20 estrelas centrada a $\sim 20'$ ao norte das coordenadas originais constantes no catálogo NGC e no limite sudoeste da extensa região previamente descrita na literatura como sendo NGC 1252. Nossa intenção é aprofundar a fotometria de Bouchet & Thé na área da concentração para testar se há a presença de uma sequência principal ¹(MS), a qual poderia ser a sinalizadora de um sistema físico ou seu remanescente.

O grupo estelar NGC 1901 consta na literatura como uma aglomerado aberto projetado na direção da Grande Nuvem de Magalhães. Foi estudado por Sanduleak & Philip (1968) [56] que o descreveram como contendo 23 membros distribuídos em uma região de $60'$ de diâmetro. Murray et al (1969) [48] estudaram seus movimentos próprios disponíveis e confirmaram sua condição de sistema físico, chamando-o de aglomerado aberto. No presente estudo aprofundamos a fotometria de Sanduleak & Philip com a intenção de discutirmos se NGC 1901 é um aglomerado aberto clássico ou um remanescente, ou ainda, se está em algum estado de transição.

O principal objetivo deste estudo é avançar na compreensão das diferenças entre aglomera-

¹Serão utilizadas as siglas em inglês.

dos abertos e aglomerados abertos remanescentes, buscando definir estes últimos. Neste sentido compararemos NGC 1252 com NGC 1901 pois nos parecem estar em estados evolutivos distintos, e por fim compararemos ambos com as Hyades, um aglomerado aberto considerado clássico mas que já perdeu, segundo estimativas, 90 % de sua massa inicial total (Weidemann et al. 1992 [65]). Veremos que NGC 1252 é um candidato a remanescente e NGC 1901 é um candidato à dissolução mas ainda apresentando fortes características de aglomerado, como um diagrama HR bem definido com sequência principal povoada, e apresentando similaridade com as Hyades. Procuramos levantar no Capítulo 1 os principais aspectos que poderiam caracterizar aglomerados abertos remanescentes, então, enfatizamos que o presente estudo não se refere a aglomerados abertos clássicos, mas sim sobre grupos estelares que podem estar relacionados com remanescentes.

2.1.1 Observações

As observações foram feitas na Estação Astrofísica Bosque Alegre da Universidade de Córdoba, Argentina, pelo Dr. Horacio Dottori (IF-UFRGS). Foi utilizado um telescópio Schmidt-Cassegrain de 30 cm pertencente à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, temporariamente instalado no local acima citado. As imagens foram coletadas com filtros B e V através de um detector CCD com chip KODAK KAF-0400 de 768×512 pixels de tamanho $9 \mu\text{m} \times 9 \mu\text{m}$ correspondendo a um campo no céu de 12.4×8.3 .

2.1.2 Redução de Dados

As imagens colhidas durante as observações passaram por um processo chamado redução de dados, ao final do qual obtivemos as informações calibradas para a análise dos objetos em questão. A redução de dados de detectores CCD é feita utilizando uma série de rotinas que objetivam eliminar contribuições espúrias provenientes da montagem instrumental, sejam elas devidas à eletrônica ou à montagem ótica. Para tanto é necessário:

1. corrigir pelo ruído intrínseco de todo o instrumental;
2. corrigir pela sensibilidade do detector CCD;
3. corrigir pelas condições da noite de observação (iluminação do céu e extinção atmosférica);
4. corrigir pela exposição aos raios cósmicos;
5. corrigir em fluxo e em comprimento de onda a fim de poder colher as informações da imagem em unidades que são padrões.

As correções seguem um padrão e são efetuadas através de rotinas do pacote IRAF. As correções iniciais são ruído eletrônico (BIAS), ruído térmico (Dark) e resposta do detector (Flat-Field).

Todas as rotinas e tarefas utilizadas tanto na correção das imagens quanto na extração e obtenção de fotometria instrumental e calibrada para cada estrela possuem uma série de comandos e parâmetros que devem ser seguidos e/ou escolhidos. Estes comandos e parâmetros foram organizados em seqüências encadeadas de forma a tornar o trabalho de redução sistemático. Assim ao utilizarmos uma rotina ou tarefa só é necessário fazermos as opções que são particulares para cada conjunto de imagens, sem haver necessidade de refazer o que é comum. Estas seqüências foram construídas por Carlos M. Dutra e podem ser consultadas no Apêndice C.

Depois das correções iniciais as imagens foram alinhadas via posição de estrelas em comum, através de uma transformação de coordenadas (translação e rotação), resultando em uma imagem que é a média das anteriores (imagem combinada). As tarefas que realizam estas operações são a *align* e *orien*. Para realizá-las são necessários pacotes de manipulação que realizam operações sobre as imagens para obtenção de informações de controle (*images*, *immatch*, *imutil*, *tv*, *digiphot* e *apphot*). Antes de prosseguir na extração de estrelas e obtenção das magnitudes instrumentais e calibradas foram obtidos parâmetros que são particulares para cada imagem, relacionados com as condições de observação. Temos de determinar a média para o valor de fundo do céu em zonas livres de estrelas e o desvio padrão (σ) para o céu, ambos obtidos com o auxílio da tarefa *imexamine*. Através desta tarefa podemos construir um gráfico radial para uma dada estrela e obtermos um valor médio para o tamanho da imagem registrada, ou seja a largura a meia altura (FWHM). Assim determinamos o raio da abertura a ser utilizado na fotometria. De posse destes parâmetros e escolhido o limite de tolerância (*threshold*) que define quantos σ serão considerados para a detecção, partimos para extração de estrelas e de suas magnitudes instrumentais e calibradas, em cuja etapa é utilizado o pacote DAOPHOT (Stetson 1992 [61]).

Dentro do pacote DAOPHOT a tarefa *daofind* cria uma lista de estrelas detectadas e suas coordenadas, onde os parâmetros acima citados servirão de vínculos. As tarefas utilizadas são a *datapars* (FWHM e σ) e *findpars* (*threshold*). A fotometria propriamente dita é realizada pela tarefa *phot* através de subtarefas (*centerpars*, *fitskypars* e *photpars*) em que a lista de estrelas é o arquivo de entrada.

A calibração fotométrica também foi realizada seguindo uma sequência encadeada de comandos. Foram utilizados valores fotométricos padrão da literatura. A calibração é feita pelo pacote PHOTCAL e a tarefa *phot*, o pacote faz um ajuste linear de equações de transformação para magnitudes e cores. A redução resulta em quatro arquivos: o primeiro contém o número de identificação de cada estrela gerado automaticamente junto com os valores instrumentais V e $(B-V)$, o segundo os valores de V e $(B-V)$ calibrados, o terceiro contém todas as informações sobre o ajuste das equações de transformação e o quarto o número de identificação e os valores V e $(B-V)$ das estrelas padrão da literatura que foram utilizadas na calibração.

Em ambos aglomerados nosso objetivo foi o de aprofundar a fotometria já existente. Busca-se verificar a existência de uma sequência principal significativa no caso do NGC 1252. E no caso de NGC 1901 estender a sequência principal. Para tanto, foram utilizadas como calibradoras, estrelas nas próprias imagens CCD com dados existentes na literatura.

2.1.3 Erros

Os erros fotométricos discutidos neste trabalho são de dois tipos:

(i) o erro interno na magnitude (ϵ_V , ϵ_B) proveniente da extração da magnitude instrumental pelo DAOPHOT, e o erro na cor $\epsilon_{(B-V)}$ que pode ser obtido da seguinte maneira:

$$\epsilon_{(B-V)} = \sqrt{\epsilon_V^2 + \epsilon_B^2}, \quad (2.1)$$

(ii) o erro externo (ρ) proveniente do ajuste do sistema instrumental ao padrão, onde ρ é a raiz quadrática da soma dos valores padrão e os resultantes da calibração, ou seja, das diferenças

em relação à reta de ajuste (Seções 2.3.1 e 2.3.2);

Combinando o erro interno (ϵ) com o externo (ρ) obtemos o erro total (σ). As seguintes expressões foram utilizadas para obtê-lo em magnitude e cor, :

$$\sigma_V = \sqrt{\rho_V^2 + \epsilon_V^2} \quad (2.2)$$

e,

$$\sigma_{(B-V)} = \sqrt{\rho_{(B-V)}^2 + \epsilon_{(B-V)}^2} \quad (2.3)$$

2.1.4 Comparação com um modelo de campo

Na análise dos grupos estelares NGC 1252 e NGC 1901 será feita uma comparação da distribuição de estrelas no diagrama cor-magnitude observado com o esperado para um campo galáctico de estrelas na mesma direção e limite de magnitude dos objetos. Este tipo de análise foi feita anteriormente no estudo do M73 (NGC 6994) por Bassino et al (2000) [3]. No presente trabalho será utilizado o mesmo modelo já aplicado em nosso artigo, Bica et al. (2001) [7] (Apêndice A), em que foram comparadas contagens em campos de concentrações de estrelas até um dado limite de magnitude com as esperadas para um modelo de estrutura Galáctica na mesma direção. O modelo está detalhado nos trabalhos de Reid et al. (1993) [53] e de Santiago et al. (1996b)[58]. O modelo inclui três componentes: disco fino, disco espesso e o esferóide. Os perfis de densidade de estrelas dos discos são descritos por duas exponenciais, uma ao longo do plano do disco e outra perpendicular a ele. A função de luminosidade é bem descrita até $M_V \cong 12$. Dado um limite de magnitude ($V \cong 15.5$) para as presentes concentrações de estrelas a contagem relevante de estrelas é dominada pelo disco fino.

Dados direção, limite de magnitude e ângulo sólido, o modelo fornece o número de estrelas esperado no HR. Nas seções específicas de cada aglomerado serão apresentados os resultados.

2.2 NGC 1252: Possível Aglomerado Aberto Remanescente

NGC 1252 está localizado na constelação de Horologium com coordenadas originais (disponíveis em Sulentic & Tifft (1973) [62]) correspondendo a J2000 $\alpha = 3^h 10^m 31^s$, $\delta = -58^\circ 08' 22''$ ($\ell = 274.^\circ 59$, $b = -50.^\circ 64$). Bouchet & Thé (1983) [12] - a partir daqui citados como BT, observaram com fotometria UBVRI 38 estrelas em uma região com 1° de diâmetro e centrada na estrela de carbono brilhante TW Horologii (J2000 $\alpha = 3^h 12^m 32.2^s$, $\delta = -57^\circ 19' 18''$ e $\ell = 273.^\circ 30$, $b = -50.^\circ 90$). Entre as 38 estrelas observadas eles concluíram por 16 prováveis membros, incluindo neste conjunto a própria TW Hor (BT 38). BT estimaram a distância do objeto ao Sol em $d_\odot \sim 470$ pc. No ano seguinte Eggen [25] publicou um trabalho questionando os resultados obtidos por BT. Ele encontrou evidências, baseado em pesquisas de movimentos próprios no Catálogo Astrométrico Austral (*Cape Zone Catalogue* - CZC), que o objeto definido por BT não existia e que a estrela TW Hor era provavelmente membro do Superaglomerado das Hyades. Segundo Eggen a estrela estaria a $d_\odot \sim 400$ pc, e conforme a paralaxe do Hipparcos a $d_\odot = 403_{-74}^{+118}$ pc.

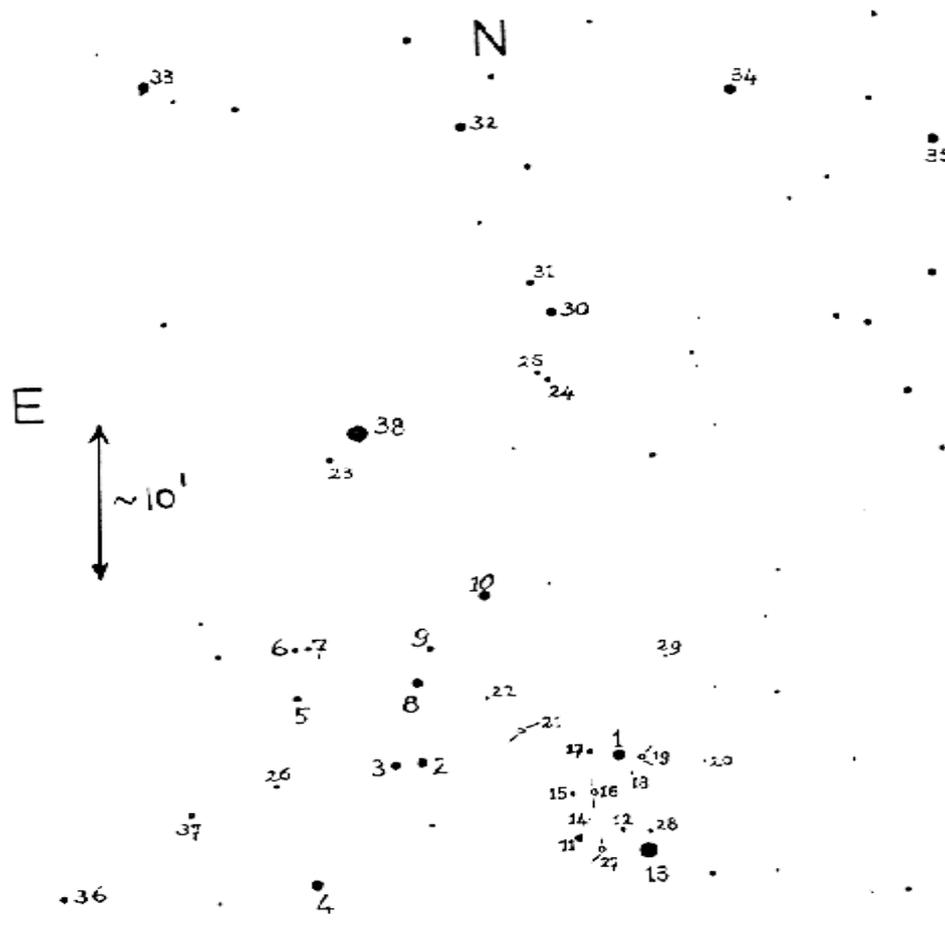


Figura 2.1: NGC 1252: reprodução da Figura 1 (Bouchet & Thé 1983 [12]), com aproximadamente 1° de diâmetro.

Devido ao limitado número de estrelas e dos erros relativamente grandes do CZC, Eggen considerou seus resultados não conclusivos. Recentemente, Baumgardt (1998) [4] retomou a questão da existência do objeto NGC 1252 ao estudar 12 prováveis membros de BT, assim como todas as estrelas no campo de um grau quadrado a partir das coordenadas originais do NGC. Baseado em valores de movimentos próprios contidos nos catálogos ACT e Hipparcos, Baumgardt concluiu que objeto assim como interpretado por BT, isto é, um objeto centrado na estrela brilhante TW Hor cobrindo uma área de 1° de diâmetro, não existia.

No presente estudo é apresentada a fotometria CCD da concentração estelar localizada no bordo sudoeste da grande região estudada por Bouchet & Thé (1983) [12]. **A concentração estudada aqui não é o mesmo conjunto definido como NGC 1252 por Bouchet & Thé.** A presente concentração de estrelas está entre os 34 objetos de relativamente alta latitude estudados por Bica et al. (2001, [7] - Apêndice A) que apresentam uma densidade de número de estrelas significativa em relação ao campo Galático de estrelas e que poderiam representar aglomerados abertos em estado dinâmico avançado ou seus remanescentes. A concentração de estrelas a qual nós chamamos de NGC 1252 é centrada em J2000 $\alpha = 3^h 10^m 49^s$ e $\delta = -57^\circ 46' 00''$ ($l = 274.^\circ 08$ e $b = -50.^\circ 83$), sendo o conjunto de estrelas entre as brilhantes BT 1 e BT 13 na Figura 2.1

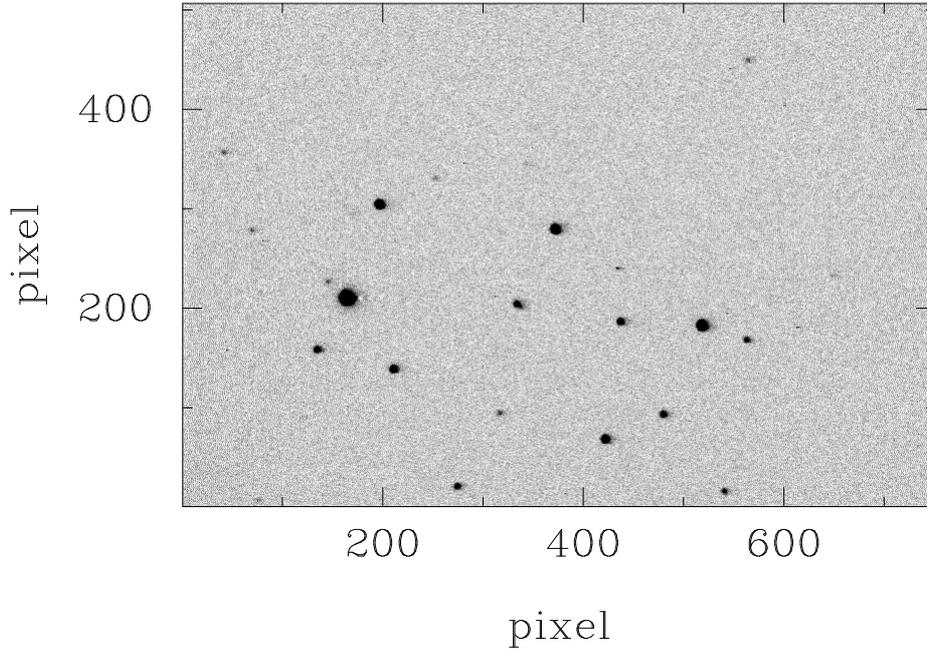


Figura 2.2: NGC 1252: imagem CCD em V com 40 segundos de exposição e dimensões $12.4' \times 8.3'$. O noroeste está à esquerda e o nordeste para cima.

2.2.1 Redução de imagem de NGC 1252

A Figura 2.2 apresenta a imagem CCD da região observada. Foram colhidas três imagens com o filtro B e duas com o V de 20 segundos de exposição, além de uma B e uma V de 40 segundos. A redução de imagens foi feita com o IRAF, e com o pacote DAOPHOT (Stetson 1992 [61]) foram obtidas as magnitudes instrumentais (seção 2.1.2).

Para calibração foram utilizadas estrelas extraídas das observações fotoelétricas de BT, presentes na região CCD, já que nosso objetivo é o de aprofundar a fotometria na região da concentração estelar. As estrelas utilizadas como padrão foram: BT 12, BT 14, BT 15, BT 16, BT 17, BT 18, BT, 19 e BT 27. A massa de ar é igual para todas as estrelas, $X \approx 1.19$. As magnitudes e cores instrumentais foram corrigidas por este fator usando os coeficientes de extinção atmosférica para o local de observação obtidos de Minniti et al. (1989) [45]: $K_V = 0.16$ e $K_{(B-V)} = 0.13$. As correções foram da forma:

$$v = v_{obs} - K_V \times X, \quad (2.4)$$

$$(b - v) = (b - v)_{obs} - K_{(B-V)} \times X \quad (2.5)$$

Utilizamos equações de transformação lineares dos valores instrumentais para os valores do sistema padrão Johnson, contendo termo de cor na magnitude V. As equações de transformação resultantes são:

$$V = 17.83 + v + 1.61 \times (b - v), \quad (2.6)$$

^a Nome	α	δ	V	(B-V)	V	(B-V)	^b Membro
	h:m:s	°:':"	BT	BT	CCD	CCD	
BT 15	03:11:10.7	-57:44:38	11.47	1.21	11.25	1.18	mpm
BT 12	03:10:50.2	-57:47:11	11.95	0.50	11.67	0.55	pm
BT 17	03:11:02.6	-57:41:48	11.92	1.51	11.99	1.54	nm
BT 18	03:10:45.0	-57:43:23	12.49	0.73	12.40	0.70	pm
BT 14	03:11:04.4	-57:46:22	12.91	0.60	12.93	0.63	pm
BT 27	03:10:56.5	-57:47:48	13.17	0.49	13.22	0.55	pm
BT 16	03:10:59.8	-57:44:43	13.21	0.78	13.40	0.78	pm
BT 19	03:10:42.4	-57:42:06	13.21	0.83	13.49	0.73	pm
GSC084900928	03:10:51.6	-57:49:21	-	-	14.63	0.95	pm
GSC084900945	03:11:10.2	-57:48:26	-	-	14.67	1.10	pm
GSC084901321	03:10:51.7	-57:40:06	-	-	15.29	0.35	nm
GSC08491021	03:10:46.5	-57:45:20	-	-	15.45	0.75	pm

Tabela 2.1: NGC 1252: tabela com os resultados da fotometria CCD.

^aEstrelas identificadas por BT são provenientes de Bouchet & Thé (1983) [12], GSC identificação proveniente do *Guide Star Catalogue*; ^bpm = provável membro, mpm = menos provável membro, nm = não membro.

$$(B - V) = -1.16 + 1.60 \times (b - v) \quad (2.7)$$

onde v e $b - v$ são os valores instrumentais corrigidos pela extinção atmosférica.

As estrelas brilhantes BT 1 (J2000 $\alpha = 03^h 10^m 50.0^s$ e $\delta = -57^\circ 42' 06''$ ($\ell = 270^\circ.00$ e $b = -50^\circ.87$) e BT 11 (J2000 $\alpha = 03^h 11^m 09.0^s$ e $\delta = -57^\circ 47' 38''$ ($\ell = 270^\circ.07$ e $b = -50^\circ.77$)) estavam saturadas em nossas imagens CCD, por isto adotamos os valores fotoelétricos de BT para as discussões e diagramas mostrados neste trabalho. Para BT 1 temos $V = 8.68$ e $(B-V) = 1.03$ e para BT11 temos $V = 10.50$ e $(B-V) = 1.05$. Para a estrela brilhante BT 13 (J2000 $\alpha = 03^h 10^m 39.2^s$ e $\delta = -57^\circ 48' 35.3''$ ($\ell = 274^\circ.16$ e $b = -50^\circ.82$)), pertencente à concentração de estrelas, mas no limite externo do ângulo sólido visto pelo CCD, foram também adotados os valores fotoelétricos de BT que são $V = 6.62$ e $(B-V) = 0.89$. O mesmo se aplica à estrela BT 28 (J2000 $\alpha = 03^h 10^m 38.5^s$ e $\delta = -57^\circ 47' 20''$ ($\ell = 274^\circ.13$ e $b = -50^\circ.84$)) cujos valores fotoelétricos são $V = 11.95$ e $(B-V) = 0.47$.

Obtivemos valores no sistema padrão com a a fotometria CCD para 12 estrelas da concentração. Destas, 8 estrelas já estavam presentes na fotometria de BT enquanto 4 estrelas observadas são novas. Os resultados fotométricos são mostrados na Tabela 2.1, organizada por colunas: (1) identificação, (2) e (3) coordenadas equatoriais J2000, (4) e (5) estrelas com valores fotoelétricos V e $(B-V)$ dados por BT, (6) e (7) valores V e $(B-V)$ dados pela fotometria CCD, e (8) classificação de membros (pm = provável membro, mpm = menos provável membro, nm = não membro - Seção 2.2.3).

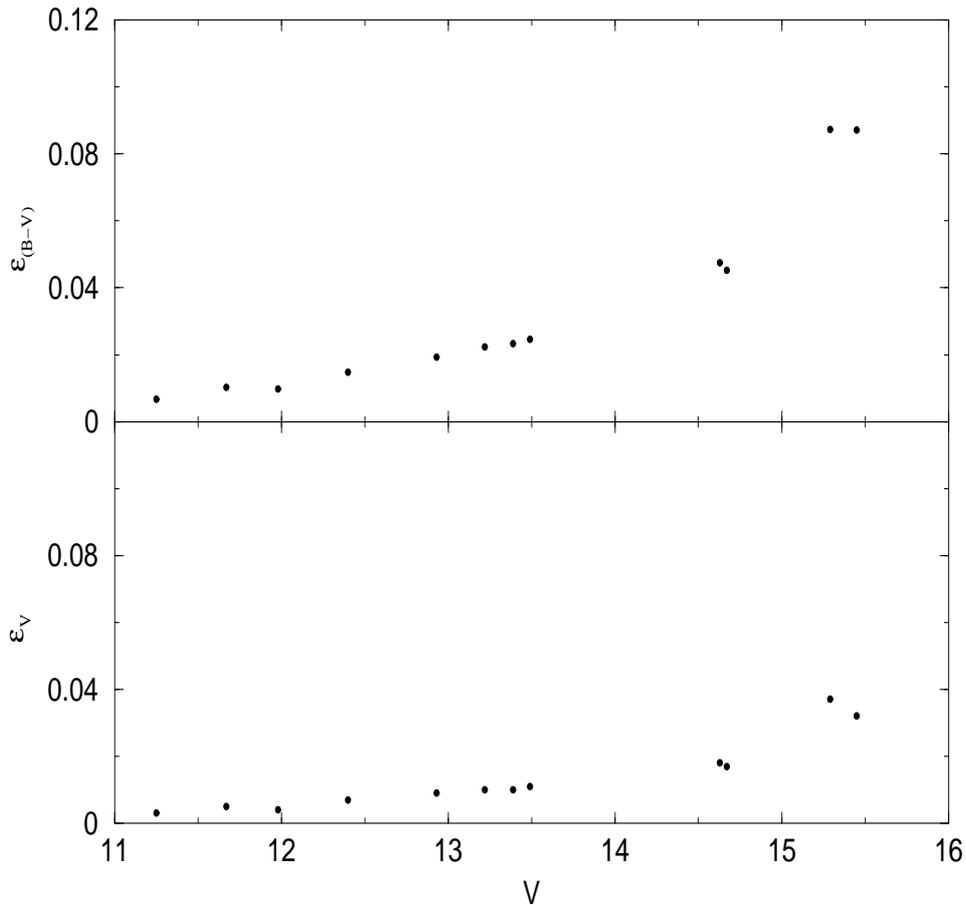


Figura 2.3: NGC 1252: no painel superior temos o erro interno (B-V) e no inferior o interno V como função da magnitude V.

2.2.2 Erros da fotometria de NGC 1252

A análise apresentada aqui é baseada em erros cujas expressões e origem estão definidas na Seção 2.1.3. Os erros fotométricos externos têm valores $\rho_V = 0.13$ e $\rho_{(B-V)} = 0.04$ mag. A Figura 2.3 mostra o erro DAOPHOT interno ϵ_V e $\epsilon_{(B-V)}$ como função da magnitude V. Basicamente alcançam 0.05 mags em $V \approx 15$. A Figura 2.4 mostra o diagrama $(B-V) \times V$ com as 12 estrelas da fotometria CCD e as barras de erro totais em cor $\sigma_{(B-V)}$ (equação 2.3). Também são mostradas as 4 estrelas suplementares na concentração com dados vindos de BT (BT 1, BT 11, BT 13 e BT 28). As estrelas mais fracas são as observadas só na presente fotometria CCD. A distribuição de estrelas no HR sugere a presença de uma MS e possivelmente algumas estrelas gigantes associadas.

2.2.3 Discussão

Ao analisarmos a concentração de estrelas na região CCD partimos do pressuposto de que todas as estrelas que fazem parte dela, incluindo as estrelas BT 1, BT 11 (saturadas em nosso CCD) e BT 13 e BT 28 (externas ao ângulo sólido coberto pelo CCD), seriam prováveis membros. Utilizamos isócronas de Padova (Girardi et al. 2000[30]) de metalicidade solar de diferentes idades, e considerações sobre o avermelhamento na direção do objeto para estimar sua idade e

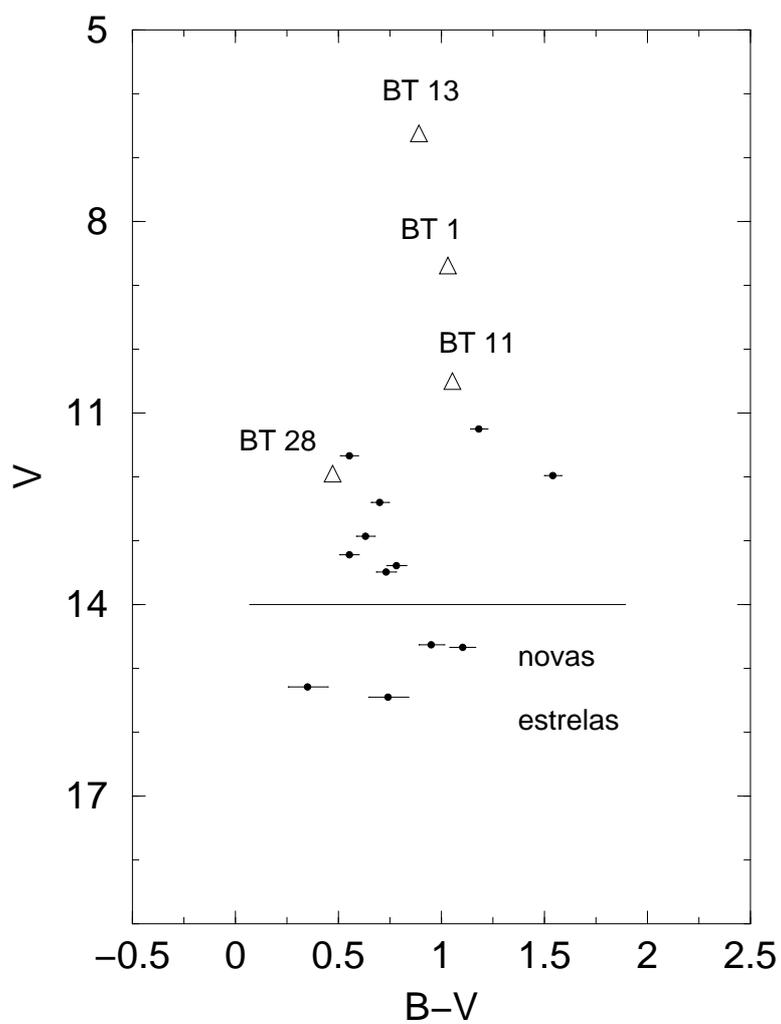


Figura 2.4: NGC 1252: diagrama $(B-V) \times V$ para as 12 estrelas com fotometria CCD. Erros totais em cor são mostrados. Os triângulos abertos são estrelas da fotometria de Bouchet & Thé. A linha indica o limite em magnitude para as estrelas observadas apenas na presente fotometria CCD.

distância ao Sol, conforme o descrito na Seção 1.1.

As estrelas BT 1 (de tipo espectral K1 III/IV) e a BT 13 (G8 III) são as únicas da concentração com tipo espectral detalhado (Bouchet & Thé 1983 [12]), e estão presentes no Catálogo Hipparcos. As paralaxes dadas são: 10.24 ± 0.78 ² msa e 5.48 ± 0.54 msa, respectivamente. As distâncias ao Sol correspondentes são 98 ± 8 pc para BT 1 e 182 ± 16 pc para BT 13. Com estes valores de distância ambas não podem fazer parte simultaneamente de um grupo estelar físico.

Na Figura 2.5 é apresentado o HR com o melhor ajuste de isócronas de Padova (Girardi et al. 2000[30]), no diagrama as estrelas da fotometria CCD estão representadas por um ponto e as da fotometria BT por triângulos abertos (como na Figura 2.4). O avermelhamento foi estimado levando em conta dois métodos: mapas de avermelhamento baseados na emissão térmica da poeira na direção da concentração gerando $E(B-V) = 0.02$ (Schlegel et al. 1998 [59]), mapas de avermelhamento baseados na densidade das colunas de HI e contagem da Galáxia que indica ausência de avermelhamento na direção da concentração de estrelas (Burstein & Heiles 1982 [14]). Concluímos que o avermelhamento $E(B-V) = 0.02$ é compatível com uma MS para idades intermediárias e um módulo de distância aparente $(m-M) = 9.1$. As isócronas correspondem a idades de 2 e 4 Ganos, sendo que a idade estimada para NGC 1252 foi de 3 ± 1 Gano. Usando a razão de extinção total-seletiva $R_V = 3.1$ obtém-se $A_V = 0.062$. O módulo de distância absoluto é $(m-M)_0 = 9.04 \pm 0.25$ mag. (Seção 1.1) e a distância ao Sol é $d_{\odot} \approx 0.64 \pm 0.07$ kpc. O erro no módulo de distância é dominado por incertezas verticais no ajuste do HR. Adotando a distância solar ao centro da Galáxia como 8 kpc [52], determinamos $X = -7.82$ kpc, $Y = -0.41$ kpc, $Z = -0.46$ kpc ($X < 0$ é o nosso lado da Galáxia), assim o objeto está localizado a aproximadamente 460 pc abaixo do plano Galáctico (Subseção 1.2). Esta distância do plano é consistente com a distribuição de disco velho (Friel 1995, [28]). O objeto está muito próximo do círculo solar.

A distribuição estelar no diagrama em relação à solução de isócronas foi de onde partimos para análise individual de cada estrela. A estrela BT 17 foi considerada não membro (nm, Tabela 2.1) porque está muito avermelhada com respeito às isócronas (Figura 2.5). BT considerou as estrelas BT 12, BT 14, BT 15, BT 16, BT 18, BT 19 e BT 27 como pertencentes ao campo Galáctico, lembrando que ele interpretou seus prováveis membros sob o ponto de vista da estrela TW Hor (Seção 2.2). No presente estudo torna-se clara uma interpretação diferente. Estas estrelas foram consideradas prováveis membros (pm) baseado na posição de cada uma em relação à MS definida pelas isócronas no HR (Figura 2.5), exceto a estrela BT 15 que é muito vermelha com relação ao ramo de subgigantes e foi considerada menos provável membro. As estrelas GSC0849000928, GSC0849000945 e GCS084901024 (provenientes do *Guide Star Catalogue*) foram classificadas como prováveis membros levando em conta as barras de erro em cor (Figura 2.4), e a possibilidade de existência de uma sequência de estrelas binárias paralela à MS. A estrela GSC084901321 (Tabela 2.1) foi classificada como não membro por ser muito mais azul que a MS, além de estar localizada no HR na região correspondente às estrelas de campo (ver adiante na Seção 2.2.4). BT 1 e BT 13 são mais azuis que o ramo as gigantes vermelhas nas isócronas o que indica que elas não são membros. Este argumento é reforçado pelas distâncias obtidas para estas estrelas através do Catálogo Hipparcos. Elas estão muito mais próximas do que a distância inferida para o NGC 1252 ($d_{\odot} \approx 640$ pc). BT 11 foi classificada como uma

²msa: milissegundo de arco.

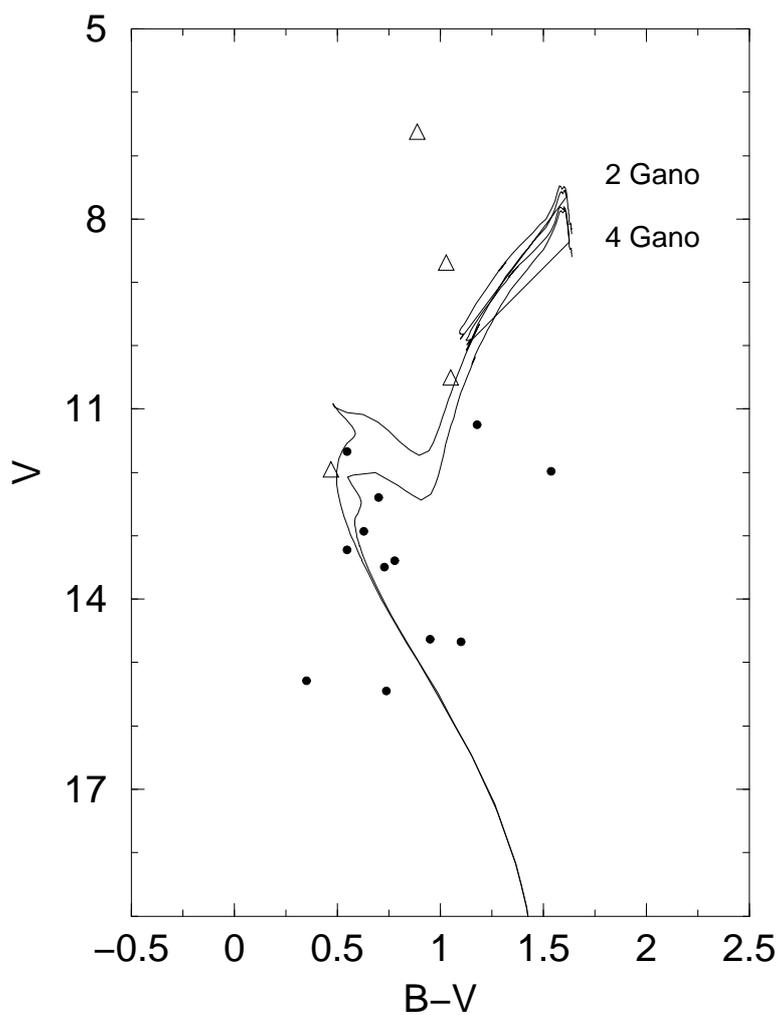


Figura 2.5: NGC 1252: diagrama $(B-V) \times V$ com mesmos símbolos que a Figura 2.4. São mostradas as isócronas de Padova com metalicidade solar, para idades de 2 e 4 Ganos.

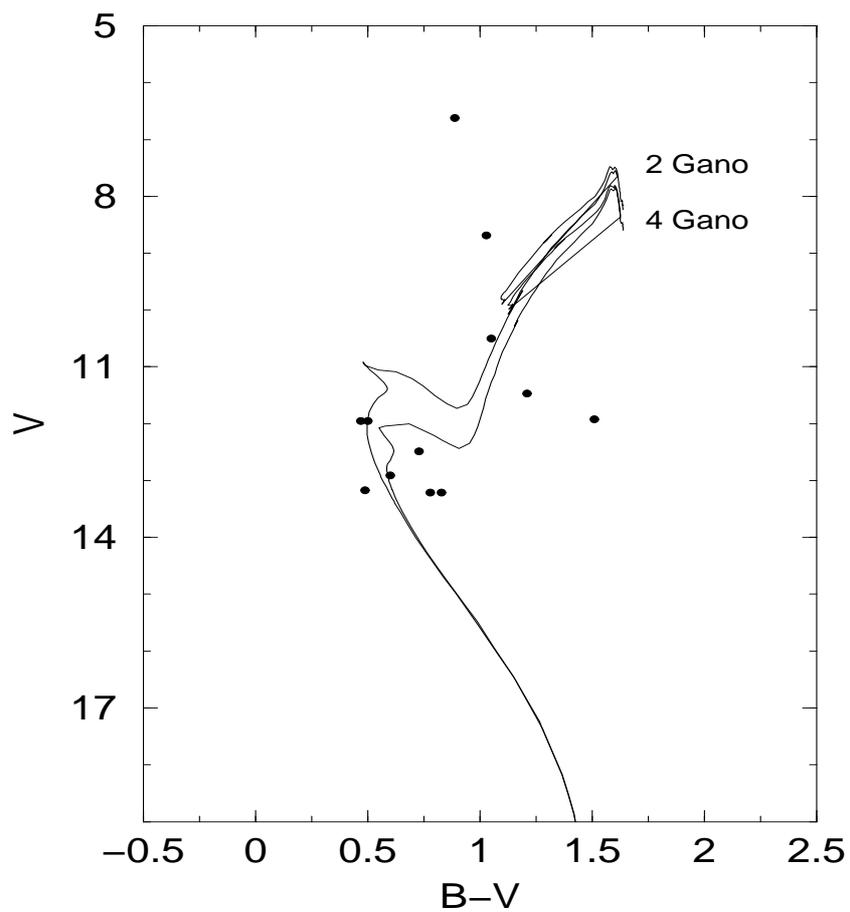


Figura 2.6: NGC 1252: diagrama $(B-V) \times V$ para fotometria de Bouchet & Thé (1983) [12] com mesma solução de isócronas que na Figura 2.5

provável membro pertencente ao ramo de subgigantes e BT 28 aparece como provável membro pertencendo à região do *turnoff* (TO).

Na Figura 2.6 encontram-se todas as estrelas da fotometria BT pertencentes à concentração de estrelas além da solução de isócronas. É importante notar que destas, somente BT 1 foi considerada membro por BT. Comparando as Figuras 2.5 e 2.6 vemos que obtivemos na primeira (fruto fotometria CCD) um ganho de $\Delta V \cong 2$ mag que aprofundou a MS, pois das 4 novas estrelas obtidas pela fotometria CCD 3 foram classificadas como prováveis membros e contribuíram na estimativa de idade e conteúdo estelar do objeto. Fica claro mais uma vez que estamos tratando de um conjunto de estrelas totalmente diferente daquele interpretado por BT como sendo NGC 1252, pois as estrelas consideradas membros por nós são justamente aquelas descartadas por BT. Três estrelas GSC estão presentes na região coberta por nossa imagem CCD e segundo as magnitudes fornecidas pelo catálogo elas são um pouco mais fracas que a mais fraca das estrelas da Tabela 2.1. Se supormos que tais estrelas são membros o número total deles na faixa entre $14 < V < 16$ sobe para 6.

Voltando à Figura 2.5 vemos que temos mais estrelas prováveis membros do lado direito das isócronas, isto é, no lado vermelho da MS. Tal fato sugere uma sequência dupla de estrelas, que é algo esperado para o conteúdo estelar de aglomerados remanescentes. Sequências de estrelas binárias foram observadas em aglomerados globulares como por exemplo 47 Tucanae (Santiago et al. 1996a, [57]) e aglomerados jovens da Grande Nuvem de Magalhães como NGC 1818 (Elson et al. 1998, [26]). Aglomerados globulares têm em geral uma fração de binárias um pouco menor que aglomerados abertos. Ferraro et al (1997) [27], obteve para o aglomerado globular NGC 2808 uma fração de binárias de 24 %. O aglomerado globular NGC 6752 em um estágio pós-colapso do núcleo tem uma fração de binárias total baixa (< 16 %) mas no núcleo apresenta uma fração de 15 - 38 %, segundo Rubenstein & Bailyn (1997) [54]. Já para o aglomerado aberto NGC 2516, González & Lapasset (2000) [31] estimaram uma fração de 26 %, subindo para 46 % se forem incluídas todas as estrelas binárias suspeitas. Se considerarmos as 167 estrelas membros mais brilhantes das Hyades (Patience et al 1998, [50]) teremos 59 binárias e 10 triplas o que corresponde a uma fração de binárias de 41 % para um aglomerado aberto em estado dinâmico evoluído. Não podemos comparar diretamente a fração de binárias de aglomerados globulares com a dos aglomerados abertos uma vez que no caso dos primeiros muitas binárias são destruídas pela sua alta densidade inicial. Já para estágios dinâmicos avançados de aglomerados abertos ou seus remanescentes não esperamos a destruição de binárias por interações entre as estrelas . Se compararmos o número de estrelas da MS e do TO com as estrelas à direita da MS de NGC 1252 (Figura 2.5) teremos uma fração de binárias alta: 67 %. Temos uma estatística baixa para o caso de NGC 1252 mas se levarmos em conta esta fração em relação ao número de prováveis membros e as características até aqui apresentadas pela concentração de estrelas, temos algo consistente com um estado dinâmico evoluído de um aglomerado aberto.

Ao final desta primeira etapa de discussões vemos que a concentração de estrelas NGC 1252 apresenta características de um sistema físico, mas não um aglomerado aberto clássico. Levando isto em conta podemos dizer que das 12 estrelas detectadas pela fotometria CCD, 2 são não membros (BT 17 e GSC0894801321), 9 são prováveis membros (ver Tabela 2.1) e uma é menos provável membro (BT 15). Incluindo em nossa análise as estrelas pertencentes à concentração,

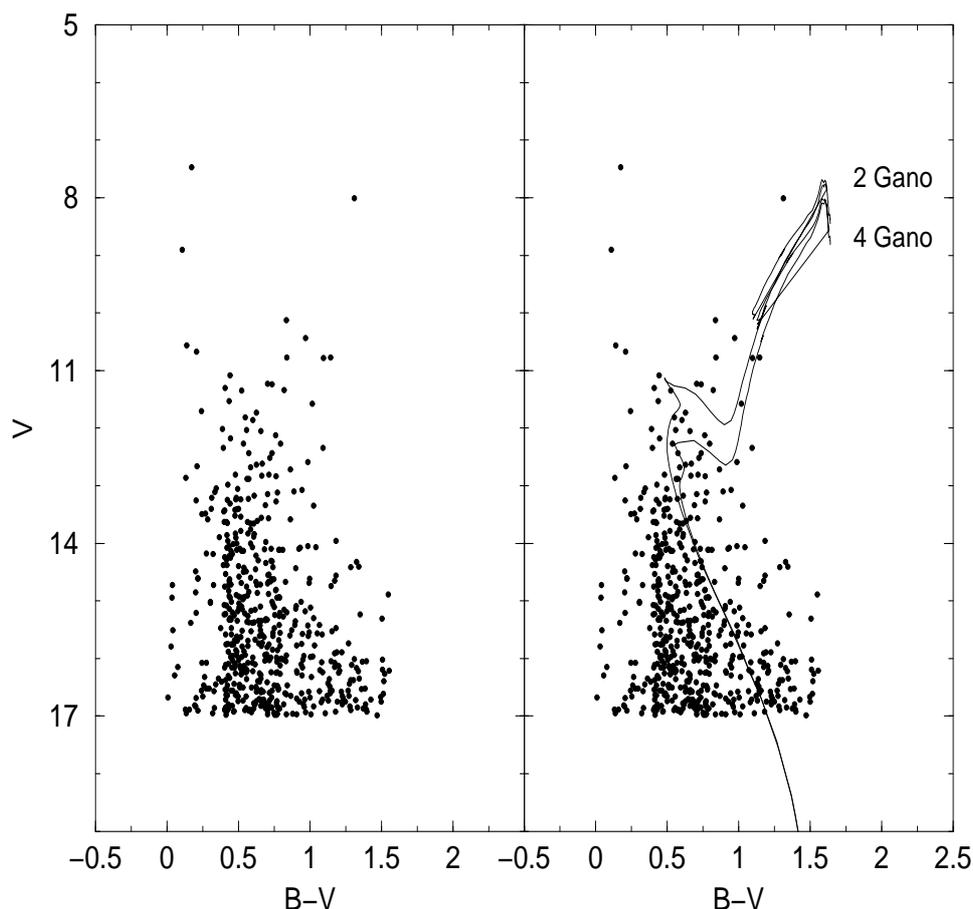


Figura 2.7: O painel à esquerda apresenta o diagrama $(B-V) \times V$ predito pelo modelo de estrutura Galáctica descrito no texto. Ele corresponde a uma região de 1° de diâmetro na mesma direção que NGC 1252. O painel à direita mostra a superposição das mesmas isócronas para NGC 1252 da Figura 2.5.

mas externas ao ângulo sólido coberto pelo CCD, concluímos que 2 são não membros (BT 1 e BT 13) e 2 prováveis membros (BT 11 e BT 28).

2.2.4 Comparação com um modelo de campo

A concentração de estrelas NGC 1252 apresenta uma densidade de número de estrelas significativa em relação às estrelas do campo galáctico (Bica et al 2001, [7]). Uma outra informação interessante é saber se ela apresenta uma distribuição de estrelas semelhante à do campo Galáctico na direção da concentração, verificando desta forma a possibilidade de NGC 1252 ser uma flutuação estatística de campo ou não.

Para obtermos tal informação faremos uma comparação entre HRs de concentrações de estrelas de um campo Galáctico esperado na mesma direção e com limites de magnitude comparáveis aos da concentração de estrelas observada. Este campo esperado de estrelas foi gerado a partir do modelo de estrutura Galáctico descrito na Seção 2.1.4.

Inicialmente geramos através do modelo de estrutura Galáctica um HR para a região de 1° de diâmetro centrada nas coordenadas da concentração de estrelas da região CCD, e produzindo

uma boa estatística. O resultado pode ser visto na Figura 2.7. Introduzimos no painel à direita a mesma solução de isócronas da Figura 2.5 (correspondendo à solução $(m-M)_0=9.04$ e $E(B-V) = 0.02$). Pode-se ver que elas não se ajustam à região de maior concentração de estrelas de campo, que são consideravelmente mais azuis. As isócronas localizam-se acima da concentração de estrelas de campo e, conseqüentemente, NGC 1252 está localizado mais próximo. Note que o HR do modelo estende-se além de $V \approx 17$, diferentemente do diagrama real, uma vez que não é afetado por incompletude fotométrica. Do modelo de estrutura Galáctica gerador do HR para região de 1° de diâmetro, construímos um HR para o mesmo ângulo sólido da região CCD, em que as estrelas foram geradas randomicamente a partir do modelo de contagens de estrelas em cada célula do HR (menor que o ângulo sólido) e sujeito a flutuações de Poisson. Esperamos que este novo HR apresente uma distribuição de estrelas preferencialmente distribuídas na região mais azul do diagrama, assim como se apresentam as estrelas no HR da região maior (Figura 2.7). Do ponto de vista estatístico não podemos descartar a possibilidade de produzirmos um HR artificial semelhante ao HR da concentração estelar, mas não é esta a típica solução em áreas pequenas. A Figura 2.8 apresenta o HR obtido, em que a solução de isócronas para a concentração é novamente mostrado. As isócronas aparecem no diagrama mais vermelhas em relação a maior parte das estrelas da amostra artificial. Além disso vemos que as estrelas do NGC 1252 na Figura 2.5 estão distribuídas em uma região muito mais estreita que as estrelas do modelo na Figura 2.8.

Ao compararmos o HR da concentração de estrelas NGC 1252 com os HRs resultantes do modelo verificamos que eles não são compatíveis, o que junto com a análise feita acima, nos sugere que concentração de estrelas não seja uma flutuação estatística do campo Galáctico. Ao contrário, nos leva a concluir sobre a existência de um grupo estelar físico na região estudada.

2.2.5 Astrometria disponível

Vamos apresentar o estudo feito com base nos dados disponíveis no catálogo Tycho de todas as estrelas em uma área de diâmetro $80'$ centrada na concentração estelar. Nosso objetivo é buscar as relações existentes entre as estrelas da concentração e destas com as estrelas que encontram-se na região em torno da concentração.

A Figura 2.9 é uma representação do céu para a região de extração de estrelas onde o tamanho das flechas é proporcional aos movimentos próprios. O círculo maior envolve a concentração de estrelas da presente fotometria e tem um diâmetro de $14'$. Estrelas mais fracas que $V \approx 12$ mag estão ausentes no catálogo Tycho. A Figura mostra que as estrelas gigantes BT 1 e BT 13 possuem movimentos próprios com diferentes direções e módulos, concordando com a afirmação feita na subseção 2.2.1 de que estas estrelas não estavam correlacionadas. Elas estão claramente na frente de NGC 1252. Fora da área da concentração de estrelas, na Figura 2.9, aparecem três estrelas identificadas segundo o catálogo Hipparcos: HIP14930 (TW Hor) a uma distância do Sol de $d_\odot = 403_{-74}^{+118}$ pc, HIP15176 a 397_{-149}^{+603} pc e a HIP14975 a 630_{-603}^{+210} pc. O catálogo Hipparcos também fornece a fotometria BV Johnson. Ao considerarmos seus valores de distância e/ou fotométricos classificamos estas estrelas como não membros.

A estrela BT 11 com movimento próprio dado por $\mu_\alpha = +15 \pm 4.6$ msa/ano e $\mu_\delta = +17.7 \pm 4.2$ msa/ano e a BT 15 por $\mu_\alpha = -0.4 \pm 5.4$ msa/ano e $\mu_\delta = +2.2 \pm 4.9$ msa/ano foram consideradas

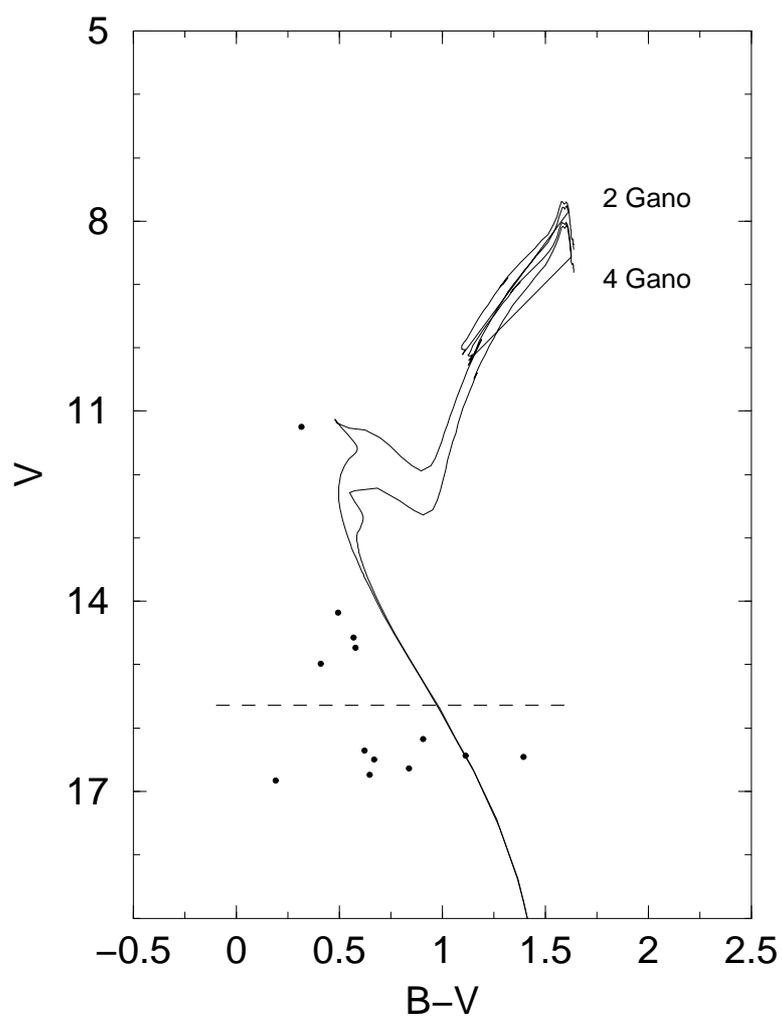


Figura 2.8: Diagrama HR teórico do campo Galático para o ângulo sólido da região do CCD. É mostrada a mesma solução de isócronas da Figura 2.5 para o NGC 1252. A linha pontilhada indica o limite das observações da fotometria CCD.

inicialmente como pm e mpm (Tabela 2.1), respectivamente. Vemos pelos valores que elas não podem ser membros simultaneamente da concentração.

Não temos condições de fazer uma análise conclusiva a respeito dos prováveis membros devido ao fato de não conhecermos os movimentos próprios das estrelas mais fracas ($12 < V < 15.5$), que compreendem a maior parte da concentração. Sobre os dados disponíveis temos de considerar dois aspectos: os erros envolvidos e a possível ocorrência de binárias.

Os erros envolvidos nos movimentos próprios disponibilizados pelo catálogo Tycho para as estrelas sob investigação são da ordem de 5 msa/ano. A distância estimada para a concentração $d_{\odot} = 0.64$ kpc implica em erros na velocidade transversal de ~ 15 km/s. Esperamos para aglomerados abertos dispersão de velocidades bem menores, no caso das Hyades é de 0.23 km/s (Gunn et al. 1998, [32]). Portanto os erros envolvidos não nos permitem concluir a respeito dos movimentos internos da concentração estelar. Outro aspecto a ser levado em conta é a possível ocorrência de binárias. As estrelas foram acompanhadas durante alguns anos e, portanto, seus movimentos próprios são o reflexo dos principais movimentos ocorridos neste intervalo de tempo observado. Sendo assim, se estrelas prováveis membros estiverem envolvidas em sistemas múltiplos (binárias ou triplas) cujo período for maior que o intervalo de tempo, a estimativa dos movimentos próprios feitos pelo catálogo Tycho não será real (Baumgardt 1998, [4]). Portanto temos de ser cuidadosos na importância dada aos movimentos próprios disponíveis na análise da concentração estelar.

Bassino et al. (2000)[3] encontraram evidência de uma coroa de estrelas nos limites externos do possível remanescente M73 (NGC 6994). Baseado em simulações de N-corpos de Terlevich [63] eles mostraram que a coroa é esperada depois de 300-400 milhões de anos de evolução dinâmica, e que as estrelas que formam a coroa provavelmente irão escapar do aglomerado em um futuro próximo.

Para investigar se a concentração possui uma estrutura de núcleo-halo, formado pelas estrelas que estão ao redor da região da concentração estelar e que possuem valores de fotometria dados por BT, construímos um HR (Figura 2.10). As estrelas estão classificadas em membros e não membros segundo a interpretação de BT. Vemos que pelo menos 13 estrelas encontram-se sobre ou próximas à solução de isócronas, o que poderia sugerir que muitas daquelas consideradas por BT como não membros são compatíveis com a presente interpretação, especialmente na região do TO. Na Figura 2.11 mostramos a mesma extração espacial do catálogo Tycho (80' de diâmetro) que na Figura 2.9 onde estão marcadas as estrelas compatíveis com a solução de isócronas da Figura 2.10. Das 13 estrelas na região do TO, 2 não estão presentes no catálogo Tycho e 3 estão fora área de extração. Note que as estrelas marcadas na Figura 2.11 estão distribuídas somente em um lado da concentração. Isto ocorre porque a concentração de estrelas está nos limites da grande região estudada por BT. Assim das 13 estrelas podemos observar o comportamento de 8, e destas, 6 têm seus módulos de movimento próprio similares aos das estrelas da concentração BT 11 e BT 15, e elas poderiam ser prováveis membros de um halo em torno da concentração (núcleo) do NGC 1252.

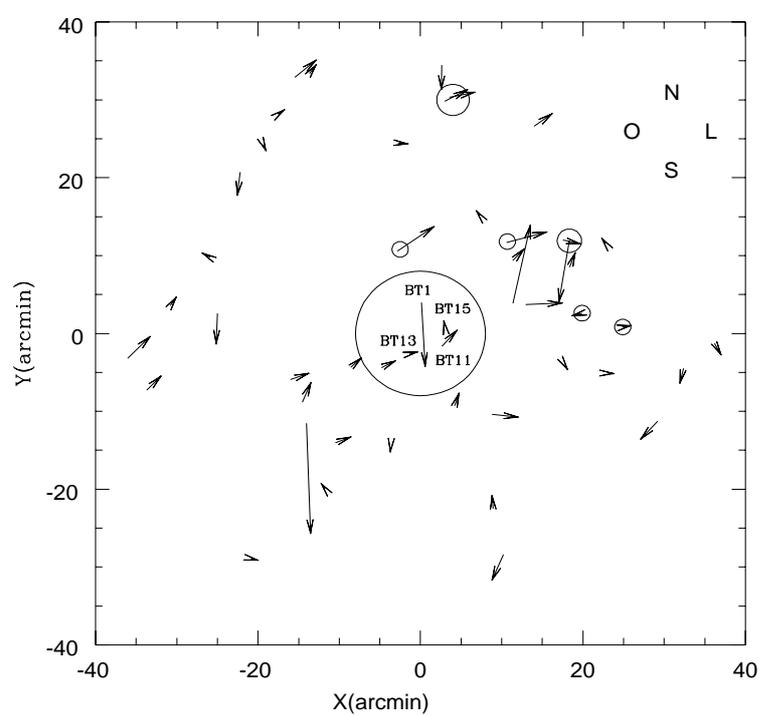


Figura 2.9: NGC 1252: mapa do céu com as estrelas extraídas do catálogo Tycho em uma região de 80' de diâmetro centrada na concentração de estrelas. O comprimento das flechas é proporcional ao módulo dos movimentos próprios. A flecha maior tem módulo de 121.2 msa/ano. O círculo maior tem 14' de diâmetro e engloba NGC 1252. Os círculos pequenos indicam as estrelas do Hipparcos fora da concentração de estrelas.

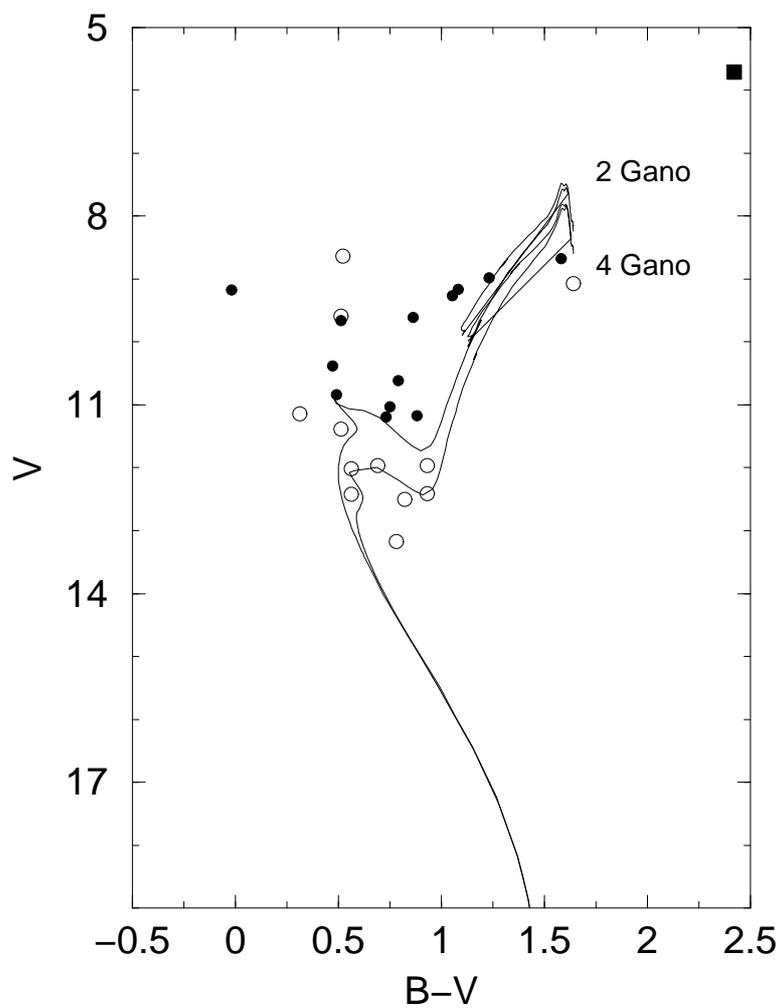


Figura 2.10: Diagrama $(B-V) \times V$ para estrelas com fotometria extraída de BT e que localizam-se fora do ângulo sólido do CCD (concentração de estrelas). Os pontos indicam as estrelas consideradas membros e os círculos abertos indicam os não membros segundo a classificação de Bouchet & Thé (1983) [12]. A mesma solução de isócronas de NGC 1252 da Figura 2.5 é mostrada.

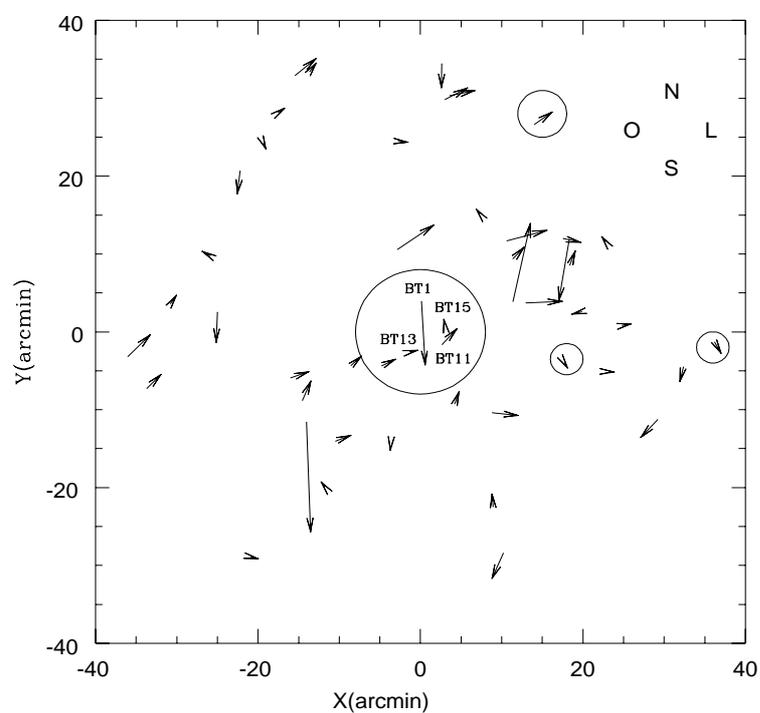


Figura 2.11: NGC 1252: mesmo mapa do céu, com estrelas extraídas do Tycho, que na Figura 2.9. Os círculos pequenos marcam as estrelas compatíveis com a solução de isócronas para a concentração de estrelas.

2.3 NGC 1901: Aglomerado Aberto Pouco Povoado

O grupo estelar NGC 1901 possui coordenadas equatoriais J2000 $\alpha = 5^h 18^m 11^s$ e $\delta = -68^\circ 27' 00''$ (coordenadas Galáticas $\ell = 279.03^\circ$ e $b = -34.60^\circ$) estando localizado em Dorado. Foi inicialmente identificado como um “grupo estelar esparso” por Bok & Bok (1960) [11]. Sanduleak e Philip (1968) [56] obtiveram fotometria Johnson BV, e o descreveram como um grupo físico Galático projetado sobre a Grande Nuvem de Magalhães com 23 estrelas. Eles estimaram o TO próximo a A0, módulo de distância $(m-M)_0 = 7.8$ e $E(B-V) = 0.065$ mag ($A_V = 0.195$) correspondendo a uma distância ao Sol $d_\odot = 330$ pc e distância ao plano $Z = 185$ pc. Segundo o banco de dados WEBDA (Seção 1.3.1), que apresenta fotometria de S&P adicionada de novos valores para algumas estrelas, os parâmetros para o grupo estelar seriam módulo de distância $(m-M) = 8.28$ e $E(B-V) = 0.06$ mag ($A_V = 0.19$) o que corresponde a uma distância ao Sol $d_\odot = 450$ pc, $Z = 250$ pc e uma idade aproximada de 830 Manos. Murray et al. (1969) [48] estudaram os movimentos próprios das estrelas de Sanduleak e Philip, a partir de placas do *Cape Astrophysical Telescope* num intervalo maior que 60 anos. Concluíram que das 23 estrelas consideradas membros por Sanduleak e Philip, 19 possuíam movimentos próprios em comum e consideraram NGC 1901 como um aglomerado de estrelas. Das 19 estrelas com movimentos próprios em comum 14 delas são interiores ao ângulo sólido coberto pela região CCD do presente estudo.

Apesar de NGC 1901 ser considerado um grupo estelar físico, seus estudos anteriores não o consideram um aglomerado aberto clássico. Mas, então, qual será seu estado dinâmico: um aglomerado aberto remanescente ou estará NGC 1901 em algum estado transitório ?

Por ser um aglomerado estelar esparso, NGC 1901 foi utilizado como objeto de comparação no trabalho de Bica et al. (2001) [7] onde apresentou um significativo contraste de densidade de número de estrelas em relação ao modelo do campo e ao campo Galático real. Considerando tal contraste e a possibilidade de NGC 1901 estar em um estado evolutivo anterior a NGC 1252, optamos por aprofundar o estudo sobre ele.

2.3.1 Redução das imagens de NGC 1901

O presente estudo aprofunda a fotometria de Sanduleak e Philip (a partir daqui referidos por SP). Na Figura 2.12 podemos ver uma representação da área circular do céu de $\sim 60'$ diâmetro em que estão indicadas as 23 estrelas consideradas membros por S&P. A área coberta pelo ângulo sólido do CCD do presente trabalho engloba a região em que estão as estrelas SP 7, SP 8, SP 9, SP 10, SP 11, SP 12, SP 13, SP 14, SP 15, SP 16 possuindo aproximadamente $12'$. Durante o turno de observação foram colhidas oito imagens do aglomerado sendo elas: (i) uma em B e uma em V de curta exposição (10 segundos); (ii) três em B e três em V de longa exposição (30 segundos). As imagens foram separadas em dois grupos um curto e um longo. As reduções das imagens foram feitas usando o IRAF como descrito na Seção 2.1.2, assim como as rotinas do pacote DAOPHOT [61] para obtenção das magnitudes instrumentais, para cada grupo individualmente

As estrelas padrão utilizadas são as enumeradas acima com exceção da estrela SP 11, pois esta não encontra-se totalmente interna à região CCD. O procedimento foi o mesmo adotado no

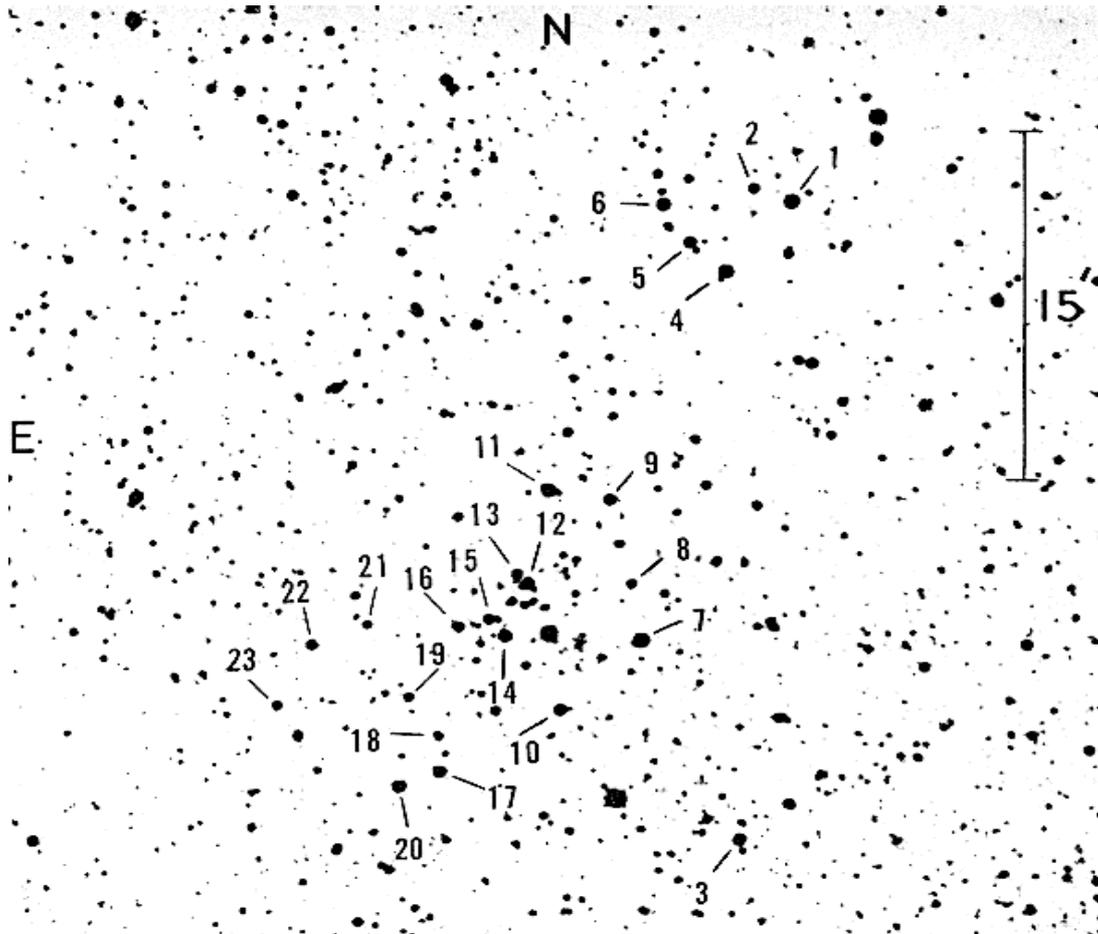


Figura 2.12: NGC 1901: reprodução da Figura 1 de Sanduleak & Philip (1968) [56] para uma região de $\sim 60'$ de diâmetro.

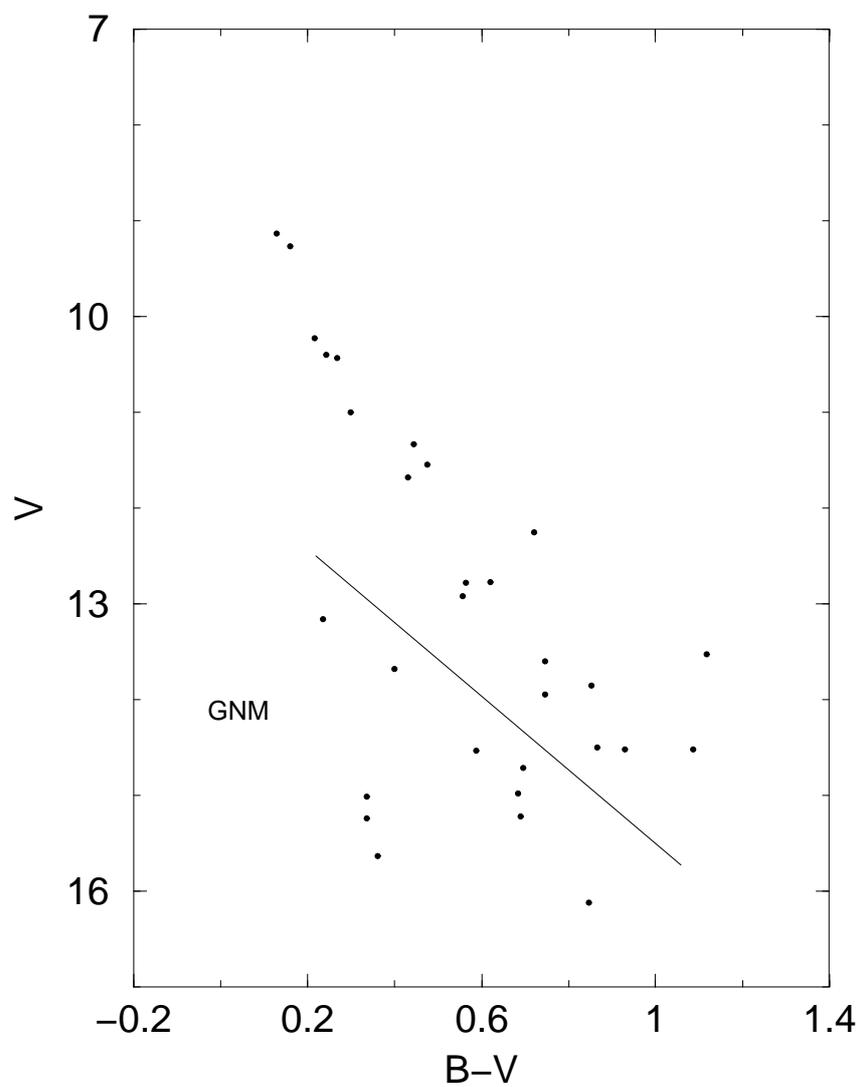


Figura 2.13: NGC 1901: diagrama $V \times (B-V)$ contendo as 30 estrelas da fotometria CCD. A linha separa as prováveis estrelas da Grande Nuvem de Magalhães das do presente grupo estelar.

^a Nome	α	δ	V	(B-V)	V	(B-V)	μ_α	μ_δ	^b Membro
	h:m:s	°:':"	SP	SP	CCD	CCD	$\frac{msa}{ano}$	$\frac{msa}{ano}$	
SP 7, TCY2 552	05:17:23.0	-68:28:19	9.16	0.14	9.14	0.13	0.0	10.7	pm
SP 11, TCY2 732	05:18:02.1	-68:21:19	9.25	0.20	9.27	0.16	-0.8	12.4	pm
SP 14, TCY2 142	05:18:22.5	-68:28:02	10.24	0.21	10.23	0.22	-0.7	11.3	pm
SP12, TCY2 669	05:18:11.9	-68:25:36	10.38	0.24	10.40	0.24	4.6	6.8	pm
SP 10, TCY2 883	05:17:59.2	-68:31:28	10.48	0.25	10.44	0.23	3.6	6.6	pm
SP 9, TCY2 498	05:17:35.8	-68:21:47	10.91	0.31	10.99	0.30	5.0	11.1	pm
SP 13, TCY2 702	05:18:16.7	-68:25:10	11.37	0.45	11.34	0.44	5.0	5.5	pm
SP 15, TCY2 196	05:18:29.5	-68:27:14	11.58	0.49	11.55	0.48	3.0	8.9	pm
SP 16, TCY2 590	05:18:42.7	-68:27:33	11.64	0.41	11.68	0.43	1.1	8.3	pm
SP 8, GSC 0916201005	05:17:27.1	-68:25:42	12.56	0.58	12.78	0.56	-	-	pm
GSC 0916200682	05:18:41.8	-68:22:29	-	-	12.25	0.72	-	-	pm
GSC 0916200834	05:19:05.3	-68:30:46	-	-	12.78	0.62	-	-	pm
GSC 0196200626	05:18:19.1	-68:26:25	-	-	12.90	0.55	-	-	pm
GSC 0916200464	05:18:27.7	-68:31:28	-	-	13.16	0.23	-	-	pGNM
GSC 0916200216	05:17:51.2	-68:24:34	-	-	13.53	1.12	-	-	nm
MACS 0517684015	05:17:41.3	-68:21:04	-	-	13.60	0.75	-	-	pm
GSC 0916200883	05:17:59.2	-86:31:28	-	-	13.68	0.14	-	-	pGNM
1	05:18:04.0	-68:26:44	-	-	13.85	0.85	-	-	pm
USNO 015002864868	05:17:51.3	-68:26:08	-	-	13.95	0.75	-	-	pm
GSC 0916200619	05:18:52.7	-68:32:35	-	-	14.50	0.87	-	-	pm
2	05:17:27.5	-68:29:45	-	-	14.52	0.93	-	-	pm
3	05:18:36.5	-68:29:10	-	-	14.52	1.09	-	-	pm
USNO 015002856433	05:17:32.6	-68:23:52	-	-	14.53	0.59	-	-	pGNM
MACS 0517684021	05:17:56.5	-68:24:22	-	-	14.71	0.70	-	-	pGNM
USNO 015002855788	05:17:31.1	-68:23:51	-	-	14.99	0.68	-	-	pGNM
MACS 0518684007	05:18:11.4	-68:26:34	-	-	15.01	0.34	-	-	pGNM
USNO 015002858752	05:17:37.6	-68:31:51	-	-	15.22	0.69	-	-	pGNM
MACS 0518685008	05:18:33.4	-68:30:42	-	-	15.24	0.34	-	-	pGNM
MACS 0518684004	05:18:09.4	-68:26:26	-	-	15.63	0.36	-	-	pGNM
4	05:18:58.0	-68:21:25	-	-	16.12	0.85	-	-	pGNM

Tabela 2.2: NGC 1901: resultados da fotometria CCD.

^aSP estrelas medidas por Sanduleak & Philip (19680 [56], GSC designadas pelo *Guide Star Catalogue*, TCY2 pelo Catálogo Tycho, MACS designadas pelo Catálogo de Tucholke et al. (1996) [64], USNO designadas pelo Catálogo de Monet et al. (1998) [46]; ^bpm = provável membro, nm = não membro, pGNM = provável membro da Grande Nuvem de Magalhães.

estudo do grupo estelar NGC 1252. A fotometria obtida para a longa exposição apresentou os melhores resultados pois resgatou estrelas identificadas por S&P, prováveis estrelas da Grande Nuvem de Magalhães e novas estrelas.

Todas as estrelas estavam expostas à mesma massa de ar $X \sim 1.45$ e as magnitudes instrumentais foram corrigidas por este efeito assim como pelos coeficientes de extinção atmosférica $K_V = 0.16$ e $K_{(B-V)} = 0.13$ para o local de observação (Minniti et al. 1989, [45]).

As equações de transformação resultantes do processo foram:

$$V = 19.88 + v - 0.14 \times (b - v) \quad (2.8)$$

$$(B - V) = -0.093 + 0.63 \times (b - v) \quad (2.9)$$

onde v e $b - v$ são valores instrumentais corrigidos pela extinção atmosférica.

Na Figura 2.13 mostramos o HR para a fotometria CCD obtida para 30 estrelas. Destas, 10 estrelas foram detectadas pela fotometria de SP, 10 são novas estrelas compatíveis com NGC 1901 e 10 estrelas estão na região esperada de estrelas brilhantes da Grande Nuvem de Magalhães (Seção 2.3.3). A estrela mais brilhante da região está saturada no CCD e utilizamos a fotometria Johnson derivada do catálogo Tycho. Nele a estrela é identificada como TCY2 573 (HD 35294), com $V = 8.40$ e $(B-V) = 0.70$. A estrela não faz parte da amostra de SP. Os resultados fotométricos são mostrados na Tabela 2.2, distribuída em colunas da seguinte maneira: (1) identificação, (2) e (3) coordenadas equatoriais J2000, (4) e (5) estrelas com valores de fotometria V e $(B-V)$ dadas por SP, (6) e (7) valores V e $(B-V)$ da presente fotometria CCD e (8) e (9) movimentos próprios e (10) classificação sobre membros (pm = provável membro, nm = não membro, pGNM = provável Grande Nuvem de Magalhães).

2.3.2 Erros da fotometria de NGC 1901

As expressões para o cálculo dos erros apresentados aqui, e as definições de cada tipo estão expostas na Seção 2.1.3. Os erros fotométricos externos (ρ), resultantes do ajuste do sistema instrumental ao padrão, tem valores $\rho_V = 0.043$ e $\rho_{(B-V)} = 0.013$ mag. A Figura 2.13 mostra os erros DAOPHOT internos ϵ_V e $\epsilon_{(B-V)}$ contra a magnitude V . Estes não ultrapassam 0.05 mag em $V < 14.5$, limite de magnitude que compreende todas as novas estrelas reveladas pela fotometria CCD. A Figura 2.15 apresenta o diagrama cor-magnitude $(B-V) \times V$ com 20 estrelas da fotometria CCD e as barras de erro total em cor, que foram calculadas a partir da expressão 2.3. As estrelas identificadas como prováveis membros da Grande Nuvem de Magalhães não estão incluídas. A distribuição das estrelas sugere a presença de uma sequência principal.

2.3.3 Discussão

As estrelas da fotometria de SP estão distribuídas em uma área muito maior que a do ângulo sólido coberto pelo CCD. Consideramos que elas estão posicionadas espacialmente em três grupos distintos. Das 23 estrelas 13 estão fora do ângulo sólido coberto pelo CCD, dividindo-se em dois grupos: um com 5 estrelas (SP 1, SP 2, SP 4, SP 5 e SP 6 - referida por extensão norte) a $\sim 20'$ ao norte da concentração principal de estrelas, e outro com 8 estrelas ao sul (SP 3, SP 17,

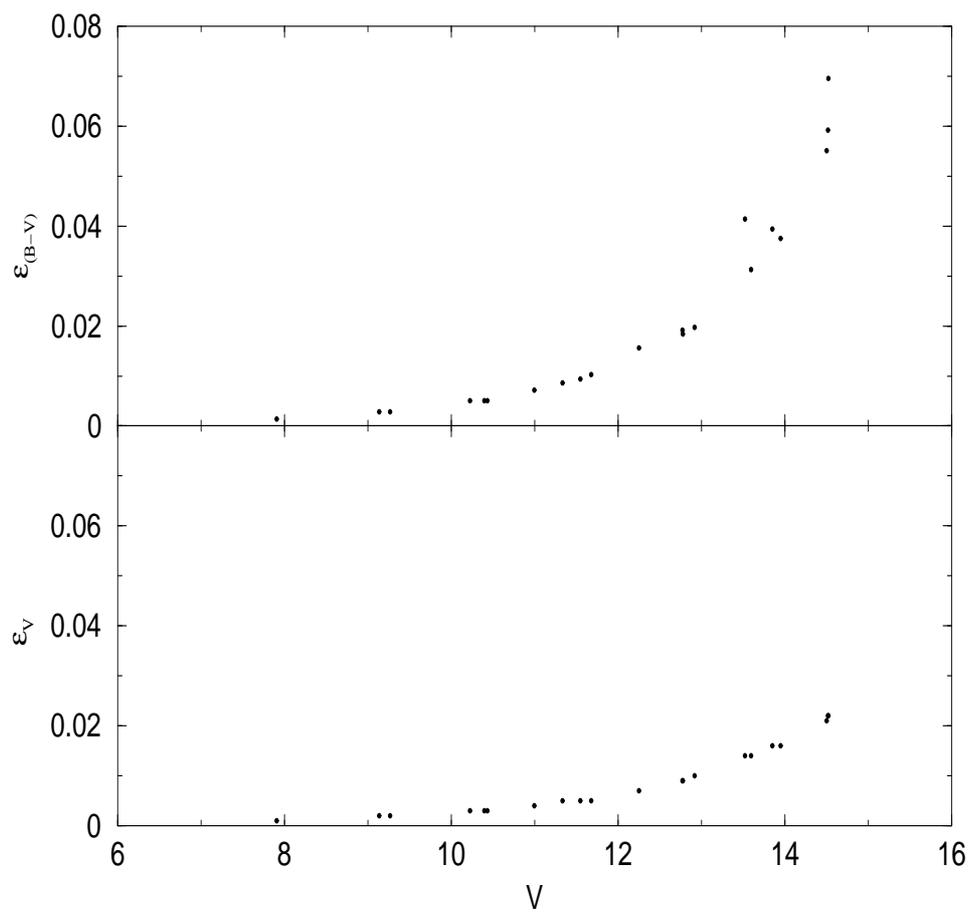


Figura 2.14: NGC 1901: os erros internos em (B-V) são apresentados no painel superior e os erros internos em V no inferior, ambos estão em função da magnitude V.

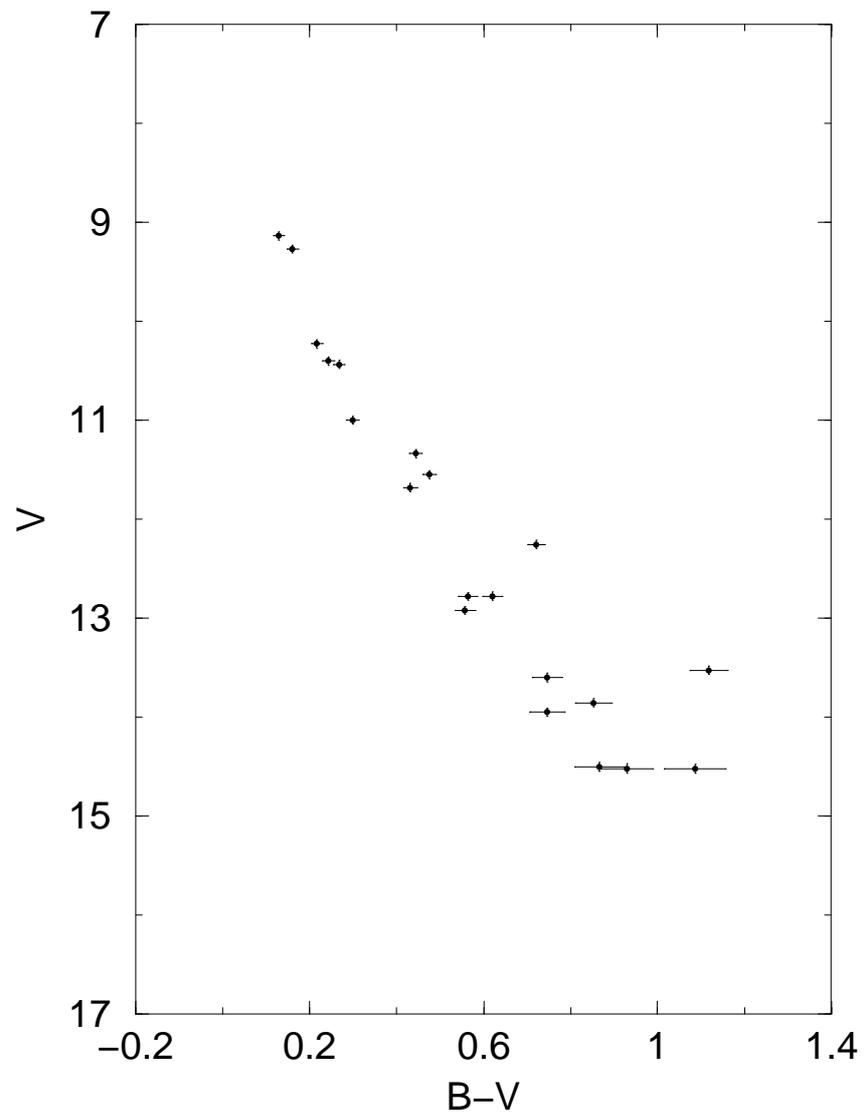


Figura 2.15: NGC 1901: diagrama $V \times (B-V)$ para as 20 estrelas com fotometria CCD. Erros totais em cor são mostrados.

SP 18, SP 19, SP 20, SP 21, SP 22 e SP 23 - referidas por extensão sul). O restante faz parte da concentração principal de estrelas sendo detectadas pela presente fotometria CCD que cobre uma região de $\sim 12'$ de diâmetro.

O primeiro passo para obtenção dos parâmetros fundamentais do objeto foi construir um HR contendo as 30 estrelas da fotometria CCD, a estrela brilhante TCY2 573 (HD35294), e as estrelas das extensões norte e sul. A distribuição no HR revelou uma sequência principal. Seguindo os passos descritos na Subseção 2.1.4 e utilizando as isócronas de Padova [30] (Seção 1.1) para diferentes idades e com metalicidade solar foi obtido o melhor ajuste para idade do objeto e módulo de distância.

Na Figura 2.16 apresentamos o HR com todo conjunto de estrelas sob análise, onde cada uma tem um símbolo de acordo com sua origem. Os pontos menores representam as estrelas observadas somente pela fotometria CCD e os pontos maiores aquelas que foram detectadas também pela fotometria SP (SP 7, SP 8, SP 9, SP 10, SP 11, SP 12, SP 13, SP 14, SP 15 e SP 16), o quadrado representa a estrela brilhante TCY2 573 (HD35294), os triângulos abertos para cima representam as estrelas da concentração norte e os para baixo as da concentração sul. A Figura mostra a solução de isócronas. As novas estrelas, provenientes da fotometria CCD, representaram um ganho de $\Delta V \cong 4$ magnitudes em relação à fotometria de SP.

O avermelhamento na direção de NGC 1901 segundo SP é $E(B-V) = 0.065$ e no WEBDA (Seção 1.5.1) é apresentado um valor de 0.06. Do HR e das isócronas obtivemos $E(B-V) = 0.04$ e distância aparente de $(m - M) = 8.37$. As isócronas mostradas como referência são de 500, 600 e 900 Manos. A estimativa de idade para NGC 1901 é de 550 ± 50 Manos. Usando a razão de extinção total-seletiva $R_V = 3.1$ foi obtido $A_V = 0.12$ (equação 1.1), resultando em um módulo de distância absoluto de $(m-M)_0 = 8.25 \pm 0.20$. A distância ao Sol é $d_{\odot} \cong 0.45 \pm 0.04$ kpc e supondo a distância galatocêntrica do Sol em 8 kpc (Reid 1993 [52]) temos $X = -7.87$ kpc, $Y = -0.37$ kpc e $Z = -0.23$ kpc (equações 1.12, 1.13 e 1.14 da Seção 1.4). O objeto está localizado a aproximadamente 230 pc abaixo do plano Galático. A esta distância do plano não esperamos encontrar componentes jovens do disco. A idade estimada para o grupo estelar é similar à das Hyades segundo estudo de Weidemann et al. (1998) [65]. NGC 1901 encontra-se próximo ao círculo solar.

No que diz respeito às estrelas da fotometria CCD identificadas por pGNM (Tabela 2.2) levamos em conta que o grupo estelar está projetado sobre o disco jovem da Grande Nuvem de Magalhães (GNM) e, portanto, esperamos estrelas luminosas. O disco de idade intermediária da GNM fornece estrelas luminosas do ramo assintótico gigante (AGB) (Bica et al. 1998 [8], 1999 [9]) e tais estrelas estariam no limite de nossa fotometria CCD. Já as estrelas do ramo das gigantes vermelhas (RGB) estão abaixo de nosso limite fotométrico. A concentração no HR de estrelas supergigantes (~ 10 Manos) tal como podemos ver no HR do aglomerado da GNM, NGC 2004 (Bencivenni et al. 1991, [5]), é muito vermelha ($V \sim 13.2$, $(B-V) \sim 1.55$) para contaminar a MS de NGC 1901. Concluimos que a principal contribuição da GNM para o campo de NGC 1901 deve ser de estrelas supergigantes de cor intermediária e algumas estrelas brilhantes do AGB. Podemos ver tais estrelas ocorrendo na grande associação OB da GNM Shapley III, estudada por Dolphin & Hunter (1998) [23]. Shapley III localiza-se no disco jovem da GNM no norte da barra, ou seja, na mesma região na qual está projetado NGC 1901.

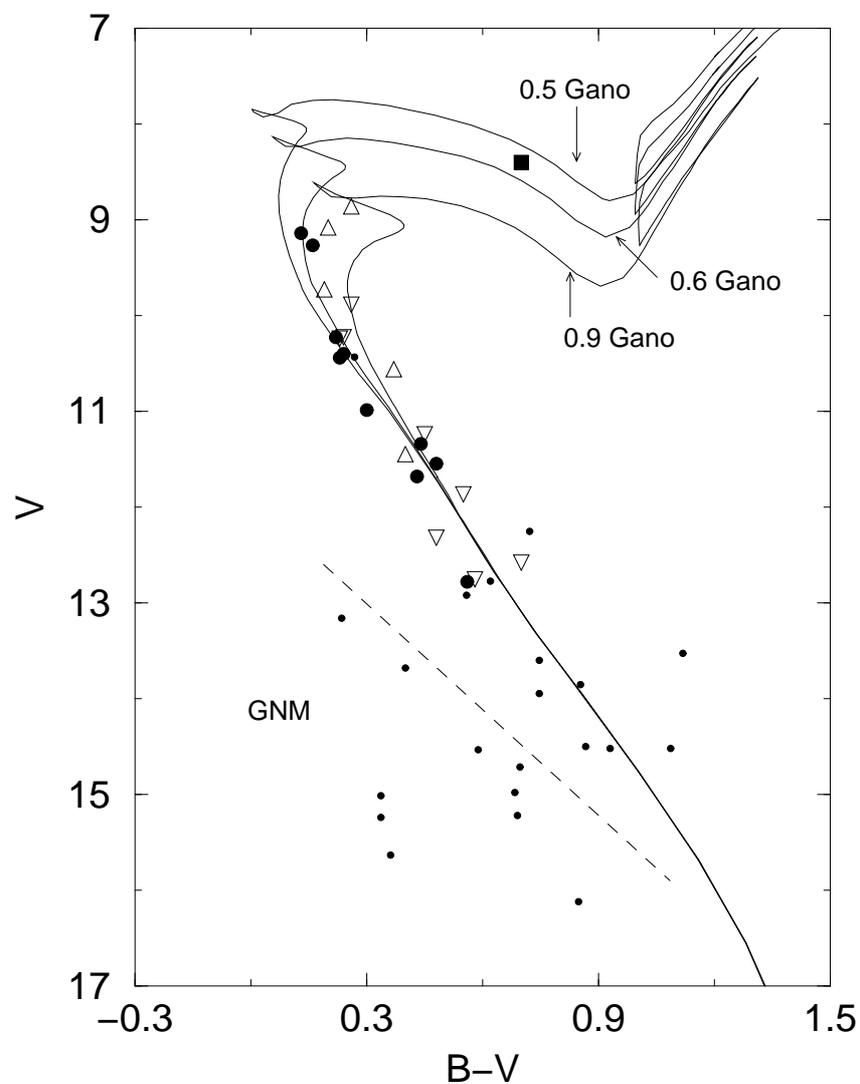


Figura 2.16: NGC 1901: diagrama $V \times (B-V)$ com as 30 estrelas da fotometria CCD (círculos pequenos e grandes), as estrelas das extensões norte (triângulos abertos para cima) e sul (triângulos abertos para baixo) e a estrela TYC2 573 (quadrado fechado). São mostradas as isócronas de Padova com metalicidade Solar. A linha pontilhada indica a região em que encontram-se as estrelas prováveis pertencentes à Grande Nuvem de Magalhães.

As estrelas consideradas prováveis membros da GNM estão localizadas na região mais azul do HR (Figura 2.16) separadas das demais por uma linha pontilhada. As 10 estrelas consideradas membros por SP (SP 8, SP 9, SP 10, SP 11, SP 12, SP 13, SP 14, SP 15 e SP 16) mantêm tal condição baseada em sua posição em relação à MS definida pela solução de isócronas no HR (Figura 2.16) e a estrela SP 7 também devido aos dados astrométricos disponíveis (Seção. 2.3.5). Das estrelas observadas somente pela presente fotometria CCD, levamos em conta as posições em relação à MS e as que foram consideradas membros (tabela 2.2) têm barras de erro (Figura 2.15) compatíveis com a solução de isócronas. A estrela GSC 0916200216 é muito vermelha em relação à MS definida pelas isócronas e foi considerada não membro. Note que não podemos descartar alguma contaminação de estrelas da GNM na baixa MS observada de NGC 1901.

A Figura 2.16 mostra claramente uma MS ao longo da distribuição das estrelas internas à região CCD (círculos e quadrado), vemos também que as estrelas das extensões norte e sul (triângulos) encontram-se próximas ou sobre a MS definida pelas isócronas. Apesar deste fato, qualquer conclusão sem maiores informações sobre estas estrelas seria precipitada. Apresentamos nas discussões que seguem tais informações.

2.3.4 Comparação com o modelo de campo

Assim como no estudo do objeto NGC 1252 (Seção 2.2.4), realizamos uma comparação entre HRs de um campo Galático esperado na mesma direção e limites de magnitude com o HR observado do objeto NGC 1901. É importante ressaltar que a contribuição de estrelas da GNM não se faz presente no modelo de estrutura Galática para a direção de NGC 1901. Na Figura 2.17 mostramos o HR gerado pelo modelo de contagem de estrelas descrito na Subseção 2.1.6, para uma região com 1° de diâmetro centrada nas coordenadas de NGC 1901. As isócronas presentes no painel à direita (correspondendo à solução $(m-M)_0 = 8.25 \pm 0.20$ e $E(B-V) = 0.04$, Figura 2.16) nos auxiliam na análise. Vemos que o diagrama esperado produziu uma grande concentração de estrelas e que a solução de isócronas não se ajusta a ela. Além desta concentração vemos uma distribuição esparsa de estrelas e observamos que neste caso também a solução de isócronas não ajusta nenhuma distribuição em particular. Como ocorreu com NGC 1252, as estrelas de campo na direção de NGC 1901 são na maioria mais azuis do que as do objeto a igual magnitude o que nos leva a concluir NGC 1901 está num plano mais próximo do que a maioria das estrelas de campo.

Na Figura 2.18 são apresentados 4 diagramas cobrindo o mesmo ângulo sólido que a região CCD. Estes diagramas teóricos foram gerados randomicamente a partir do modelo de contagens de estrelas (Subseção 2.1.6) que está sujeito a flutuações poissônicas. É importante notar que tanto os diagramas teóricos da Figura 2.18 quanto o da Figura 2.17 se estendem até $V \cong 17$ sem serem afetados por incompletudes fotométricas. Nos quatro diagramas vemos uma distribuição dispersa de estrelas, e não sugerindo uma MS. A comparação entre os HRs de campos esperados gerados pelo modelo descrito e o HR observado contribui para a afirmação de NGC 1901 tratar-se de um grupo estelar físico.

2.3.5 Astrometria disponível

Buscamos a astrometria disponível das estrelas pertencentes à região coberta pelo ângulo

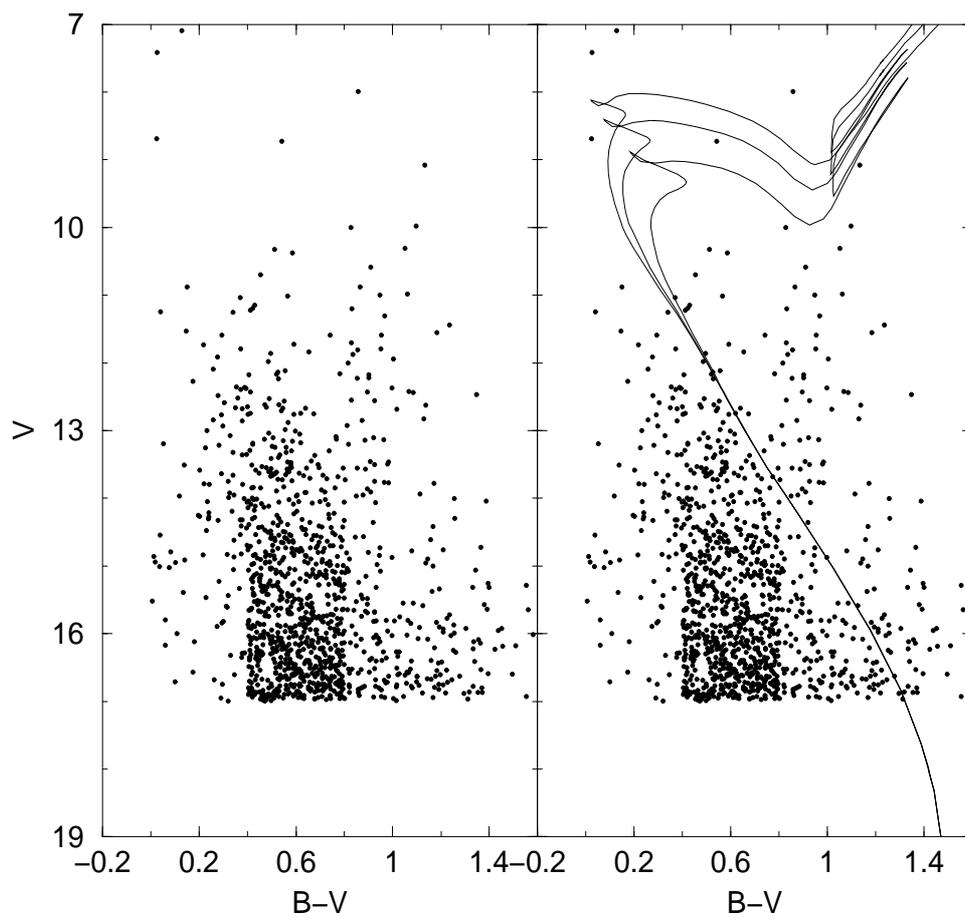


Figura 2.17: Diagrama $(B-V) \times V$ predito pelo modelo de estrutura Galático descrito no texto. O diagrama corresponde a uma região de diâmetro 1° na direção de NGC 1901, e não inclui a Grande Nuvem de Magalhães.

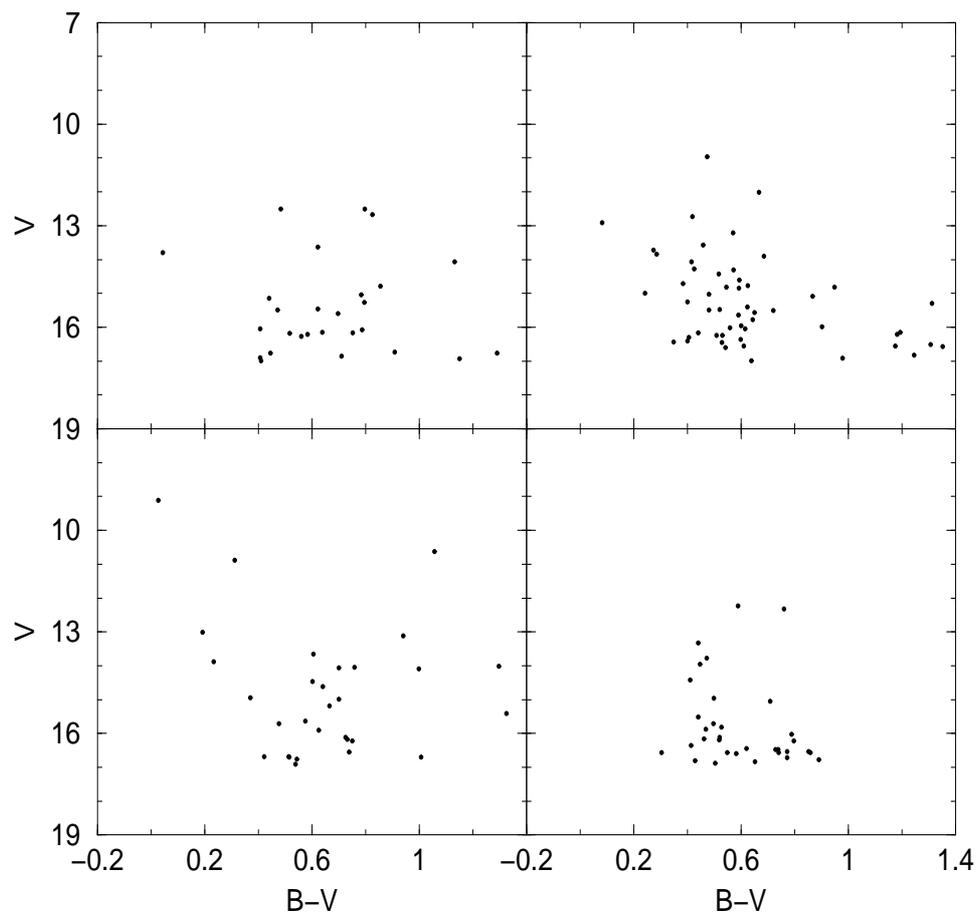


Figura 2.18: Diagramas $(B-V) \times V$ teóricos preditos pelo modelo de estrutura Galática cobrindo o mesmo ângulo sólido da região CCD.

^a Nome	α	δ	V	B-V	μ_α	μ_δ
	h:m:s	°:':"	SP	SP	$\frac{msa}{ano}$	$\frac{msa}{ano}$
SP 1, TCY2 332	05:16:14.9	-68:08:00	8.86	0.26	1.6	11.4
SP 2, TCY2 613	05:16:31.4	-68:07:23	11.45	0.40	4.9	10.1
SP 3, TCY2 338	05:16:41.8	-68:35:58	10.23	0.24	6.9	14.7
SP 4, TCY2 467	05:16:43.8	-68:11:14	9.08	0.20	1.6	12.4
SP 5, TCY2 652	05:16:58.9	-68:09:51	10.56	0.37	2.3	22.8
SP 6, TCY2 63	05:17:10.2	-68:08:05	9.73	0.19	0.9	8.3
SP 17, TCY2 425	05:18:52.9	-68:34:13	10.24	0.23	-0.5	11.1
SP 18	05:18:50.0	-68:32:70	12.58	0.70	-	-
SP 19, GSC 916200834	05:19:05.3	-68:30:46	12.32	0.48	-	-
SP 20, TCY2 863	05:19:10.7	-68:34:52	9.89	0.26	1.0	10.8
SP 21	05:19:25.0	-68:27:50	12.75	0.58	-	-
SP 22, TCY2 885	05:19:47.0	-68:28:15	11.24	0.45	29.8	-6.5
SP 23, TCY2 514	05:20:03.2	-68:31:01	11.87	0.55	-	-

Tabela 2.3: NGC 1901: informações disponíveis para as estrelas das concentrações norte e sul. ^aTCY2 pelo Catálogo Tycho, GSC designada pelo *Guide Star Catalogue*.

sólido de nosso CCD e também da região ao seu redor. No primeiro caso obtivemos informação somente da estrela SP 7 (HIP 24652, HD 35183) cuja paralaxe fornecida pelo catálogo Hipparcos é de $\pi = 1.22 \pm 0.87$ msa, resultando em uma distância ao Sol $d_\odot = 820_{+2037}^{-342}$ pc. Apesar das incertezas envolvidas nas medidas do catálogo, esta estrela do TO e de tipo espectral A2 tem distância compatível com a estimada para NGC 1901, corroborando nossa classificação da estrela como membro. No segundo caso encontramos duas estrelas que não fazem parte das extensões norte e sul. A estrela HIP 24671 (HD 35230) com $\pi = 3.47 \pm 0.78$ msa e $d_\odot = 288_{+81}^{-53}$ pc estando marginalmente próxima a NGC 1901, mas pela fotometria Johnson $V = 7.57$, $(B-V) = 0.86$ (Catálogo Hipparcos) e movimentos próprios $\mu_\alpha = -17.4 \pm 1.1$ msa/ano e $\mu_\delta = -0.8 \pm 1.1$ msa/ano (catálogo Tycho) concluímos que ela é não membro. A outra é a estrela HIP 24763 (HD 269320) com $\pi = 8.91 \pm 1.97$ msa e $d_\odot = 112_{+32}^{-20}$ estando desta forma na frente de NGC 1901.

Para complementar as informações sobre as estrelas das extensões norte e sul ampliamos a extração de dados para uma região de 60' de diâmetro centrada em NGC 1901.

A tabela 2.3 está ordenada, por colunas, (1) identificação, (2) e (3) coordenadas J2000, (4) e (5) fotometria V e (B-V) dada por SP, (6) e (7) movimentos próprios em α e δ .

Na Figura 2.19 apresentamos um mapa do céu com todas as estrelas com movimentos próprios disponíveis na região de extração. Em destaque estão as estrelas da região CCD, englobadas pelo círculo, e as da extensão norte. Vemos que na Tabela 2.3 as estrelas mais fracas que $V \sim 12.4$ não se fazem presentes. Assim do total de 44 estrelas analisadas, 30 da fotometria CCD, TCY2 573 e 13 que fazem parte das extensões, têm-se o movimento próprio de 16 estrelas. Na Figura 2.20 temos as estrelas internas à região CCD, as duas estrelas presentes no catálogo Tycho e as estrelas das extensões norte e sul. As estrelas da concentração apresentam movimentos próprios compatíveis indicando mais uma vez a ocorrência de um sistema físico. As estrelas da extensão

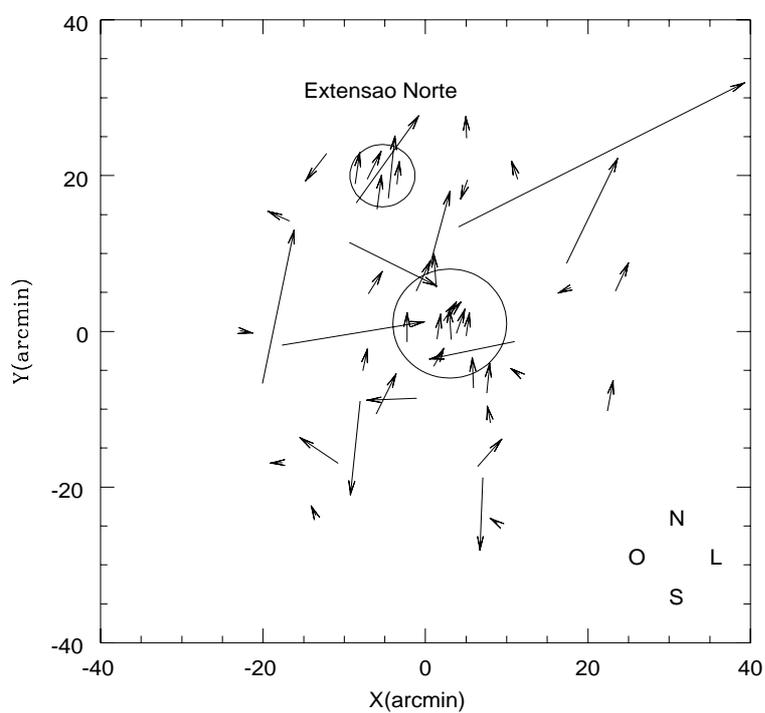


Figura 2.19: NGC1901: mapa do céu de 60' de diâmetro de com estrelas do catálogo Tycho. Os comprimentos das flechas são proporcionais aos módulos dos movimentos próprios. A maior flecha tem módulo 113.5 msa/ano. O círculo maior engloba as estrelas internas ao ângulo sólido coberto pelo CCD e tem 12' de diâmetro.

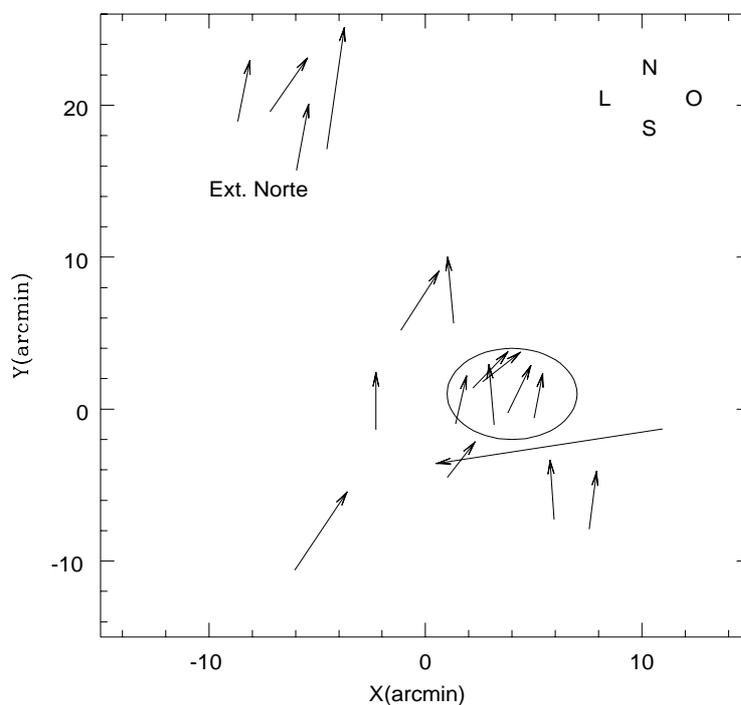


Figura 2.20: NGC1901: mesmo mapa do céu da Figura 2.19, mas somente com as estrelas da região CCD (internas ao círculo), extensões norte e sul além das estrelas HIP 24671 (HD 35230) e HIP 24763 (HD 269320). A maior flecha tem módulo 29.8 msa/ano.

norte movem-se basicamente na mesma direção que as estrelas da região central. Os módulos dos movimentos próprios são comparáveis: 9.3 ± 3.3 msa/ano para as 10 estrelas da região central e 12.4 ± 9.7 msa/ano para as 4 estrelas da extensão norte. Ocorre aqui, assim como na análise de NGC 1252, que os erros dos movimentos próprios são muito maiores que o esperado da dispersão interna de velocidades. As estrelas da concentração sul possuem movimentos próprios não compatíveis entre si, mas algumas delas possuem movimentos compatíveis com as estrelas centrais. Murray et al. (1969) [48] estudaram os movimentos próprios das estrelas da região de NGC 1901 (seção 2.3), e nossas análises basicamente concordam.

Na Subseção 2.2.6 abordamos a possibilidade de ocorrência de uma estrutura de núcleo-halo em NGC 1252 levando em conta as evidências encontradas por Bassino et al. (2000) [3] no estudo de M73. Simulações de N-corpos de Terlevich [63] indicam que uma coroa é esperada depois de 300-400 milhões de anos, e que tais estrelas provavelmente irão escapar do aglomerado em um futuro próximo. No caso de NGC 1901, esta evidência se faz mais acentuada. Notamos que algumas estrelas da Figura 2.19 são compatíveis com as da extensão norte e da região central, e poderíamos relacioná-las a uma coroa. Além disto, como já havíamos indicado na seção 2.3.4, a idade e a distância das estrelas da extensão norte são similares às das estrelas da região central. Diante de tais fatos faz-se necessário estudar se estas subestruturas são resultado da evolução de um aglomerado inicial, uma interação ou uma passagem próxima. Deve-se levar em conta que efeitos de projeção de braços de maré podem causar concentrações secundárias, de acordo com simulações de N-corpos realizadas por Combes et al. (1999) [20].

2.4 Comparação com as Hyades

Observando sistematicamente as estrelas da vizinhança solar podemos encontrar a distribuição de suas magnitudes absolutas, e construir uma função de luminosidade ${}^3(\text{LF})$ que é o número relativo de estrelas com dada magnitude absoluta em um intervalo de magnitudes. Salpeter (1955) [55] construiu uma função de luminosidade atual supondo que as estrelas evoluem para fora da MS quando 12 % de suas massas é convertido de H em He, e que a taxa de formação estelar na região local da Galáxia foi constante nos últimos 5 Ganos. De seus dados para função de luminosidade atual, ele determinou a função de luminosidade inicial (ILF). Através da relação massa-luminosidade Salpeter transformou a ILF em função de massa inicial (IMF), usando a relação massa-luminosidade

$$\Phi(M) = \frac{dN}{dM} = \frac{dN}{dM_V} \frac{dM_V}{dM} = \Phi(M_V) \frac{dM_V}{dM}, \quad (2.10)$$

onde M_V é magnitude absoluta V e M é a massa.

A IMF fornece a proporção de estrelas em intervalos de massa diferentes para um sistema formado em uma certa época em um determinado lugar, e pode-se estimar o brilho produzido por tal sistema a partir da quantidade relativa de tipos estelares que ele apresenta. Lembrando, a função de massa inicial fornece o número relativo de estrelas formadas com massa entre M e $M + dM$ em um mesmo tempo e espaço, e é definida por

³Utilizaremos as usuais abreviaturas dos termos em inglês.

$$dN = \Phi(M)dM, \quad (2.11)$$

sendo que o número relativo de estrelas formado num intervalo unitário de massa centrado sobre a massa M dá a forma da IMF, e é expresso por

$$\Phi(M) = A \times M^{-(1+x)}, \quad (2.12)$$

$$A = cte$$

De suas observações, Salpeter obteve uma IMF que fitava seus dados usando $x = 1.35$. A medida que as observações na vizinhança solar têm sido ampliadas, e refinadas este valor de x tem sido confirmado.

Para qualquer aglomerado a forma atual da função de massa depende de sua IMF, e dos processos internos de relaxação dinâmica. Tais processos podem levar à segregação de massa dentro do aglomerado e a perda de estrelas de baixa massa por efeitos de maré (McClure et al. 1986[41]). Mais detalhes sobre IFMs e LFs podem ser encontrados em Santos (1998) [33]. Como queremos inferir sobre o estado dinâmico dos presentes objetos em relação a um aglomerado de referência, faremos uma comparação direta de LFs.

Nesta seção vamos utilizar o aglomerado aberto de idade intermediária Hyades como objeto de comparação para discutirmos as propriedades dos grupos estelares NGC 1252 e NGC 1901. Seleccionamos, no banco de dados WEDBA (Seção 1.2.3), o conjunto de estrelas das Hyades de nosso interesse. Este conjunto compreende as estrelas que correspondem ao intervalo de magnitudes absolutas de NGC 1252 e NGC 1901, isto é, magnitudes aparentes $V < 11$ nas Hyades. Adotamos para as Hyades o módulo de distância absoluto $(m-M)_0 = 3.32$ (WEBDA, Weidemann et al. (1992) [65]), e calculamos a M_V correspondente para suas estrelas gigantes, do TO e da MS, construindo assim o histograma de referência das Figuras 2.21 e 2.22. Para o histograma de NGC 1901 computamos 20 prováveis membros e comparamos com um total de 181 membros das Hyades (Figura 2.21), enquanto que para NGC 1252 foram 12 prováveis membros comparados a 147 das Hyades (fig. 2.22).

A Figura 2.21 mostra a porcentagem da fração da população total de prováveis membros de NGC 1901 no intervalo de magnitudes absolutas, comparado às Hyades. A forma dos histogramas é similar indicando uma função de luminosidade (e massa) comparável no intervalo analisado. Observações com fotometria CCD compreendendo toda área do objeto poderiam fornecer melhor estatística para o intervalo de magnitude da Figura, e o aprofundamento poderia revelar o comportamento da baixa MS. A razão de população de estrelas para os dois objetos é $R_p = 9.1$, o que sugere que as Hyades são este fator mais massivas que NGC 1901, considerando os dados atuais. Os membros de Sanduleak & Philip (1968) [56] com movimentos próprios estudados por Murray et al (1969) [48], e a presente análise com o catálogo Tycho (Seção 2.3.5) indicam 10 membros brilhantes dentro da área CCD e 10 fora. Isto poderia indicar uma razão de massa $\frac{M_{Hyades}}{M_{NGC1901}} = 4.6$, supondo que ambos objetos estão em estados dinâmicos similares e com igual população na baixa MS.

Na Figura 2.22 é apresentada a mesma comparação da LF da fig. 2.21, só que agora entre

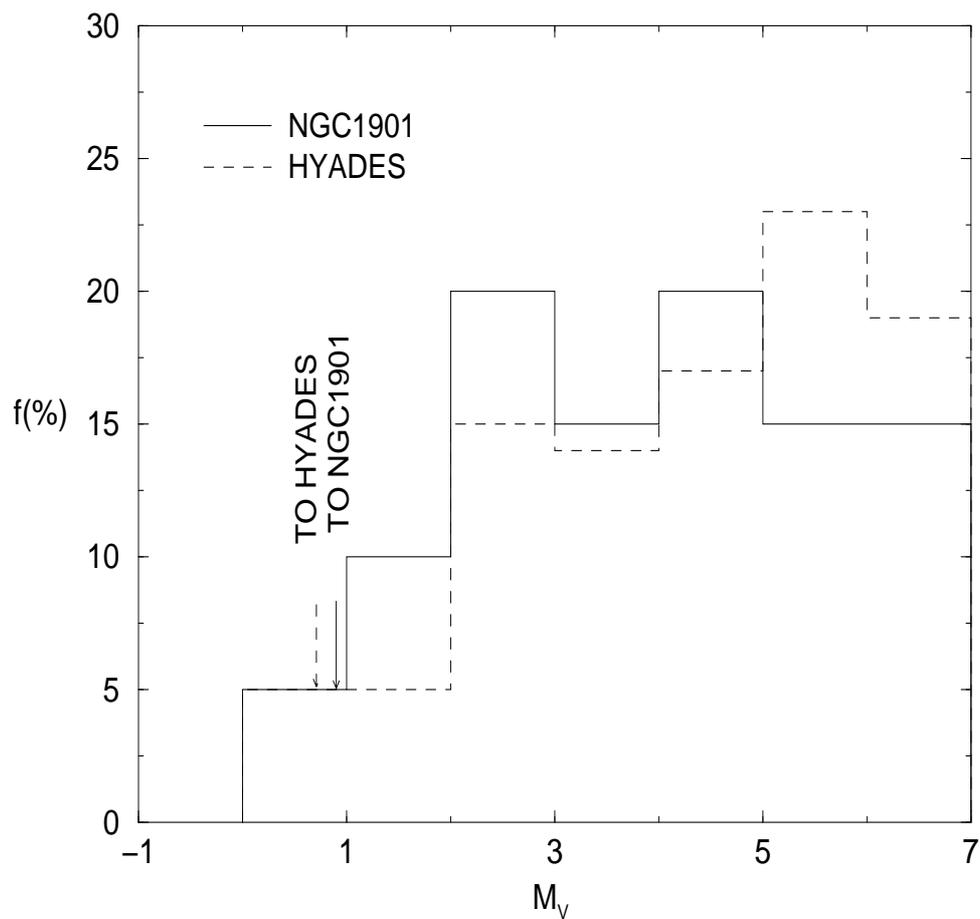


Figura 2.21: NGC1901: Função de luminosidade comparada com a das Hyades. É mostrada em cada intervalo de magnitude a fração em porcentagem $f(\%)$ da população total de prováveis membros.

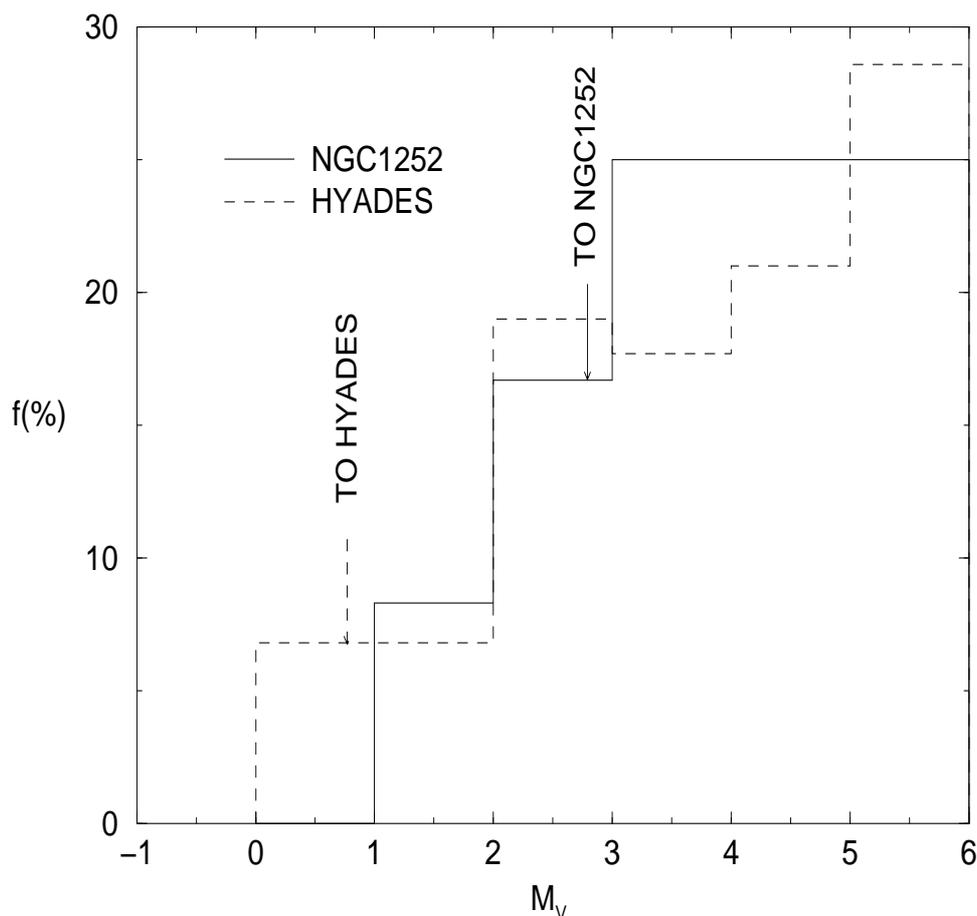


Figura 2.22: NGC 1252: mesma Figura que 2.21.

NGC 1252 e as Hyades. A forma é similar apesar do número limitado de estrelas de NGC 1252. Neste caso o objeto está essencialmente contido dentro da região CCD levando a um $R_P = 12.3$ e a uma razão de massa $\frac{M_{Hyades}}{M_{NGC1252}} = 12.3$, novamente considerando que ambos objetos estão em estados dinâmicos similares. O que seria importante para fornecer o comportamento da baixa MS ($M_V > 6$) de NGC 1252, a qual não temos acesso com os dados atualmente disponíveis.

As Hyades possuem uma função de massa aproximadamente plana e parecem ter perdido em torno de 90 % de sua massa inicial estimada em $1400 M_\odot$ (Weidemann et al. 1992 [65]). Desta maneira poderíamos considerar as Hyades como um aglomerado remanescente, apesar de ser geralmente aceito como um aglomerado clássico. NGC 1901 e NGC 1252 possuem LFs similares à das Hyades no intervalo de luminosidade disponível, mesmo apresentando fatores de escala (e portanto massas totais) diferentes. A baixa massa total inferida, especialmente para NGC 1252 cuja evidência de uma alta fração de binárias foi encontrada (Seção 2.2.3), favorece a idéia de um aglomerado aberto remanescente. NGC 1901 tem idade comparável com as Hyades e seus estados dinâmicos mostram-se similares dentro do intervalo disponível para a LF.

Capítulo 3

Estudo Infravermelho de um Candidato à Aglomerado em Dissolução

3.1 Introdução

Neste capítulo apresentaremos o estudo em infravermelho do grupo estelar candidato à dissolução NGC 2664. Como objeto de comparação estudaremos, no mesmo sistema fotométrico, o aglomerado aberto velho M67 (NGC 2682). No capítulo 2 foram construídos HRs observacionais a partir da redução de imagens óticas; aqui lançaremos mão de outro método. Realizaremos a extração fotométrica do novo catálogo infravermelho, disponível na internet, o 2MASS (Seção 1.5.2).

Resultados da utilização do 2MASS no estudo de aglomerados ainda são pouco difundidos por serem muito recentes. Por isto inicialmente determinaremos os parâmetros de M67 para compará-los com os já existentes na literatura, na sua maioria no sistema ótico. A escolha de M67 como objeto de comparação se deu pelo fato do grupo estelar NGC 2664 situar-se projetado muito próximo dele, sofrendo da mesma influência no que diz respeito ao meio interestelar e contaminação de campos Galáticos. A proximidade é tão marcante que nos leva a indagar se além do objeto NGC 2664 ser um possível aglomerado aberto em dissolução, se seria uma concentração de estrelas com origem comum a de M67; ou se ele sofreu uma captura estando como satélite; ou ainda se está ocorrendo uma passagem próxima entre eles.

O capítulo está organizado de forma que na Seção 3.2 serão apresentados os aspectos fotométricos fundamentais do catálogo 2MASS; na Seção 3.3 serão apresentados os estudos em infravermelho das bandas para construção dos diagramas cor-magnitude observacionais e dos erros em magnitude e cor e, finalmente, os parâmetros obtidos para M67; na Seção 3.4 apresentaremos o estudo do candidato a possível aglomerado aberto em dissolução NGC 2664.

3.2 Fotometria do 2MASS

A extração fotométrica das estrelas foi baseada no catálogo PSC (catálogo de fontes pontuais) integrante do banco de dados 2MASS (Seção 1.5.2). Os dados obtidos pelo 2MASS seguiram um procedimento sistemático para uma estimativa de primeira ordem da calibração fotométrica.

Foram feitas observações de campos calibradores em cada noite a intervalos regulares. A fotometria de estrelas definidas como padrão pertencentes a estes campos foi utilizada para obter o ponto zero de cada uma das bandas passantes como função do tempo de cada noite de observação. Os coeficientes de extinção atmosférica foram obtidos das observações feitas em longos períodos. A transformação entre as magnitudes instrumentais e as calibradas aplicadas a todas as estrelas do PSC foi

$$M_{cal} = M_{inst} + c_1 - c_2(X - 1.0) \quad (3.1)$$

onde c_1 é o ponto zero da fotometria (em magnitudes), c_2 é o coeficiente de extinção (em magnitude/massa de ar), X é a massa de ar, M_{inst} é a magnitude instrumental da estrela e M_{cal} a magnitude calibrada. Cada coeficiente é função de um comprimento de onda e o coeficiente c_1 foi estimado para cada noite em cada observatório e é uma medida da transparência atmosférica em cada noite. Quanto maior o valor, maior a transparência atmosférica e melhor a sensibilidade efetiva. Cada hemisfério teve sua estimativa para c_1 , para o sul temos

$$c_1(J) = 0.0461 + 0.0024 * T(hr) \quad (3.2)$$

$$c_1(H) = -0.0011 + 0.0085 \quad (3.3)$$

$$c_1(K_S) = 0.0013 + 0.0077 \quad (3.4)$$

e para o norte

$$c_1(J) = 0.570 + 0.0003 * T(hr) \quad (3.5)$$

$$c_1(H) = 0.158 + 0.0033 \quad (3.6)$$

$$c_1(K_S) = 0.0428 + 0.0066 \quad (3.7)$$

Os coeficientes de extinção atmosférica para o hemisfério sul são

$$c_2(J) = 0.100 \quad (3.8)$$

$$c_2(H) = 0.060 \quad (3.9)$$

$$c_2(K_S) = 0.080 \quad (3.10)$$

e para o hemisfério norte

$$c_2(J) = 0.109 \quad (3.11)$$

$$c_2(H) = 0.031 \quad (3.12)$$

$$c_2(K_S) = 0.061 \quad (3.13)$$

Duas medidas de incertezas fotométricas são produzidas para cada banda do 2MASS. A primeira designada por " $\langle \text{banda} \rangle_{\text{msig}}$ " é o erro fotométrico associado à obtenção da magnitude instrumental, denominaremos por erro fotométrico interno (ϵ_{banda}). A segunda incerteza é " $\langle \text{banda} \rangle_{\text{msigcom}}$ " que leva em conta os erros internos e externos na calibração. É a raiz quadrática da soma da combinação de ϵ_{banda} com a incerteza do ponto zero da fotometria, a estimativa da resposta do detector (*flat-fielding* residual- 0.005 mag), e a incerteza da normalização fotométrica para fontes brilhantes. A denominamos de erro total da calibração, identificado por (τ_{banda}).

A escolha das bandas a serem utilizadas na construção dos HR foi baseada na análise dos erros fornecidos pelo próprio 2MASS. Os erros em totais em cor não são fornecidos, mas podem ser obtidos pelas expressões:

$$\Theta_{(\text{banda}_1 - \text{banda}_2)} = \sqrt{\epsilon_{\text{banda}_1}^2 + \epsilon_{\text{banda}_2}^2} \quad (3.14)$$

para o erro em cor que leva em conta somente o erro interno, e

$$\Omega_{(\text{banda}_1 - \text{banda}_2)} = \sqrt{\tau_{\text{banda}_1}^2 + \tau_{\text{banda}_2}^2} \quad (3.15)$$

para o erro em cor que leva em conta o erro total da calibração.

3.3 O aglomerado aberto M67

O aglomerado aberto velho M67 foi escolhido como objeto de comparação por ser bem conhecido e estar quase na mesma direção na Galáxia que o objeto NGC 2664. Eles estão separados por $\sim 1^\circ$ estando NGC 2664 a noroeste de M67, cujas coordenadas J2000 são $\alpha = 8^h 51^m 21^s$ e $\delta = +11^\circ 49' 50''$ ($\ell = 215.7^\circ$, $b = +31.93^\circ$).

A partir das coordenadas do aglomerado extraímos os dados fotométricos nas bandas J, H e K_S : magnitude, erro interno ϵ , erro total τ , cor J-H, J- K_S e α e δ para cada estrela em raios de 4 e 8 minutos. Para M67 optamos por extrações de raio $8'$ que incluem gigantes do aglomerado em número suficiente, fundamentais no ajuste. A Figura 3.1 apresenta um diagrama (J-H) \times H do aglomerado M67 em que vemos a presença de estrelas do campo através do alargamento da MS.

Iniciamos o trabalho pelo estudo de quais bandas seriam as mais indicadas para a construção dos diagramas cor-magnitude (HR) observacionais. Busca-se uma fotometria profunda com os menores erros, tanto em magnitude quanto em cor, levando em conta o fato de que tanto M67 quanto NGC 2664 estão em uma região da Galáxia pouco avermelhada. Veremos que os HRs em J,H resultaram ser mais profundos já que a sensibilidade instrumental no 2MASS é maior nestas bandas do que em K_S . Mas se os objetos estivessem em regiões que propiciam forte

avermelhamento, melhores informações seriam extraídas na banda K_S .

Como já explicado na Seção 3.2, temos os erros interno (ϵ) e o total da calibração (τ) e a partir deles podemos obter os erros totais em cor Θ e Ω . O erro (τ) nos diz o quão confiáveis são nossos dados à medida que avançamos para fracas magnitudes, tendo em conta as incertezas internas e externas na calibração. A Figura 3.2 mostra estes erros em cada banda. Vemos que para as bandas J (fig. 3.2a) e H (fig. 3.2b) os erros (τ) alcançam no máximo 0.06 para J,H \sim 14 mag. Já no caso da banda K_S (fig. 3.2c) isto ocorre em para $K_S \sim 13$, vemos também que os erros começam a crescer significativamente em J,H ≥ 15.5 mag e em $K_S \geq 14.5$.

As Figuras 3.3 e 3.4 ((J-H) \times H e (J- K_S) $\times K_S$) nos mostram as barras de erro total em cor, que foram obtidos considerando o erro total da calibração (equação 3.15). Na comparação entre os HR vemos que no primeiro os pontos e suas barras de erro total em cor formam uma MS mais estreita. Esta melhor definição da MS com uma maior profundidade em magnitude e os menores erros totais da calibração para as bandas J e H nos levaram a concluir que estas são as bandas mais apropriadas para o estudo, e que o limite em magnitude deve ser H = 14.5.

No ajuste de isócronas será importante que as barras de erro total em cor aliadas à estimativa de avermelhamento nos dêem o limite de deslocamento horizontal das isócronas. Consideramos desta forma os erro totais em cor usando o erro interno (ϵ) (equação 3.14), mostrados na Figura 3.5. Ao compararmos a Figura 3.3 com a Figura 3.5 vemos que as barras de erro desta última são menores, e isto porque agora estamos considerando o erros interno e não o total da calibração.

Até aqui definimos as bandas a serem usadas na construção dos diagramas observacionais (J, H), o limite em magnitude (H = 14.5 mag) e que informações nos dão cada uma das expressões para cálculo dos erros em cor (Θ , Ω).

O próximo passo é definirmos como vamos avaliar qual é o avermelhamento ao qual os objetos estão submetidos no infravermelho. Existem diversas maneiras, optamos por construímos uma relação entre o avermelhamento ótico (B,V) e o infravermelho (J, H). Como podemos saber qual é o valor nas bandas B e V vamos buscar estabelecer a relação

$$\frac{E(J - H)}{E(B - V)} \quad (3.16)$$

Na Seção 1.3 temos a expressão 1.1 que define a correção por absorção interestelar na banda V, o A_V , que é dado por

$$A_V = R_V \times E(B - V)$$

onde $R_V = 3.1$ (Cardelli et al. 1989 [15]).

Da mesma forma a correção para absorção interestelar na banda H é dada por

$$A_H = R_H \times E(J - H) \quad (3.17)$$

mas como não sabemos o valor de R_H o primeiro passo é obtê-lo

De Mathis (1990) [42] vem a relação entre A_H e A_J

$$\frac{A_H}{A_J} = 0.624 \quad (3.18)$$

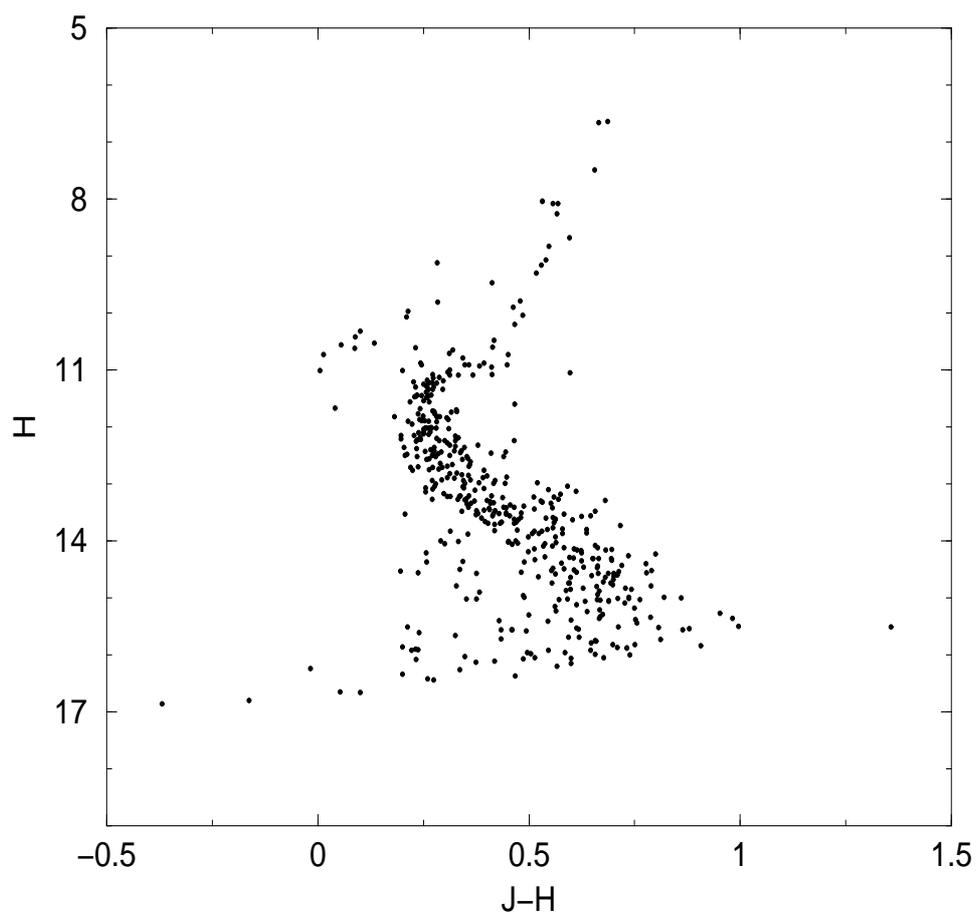


Figura 3.1: M67: diagrama $(J-H) \times H$ com uma extração de raio $8'$.

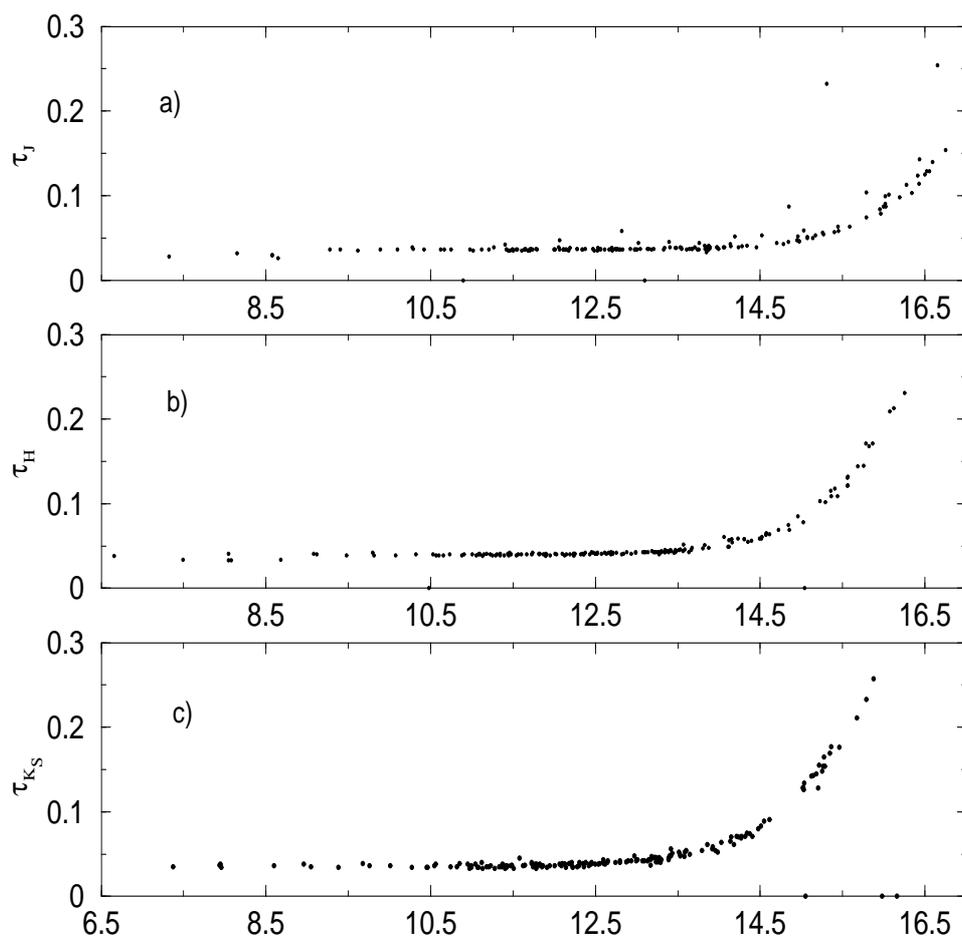


Figura 3.2: M67: a) erros totais em J (τ_J) em função da magnitude J; b) erros totais em H (τ_H) em função da magnitude H; c) erros totais em K_S (τ_{K_S}) em função da magnitude K_S .

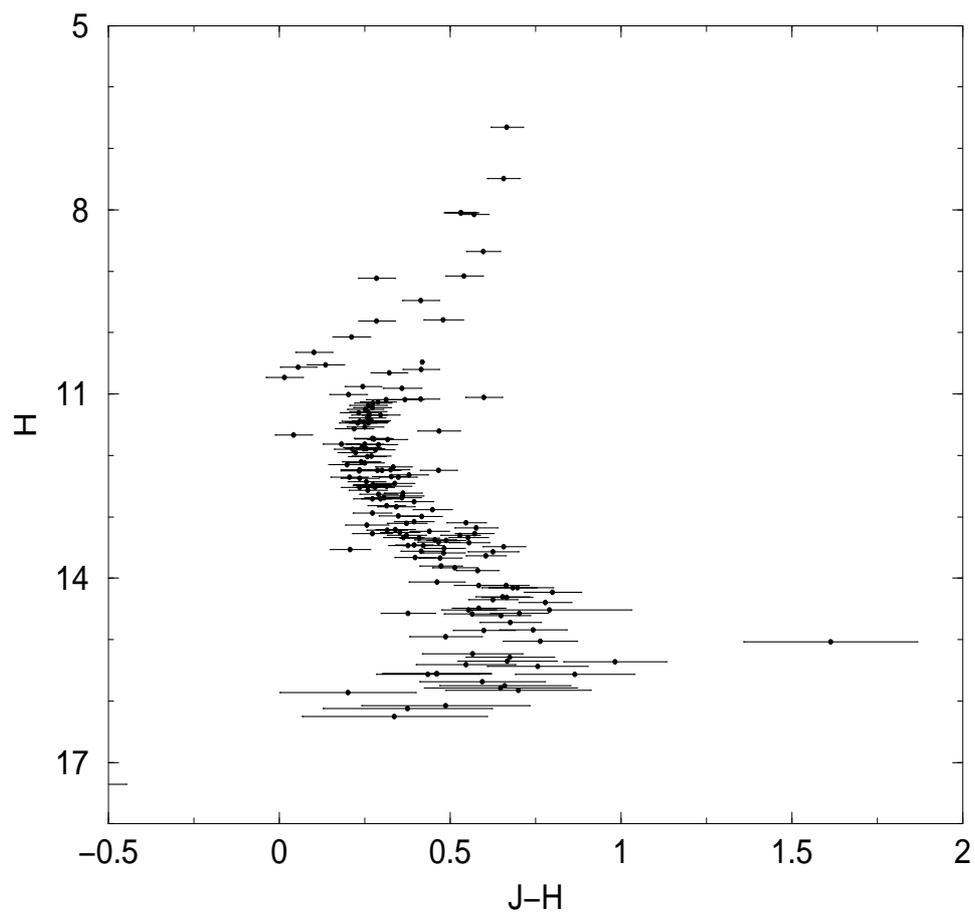


Figura 3.3: M67: diagrama com barras de erros na cor (J-H). As barras de erro foram calculadas considerando o erro total da calibração (τ).

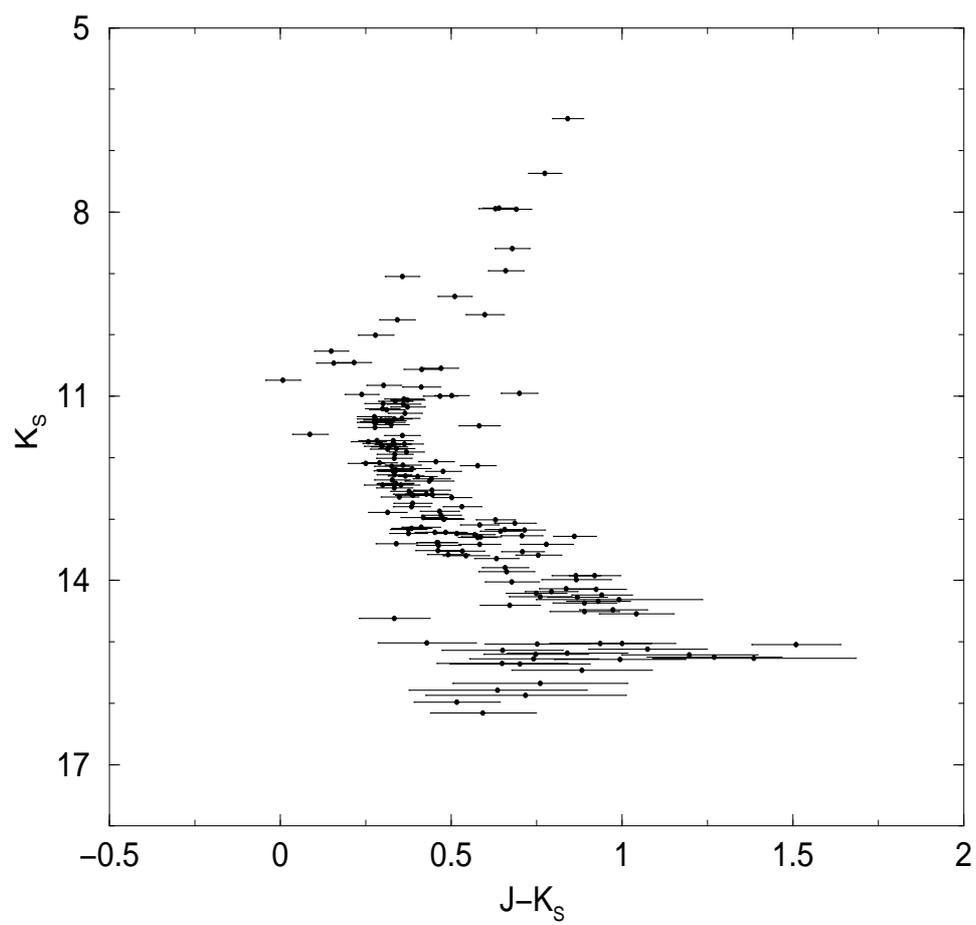


Figura 3.4: M67: mesmo diagrama da Figura 3.3 mas agora para cor ($J-K_S$) e magnitude K_S .

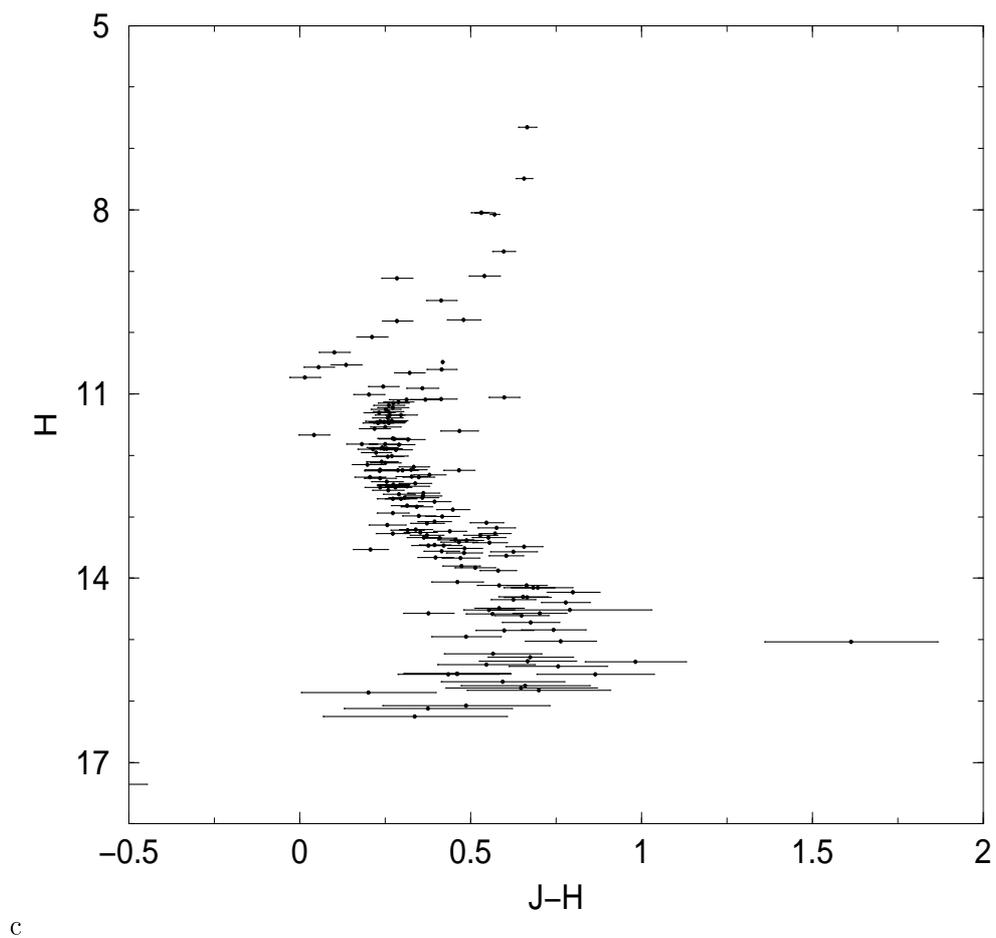


Figura 3.5: M67: diagrama com barras de erro na cor (J-H). As bandas de erros foram obtidas considerando somente os erros internos em magnitude (ϵ).

Trabalhando a equação 3.17

$$A_H = R_H \times (A_J - A_H) \quad (3.19)$$

$$\frac{A_H}{A_J} = R_H \times \left(1 - \frac{A_H}{A_J}\right)$$

$$R_H = \frac{0.624}{0.376}$$

$$R_H = 1.66 \quad (3.20)$$

De Schlegel et al. (1998) [59] vem a relação entre A_H e A_V

$$\frac{A_H}{A_V} = 0.176 \quad (3.21)$$

que pode ser escrita como

$$\frac{R_H \times E(J - H)}{R_V \times E(B - V)} = 0.176$$

substituindo os valores conhecidos

$$\frac{E(J - H)}{E(B - V)} = \frac{0.176 \times 3.1}{1.66}$$

finalmente obtemos a relação entre o avermelhamento no infravermelho e ótico

$$\frac{E(J - H)}{E(B - V)} = 0.33 \quad (3.22)$$

Que nos possibilita, sabendo o avermelhamento em B e V, estimarmos em J e H.

Buscamos na literatura os parâmetros já determinados para M67 e verificamos que existe uma faixa de valores aceitos. Seleccionamos os mais citados para compor um painel do intervalo de idades, avermelhamento e módulo de distância, os quais são apresentados na Tabela 3.1. As fontes utilizadas foram: o WEBDA (Seção 1.5.1), o banco de dados NED (NASA/IPAC *Extragalactic Database*, <http://nedwww.ipac.caltech.edu/>) que se baseia nos mapas de emissão de poeira de de Schlegel et al. (1998), Montgomery et al. (1993) [47], Chaboyer et al. (1998) [18] e referências lá citadas, e Geisler e Sarajedini (1999) [29]. Em sua maioria, os autores concordam com uma metalicidade próxima ou iguala à solar para M67. Uma das razões que levam à existência deste intervalo para os parâmetros é a dificuldade encontrada pelos autores citados de ajustar as isócronas tanto ao TO¹ quanto ao ramo de gigantes. Dificuldade igualmente enfrentada no presente trabalho.

Testamos os valores extremos e intermediários da Tabela 3.1, e esperamos com o infravermelho contribuir na definição dos parâmetros do aglomerado. O processo de ajuste seguiu os

¹Usaremos as abreviaturas em inglês.

Autores	E(B-V)	(m-M) ₀	idade
	mag		Ganos
WEBDA	0.059	9.98 ¹	2.5
NED	0.035	-	-
Montgomery et al. (1993)	0.05 ± 0.01	9.6	3.0 - 5.0
Chaboyer et al. (1998)	0.020	9.70	3.5
Carraro et al. (1996) ^a	0.025	9.65	4.0
Dinescu et al. (1995) ^a	0.03 - 0.06	9.7 0- 9.80	4.0 ± 0.5
Meybet et al. (1993) ^a	0.03	9.60	4.0
Geiler e Sarajedini (1999) ^b	0.04	9.68	4.0

Tabela 3.1: M67: parâmetros extraídos da literatura.

^areferências citadas em Chaboyer et al. (1998) [18] ; ^bvalores resultantes de uma média da literatura; ¹módulo de distância aparente.

mesmos passos descritos na Seção 1.3, e considerando a expressão 3.22, encontramos para o avermelhamento $E(J-H) = 0.0066$ mag ($E(B-V) = 0.02$) e $E(J-H) = 0.0198$ ($E(B-V) = 0.06$). O valor estimado por Schlegel $E(B-V) = 0.035$ (NED) é o intermediário e no infravermelho corresponde $E(J-H) = 0.0115$. Em seguida consideramos isócronas de Padova com metalicidade solar e subsolar $z = 0.008$, a título de comparação.

A Figura 3.6 mostra o HR de M67 com a solução de isócronas. Vemos que não é possível nenhum deslocamento horizontal, portanto nossa estimativa para o avermelhamento do M67 é de $E(J-H) = 0.0$, e módulo de distância aparente igual ao absoluto $(m-M) = 9.3$ resultando em uma distância ao Sol $d_{\odot} \cong 720 \pm 70$ pc. As isócronas são de 2.5, 3 e 5 Ganos, de onde concluímos por uma idade de 3.5 ± 0.5 Ganos. Na Figura 3.7 mostramos em separado a isócrona de 3.5 Ganos, vemos que é o melhor ajuste à distribuição de estrelas no HR, mas o ajuste admite variações. Já a Figura 3.8 mostra o HR uma solução de isócronas subsolares ($z = 0.008$) mas com mesmo avermelhamento e módulo de distância da Figura 3.6. Apesar das isócronas de 2.5 e 5 Ganos se aproximarem mais do ramo de gigantes vermelhas não há grande modificação no ajuste da MS e do TO. Esta solução, portanto, não supera a anterior de forma marcante e como na grande maioria dos estudos anteriores M67 é indicado por possuir metalicidade solar ou próxima, optamos por manter a solução apresentada na Figura 3.6.

No estudo de M67 estamos interessados na possibilidade de compararmos os parâmetros da literatura com os obtidos por nós, e também na possibilidade de existir algum vínculo entre M67 e NGC 2664. Vamos apresentar HR's de regiões pertencentes ao M67, mas nos limites do aglomerado e de regiões externas a ele. Existindo a possibilidade de NGC 2664 ser uma concentração de estrelas de campo, compararemos regiões no limite de M67 e do campo de estrelas ao seu redor com o objeto NGC 2664 e campos associados (Seção 3.4).

Nas Figuras 3.9 e 3.10 temos um mosaico de 4 diagramas $(J-H) \times H$; na primeira figura os diagramas correspondem a regiões do aglomerado M67 a 10' do centro e raio de 4'. A esta separação angular as extrações apresentam uma MS definida apesar de alargada pela presença de estrelas de campo. Na Figura 3.10 os diagramas $(J-H) \times H$ são de regiões a 30' do centro de M67. As estrelas encontram-se bem mais espalhadas e não podemos identificar a formação de

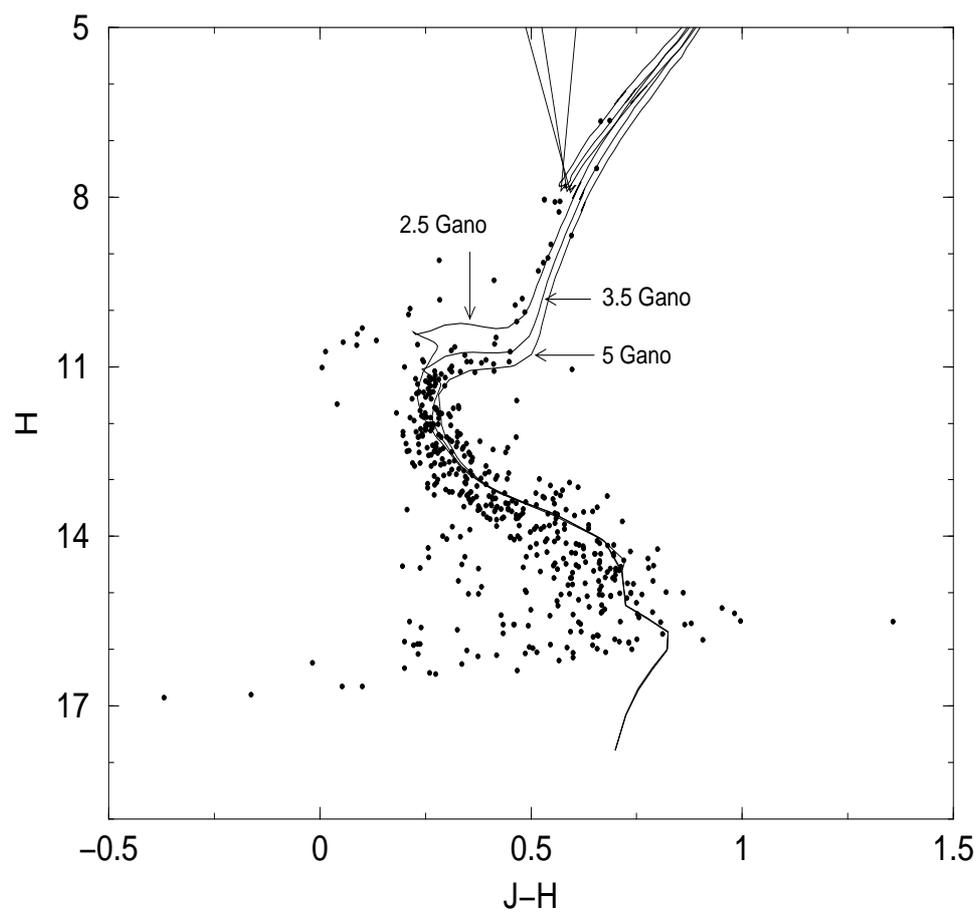


Figura 3.6: M67: diagrama $(J-H) \times H$ para uma extração de raio $8'$. São mostradas isócronas de Padova de 2.5, 3 e 5 Gano e metalicidade solar.

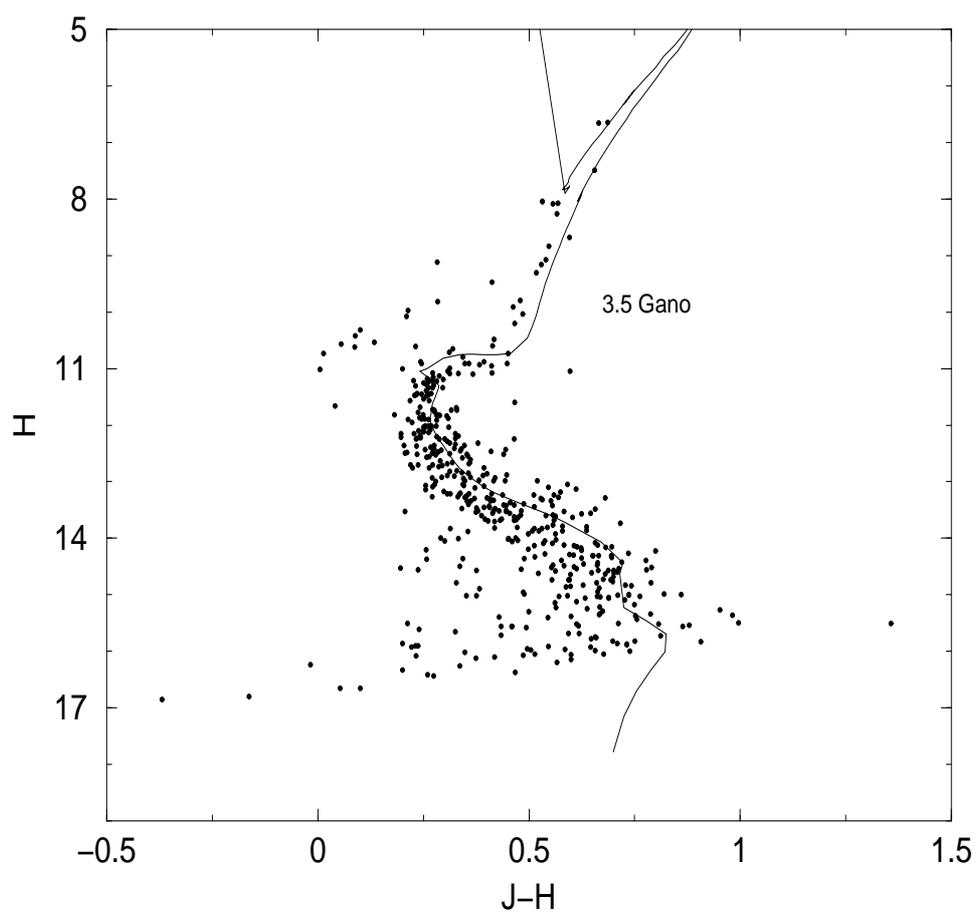


Figura 3.7: M67: mesmo diagrama da Figura anterior, mas só com a isócrona de 3 Gano.

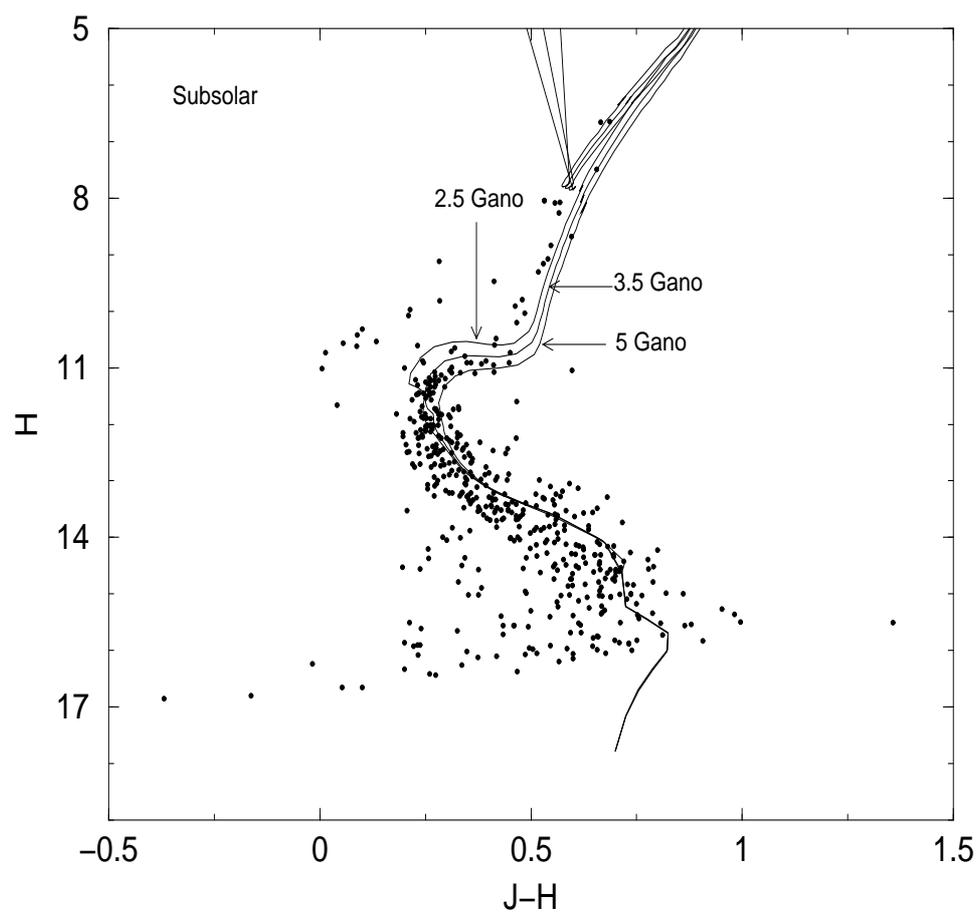


Figura 3.8: M67: diagrama $(J-H) \times H$ com extração de raio $8'$. São mostradas isócronas de Padova de 2.5, 3 e 5 Gano e metalicidade subsolar ($z = 0.008$).

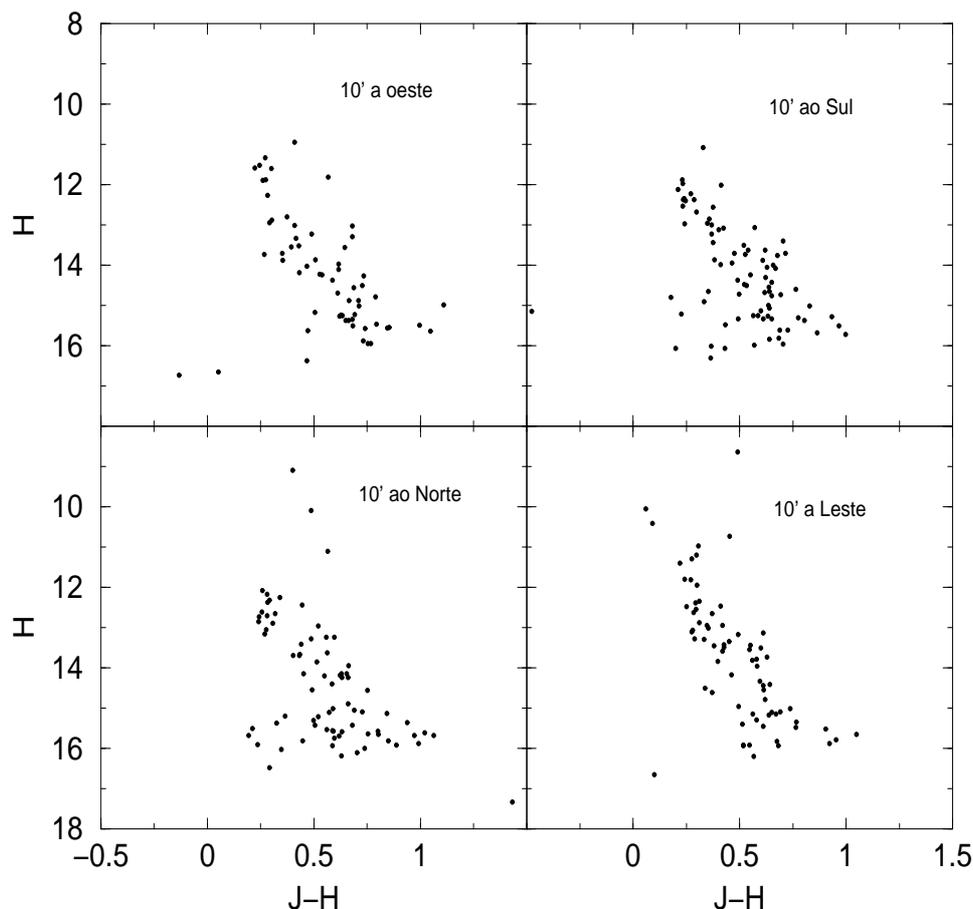


Figura 3.9: M67: diagramas $(J-H) \times H$ de regiões nos limites internos, com raio de $4'$.

uma MS, ao contrário, o que vemos é o campo de estrelas em torno de M67.

Recordando, a literatura fornece estimativas de avermelhamento ótico entre $0.02 < E(B-V) < 0.06$, módulo de distância absoluto $9.6 < (m-M) < 9.8$ e idade entre 2.5 e 5 Ganos. Os autores concordam com uma metalicidade igual ou próxima à do Sol. Concluimos, do estudo no infravermelho, por $E(J-H) = 0.0$ e $(m-M)_0 = 9.3$ correspondendo a uma distância ao Sol $d_{\odot} \cong 720 \pm 70$ pc. Para a idade testamos isócronas de 2.5, 3 e 5 Ganos e concluimos por 3 ± 0.5 Ganos. Finalmente apresentamos dois mosaicos de extrações em regiões a $10'$ e $30'$ do centro de M67. O primeiro corresponde a regiões nos limites internos e o segundo a externas, onde constatamos uma distribuição dispersa que deve corresponder a estrelas do campo Galáctico. Desta forma temos para comparação com o objeto NGC 2664 os HRs de M67 e do campo ao seu redor.

3.4 O Candidato NGC 2664

O grupo estelar NGC 2664 tem coordenadas Equatoriais J2000 $\alpha = 08^h 47^m 13.9^s$ e $\delta = +12^{\circ} 35' 59.9''$ (coordenadas Galácticas $\ell = 274.36^{\circ}$, $b = +31.32^{\circ}$). Nosso objetivo é analisar a possibilidade do objeto NGC 2664 ser um grupo estelar físico. Devido à proximidade entre NGC 2664 e M67 queremos investigar se existe alguma relação entre eles, como por exemplo (i) NGC 2664 ter uma origem comum com M67; (ii) NGC 2664 ser uma captura de M67 (tendo idades

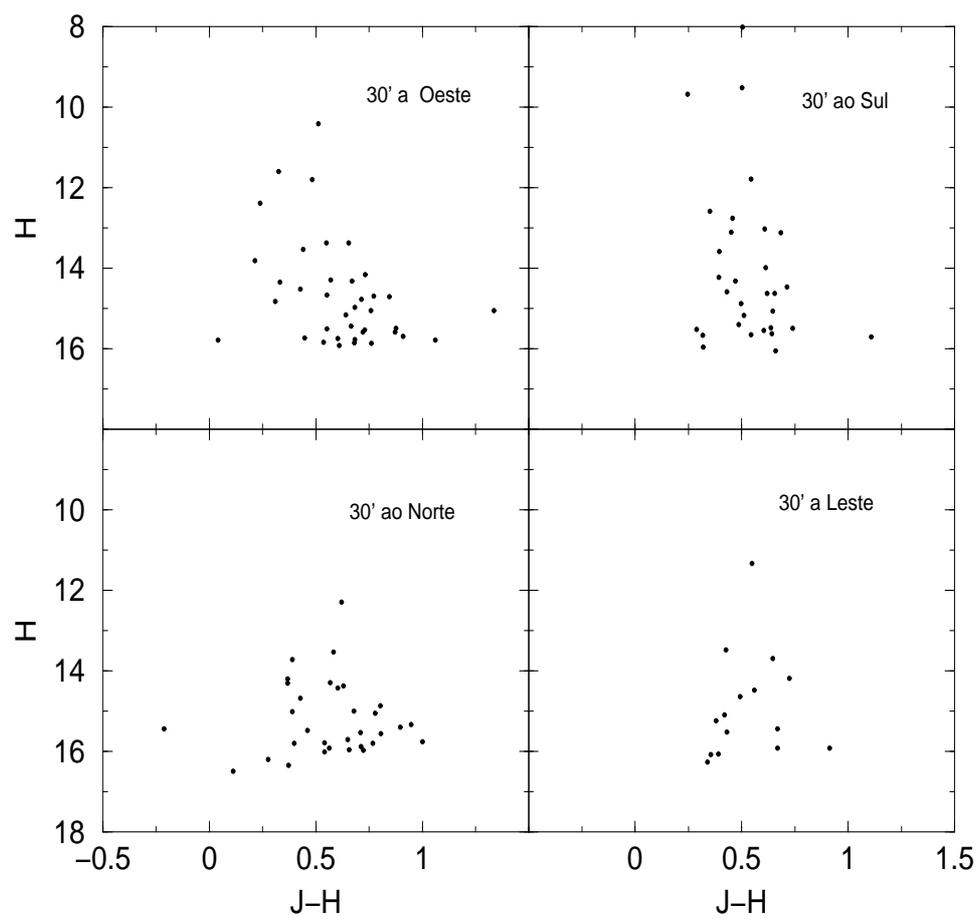


Figura 3.10: M67: diagramas $(J-H) \times H$ do campo Galático na direção do aglomerado, extrações de raio 4'.

mais provavelmente distintas); (iii) estar ocorrendo uma passagem próxima (teriam distâncias ao Sol da mesma ordem com velocidades mais provavelmente distintas).

A Figura 3.11 é o HR correspondente à extração fotométrica para o objeto. Vemos na figura três regiões povoadas: um grupo de 4 estrelas mais brilhantes (até $H \cong 10.2$), um grupo de estrelas entre $11 < H < 14.5$, e um terceiro grupo abaixo de $H = 14.5$ já bastante espalhado em cor ($0.2 \leq (J-H) \leq 0.8$). Este último conjunto já está abaixo do limite confiável em magnitude (Seção 3.2.1), mas para descartá-lo definitivamente vamos analisar os erros totais em cor da concentração.

A Figura 3.12 apresenta o mesmo HR da Figura anterior sobrepostas as barras de erro totais em cor (equação 3.14). Confirmamos que a partir de $H = 14.5$ a incerteza em cor torna-se muito grande e não podemos afirmar se há relação destas estrelas com o objeto, o mais provável é serem estrelas de campo. Na Figura 3.13 a distribuição estelar no HR se estende até $H = 14.5$, e são mostradas isócronas de Padova de metalicidade solar. Os dados da extração fotométrica correspondente à Figura 3.13 estão mostrados na Tabela 3.2, organizada por colunas: (1) identificação, (2) e (3) coordenadas equatoriais J2000, (4) e (5) fotometria H e (J-H) e (6) classificação de membros (pm = provável membro, nm = não membro, mpm = menos provável membro). A conclusão sobre a situação de cada estrela em relação a pertencer ou não à concentração será apresentada nas discussões finais (Seção 3.5). Isto porque leva em conta a distribuição estelar no HR com relação à solução de isócronas, a astrometria disponível (Seção 3.3), e a subtração estatística das estrelas de campo (seção 3.4). Estes aspectos são apresentamos a seguir.

Seguindo os passos descritos na Seção 1.3, realizamos o ajuste de isócronas. Utilizando a relação $\frac{E(J-H)}{E(B-V)}$ (equação 3.22) e a estimativa de avermelhamento de Schlegel et al. (1998) [59] - fornecida pelo NED, $E(B - V) = 0.025$ mag obtemos o valor para o infravermelho $E(J-H) = 0.008$ mag. As isócronas de Padova de metalicidade solar utilizadas no ajuste foram as de idades 1, 1.6 e 3 Gano. Devido à pouca presença de estrelas na região do TO e ao reduzido número de estrelas na concentração, nosso principal vínculo no ajuste foi o valor de avermelhamento que é bem determinado para a região e as quatro estrelas mais brilhantes. As barras de erro em cor na MS foram as limitadoras do deslocamento horizontal das isócronas. Concluímos por um $E(J-H) = 0.00$, correspondendo a um módulo de distância aparente igual ao absoluto $(m - M)_0 = 9.2 \pm 0.3$, uma distância ao Sol $d_{\odot} = 692 \pm 100$ pc, e uma idade de 1.5 ± 0.5 Ganos. Apesar das poucas estrelas, o objetos é consistente com um sistema físico.

3.4.1 Astrometria disponível

Buscamos dados astrométricos disponíveis e encontramos valores de movimentos próprios somente para as 4 estrelas mais brilhantes, no catálogo Tycho. Seguindo a Tabela 3.2 temos para a primeira estrela $\mu_{\alpha} = 1.5 \pm 1.6$ msa/ano e $\mu_{\delta} = -26 \pm 1.7$ msa/ano, para a segunda $\mu_{\alpha} = -6.4 \pm 1.2$ msa/ano e $\mu_{\delta} = 5.6 \pm 1.3$ msa/ano, para a terceira $\mu_{\alpha} = -2.6 \pm 1.8$ msa/ano e $\mu_{\delta} = 3.2 \pm 1.8$ msa/ano, e para a quarta $\mu_{\alpha} = -8.3 \pm 1.4$ msa/ano e $\mu_{\delta} = -4.7 \pm 1.5$ msa/ano.

A Figura 3.14 apresenta o mapa do céu com os movimentos próprios disponíveis para a região. A estrela GSC0081601890 possui movimento próprio com direção e sentido contrário às demais e módulo bem maior (~ 26.04 msa/ano), indicando uma situação de membro menos provável.

^a Nome	α	δ	H	J-H	^b Membros
	<i>h:m:s</i>	<i>°:':"</i>	2MASS	2MASS	
GSC0081601890	08:47:13.8	+12:36:14	8.92	0.45	mpm
GSC0081602400	08:47:06.7	+12:34:39	9.15	0.50	pm
GSC0081602354	08:47:11.2	+12:37:59	9.70	0.23	pm
GSC0081601826	08:46:58.6	+12:37:10	10.16	0.22	pm
GSC0081602694	08:47:17.6	+12:37:34	11.59	0.39	nm
GSC0081602464	08:47:20.5	+12:35:19	11.87	0.27	pm
GSC0081602655	08:47:15.4	+12:33:51	12.40	0.32	pm
GSC0081602703	08:47:10.2	+12:36:22	12.53	0.37	nm
GSC0081601662	08:47:09.4	+12:34:04	12.59	0.65	nm
GSC0081602651	08:47:11.2	+12:32:57	12.99	0.26	nm
GSC0081602058	08:47:10.3	+12:38:04	13.10	0.40	pm
GSC0081602472	08:47:05.0	+12:37:19	13.33	0.41	mpm
2MASS0847156+123420	08:47:15.7	+12:34:20	13.62	0.59	pm
2MASS0847247+123658	08:47:24.8	+12:36:59	13.74	0.70	pm
2MASS0847273+123454	08:47:27.3	+12:34:54	13.75	0.38	nm
2MASS0847239+123705	08:47:23.9	+12:37:05	13.79	0.57	pm
GSC0081602428	08:47:22.0	+12:32:48	13.88	0.37	nm
2MASS0847223+123248	08:47:22.4	+12:32:48	13.91	0.37	nm
2MASS0847100+123408	08:47:01.0	+12:34:09	13.92	0.44	nm
2MASS0847165+123337	08:47:16.5	+12:33:37	14.084	0.66	mpm

Tabela 3.2: NGC 2664: Resultado da fotometria 2MASS.

^aGSC designadas pelo *Guide Star Catalogue*, 2MASS designadas pelo catálogo de mesmo nome;

^bpm = provável membro, nm = não membro, mpm= menos provável membro.

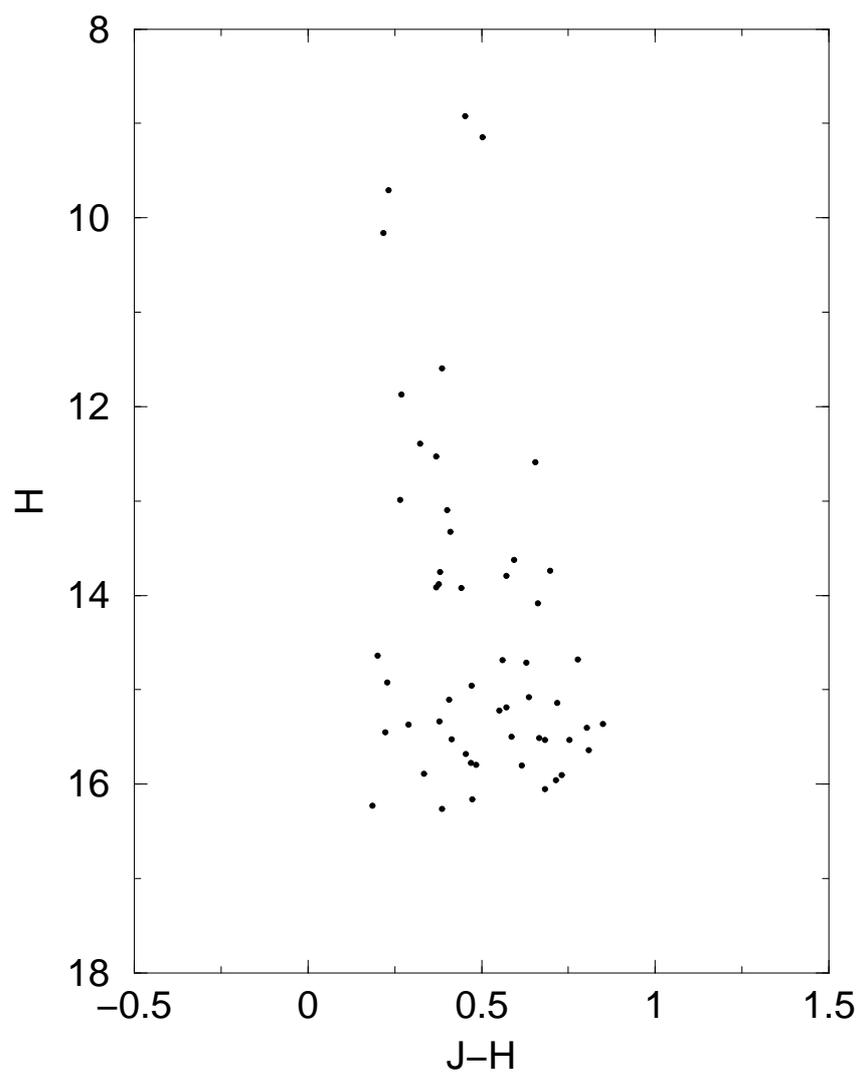


Figura 3.11: NGC 2664: diagrama $(J-H) \times H$ com uma extração circular de raio $4'$.

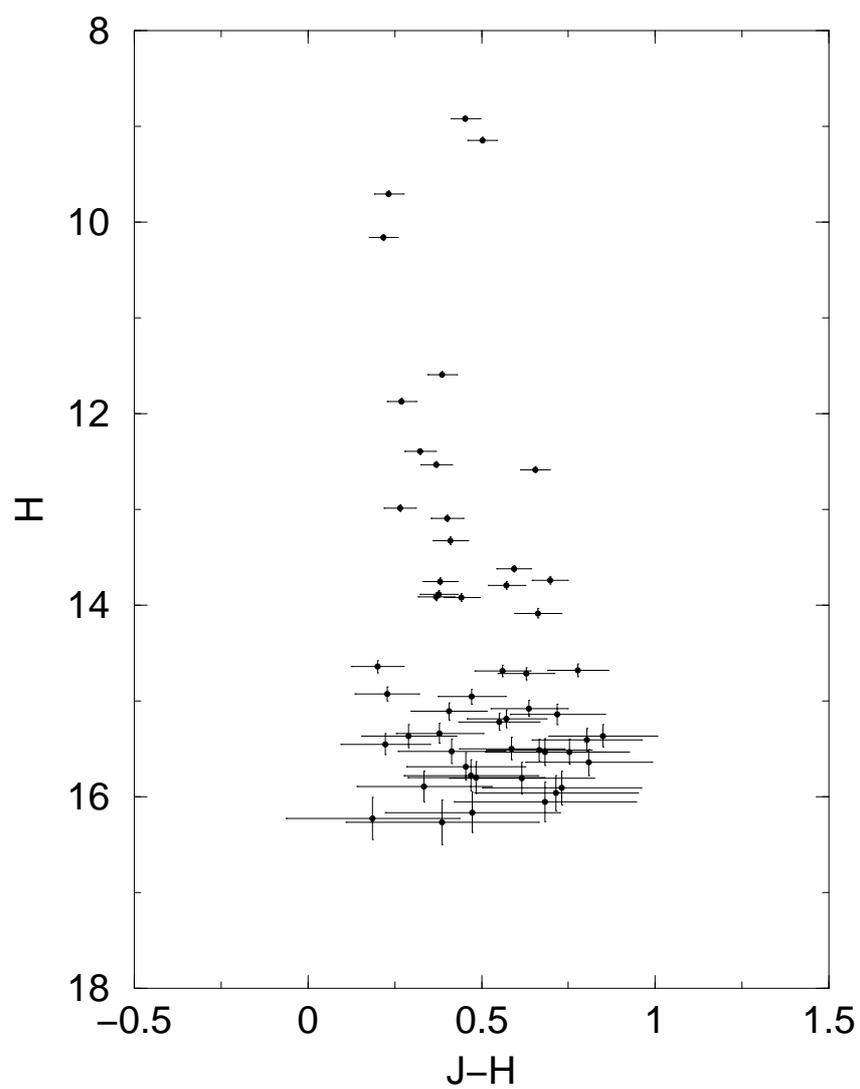


Figura 3.12: NGC 2664: mesmo diagrama da Figura 3.14 com a sobreposição de barras de erro em cor, calculadas considerando o erro interno em magnitude (ϵ).

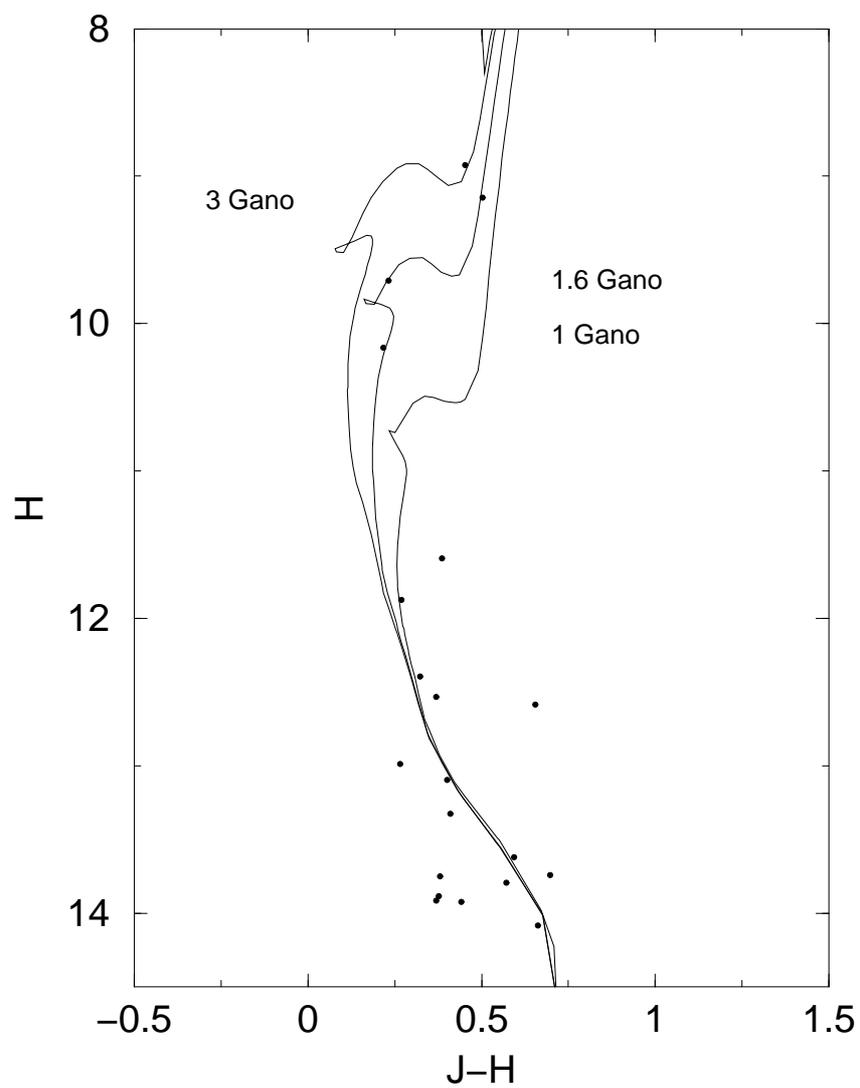


Figura 3.13: NGC 2664: diagrama $(J-H) \times H$ com isócronas de Padova e extração circular de raio $4'$.

As estrelas GSC0081602400 e GCS0081602354 (segunda e terceira na Tabela 3.2) apresentam direção e sentido de seus movimentos próprios compatíveis e módulos de mesma ordem (~ 8.5 msa/ano e ~ 4.1 msa/ano, respectivamente) e a estrela GSC0081601826 possui módulo da mesma ordem das demais (~ 9.5 msa/ano) mas direção e sentido diferentes. A princípio esta situação nos dá a idéia de que as estrelas GSC0081602400 e GCS0081602354 estão relacionadas e que a estrela GSC0081601826 não, devido à diferença de direção e sentido de seu movimento próprio em relação às duas anteriores. Entretanto, não podemos tirar nenhuma conclusão definitiva pois não conhecemos os movimentos próprios das estrelas de magnitude mais fracas e, portanto, o comportamento do conjunto de estrelas da concentração. Somando-se a isto temos os erros do movimentos próprios das quatro estrelas disponíveis que não são desprezíveis. Podemos concluir que a estrela mais brilhante por ter seu movimento próprio muito diferente das demais (com a ressalva da possibilidade de binariedade) e principalmente ser a única das 4 mais brilhantes que está fora da solução de isócronas, é menos provável membro (Tabela 3.2).

A análise completa da situação de cada estrela requer a existência de valores astrométricos como movimentos próprios e paralaxes além de velocidades radiais, tipos espectrais, etc. No momento não dispomos de valores de movimentos próprios para as estrelas mais fracas. Já seria bastante esclarecedor o estudo dos movimentos próprios das 4 estrelas mais brilhantes em um intervalo de tempo maior do que o realizado pelo Tycho, diminuindo assim as incertezas envolvidas nas medidas, e também minimizando a possibilidade de ocorrência de binárias (Seção 2.2.5). Note-se que a ordem de erros nos movimentos próprios é de 1.5 msa/anos, implicando para $d_{\odot} = 692$ pc em erros de ± 5 km/s. Ou seja, muito altos frente ao esperado para dispersão de velocidades em sistemas físicos em avançado estágio dinâmico como as Hyades (Weidemann 1992 [65]), que é de $v_d = 230$ m/s.

3.4.2 Subtração estatística do campo

Vamos analisar a probabilidade de cada estrela na região de NGC 2664 ser uma estrela do campo Galático. Para tanto selecionamos seis regiões próximas à concentração. Na Figura 3.15 são apresentadas os HRs de duas regiões, uma ao norte e a outra a oeste de NGC 2664. O objetivo na escolha destas regiões é obter uma amostra representativa do céu próximo à concentração, e conseqüentemente do campo Galático de estrelas. Na Figura 3.16 temos um mosaico de HRs para as outras quatro regiões, aqui o critério para escolha foi a procura de regiões que apresentassem uma densidade de estrelas visual acentuada, as quais esperamos ser flutuações estatísticas do campo Galático. O objetivo é ao compararmos NGC 2664 com regiões que visualmente se assemelhem ao máximo a ele, tenhamos mais informações de um limite superior para avaliar ser ou não NGC 2664 uma flutuação de campo.

Esperamos que o campo de estrelas na região da concentração seja semelhante aquele que encontramos na região de M67. Se compararmos a Figura 3.15 com a 3.10 (campos de M67) vemos que isto ocorre. Nos quatro campos da Figura 3.10 (M67) as estrelas distribuem-se nos intervalos de magnitude $10 < H < 16$ e cor $0.25 < (J-H) < 1.0$. A distribuição no HR em magnitude é alongada alargando-se a medida que se aproximam magnitudes maiores (menor brilho). A distribuição estelar nos HRs Figura 3.15 é basicamente a mesma como esperávamos, estando M67 e NGC 2664 separados por $\sim 1^{\circ}$. Na Figura 3.16 temos os quatro campos das regiões

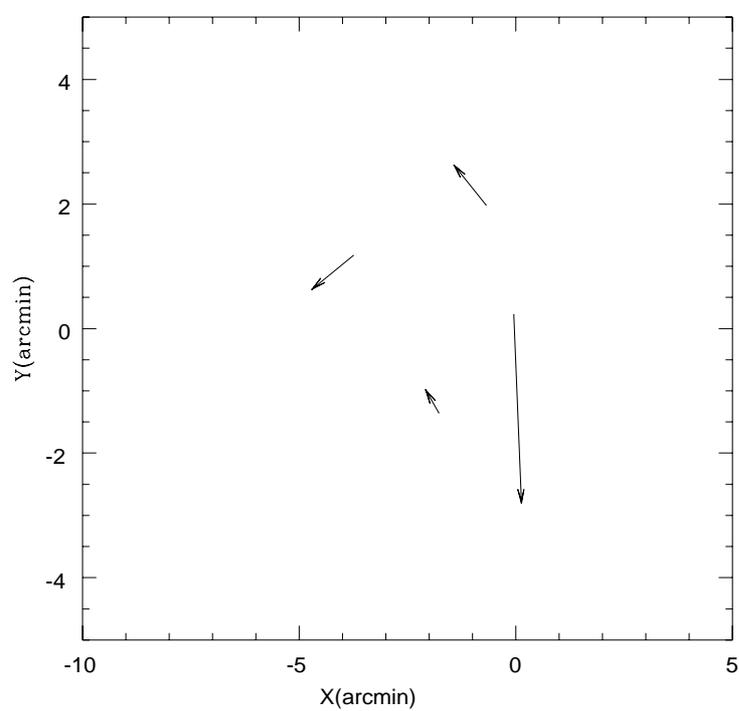


Figura 3.14: NGC2664: mapa do céu para estrelas Tycho disponíveis na região de raio 4' centrada na concentração. O comprimento das flechas é proporcional ao módulo dos movimentos próprios. A maior flecha tem módulo 26,04 msa/ano.

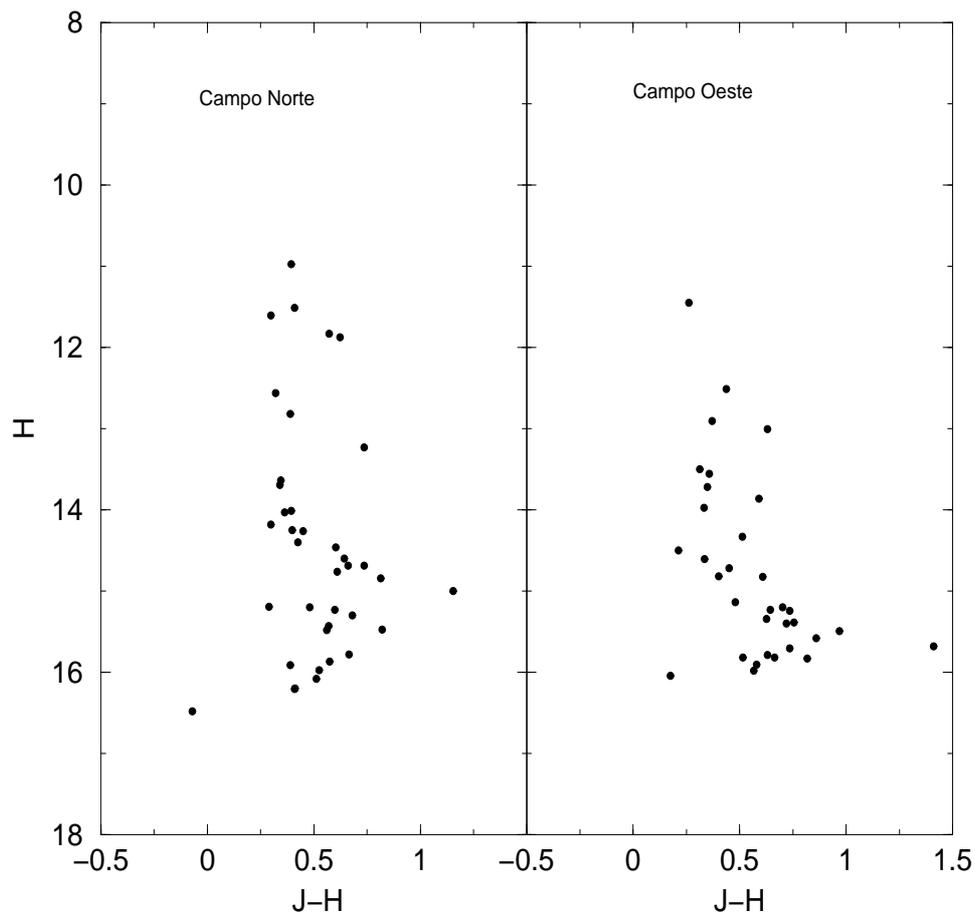


Figura 3.15: Diagramas $(J-H) \times H$ de campos de estrelas a $15'$ do centro de NGC 2664. Um localiza-se ao norte e outro a oeste. Ambos cobrem uma região de $8'$ de diâmetro.

de maior densidade visual próximas à concentração. Estes seguem o mesmo padrão apresentado nas demais regiões. Note-se que os diagramas vão até $H = 18$ mag, porém da análise de erros consideramos que existe confiabilidade fotométrica até $H = 14.5$ mag. Ao compararmos os campos e NGC 2664 o faremos para $V = 18$ mag, testando mais uma vez a contribuição neste intervalo de magnitudes. Limitamos os diagramas da Figura 3.16 em $V = 14.5$ mag e sobrepomos a solução de isócronas de NGC 2664 ($(m - M)_0 = 9.2 \pm 0.3$ e $E(J-H) = 0.00$ e idades de 1, 1.6 e 3 Gano), resultando na Figura 3.17. Comparando a Figura 3.17 com a Figura 3.13 (NGC 2664) pelo menos três distribuições da Figura 3.17 apresentam certa semelhança com NGC 2664. Elas apresentam estrelas brilhantes afastadas das demais localizando-se próximas ou sobre a solução de isócronas. Em contrapartida as estrelas de menor brilho estão bem espalhadas na parte baixa dos HRs não acompanhando as isócronas.

Comparamos NGC 2664 com estes seis campos de regiões circundantes. Para tanto utilizamos um programa cedido por Leandro Kerber (Kerber e Santiago 2001)[38]. Este programa calcula a probabilidade de cada estrela que forma NGC 2664 ser uma estrela de campo, assumindo para isto uma distribuição gaussiana de probabilidades proporcional a:

$$P \propto \left[e^{-\frac{(H_{NGC2664} - H_{campo})^2}{2\sigma_H^2}} \times e^{-\frac{((J-H)_{NGC2664} - (J-H)_{campo})^2}{2\sigma_{(J-H)}^2}} \right]$$

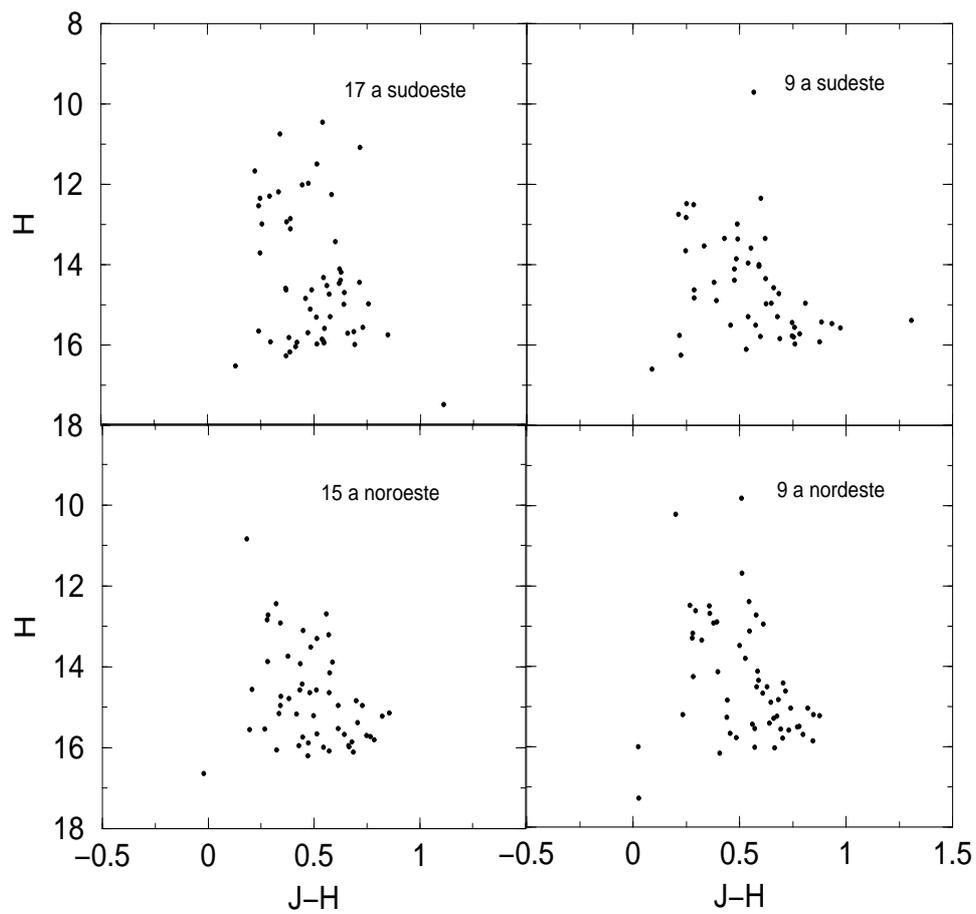


Figura 3.16: Diagramas $(J-H) \times H$ para 4 campos em torno de NGC 2664 com alta densidade estelar visual estimada, com extrações de $8'$ de diâmetro.

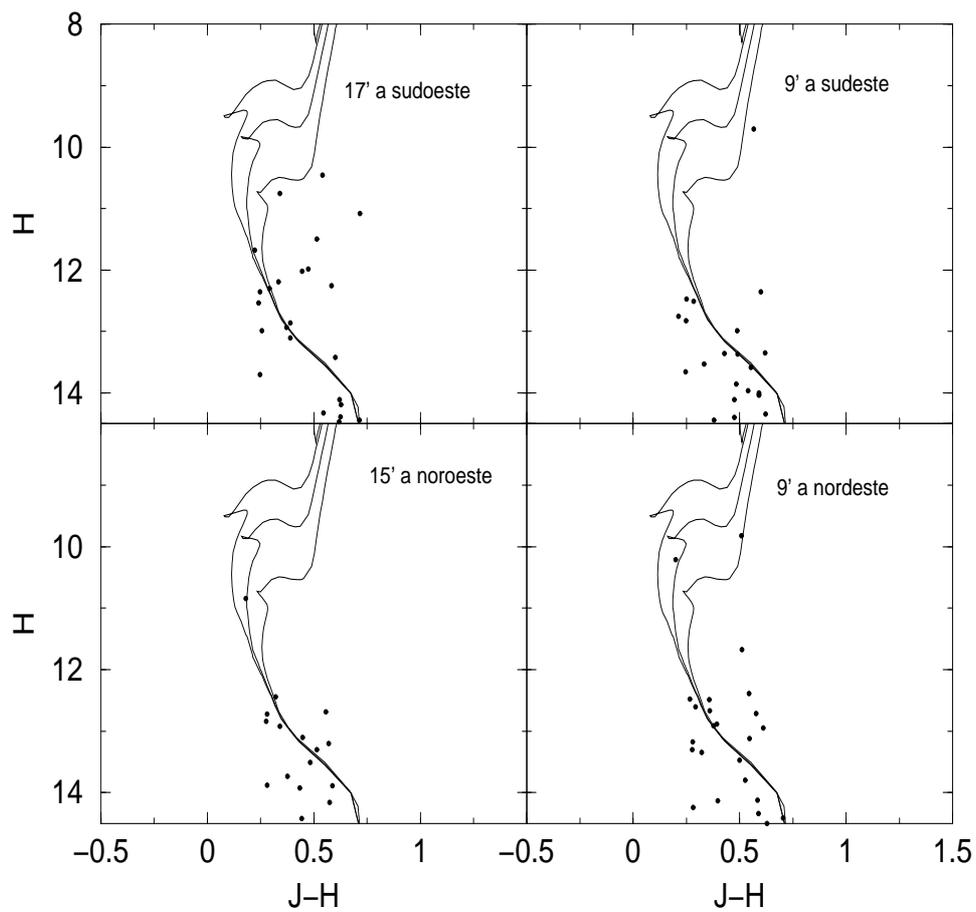


Figura 3.17: Mesmos diagramas da Figura 3.17 mas limitados em magnitude $H = 14.5$, a escala e os limites em cor são os mesmos. Isócronas de Padova com mesma solução que as da Figura 3.15 são apresentadas.

nas medidas de magnitude e cor.

Para um dado par de estrelas NGC 2664/campo é calculada a probabilidade da estrela de NGC 2664 ser uma estrela do campo. A soma das probabilidades das comparações com todas as estrelas de campo dá a probabilidade total desta estrela ser de campo. O mesmo é feito para todas as estrelas da concentração, onde um processo aleatório baseado em todas as probabilidades determina quais estrelas são excluídas de NGC 2664.

Ao compararmos NGC 2664 com os campos ao norte e a oeste (Figura 3.16) estamos interessados em retirar da concentração estrelas típicas de campo. Ao compararmos com os campos da Figura 3.17 queremos, além disto, testar qual a probabilidade das quatro estrelas brilhantes de NGC 2664 serem de campo. Comparamos NGC 2664 com os campos norte e sul, e o fizemos duas vezes para cada campo obtendo quatro conjuntos finais distintos, como resultado do processo aleatório sobre a distribuição de probabilidades. Em seguida comparamos NGC 2664 com cada um dos campos próximos, obtendo quatro conjuntos finais. Foi atribuída uma probabilidade final a cada estrela. Se, para cada conjunto de campos, temos quatro resultados finais em que a estrela não foi excluída nenhuma vez tem-se uma probabilidade de pertencer à concentração de 100%, se foi excluída uma vez 75%, duas vezes 50%, três vezes 25% e se foi excluída quatro vezes 0%. A Tabela 3.3 mostra as probabilidades obtidas. A Figura 3.18 mostra a Tabela 3.3 expressa através de HRs, isto é, a Figura apresenta as estrelas de NGC 2664 e suas probabilidades depois de comparadas a cada conjunto de campos. As estrelas ausentes nos diagramas, quando comparadas ao original (Figura 3.13), são as que obtiveram probabilidade zero.

Em geral os resultados provenientes dos dois conjuntos de campos (norte/oeste e densos) são compatíveis. As maiores discrepâncias dizem respeito às estrelas GSC0081602655, GSC0081602058, que têm alta probabilidade em relação a um conjunto de campos e probabilidade nula em relação ao outro. No restante as probabilidades são compatíveis, indicando que os diagramas da Figura 3.16 representam campos de estrelas com propriedades diferentes da concentração de estrelas NGC 2664. A influência dos resultados probabilísticos na interpretação da situação de cada estrela frente à concentração estão apresentados nas discussões finais (Seção 3.5). Note que só estão computadas na Tabela 3.3 as estrelas até o limite de magnitude $H = 14.5$. Isto porque abaixo deste limite, na região previamente considerada não confiável, as estrelas em sua maioria obtiveram probabilidades entre zero e 25 % de pertencer à concentração.

A contribuição fundamental desta análise estatística é ampliar nossa base de informações para melhor interpretarmos a concentração estelar NGC 2664 da qual, no momento, dispomos basicamente do HR e alguns dados astrométricos. Nosso principal vínculo para análise é a distribuição das estrelas no diagrama HR, sendo a discussão baseada na astrometria disponível e nas probabilidades importantes para sedimentar nossa análise.

3.4.3 Discussão final

Com base na solução de isócronas para a distribuição estelar no HR, na astrometria (Seção 3.3) e no resultado da análise estatística (Seção 3.4) classificamos os membros de NGC 2664 conforme o indicado na Tabela 3.2. Entre as quatro estrelas mais brilhantes, a mais brilhante GSC0081601890 é a única que não se ajusta à solução. Suas barras de erro apesar de

^a Nome	campos norte/oeste	campos mais densos
	%	%
GSC0081601890	100	100
GSC0081602400	100	100
GCS0081602354	100	100
GSC0081601826	100	75
GSC0081602694	25	50
GSC0081602464	100	100
GSC0081602655	75	0
GSC0081602703	0	25
GSC0081601662	100	75
GSC0081602651	50	25
GSC0081602058	75	0
GSC0081602472	50	0
2MASS0847156+123420	100	75
2MASS0847247+123658	100	100
2MASS0847273+123454	25	50
2MASS0847239+123705	75	50
GSC0081602428	25	75
2MASS0847223+123248	75	100
2MASS0847100+123408	50	50
2MASS0847165+123337	25	0

Tabela 3.3: NGC 3664: probabilidade de pertinência de cada estrela.

^aGSC designadas pelo Guide Star Catalogue, 2MASS designadas pelo catálogo de mesmo nome.

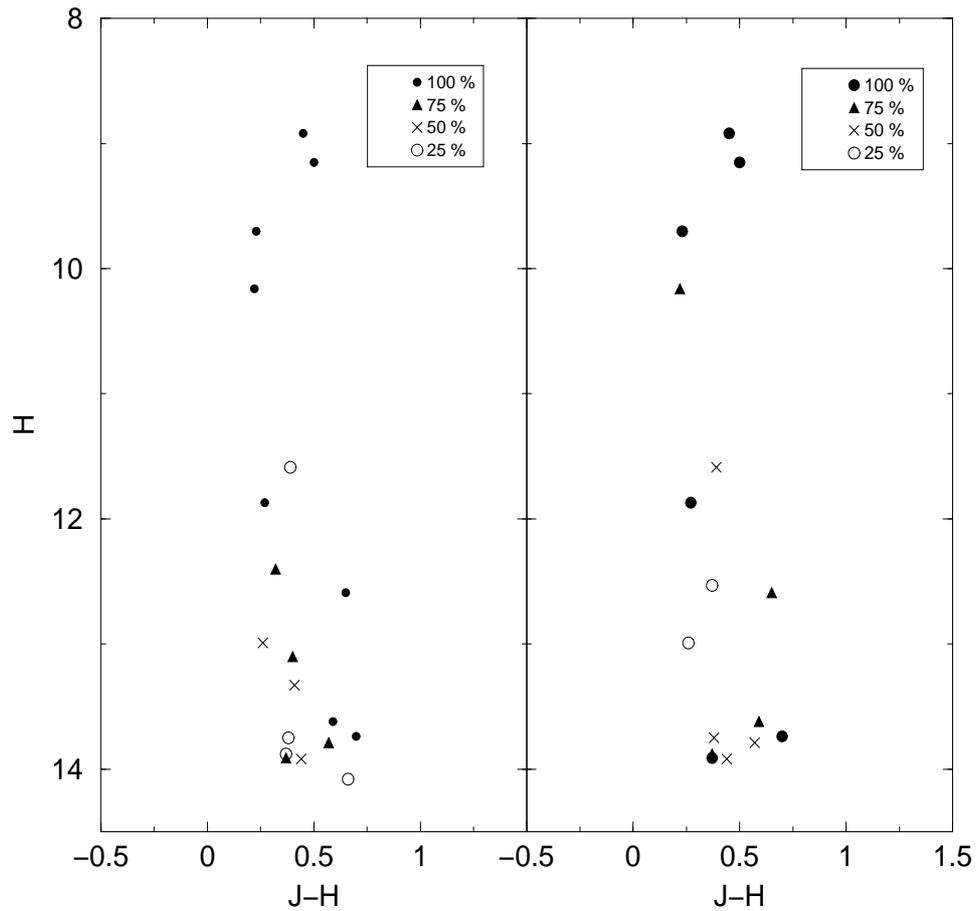


Figura 3.18: Subtração estatística para NGC 2664: no diagrama à esquerda temos a probabilidade de pertinência das estrelas para a comparação com os campos norte/oeste; à direita para os campos de mais alta densidade.

próximas não tocam a isócrona de 1.6 G ano, e seu movimento próprio difere em módulo e direção das demais (apesar da análise não ser conclusiva por possibilidade de binariedade - Seção 3.3). Somando estes fatos e levando em conta que a probabilidade da estrela pertencer à concentração foi 100% pela subtração estatística, a consideramos menos provável membro (mpm). As três estrelas seguintes na tabela foram consideradas membros devido às suas posições em relação às isócronas, e suas probabilidades confirmam esta interpretação. As estrelas GSC0081602694 e GSC0081601662 são muito vermelhas em relação às isócronas e suas barras de erro não as tocam, e foram consideradas, então, como não membros. A probabilidade de ambas pertencerem à concentração não é desprezível e isto pode ser um indicativo delas pertencerem a uma MS paralela de binárias. GSC0081602703 está mais à direita da isócrona e sua probabilidade de pertencer à concentração é muito baixa, e foi portanto considerada não membro. O mesmo ocorre com GSC0081602651, que está bem à esquerda da solução de isócronas. As estrelas GSC0081602651 e GSC0081602472 obtiveram uma probabilidade pequena de pertencerem à concentração, especialmente GSC0081602472. Tendo em vista suas posições no HR e suas barras de erro, consideramos a primeira como membro e a segunda como menos provável membro. As posições e probabilidades determinaram a classificação como não membros as estrelas 2MASS0847273+123454, GSC0081602428, 2MASS0847223+123248, 2MASS0847100+123408. A estrela 2MASS0847165+123337 tem uma probabilidade muito baixa, mas sua localização no diagrama HR nos levou a classificá-la como menos provável membro.

De toda a discussão realizada até aqui concluímos que se por um lado não podemos afirmar que NGC 2664 é um aglomerado aberto pois não apresenta características clássicas de um objeto deste tipo, como por exemplo uma MS bem povoada, por outro lado não podemos descartar a possibilidade de que a concentração seja um objeto físico. NGC 2664 sendo um sistema físico, está provavelmente em processo de dissolução tal como um aglomerado aberto remanescente. No início do estudo levantamos a possibilidade de NGC 2664 estar relacionado ao aglomerado aberto velho M67, seja através de uma origem comum, ou sofrido uma captura por parte de M67 estando hoje na situação de seu satélite, ou ainda estar ocorrendo uma passagem próxima. A idade estimada para NGC 2664 é de 1.5 ± 0.5 Gano e para o aglomerado aberto velho M67 é de 3.5 ± 0.5 Gano. Esta diferença em idade já depõe contra a possibilidade da origem comum, mas fica em aberto a possibilidade de captura e de uma passagem próxima. sem captura.

Capítulo 4

Comentários finais

4.1 Conclusões

Ao longo deste trabalho abordamos aspectos da evolução de aglomerados abertos e exploramos candidatos a aglomerados abertos remanescentes. Consideramos os aglomerados abertos remanescentes como concentrações de estrelas pouco povoadas resultantes da evolução dinâmica de sistemas mais massivos, mas ainda apresentando membros suficientes para formar uma sequência evolutiva no diagrama cor-magnitude. Da lista de 34 candidatos a aglomerados em dissolução (Bica et al. 2001, [7]) foram estudados NGC 1252 com fotometria ótica e NGC 2664 com fotometria infravermelha. NGC 1901 foi um objeto de transição analisado para fins de comparação, assim como os aglomerados de idade intermediária Hyades e M67. Resultados promissores sobre a possibilidade de serem sistemas físicos foram obtidos, em particular para NGC 1252 e NGC 1901 (Pavani et al. 2001, [49]). Isto abre caminho para (i) aprofundar o estudo dos presentes objetos, (ii) aumentar a amostra de candidatos à dissolução estudados em detalhe, e (iii) buscar métodos adicionais para vincular mais o problema.

A análise dos grupos estelares NGC 1252 e NGC 1901 foi feita através de fotometria CCD, que foi aprofundada em relação à literatura. Exploramos dados astrométricos disponíveis nos catálogos Tycho e Hipparcos. Note-se que os presentes objetos já estão nos limites da vizinhança solar onde tais dados astrométricos perdem precisão. Para NGC 1252 analisamos um conjunto de estrelas diferente daquele interpretado por Bouchet & Thé (1983) [12], e questionado por Eggen (1984) [25] e Baumgardt (1998) [4]. O presente diagrama cor-magnitude sugere um *turnoff* e uma sequência principal, e um total de 12 prováveis membros. Simulamos um diagrama cor-magnitude do campo Galático na direção da concentração, e ele não apresentam semelhança, sugerindo que NGC 1252 não se trata de uma flutuação de campo. O ajuste de isócronas para os prováveis membros foi consistente com um avermelhamento $E(B-V) = 0.02$, $d_{\odot} = 0.64$ kpc ($Z = -0.46$ kpc) e uma idade de 3 ± 1 Gano. Para NGC 1901 analisamos fotometria CCD da principal concentração de estrelas da região estudada anteriormente por Sanduleak & Philip (1968) [56]. O presente HR é mais profundo e mostra uma sequência principal bem definida, com 19 prováveis membros, confirmando que é um grupo estelar físico, o que também é apoiado por estudos de movimentos próprios. O conjunto de estrelas de campo Galático simulado é não coincidente com a sequência principal de NGC 1901. Obtivemos um avermelhamento de $E(B-V) = 0.04$, uma distância ao Sol $d_{\odot} = 0.45$ kpc ($Z = -0.23$ kpc) e uma idade de 0.6 ± 0.1

Gano. NGC 1901 tem idade comparável com as Hyades e seus estados dinâmicos são similares dentro do intervalo disponível para a função luminosidade. Seria importante o aprofundamento da fotometria do objeto para compararmos se ocorre deficiência da baixa sequência principal de forma mais acentuada da que ocorre com as Hyades, o que poderia ser um sinal de um estado dinâmico mais evoluído. O presente estudo indica que a concentração de estrelas NGC 1901 é mais jovem que NGC 1252. O estado dinâmico de NGC 1901 seria comparável com as Hyades e menos avançado que NGC 1252. Já NGC 1252 é consistente com a noção de um aglomerado aberto remanescente, similar a M73 (Bassino et al 2001 [3]).

O aglomerado aberto velho M67 e o grupo estelar NGC 2664 foram estudados através de fotometria infravermelha, utilizando o catálogo 2MASS. Por ser este catálogo muito recente optamos por iniciar determinando os parâmetros de M67, o qual possui extensa literatura, especialmente no ótico porém, com variações de parâmetros importantes, por exemplo, idades de 2 a 6 Ganos. Buscamos o melhor ajuste à distribuição de estrelas e concluímos por um avermelhamento $E(J-H) = 0.0$, $d_{\odot} = 0.63 \pm \text{kpc}$, e idade de 3 ± 0.5 Ganos. NGC 2664 é um objeto pouco denso com reduzido número de estrelas na região do *turnoff*, mas destaca-se por possuir quatro estrelas brilhantes. Utilizamos tais estrelas como principal vínculo para o ajuste de isócronas, sendo compatível com um avermelhamento $E(J-H) = 0.0$, $d_{\odot} = 0.69 \pm 0.1$ kpc e idade de 1.5 ± 0.5 Gano. Os dados astrométricos disponíveis não cobrem o conjunto de estrelas prováveis membros, apenas as 4 estrelas mais brilhantes, e eles indicam que pelo menos 3 delas poderiam fazer parte do mesmo grupo físico. Para resultados mais conclusivos seriam necessários dados das estrelas menos brilhantes, e assim, inferir o comportamento de todo conjunto. Comparamos NGC 2664 com campos circundantes de concentração estelar acentuada, e realizamos uma subtração estatística de estrelas de campo. Do conjunto de nossa análise não podemos descartar a possibilidade de NGC 2664 ser um sistema físico em processo de dissolução. Concluímos que as idades de 1.5 Gano para NGC 2664 e 3.0 Gano para M67 descartam a ocorrência de uma origem comum mas não a possibilidade de captura de NGC 2664 por M67 ou, pelo menos, a ocorrência de uma passagem próxima, já que as distâncias são comparáveis.

Para determinarmos conclusivamente a natureza e estado dinâmico dos grupos estelares NGC 1252, NGC 1901 e NGC 2664, é necessário o aprofundamento da fotometria e astrometria, e a obtenção de espectros de alta dispersão para velocidades radiais e abundâncias. O estudo da fração de binárias é também fundamental. Finalmente, cálculos teóricos e numéricos seriam importantes para estabelecer uma classificação de estágios avançados da evolução dinâmica de aglomerados abertos e seus remanescentes. A inclusão de binárias e triplas nos modelos é crucial. É necessária uma clara determinação do estado dinâmico das Hyades que possibilite sua classificação como aglomerado aberto ou aglomerado aberto remanescente.

4.2 Perspectivas

Baseado nos resultados do trabalho de mestrado propomos o aprofundamento do estudo sobre a evolução de aglomerados abertos e seus remanescentes. Busca-se também a detecção de remanescentes em idades mais jovens (50 a 500 Manos), e aglomerados de comparação/transição visando analisar o estado pré-dissolução. O ponto de partida seria a lista de 34 candidatos à

dissolução (Bica et al 2001 [7]) além dos catálogos de aglomerados abertos. Será necessária a utilização de métodos que já foram adotados no presente trabalho como a observação no ótico dos objetos e dados disponíveis em banco de dados como o WEBDA (Mermilliod 1995, [43]), no infravermelho através do catálogo 2MASS, mas ampliando significativamente suas ferramentas. Recentemente, Dutra & Bica (2000) descobriram 58 aglomerados e/ou candidatos projetados contra as partes centrais da Galáxia, usando imagens do 2MASS. Potergies Zwart et al. (2001) modelizaram a evolução dinâmica de aglomerados massivos nos 200 pc centrais da Galáxia, encontrando que basicamente eles se dissolvem em 70 Manos. A amostra de Dutra & Bica (2000) [24] é ideal para explorar aglomerados nestas partes centrais, ou na linha de visada, onde diferentes domínios de tempo de sobrevivência são esperados. Como vínculo adicional, tornou-se clara, na análise do mestrado, a necessidade de dados espectroscópicos como classificação espectral, velocidades radiais, astrometria na forma de movimentos próprios e paralaxes. A fotometria 2MASS do céu inteiro estará totalmente disponível no início de 2002. A realização de estudos complementares com observações nos grandes telescópios que a comunidade brasileira tem acesso seriam importantes. A determinação da idade e dos parâmetros cinemáticos (posições absolutas e componentes espaciais das velocidades) obtidos a partir das observações acima para alguns aglomerados permite estudar com códigos de N-corpos (Hernquist & Katz 1989, [35]) a evolução dinâmica do objeto no potencial da Galáxia, para inferir sobre a sua história e estabilidade. Já foram realizadas simulações de aglomerados com ou sem potencial da galáxia hospedeira, no nosso grupo, por exemplo, aglomerados na Pequena Nuvem de Magalhães (de Oliveira et al. 2000 [21])

Espera-se contribuir para o melhor entendimento não apenas da evolução dos aglomerados abertos, especialmente seus estágios finais, mas também do sistema de aglomerados abertos em termos da posição na Galáxia e de suas massas iniciais.

Apêndice A

Artigo Publicado - Lista de Candidatos

Nas páginas a seguir é apresentado o artigo publicado Bica et al. (2001) [7], e no qual encontra-se a lista de 34 objetos relativamente concentrados mas pouco povoados candidatos a prováveis estágios dinâmicos evoluídos de aglomerados abertos. Lista da qual foram estudados no presente trabalho os objetos NGC 1901, NGC 2664 e NGC 1901.

Apêndice B

Artigo Publicado - NGC 1252 e NGC 1901

A seguir é apresentado o artigo Pavani et al. (2001) [49], no qual é apresentado o estudo dos grupos estelares NGC 1252 e NGC 1901, e do aglomerado de comparação Hyades.

Referências Bibliográficas

- [1] BAADE, W. The resolution of Messier 32, NGC 205 and the central region of the Andromeda Nebula, *Astrophysical Journal*, Chicago, v. 100, n. 1, p. 137-146, September 1944.
- [2] BARNARD, E. E. On the dark markings of the sky, with a catalogue of 182 such objects, *Astrophysical Journal*, Chicago, v. 49, n. 1, p. 1-24, January 1919.
- [3] BASSINO, L.P.; WALDHAUSEN, S.; MARTÍNEZ, R., CCD photometry in the region of NGC 6469: the remains of an old open cluster. *Astronomy & Astrophysics*, Paris, p. v.355, n. 1, p. 138-144, March 2000.
- [4] BAUMGARDT, H. The nature of some doubtful open clusters as revealed by Hipparcos, *Astronomy and Astrophysics*, Paris, v. 340, n 1, p. 402-414, December 1998.
- [5] BENCIVENNI, D.; BROCATTO, E.; BUONANNO, R.; CASTELLANI, V. The young Magellanic cluster NGC 2004, *Astronomical Journal*, Chicago, v. 102, n. 1, p. 137-151, July 1991.
- [6] BERTELLI, G.; BRESSAN, A.; CHIOSI, C.; FAGOTTO, F.; NASI, E. Theoretical isochrones from models with new radiative opacities, *Astronomical and Astrophysics Supplements*, v. 106, n. 1, p. 275 - 302, August 1994.
- [7] BICA, E.; SANTIAGO B. X.; DUTRA, C.M.; DOTTORI, H.; OLIVEIRA, M.R.; PAVANI, D.B. Dissolving star cluster candidates, *Astronomy and Astrophysics*, Paris, v. 366, n. 1, p. 827-833, February 2001.
- [8] BICA, E.; GEISLER, D.; DOTTORI, H.; CLARIÁ, J. J.; PIATTI, A. E.; SANTOS, J. C. Jr. Ages and metallicities of stars clusters and surrounding fields in the outer disk of the Large Magellanic Cloud, *Astronomical Journal*, Chicago, v.116, n. 2, p. 723-737, October 1998.
- [9] BICA, E.; SCHMITT, H. R.; DUTRA, C. M.; LUZ OLIVEIRA, H. A revised and extended catalog of Magellanic System Clusters, Associations, and Emission Nebulae. II The Large Magellanic Cloud, *Astronomical Journal*, Chicago, v. 117, n. 1, p. 238-246, January 1999.
- [10] BLITZ, L.; SPERGEL, N. D. Direct evidence for a bar at the Galactic center, *Astrophysical Journal*, v. 379, n. 1, p. 631 - 638, October 1991.
- [11] BOK, B. J.; BOK, P. F., NA, Four standard sequences in the southern hemisphere, *Monthly Notices Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 121, n. 1, p. 531-542, 1960.

- [12] BOUCHET, R.; THÉ, P.S., Notes on the open cluster NGC 1252 with the variable carbon star TW Horologii as a probable member, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, cp, v. 95, n. 1, p. 472-479, August 1983.
- [13] BURKI, G. Formation of open clusters, n: Star clusters; Proceedings of the Symposium, Victoria, British Columbia, Canada, August 27-30, 1979. (A80-53326 24-89) Dordrecht, D. Reidel Publishing Co., 1980, p. 169-187; Discussion, p. 188-190.
- [14] BURSTEIN, D.; HEILES, C., H I, galaxy counts, and reddening: variation in the gas-to dust ratio, the extinction at high galactic latitudes, and new method for determining Galactic reddening, *The Astrophysical Journal*, cp, v. 225, n.1, p. 40, October 1978.
- [15] CARDELLI, J. A.; CLAYTON, G. C.; MATHIS, J. S., The relationship between infrared, optical, and ultraviolet extinction, *The Astrophysical Journal*, v 345, n.1, p.245 - 256, October 1989.
- [16] CARRARO, G., NGC 6994: An open cluster which is not an open cluster. *Astronomy and Astrophysics*, v. 357, n. 1, p. 145 -148, May 2000.
- [17] CARRARO, G.; PATAT, F. The stellar content of the open clusters Tombaugh 1 and Ruprecht 46, *Monthly Notices Royal Astronomical Society*, v. 276, p. 563-570, 1995.
- [18] CHABOYER, B.; GREEN, E. M.; LIEBERT, J. The age, extinction, and distance of the old, metal-rich open cluster NGC 6791, *The Astronomical Journal*, v. 117, n.3, p. 1360-1374, March 1998
- [19] CHIOSI, C. Evolution of intermediate mass stars, Proceedings of IAU Symposium 189 on Fundamental Stellar Properties: The Interaction between Observation and Theory. Edited por T. R. Bedding, A. J. Booth and J. Davis, Kluwer, Dordrecht (1998), ISBN: 0-7923-4651-3, p. 323. 1998.
- [20] COMBES, F.; LEON, S.; MEYLAN, G. N-body simulations of globular cluster tides, *Astronomy and Astrophysics*, v. 352, n. 1, p. 149- 162, December 1999.
- [21] DE OLIVEIRA, M. R.; DUTRA, C. M.; BICA, E.; DOTTORI, H. Morphologies and ages of star clusters pairs and multiplets in the Small Magellanic Cloud, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, v. 146, p. 57-72, 2000
- [22] DE LA FUENTE MARCOS, R. Searching for open cluster remnants, *Astronomy and Astrophysics*, cp, v. 333, p. L23-L30, 1998.
- [23] DOLPHIN, A. E.; HUNTER, D. A. Recent Star Formation in Shapley Constellation III in the Large Magellanic Cloud, *The Astronomical Journal*, v. 116 n. 3, pg. 1275 - 1285, September 1998.
- [24] DUTRA, C. M.; BICA, E. New star clusters projected close to the Galactic Centre, *Astronomy and Astrophysics*, v. 359, p. L9-L12, 2000.

- [25] EGGEN, O. J. TW Horologii and NGC 1252. Arebutal, *Publications os the Astronomical Society on the Pacific*, cp, v. 96, n.?, p. 70-71, January 1984.
- [26] ELSON, R.; SIGURDSSON, S.; DAVIS, M.; HURLEY, J.; GILMORE, G. The binary star population of the young cluster NGC 1818 in the Large Magellanic Clouds, *Monthly Notices Royal Astronomical Society*, cp, v. 300, n.?, p. 857-?, mes 1998.
- [27] FERRARO F. R.; CARRETTA E.; FUSSI PECCI F.; ZAMBONI A. Binary stars in globular clusters: detection of a binary sequence in NGC 2808?., *Astronomy and Astrophysics Journal*, v. 327, n. 2, p. 598 - 601, November 1997.
- [28] FRIEL, E. D., The old open clusters of the Milky Way, *Annual Review Astronomical and Astrophysical*, v. 33, p. 381-414, 1995.
- [29] GEISLER, D.; SARAJEDINI, A. Standard giant branches in the Washington photometric system, *The Astronomical Journal*, cp, v. 117, n.1, p. 308-329, January 1999.
- [30] GIRARDI, L.; BRESSAN, A.; BERTELLI, G.; CHIOSI, Evolutionary tracks and isochrones for low- and intermediate-mass stars: From 0.15 to 7 Msun, and from $Z=0.0004$ to 0.03N, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, v. 141, n. 1, p. 371- 383, February 2000.
- [31] GONZÁLEZ J. F.; LAPASSET E. Radial Velocities, Binarity, and Kinematic Membership in the Open Cluster NGC 2516, *The Astro nomical Journal*, v. 119, n. 5 , p. 2296 - 2302, May 2000.
- [32] GUNN J. E.; GRIFFIN R. F.; GRIFFIN R. E. M.; ZIMMERMAN B. A. A new convergent point and distance modulus for the Hyades from radial velocities, *The Astronomical Journal*, cp, v. 96, n. , p. 198-210, July 1988
- [33] SANTOS, J. F. C. Jr. O conteúdo populacional de aglomerados abertos de estrelas: síntese de cor e espectros com o auxílio do diagrama HR, Tese de Mestrado, 1988, pg. 26.
- [34] HASSAN, S. M. The stellar groups Ba 12, Ba 13, Ba 14, and BA 15. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, v. 20, p. 255-267, 1974.
- [35] HERNQUIST, L; KATZ, N. TREESPH - A unification of SPH with the hierarchical tree method, *Astrophysical Journal Supplement Series*, v. 70, p. 419-446, 1989.
- [36] KARTTUNEN H., KRÖGER P., OJA H., POUTANEN M., DONNER K. J., *Fundamental Astronomy*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996.
- [37] KERBER, L.; JAVIEL, S.; SANTIAGO, B. X. Constraints on thick disc and halo parameters from HST photometry of field stars in the Galaxy, *Astronomy and Astrophysics* , v. 365, n. 1, p. 424 - 430, January 2001.
- [38] KERBER, L.; SANTIAGO, B. X., 2001 em andamento.
- [39] LIN, C. C.; SHU, F. H. Density waves in disk galaxies, *Radio Astronomy and the Galactic System*, Proceedings from IAU Symposium no. 31 held in Noordwijk, Netherlands. Editado

- por Hugo van Woerden. International Astronomical Union. Symposium no. 31, Academic Press, Londres, p.313, 1967.
- [40] LODÉN, L. O., A study of some loose clusterings in the southern Milky Way, *Astronomy and Astrophysics*, v. 29,, p. 31-50, 1977.
- [41] McCLURE, R. D.; VANDENBERG, D. A.; SMITH, G. H.; FAHLMAN, G. G.; RICHER, H. B.; HESSER, J. E.; HARRIS, W. E.; STETSON, P. B.; BELL, R. A. Mass functions for globular cluster main sequences based on CCD photometry and stellar models, *Astrophysical Journal*, v. 307, p. L49 - L53, August, 1986.
- [42] MATHIS, S. J., Interstellar Dust and Extinction, *Annual Review Astromonical and Astrophysical*, cp, v28, n?, p. 37-70, mes 1990.
- [43] MERMILLIOD, J. C., *Information and On-Line Data in Astronomy*. Dordrecht: Kluwer Academic Press, 1995.
- [44] MERMILLIOD, J. C., Description of database for stars in open clusters. *Bull Inform. CDX* 35, 77-91, 1988.
- [45] MINNITI, D.; CLARÍ'A, J. J.; GOMEZ, M. N., NA. The atmospheric extinction at the Complejo Astronomico EL Leoncito and the Bosque Alegre station, *Astrophysics and Space Science*, v. 158, n. 1, p. 9 -18, August 1989.
- [46] MONET D. The 491,848,883 Sources in USNO-A1.0, *American Astronomical Society Meeting*, v. 188, p. 5404, May 1996. CDS database Strasbourg, 1996.
- [47] MONTGOMERY, K.A.; MARSCHALL, L. A.; JANES, K. A. CCD photometry of the old open cluster M67, *The Astronomical Journal*, cp, v.106, n.1, p. 181-219, July 1993.
- [48] MURRAY C. A.; DICKENS R. F.; WALKER E. N. A galatic cluster in the direction of the Large Magellanic Cloud, *The Observatory Journal*, v. 89, n. 1, p. 104-107, June 1969.
- [49] PAVANI; D. B., BICA, E; DUTRA, C. M.; DOTTORI, H.; SANTIAGO, B. X.; CARRANZA, G.; DÍAZ, R. J. Open clusters or their remnants: B and V photometry of NGC 1252 and NGC 1901, *Astronomy and Astrophysics*, 2001, H2657, no prelo.
- [50] PATIENCE J.; GHEZ A. M.; REID I. N.; WEINBERG A. J.; MATTHEWS K. The Multiplicity of the Hyades and Its Implications for Binary Star Formation and Evolution, *The Astronomical Journal*, v. 115, n. 5 , p. 1972- 1988, May 1998.
- [51] PORTEGIES, Z; SIMON, F.; MAKINO, J.; McMILLAN, S. L. W.; HUT, P. How many young stars clusters exist in the Galactic Center? *Astrophysical Journal*, v. 546, p. L101-L104, 2001. MERMILLIOD, J. C., *Information and On-Line Data in Astronomy*. Dordrecht: Kluwer Academic Press, 1995.
- [52] REID, M., NA. The distance to the center of the Galaxy, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, cp, v. 31, n. 1, p. 345- 372, 1993.

- [53] REID, M.; MAJEWSKI, S.R., Star counts redivivus. I - A new look at the galaxy at faint magnitudes, *Astrophysical Journal*, v. 409, n. 2, p. 635-662, June 1993
- [54] RUBENSTEIN E. P.; BAILYN C. D. Hubble Space Telescope Observations of the Post-Core-Collapse Globular Cluster NGC 6752. II. A Large Main-Sequence Binary Population, *Astrophysical Journal* v. 474, p. 701, January 1997.
- [55] SALPETER, E. E. The Luminosity Function and Stellar Evolution, *Astrophysical Journal*, v. 121, n 1. , p 161, January 1955.
- [56] SANDULEAK, N.; DAVIS, A. G. P., A Stellar Group in Line of Sight with the Large Magellanic Cloud, *The Astronomical Journal*, cp, v. 73, n. 7, pg 566-568, september 1968.
- [57] SANTIAGO, B. X.; ELSON, R.; GILMORE, G., HST photometry of 47 TUC and analysis of the stellar luminosity function in Milky Way clusters NA, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 281, n. 4, p. 1363- 1374, August 1996a.
- [58] SANTIAGO, B. X.; GILMORE, G.; ELSON, R., NA, HST star counts at high galactic latitudes, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, v. 281, n. 3, p. 871-882, August 1996b.
- [59] SCHLEGEL, D.J.; FINKBEINER, D. P.; DAVIS, M., Maps of Dust Infrared Emission for Use in Estimation of Reddening and Cosmic Microwave Background Radiation Foregrounds, *Astrophysical Journal*, v. 500, n. 1, p. 525, June 1998
- [60] SHAPLEY, H.; SHAPLEY, M. B. Studies based on de colors and magnitudes in stellar clusters. XIV Further remarks on the structure of galaxy system, *Astrophysical Journal*, v. 50, p. 1075, 1919.
- [61] STETSON, P. B., Stellar Photometry Current Techniques and Future Developments, CP: Cambridge University Press, 1992.
- [62] SULENTIC, J. W.; TIFFT, W. G. , The Revised New General Catalogue of Nonstellar Astronomical Objects. Tucson: The University Arizona Press, 1973
- [63] TERLEVICH, E., Evolution of n-body open clusters, *Royal Astronomical Society, Monthly Notices*, v. 224, n. 1, p. 193-225, January 1987.
- [64] TUCHOLKE H. J.; de BOER K. S. ; SEITTER W. C. The Magellanic Catalogue of Stars (MACS), *The Astronomy and Astrophysics Supplements*,..., v. 119, n. 1, p. 91- 98, October 1996.
- [65] WEIDEMANN V.; JORDAN S.; IBEN I. Jr.; CASERTANO S. White dwarfs in the halo of the Hyades cluster: the case of the missing white dwarfs, *The Astronomical Journal*, , v. 104, n. 5, p. 1876-1891, November 1992.
- [66] WIELEN, R. The age distribution and total lifetimes of Galactic clusters. *Astronomy and Astrophysical*, v.13, p.309-322, 1971.