

Universidade de São Paulo  
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas  
Departamento de Astronomia

Rafael da Silva Cardoso Pinto

**Movimentos próprios em janelas de baixa  
extinção na direção do bojo Galáctico**

São Paulo

2018



Rafael da Silva Cardoso Pinto

# Movimentos próprios em janelas de baixa extinção na direção do bojo Galáctico

Dissertação apresentada ao Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências. Versão corrigida. O original encontra-se disponível na Unidade.

Área de Concentração: Astronomia

Orientador: Prof. Dr. Ramachrisna Teixeira

São Paulo

2018



*“A Estrada em frente vai seguindo  
Deixando a porta onde começa.  
Agora longe já vai indo,  
Devo seguir, nada me impeça;  
Em seu encalço vão meus pés,  
Até a junção com a grande estrada,  
De muitas sendas através.  
Que vem depois? Não sei mais nada.”*

Partida de Bilbo do Condado, A Sociedade do Anel

J. R. R. Tolkien



# Agradecimentos

Agradeço primeiramente à minha mãe e ao meu pai, pois sem seu apoio incondicional, teria sido bem mais difícil chegar até aqui. Somos o que somos, em grande parte, devido àqueles que nos criam, e disso não posso reclamar.

Devo muito ao meu orientador, Ramachrisna Teixeira, por tudo que me ensinou nesses anos de mestrado e durante a graduação, por acreditar em mim e também pela grande paciência que demonstra.

Sou grato ainda aos colegas do departamento de Astronomia, que me ajudaram tirando dúvidas e gentilmente disponibilizando seu tempo para colaborar com este trabalho, especialmente Laura Sampedro e Phillip Galli.

Agradeço também ao auxílio financeiro da CNPq, sem o qual este trabalho teria sido inviável.





*“O Cosmos é tudo o que existe, que existiu ou que existirá. Nossas contemplações mais despreziosas do Cosmos nos agitam - há um calafrio na espinha, uma perda de voz, uma sensação de vazio, como uma memória distante, da queda de uma grande altura. Sabemos que nos aproximamos do maior dos mistérios.”*

Carl Sagan

*“Para a maioria das gaviotas, não é voar o que importa, mas comer. Para essa gaviota, no entanto, não era comer que importava, mas voar.”*

Richard Bach



# Resumo

O objetivo inicial deste trabalho foi explorar os movimentos próprios do *Galactic Bulge Valinhos Observatory Catalog* (GBVOC), constituído a partir de observações meridianas CCD realizadas no Observatório Abrahão de Moraes - IAG/USP - Valinhos, no campo de 12 janelas de baixa extinção na direção do bojo Galáctico. Esses dados são explorados numa busca por aglomerados estelares, pares de estrelas com movimentos próprios comuns e objetos com grandes movimentos próprios. Durante uma análise detalhada desses movimentos próprios, observamos a existência de oscilações inesperadas em suas médias por janela ao longo da longitude galáctica, sem encontrarmos uma explicação convincente. Vimos que essas oscilações também estavam presentes em outros catálogos astrométricos e não eram coincidentes. Isso, juntamente com a publicação do primeiro *release* do Gaia (GDR1) em setembro de 2016, nos motivou a utilizar essas duas posições e as de outros catálogos independentes para determinar novos movimentos próprios. Pouco depois surgiu também o UCAC5, que utilizamos em uma média aritmética com aqueles que calculamos, eliminando assim as oscilações.

Na busca por aglomerados, encontramos apenas um objeto, o aglomerado aberto NGC 6253, que pôde ser estudado e caracterizado em termos de cinemática e de pertinência de membros. Nossos resultados estão de acordo com o que já havia na literatura.

Detectamos também um total de 244 pares de estrelas com movimentos próprios comuns, sendo que desses encontramos apenas um na literatura. Dois desses pares possuem movimentos próprios maiores  $150 \text{ mas/yr}$  e um deles apresenta uma diferença de temperaturas de  $\approx 13000 \text{ K}$  entre seus componentes.

Encontramos 34 estrelas com movimentos próprios acima de  $60 \text{ mas/yr}$ , que consideramos aqui como candidatas a estrelas da vizinhança solar.



# Abstract

The initial objective of this work was to explore the proper motions of the Galactic Bulge Valinhos Observatory Catalog (GBVOC), constituted of CCD meridian observations conducted at the Abrahão de Moraes Observatory - IAG/USP - Valinhos, in the field of 12 low extinction windows in the galactic bulge direction. We use this catalog to search for stellar clusters, pairs of stars with common proper motion and objects with high proper motions. During a detailed analysis of this proper motions, we observed the existence of unexpected oscillations in its means in each window, without finding any convincing explanation. We have also seen these oscillations in other astrometric catalogs, but with no correspondence. This fact, together with the publication of the first release of Gaia (GDR1) in September 2016, has motivated us to use these two positions and the ones of other independent catalogs to determine new proper motions. In addition, we used the proper motions from the UCAC5 catalog, that was released shortly after GDR1, to compute the arithmetic mean with those we have determined, eliminating the oscillations.

In the search for clusters, we have found only one object, the open cluster NGC 6253, that could be studied and characterized in terms of kinematics and membership pertinence. Our results are in accordance with the literature.

We have also detected a total of 244 pairs of stars with common proper motions, of which we have found only one in the literature. Two of them have proper motions greater than  $150 \text{ mas/yr}$  and one has a difference in temperature of  $\approx 13000 \text{ K}$  between its components.

We have found 34 stars with proper motions greater than  $60 \text{ mas/yr}$ , which we consider here to be nearby candidate members.



# Lista de Figuras

1.1	Fontes definidoras do ICRF e do ICRF2. . . . .	22
1.2	Posições das 31 janelas originais de Blanco (1988) e Blanco e Terndrup (1989), em coordenadas galácticas. As janelas indicadas com um quadrado são as que foram estudadas no GBVOC. Figura retirada de Dominici et al. (1999). . . . .	24
1.3	Posições das 12 janelas do catálogo GBVOC, em coordenadas galácticas, com as observações do DSS no óptico (Bonnarel et al., 1997) para localização.	25
1.4	Imagem da janela BE com os movimentos próprios sobrepostos. . . . .	26
2.1	Distribuições das magnitudes observadas. . . . .	29
2.2	Distribuição das temperaturas efetivas com três populações ajustadas. . . .	30
2.3	Distribuição dos movimentos próprios em ascensão reta, em declinação e total.	31
2.4	Diagrama de fase dos movimentos próprios do GBVOC. À esquerda, estão incluídas as barras de erro e, à direita uma ampliação, sem os erros. . . . .	32
2.5	Distribuição dos erros absolutos em movimento próprio em ascensão reta e declinação, e em módulo e direção de $\mu_{total}$ . . . . .	32
2.6	Erros nos movimentos próprios em ascensão reta e declinação em função da magnitude V. . . . .	33
2.7	Relação entre os erros nos movimentos próprios em ascensão reta e em declinação. . . . .	33
2.8	Movimentos próprios médios por janela, para as 9962 estrelas em comum entre GBVOC, PPMXL e UCAC4. . . . .	34
2.9	Histogramas das estrelas de referências Tycho-2 e das estrelas do GBVOC por janela. . . . .	35

2.10	Distribuição das estrelas de referência Tycho-2 na janela LI. . . . .	35
2.11	Distribuição das estrelas de referência Tycho-2 na janela LB. . . . .	35
2.12	Distribuição das estrelas de referência Tycho-2 na janela LR. . . . .	36
2.13	Distribuição das estrelas de referência Tycho-2 na janela LC. . . . .	36
3.1	Erros em ascensão reta e em declinação no Gaia-DR1 para todas as estrelas no campo e o filtro utilizado. . . . .	40
3.2	Erro total em posição, para as estrelas em comum, nos catálogos utilizados no cálculo dos novos movimentos próprios. . . . .	41
3.3	Erros em posição, por janela, no SPM4-URAT1 e no GBVOC. . . . .	43
3.4	Erros em posição, por janela, no GaiaDR1 e no 2MASS. . . . .	43
3.5	Comparação dos movimentos próprios médios por janela entre o GBVOC original e os ajustes MMQ. . . . .	44
3.6	Distribuição dos movimentos próprios em ascensão reta, declinação e total do GBVOC2. . . . .	45
3.7	Distribuição dos erros absolutos nos movimentos próprios em ascensão reta e declinação, seus módulos e direções no GBVOC2. . . . .	46
3.8	Movimentos próprios do GBVOC2 em ascensão reta e declinação, e seus erros, em função da magnitude V. . . . .	47
3.9	Diagramas de fase de movimentos próprio para a janela LB no GBVOC original e no GBVOC2. . . . .	47
3.10	Comparação dos movimentos próprios médios por janela entre o GBVOC original e o GBVOC2. . . . .	48
4.1	Exemplo de imagem CCD, da janela LC, do catálogo GBVOC. . . . .	50
4.2	Aglomerado globular NGC 6558 na imagem CCD da janela BE do GBVOC. . . . .	51
4.3	Aglomerado aberto NGC 6253 na imagem CCD da janela LA do GBVOC. . . . .	51
4.4	Mapa de densidade em posição da janela BE. . . . .	51
4.5	Mapa de densidade em posição da janela LA. . . . .	52
4.6	Mapa de densidade em posição da janela LR. . . . .	52
4.7	Mapa de densidade em movimento próprio da janela BE. . . . .	53
4.8	Mapa de densidade em movimento próprio da janela LA. . . . .	53
4.9	Mapa de densidade em movimento próprio da janela LR. . . . .	54



4.10	Região ao redor de NGC 6253 expandida para além da janela LA (em vermelho). A região em verde é a parte do catálogo de Montalto et al. (2009) que utilizamos. . . . .	55
4.11	Perfil de densidade radial de NGC 6253, com dados do Gaia-DR1. . . . .	57
4.12	Erros nos novos movimentos próprios da região ao redor do NGC 6253 em função da magnitude V. . . . .	57
4.13	Ajuste de pertinência do NGC 2682, com médias próximas ( $\Delta\mu = 6.1 \text{ mas/ano}$ ). . . . .	60
4.14	Intersecção das estrelas membros do NGC 2682 para este trabalho e para Dias et al. (2014). . . . .	61
4.15	Ajuste de pertinência do NGC 6840, com médias distantes ( $\Delta\mu = 29.5 \text{ mas/ano}$ ). . . . .	62
4.16	Intersecção das estrelas membros do NGC 6840 para este trabalho e para Dias et al. (2014). . . . .	62
4.17	Ajuste de pertinência da amostra do NGC 6253. . . . .	63
4.18	Vetores dos movimentos próprios e posições dos prováveis membros do aglomerado e as estrelas de campo. . . . .	64
4.19	Intersecção entre os nossos resultados e os de Montalto et al. (2009) e comparação das probabilidades. . . . .	65
4.20	Comparação entre os cortes em probabilidade. . . . .	66
4.21	Diagrama cor-magnitude para as estrelas do NGC 6253 com os resultados deste trabalho (esquerda) e da referência Montalto et al. (2009) (direita). . . . .	66
5.1	Esquema das velocidades tangenciais de um sistema binário com órbitas circulares e <i>face on</i> . . . . .	71
5.2	Diferença entre os movimentos próprios que seriam medidos para cada estrela como função da distância, para quatro valores diferentes de separação linear. . . . .	72
5.3	Pares com movimentos próprios comuns na janela LA. Aqui, um dos componentes do maior par encontrado (em verde) está com o movimento próprio cortado pela borda direita da figura, devido à escala que utilizamos. . . . .	74
5.4	Pares com movimentos próprios comuns na janela LR. . . . .	74
5.5	Pares com movimentos próprios comuns na janela LU. Nesta janela também o maior par ficou cortado pela borda inferior da figura. . . . .	75

5.6	Distribuição dos pares no espaço de fase $\Delta\mu \times \Delta\theta$ , histograma das separações angulares e $\Delta\mu$ em função do movimento próprio médio. . . . .	75
5.7	Histograma das diferenças entre as temperaturas efetivas das componentes dos pares. . . . .	77
6.1	Distribuição das estrelas de grande movimento próprio nas janelas do GBVOC2-estendido. . . . .	80
6.2	Comparação entre os mapas de densidade nos diagramas HR (esquerda) e cor-RPM (direita), com os dados do catálogo Hipparcos, destacando os grandes movimentos próprios (verde). . . . .	82
6.3	Mapa de densidade no diagrama $T_{eff}-RPM$ (esquerda), com os dados deste trabalho, destacando os grandes movimentos próprios (verde), e a relação desses movimentos próprios com a magnitude V (direita). . . . .	82
A.1	Pares com movimentos próprios comuns na janela LA. . . . .	95
A.2	Pares com movimentos próprios comuns na janela LB. . . . .	95
A.3	Pares com movimentos próprios comuns na janela LC. . . . .	96
A.4	Pares com movimentos próprios comuns na janela LD. . . . .	96
A.5	Pares com movimentos próprios comuns na janela LI. . . . .	96
A.6	Pares com movimentos próprios comuns na janela BG. . . . .	97
A.7	Pares com movimentos próprios comuns na janela BE. . . . .	97
A.8	Pares com movimentos próprios comuns na janela BJ. . . . .	97
A.9	Pares com movimentos próprios comuns na janela LR. . . . .	98
A.10	Pares com movimentos próprios comuns na janela LT. . . . .	98
A.11	Pares com movimentos próprios comuns na janela LU. . . . .	98
A.12	Pares com movimentos próprios comuns na janela LV. . . . .	99

# Lista de Tabelas

1.1	Coordenadas equatoriais e galácticas das 12 janelas utilizadas na produção do GBVOC. A coluna $n$ representa a numeração original das janelas. . . .	25
3.1	Comparação dos filtros fotométricos, limites de magnitude e número de estrelas selecionadas em cada catálogo. . . . .	40
3.2	Erros médios em posição por janela no SPM4-URAT1 em cada coordenada, utilizados como pesos nos ajustes MMQ. Apenas as janelas LU e LV vem do URAT1. . . . .	43
4.1	Limites de magnitude e número de estrelas selecionadas em cada catálogo para esta região. . . . .	56
4.2	Comparação entre nossos resultados a partir dos dados de Dias et al. (2014) e os resultados desta referência para o aglomerado NGC 2682. . . . .	60
4.3	Comparação entre nossos resultados a partir dos dados de Dias et al. (2014) e os resultados desta referência para o aglomerado NGC 6840. . . . .	62
6.1	Dados de posições na época 2000.0 (em $^{\circ}$ ), movimentos próprios (em $mas/ano$ ), magnitudes (em $mag$ ) e temperaturas efetivas (em $K$ ) das 34 estrelas do GBVOC2-estendido com $\mu > 59.5 mas/ano$ , onde $ID$ é uma identificação interna para os grandes movimentos próprios. Fornecemos também o tipo spectral dessas estrelas (Kenyon e Hartmann, 1995). . . . .	84
B.1	Janela LA . . . . .	101
B.2	Janela LB . . . . .	103
B.3	Janela LC . . . . .	104

B.4	Janela LD	106
B.5	Janela LI	107
B.6	Janela BE	109
B.7	Janela BG	111
B.8	Janela LR	113
B.9	Janela LT	115
B.10	Janela BJ	116
B.11	Janela LU	117
B.12	Janela LV	118

# Sumário

1. <i>Introdução</i> . . . . .	21
2. <i>Galactic Bulge Valinhos Observatory Catalog (GBVOC)</i> . . . . .	29
2.1 Panorama geral . . . . .	29
2.1.1 Completeza da amostra . . . . .	29
2.1.2 Temperaturas efetivas . . . . .	30
2.1.3 Movimentos próprios . . . . .	30
2.1.4 Erros nos movimentos próprios . . . . .	31
2.1.5 Comparação com outros catálogos astrométricos . . . . .	34
3. <i>Determinação de novos movimentos próprios</i> . . . . .	39
3.1 Metodologia . . . . .	39
3.1.1 Identificação cruzada dos catálogos . . . . .	39
3.1.2 Cálculo dos movimentos próprios . . . . .	42
3.1.3 GBVOC2 . . . . .	44
3.2 Análise dos movimentos próprios do GBVOC2 . . . . .	45
4. <i>Aglomerados</i> . . . . .	49
4.1 Busca por aglomerados nas janelas . . . . .	49
4.2 Análise de pertinência . . . . .	54
4.2.1 Preparação da amostra . . . . .	54
4.2.2 Modelo bidimensional . . . . .	57
4.2.3 Validação do método . . . . .	59
4.3 Estudo do aglomerado NGC 6253 (Janela LA) . . . . .	63

5. <i>Pares de estrelas com movimentos próprios comuns</i> . . . . .	69
5.1 Sistemas Binários . . . . .	69
5.2 Caso particular de um sistema binário . . . . .	70
5.3 GBVOC2-estendido . . . . .	72
5.4 Movimentos próprios comuns . . . . .	73
6. <i>Grandes movimentos próprios</i> . . . . .	79
7. <i>Conclusões</i> . . . . .	85
<i>Referências</i> . . . . .	87
<i>Apêndice</i> . . . . .	93
A. <i>Figuras dos pares por janela</i> . . . . .	95
B. <i>Tabelas dos pares por janela</i> . . . . .	101

## Introdução

Embora a Astronomia seja uma ciência essencialmente observacional, ela se baseia em grandezas que nem sempre podem ser medidas diretamente, e mesmo quando isto é possível, em geral, as circunstâncias são muito desfavoráveis. Basicamente, em uma imagem astronômica, só podemos medir duas grandezas: fluxo (brilho) e direção (posição na esfera celeste). A informação contida na luz de uma estrela pode sofrer vários tipos de interferência em seu caminho até nós, desde absorção no meio interestelar, passando pela atmosfera da Terra, até efeitos do próprio instrumento. Ao longo da história, o ser humano tem se dedicado em minimizar esses efeitos, utilizando inovações tecnológicas e modelos cada vez mais realistas, aumentando assim as precisões dessas medidas.

A partir do brilho e da posição de uma estrela, podemos derivar várias outras grandezas de relevância no estudo dos astros. Uma delas é o movimento próprio, que é a variação temporal da posição do objeto na esfera celeste, em relação a um sistema de referência aceito como inercial.

Por sistema de referência inercial devemos entender um sistema de referência o mais próximo possível de um inercial. Essa busca pela inercialidade tem sido um capítulo essencial e sempre presente nas pesquisas astronômicas. Ao longo do tempo, os sistemas de referência adotados internacionalmente, basearam-se em observações astrométricas ditas fundamentais, onde as posições dos objetos de referência, que naquele momento eram estrelas, eram determinadas de forma absoluta. Em outras palavras, eram determinadas independentemente do conhecimento prévio de posições de estrelas de referência.

Atualmente, o sistema de referência adotado pela *União Astronômica Internacional* (UAI), em 1998, é o *International Celestial Reference System* - ICRS (Arias et al., 1995). Sua primeira versão era materializada pelo *International Celestial Reference Frame* - ICRF

(Ma et al., 1998), definido pela astrometria de extrema precisão (erros menores que  $1.4 \text{ mas}$  em cada coordenada) de 212 radio-fontes extragalácticas compactas chamadas *definidoras*, de um total de 608, observadas em *Very Long Baseline Interferometry* - VLBI. Por fontes definidoras devemos entender aquelas fontes “bem comportadas” e com histórico observacional muito bom. A estabilidade axial desse sistema era de  $20 \mu\text{as}$ , já consideravelmente melhor que o que se tinha com os sistemas de referência fundamentais. Porém, a densidade média de suas fontes definidoras era muito baixa, em torno de  $0.005 \text{ fonte/grau}^2$ . Além disso, encontravam-se muito mal distribuídas pelo céu, a maior parte se concentrava no hemisfério norte. Mais recentemente foi realizada uma atualização resultando no ICRF2 (Boboltz et al., 2010), constituído por 295 fontes definidoras, de um total de 3414. Neste caso, as posições foram obtidas com precisão de  $0.3 \text{ mas}$ . Esta mais recente realização do ICRS possui uma estabilidade axial de  $10 \mu\text{as}$  e uma densidade média de  $0.007 \text{ fonte/grau}^2$ , um pouco maior que a anterior e com uma distribuição mais homogênea nos dois hemisférios da esfera celeste, como vemos na Figura 1.1. Entretanto, devido à ainda baixíssima densidade de pontos de referência, esse sistema não é nada acessível e, portanto, tem que ser materializado por catálogos secundários, de base estelar, muito mais densos e com posições na banda visível onde ainda se faz a maior parte da Astronomia.

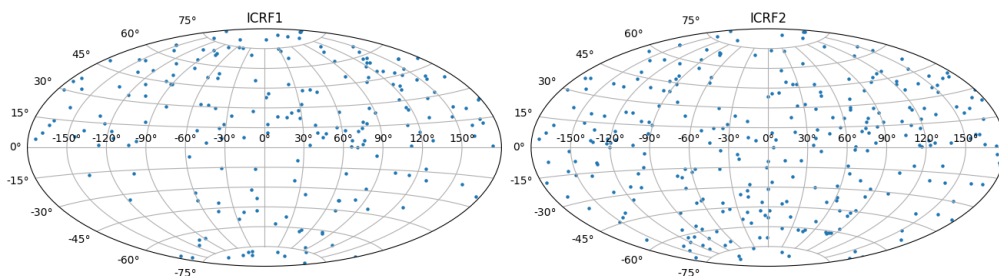


Figura 1.1: Fontes definidoras do ICRF e do ICRF2.

Na faixa do visível, a primeira e principal materialização do ICRS é o catálogo *HIPPARCOS - High Precision Parallax Collecting Satellite* (Perryman et al., 1997), que fornece boas posições, movimentos próprios anuais e paralaxes para aproximadamente 120 mil estrelas mais brilhantes que  $V \approx 10 \text{ mag}$ , com erros médios de posição em torno de  $1 \text{ mas}$ . Entretanto, este ainda é um número extremamente baixo para tornar o referencial acessível à Astronomia de pequenos ângulos, com uma densidade média de apenas  $3 \text{ estrelas/grau}^2$ . Dessa forma, outros catálogos astrométricos foram e ainda são utiliza-



dos com este propósito.

O catálogo Tycho-2 (Høg et al., 2000), com mais de 2 milhões de estrelas com erros médios em posição e movimentos próprios de respectivamente  $60 \text{ mas}$  e  $2.5 \text{ mas/ano}$ , tornou-se fundamental na determinação de posições relativas ao ICRS. Embora não seja muito denso, e ainda seja restrito a estrelas mais brilhantes que  $V \approx 11.5 \text{ mag}$ , tem uma precisão muito melhor que a dos grandes catálogos astrométricos e é mais confiável. Como exemplos de catálogos densos, podemos citar o UCAC4 (Zacharias et al., 2013), com  $\approx 105$  milhões de estrelas, sendo completo até magnitude  $R = 16$  e tendo uma densidade média de  $2545 \text{ estrelas/grau}^2$ , e o PPMXL (Roeser et al., 2010), que possui  $\approx 900$  milhões de estrelas até magnitude  $V \approx 20 \text{ mag}$  e densidade de  $21817 \text{ estrelas/grau}^2$ . Deve-se ressaltar que a materialização de um sistema de referência por catálogos secundários acarreta uma perda em precisão. No caso desses grandes catálogos, esta perda é ainda muito maior por serem intrinsecamente menos precisos que os catálogos Tycho-2 e HIPPARCOS e, devido aos erros nos movimentos próprios.

A materialização de um sistema de referência de base estelar, em determinada época, é fortemente dependente dos erros nos movimentos próprios, que acabam se propagando e, de certa forma, materializando sistemas diferentes, dependendo da época. Em outras palavras, nos afastam de um sistema inercial. Por outro lado, nos grandes catálogos com muitos milhões de estrelas, embora globalmente as precisões nos movimentos próprios possam ser consideradas boas, pontualmente elas podem ser muito ruins, incluindo até movimentos falsos, vindos de identificações cruzadas incorretas (Teixeira et al., 2014). Nesses casos, além do problema na materialização do sistema de referência, temos também dificuldade em utilizar esses movimentos próprios em trabalhos locais, que dependem muito da qualidade desses dados como, por exemplo, estudos de pertinência em aglomerados.

Diante desse contexto, e seguindo orientação da UAI (24<sup>a</sup> Assembléia Geral - Manchester, 2000 - “*Densification of reference frame*”), surgiu o catálogo astrométrico *Galactic Bulge Valinhos Observatory Catalog* - GBVOC (Teixeira et al., 2011), cujo principal objetivo foi densificar o ICRF na faixa do óptico em uma região do céu de particular interesse: ao longo de 12 janelas de baixa extinção na direção do bojo galáctico (Dominici et al., 1999). Trata-se de uma possibilidade ímpar de acessar o bojo no visível. Por sua característica artesanal, em contraste com aqueles trabalhos completamente automáticos dos grandes catálogos astrométricos, pelo controle total do processo de redução, pelos filtros impostos

e pela qualidade das observações meridianas CCD (Viateau et al., 1999), as posições e movimentos próprios do GBVOC mostravam um grau superior de homogeneidade, qualidade e confiabilidade em relação ao que existia de melhor na época: catálogo UCAC3 (Zacharias et al., 2010).

O *Galactic Bulge Valinhos Observatory Catalog* contém um total de 11354 estrelas, com magnitude limite de  $V = 16.2 \text{ mag}$ . Cada janela de baixa extinção tem dimensão aproximada de  $20' \times 20'$ , embora o catálogo seja mais abrangente em campos de 5 *minutos* em ascensão reta por  $14'$  em declinação. Essas 12 janelas (Figura 1.3 e Tabela 1.1) foram extraídas dos trabalhos de Blanco (1988) e Blanco e Terndrup (1989) por Dominici et al. (1999) para o estudo de estrelas variáveis. Nos trabalhos originais, são selecionadas um total de 31 janelas, sendo que aquelas cujos nomes começam por *L* estão distribuídas em longitude galáctica, com  $b \approx -6^\circ$ , enquanto que as que tem um *B* se distribuem em latitude galáctica com  $l \approx 0^\circ$ , como mostra a Figura 1.2.

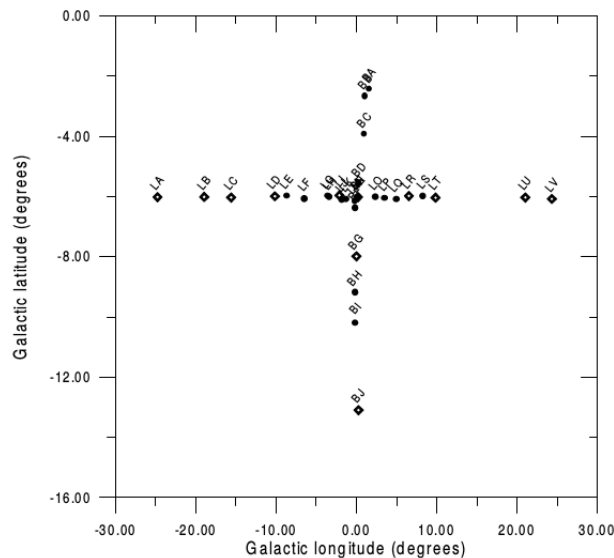


Figura 1.2: Posições das 31 janelas originais de Blanco (1988) e Blanco e Terndrup (1989), em coordenadas galácticas. As janelas indicadas com um quadrado são as que foram estudadas no GBVOC. Figura retirada de Dominici et al. (1999).

A partir dos dados astrométricos e fotométricos dessas 12 janelas foi então produzido o catálogo GBVOC, aproveitando-se a quantidade e a qualidade dessas observações. Estão incluídos também dados de magnitudes aparentes na banda V observada com o círculo meridiano CCD e nas bandas J, H e K, vindas do catálogo 2MASS (Skrutskie et al., 2006). São também fornecidas as temperaturas efetivas dessas estrelas.

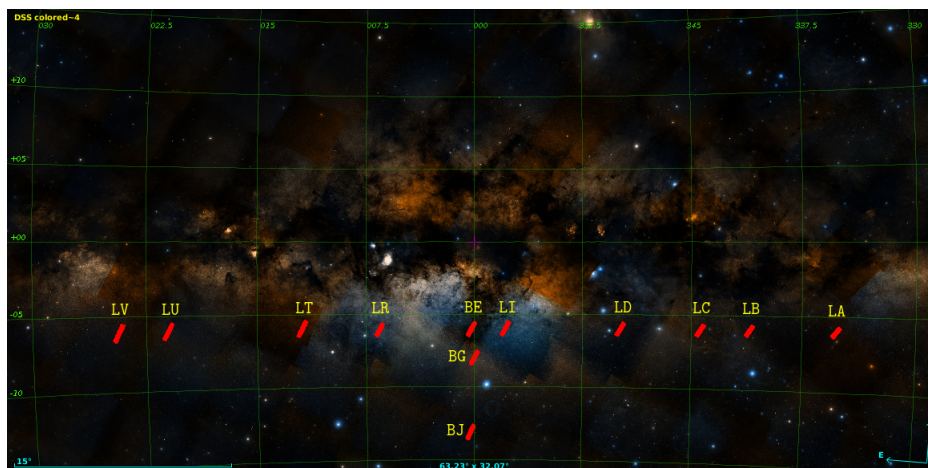


Figura 1.3: Posições das 12 janelas do catálogo GBVOC, em coordenadas galácticas, com as observações do DSS no óptico (Bonnarel et al., 1997) para localização.

Tabela 1.1 - Coordenadas equatoriais e galácticas das 12 janelas utilizadas na produção do GBVOC. A coluna  $n$  representa a numeração original das janelas.

Janela	$n$	$\alpha$ ( $J2000$ )	$\delta$ ( $J2000$ )	$b$ ( $^\circ$ )	$l$ ( $^\circ$ )
BE	5	18 10 17	-31 45 49	-6.02	0.20
BG	7	18 18 6	-32 51 24	-7.99	0.00
BJ	10	18 40 49	-34 49 48	-13.10	0.27
LA	11	16 56 57	-52 44 53	-6.02	-24.77
LB	12	17 18 27	-48 5 40	-6.01	-18.96
LC	13	17 29 22	-45 20 5	-6.03	-15.61
LD	14	17 44 59	-40 41 37	-5.99	-10.14
LI	19	18 4 48	-33 47 46	-5.96	-2.11
LR	27	18 23 32	-26 10 16	-5.98	6.54
LT	29	18 34 9	-21 23 35	-6.04	11.92
LU	30	18 51 26	-13 18 41	-6.03	21.04
LV	31	18 57 37	-10 23 35	-6.08	24.35

Trata-se de um catálogo extremamente denso, com aproximadamente  $3500 \text{ estrelas/grau}^2$ . As precisões interna e externa dos movimentos próprios são de  $4.0 \text{ mas/ano}$  e  $5.5 \text{ mas/ano}$ , respectivamente. Todas as observações foram realizadas com o Círculo Meridiano CCD do Observatório Abrahão de Moraes - IAG/USP, entre 1996 e 2010, sendo que cada estrela tem no mínimo 6 épocas de observação e 10 anos de linha de base. As posições e movimentos próprios referem-se ao ICRS como materializado pelo catálogo Tycho2. Na Figura 1.4 vemos o exemplo da janela BE com os movimentos próprios sobre a imagem CCD observada.

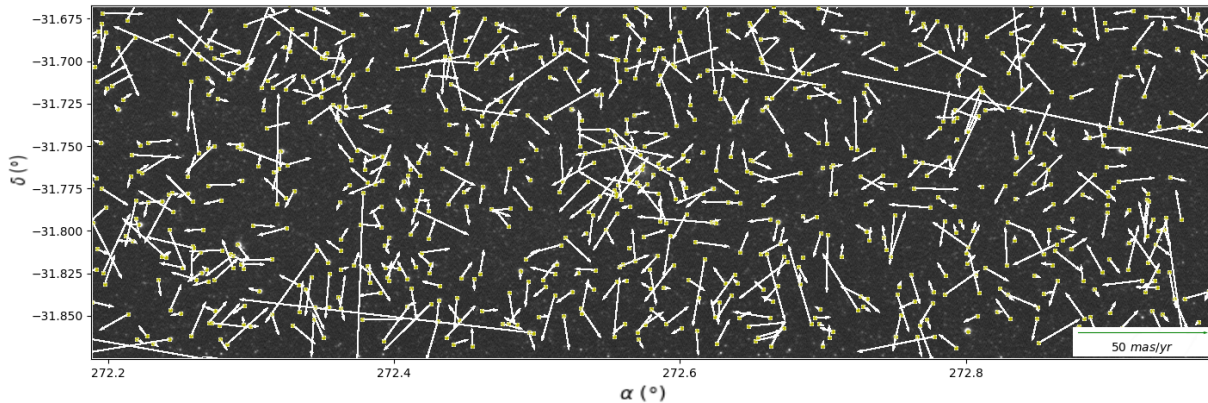


Figura 1.4: Imagem da janela BE com os movimentos próprios sobrepostos.

Neste trabalho de mestrado, visamos explorar os dados de movimentos próprios do GBVOC no estudo dessa região do céu e, também, introduzir o aluno em um contexto bastante amplo de exploração de dados astrométricos, associados ou não a outros tipos de dados observacionais, preparando-o para um futuro próximo que certamente será pautado pelos dados da missão espacial Gaia (Lindegren et al., 2016). O GBVOC tem densidade relativamente alta, o que também permitiu ao estudante antecipar algumas das dificuldades que os usuários do catálogo Gaia certamente encontrarão já no segundo *release* Gaia-DR2, previsto para abril de 2018.

Inicialmente, procedemos a uma análise bastante detalhada dos dados astrométricos do GBVOC, tanto com o objetivo de adquirir uma maior familiarização com o catálogo e com dados astrométricos em geral, quanto o de melhor estimar seu potencial, diante de uma nova perspectiva da astrometria, tendo em vista as observações Gaia (Prusti et al., 2016). O satélite Gaia foi lançado no final de 2013 e as observações científicas tiveram início em meados do ano seguinte. Em setembro de 2016, tivemos a publicação do primeiro *data release* do Gaia, o GDR1 (Brown et al., 2016), com posições e magnitudes para mais de 1 bilhão de estrelas.

Nessa análise do GBVOC, melhor discutida no Capítulo 2, evidenciamos algumas oscilações nos movimentos próprios médios por janela (Figura 2.8) sem, no entanto, encontrarmos uma explicação. Curiosamente, outros catálogos astrométricos, PPMXL e UCAC4, também apresentam oscilações, porém não coincidentes (Figuras 2.8).

Em meio a essa dúvida com relação à origem dessas oscilações, tínhamos uma certeza: era necessário e possível melhorar e tornar mais confiáveis os movimentos próprios do GB-

VOC para a exploração científica pretendida neste trabalho de mestrado, principalmente, no que diz respeito à detecção de aglomerados e ao estudo de pertinência.

Dessa forma, como descrito no Capítulo 3, iniciamos o cálculo de novos movimentos próprios combinando as posições do GBVOC com as excelentes posições Gaia, publicadas no primeiro *data release* para a época 2015, além daquelas disponíveis em vários outros catálogos independentes: 2MASS, SPM4 (Girard et al., 2011) e URAT1 (Zacharias et al., 2015).

Naturalmente, outros colegas no mundo todo igualmente aproveitaram os dados do GDR1 para determinar movimentos próprios. Um dos principais catálogos publicados nesse período foi o UCAC5 (Zacharias et al., 2017), que utiliza os movimentos próprios e posições do TGAS (Michalik et al., 2015) para fazer uma nova redução dos dados do UCAC, e as posições do GDR1 para calcular novos movimentos próprios para as  $\approx 107$  milhões de estrelas em comum.

Diante dessa realidade, na busca por aglomerados e *moving groups*, onde a qualidade dos movimentos próprios é fundamental, trabalhamos com a média aritmética simples dos movimentos próprios resultantes dos nossos ajustes de mínimos quadrados com aqueles do UCAC5, constituindo o catálogo que chamamos GBVOC2. Houve, é claro, uma perda de estrelas uma vez que o conteúdo desses catálogos não são totalmente comuns. Entretanto, como veremos, houve um ganho importante na qualidade dos movimentos próprios. Esse procedimento eliminou as oscilações que tínhamos nos movimentos médios por janela.

Por outro lado, nos demais estudos que realizamos, grandes movimentos próprios e pares de estrelas com movimentos próprios comuns, decidimos ampliar o GBVOC2 com a inclusão das estrelas com grandes movimentos próprios presentes no GBVOC original (GBVOC2-estendido).

O procedimento que acabamos de descrever é apresentado e discutido com mais detalhe no corpo dessa dissertação.



## Galactic Bulge Valinhos Observatory Catalog (GBVOC)

### 2.1 Panorama geral

#### 2.1.1 Completeza da amostra

O *Galactic Bulge Valinhos Observatory Catalog* (GBVOC original) contém um total de 11 354 estrelas, com magnitudes aparentes na banda V até o limite de 16.2, sendo completo até  $V = 15.3 \text{ mag}$  (Figura 2.1). A palavra completeza aqui não é exata, pois as estrelas de baixas magnitudes  $V < 8 \text{ mag}$  não aparecem no catálogo. O limite superior de  $V = 16.2 \text{ mag}$  indica que apenas uma pequena parte das estrelas deste catálogo talvez façam parte do bojo galáctico. A maior parte deve ser composta de estrelas mais próximas, no disco, ainda que na direção do bojo. O catálogo também possui dados de magnitudes aparentes nas bandas J, H e K, extraídas do catálogo 2MASS, até os limites de  $J = 14.9 \text{ mag}$ ,  $H = 14.8 \text{ mag}$  e  $K = 14.8 \text{ mag}$ .

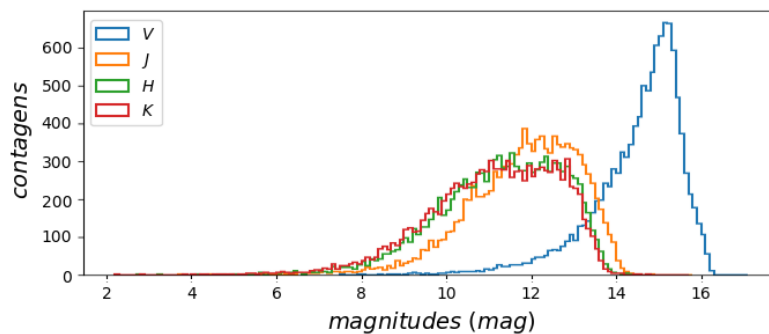


Figura 2.1: Distribuições das magnitudes observadas.

### 2.1.2 Temperaturas efetivas

As temperaturas efetivas das estrelas do GBVOC original foram calculadas através de uma calibração por cores baseada nos dados de Worthey e Lee (2011). A partir do histograma dessas temperaturas (Figura 2.2), para todo o catálogo, realizamos um ajuste de três gaussianas, resultando nos valores médios de  $3393\text{ K}$ ,  $4262\text{ K}$  e  $5595\text{ K}$ , com dispersões de  $219\text{ K}$ ,  $499\text{ K}$  e  $429\text{ K}$ , respectivamente. Essa distribuição é também observada nas janelas individuais e sugere a existência de pelo menos três populações estelares distintas no campo do GBVOC. Essas temperaturas vão de  $1913\text{ K}$  até  $44000\text{ K}$ , sendo que este extremo superior encontra-se bastante isolado da distribuição geral. Apesar de não termos uma explicação satisfatória, essa distribuição não nos surpreende, uma vez que as estrelas do tipo M ( $2300\text{ a }3900\text{ K}$ ) são as mais abundantemente encontradas, enquanto que do tipo solar ( $T_{eff} = 5800\text{ K}$ ) também são bastante comuns.

No Capítulo 6 apresentamos uma análise mais detalhada dessas populações levando em conta também os movimentos próprios reduzidos.

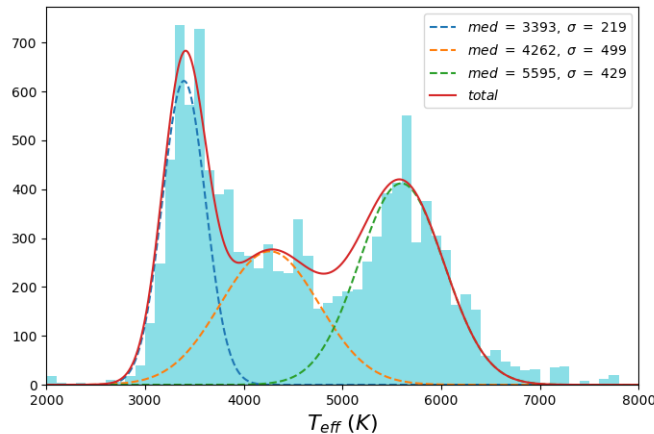


Figura 2.2: Distribuição das temperaturas efetivas com três populações ajustadas.

### 2.1.3 Movimentos próprios

Os movimentos próprios do GBVOC seguem distribuições gaussianas, com médias de  $-0.1\text{ mas/ano}$  e  $-3.4\text{ mas/ano}$ , e dispersões de  $10.2\text{ mas/ano}$  e  $10.7\text{ mas/ano}$ , em ascensão reta e declinação, respectivamente. Na Figura 2.3 pode-se ver ainda, a distribuição do movimento próprio total e do ângulo de posição, que é o ângulo entre o meridiano que passa pelo objeto e o vetor movimento próprio, contado no sentido horário quando visto



de fora da esfera celeste. A grande maioria dos movimentos está abaixo de  $50 \text{ mas/ano}$ , mas existem alguns objetos que ultrapassam  $200 \text{ mas/ano}$ .

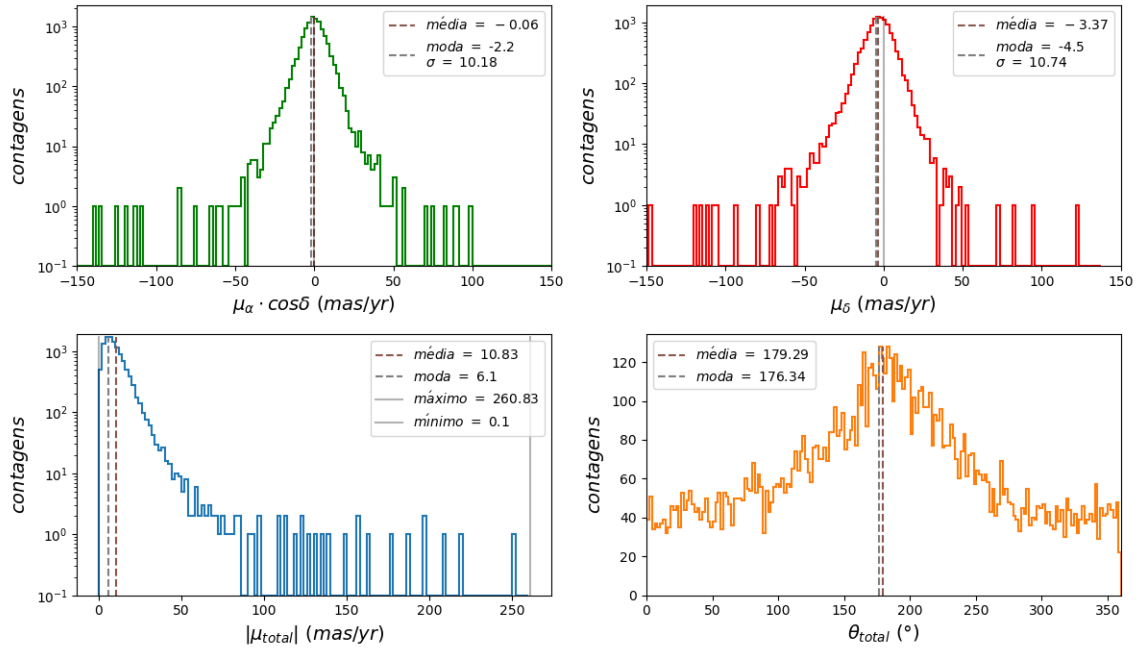


Figura 2.3: Distribuição dos movimentos próprios em ascensão reta, em declinação e total.

Na Figura 2.4 pode-se ver que a distribuição desses movimentos próprios no diagrama de fase é aproximadamente simétrica, tanto na escala geral, quanto em escalas menores. Isto significa que os erros nos movimentos próprios são essencialmente aleatórios. A pequena assimetria que vemos em relação ao zero em declinação se deve provavelmente ao movimento reflexo do Sol (contribuição do movimento solar ao movimento próprio medido).

#### 2.1.4 Erros nos movimentos próprios

Os erros em movimento próprio vão de  $0.6 \text{ mas/ano}$  a  $17.3 \text{ mas/ano}$ , com média em  $4.0 \text{ mas/ano}$ , em ascensão reta e de  $0.7 \text{ mas/ano}$  a  $18.8 \text{ mas/ano}$ , com média em  $4.3 \text{ mas/ano}$  em declinação. Em  $|\mu_{total}|$  e  $\theta_{\mu_{total}}$ , os erros vão de  $0.7 \text{ mas/ano}$  a  $18.0 \text{ mas/ano}$ , com média em  $4.0 \text{ mas/ano}$ , e de  $1^\circ$  a  $159^\circ$ , com média em  $50^\circ$ , respectivamente (Figura 2.5).

Vemos na Figura 2.6 que para algumas poucas estrelas, das mais brilhantes,  $V < 8.5 \text{ mag}$ , temos erros relativamente grandes. Isto se deve ao fato de que nesses casos quase sempre trabalhamos com imagens saturadas. Vemos também que o intervalo  $9 \text{ mag} < V <$

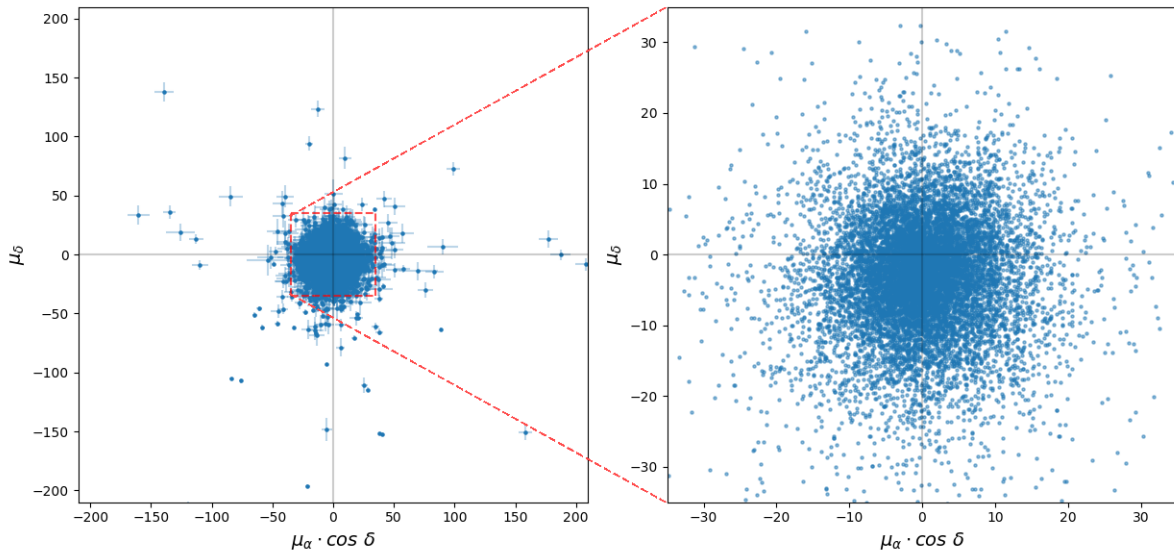


Figura 2.4: Diagrama de fase dos movimentos próprios do GBVOC. À esquerda, estão incluídas as barras de erro e, à direita uma ampliação, sem os erros.

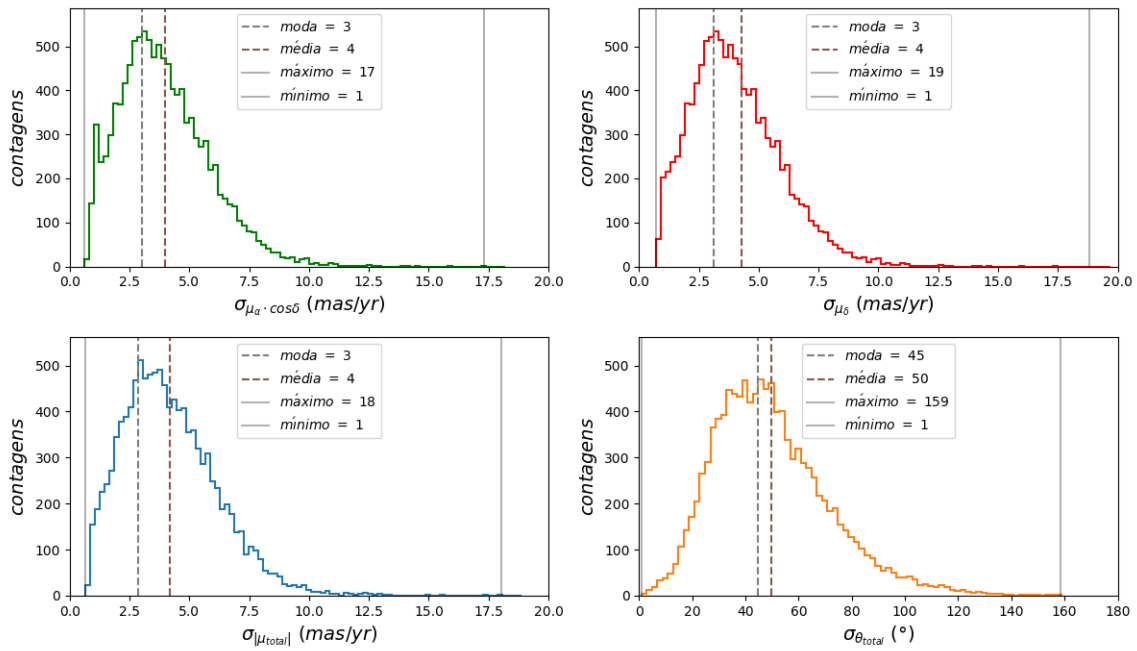


Figura 2.5: Distribuição dos erros absolutos em movimento próprio em ascensão reta e declinação, e em módulo e direção de  $\mu_{total}$ .

14 mag corresponde às melhores precisões. Podemos perceber que a partir de  $V \approx 14 mag$  a precisão vai se deteriorando cada vez mais à medida que nos aproximamos do limite de detecção do instrumento. Este maior erro em posição conduz também a um maior erro nos movimentos próprios.

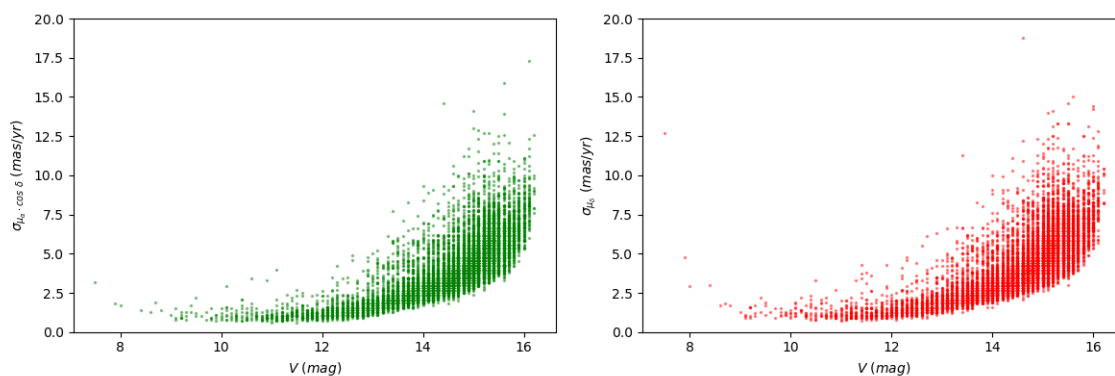


Figura 2.6: Erros nos movimentos próprios em ascensão reta e declinação em função da magnitude  $V$ .

Na Figura 2.7 pode-se ver que os erros nas componentes dos movimentos próprios são aproximadamente simétricos, apenas com uma pequena tendência dos erros em  $\mu_\delta$  serem maiores que em  $\mu_\alpha \cdot \cos \delta$ . Essa ligeira diferença pode ser consequência de uma melhor determinação da escala em ascensão reta do que em declinação, já que esses campos tem uma extensão em ascensão reta de aproximadamente  $75'$  contra  $14'$  em declinação.

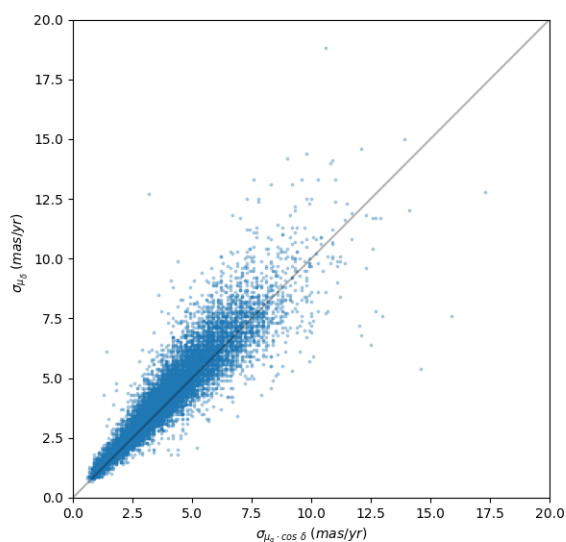


Figura 2.7: Relação entre os erros nos movimentos próprios em ascensão reta e em declinação.

### 2.1.5 Comparação com outros catálogos astrométricos

Para avaliar a qualidade e a homogeneidade dos movimentos próprios do GBVOC original, realizamos primeiramente uma comparação com os catálogos astrométricos PPMXL e UCAC4, utilizando as médias dos movimentos em coordenadas galácticas, por janela, em cada catálogo em função da longitude galáctica. Esta análise, mostrada na Figura 2.8, revelou a existência de oscilações um tanto quanto inesperadas nos movimentos próprios médios do GBVOC em algumas janelas, especialmente na LB em longitude e na LI em latitude galáctica. Esta comparação nos mostra que existem oscilações também no PPMXL e no UCAC4, e que o comportamento das três curvas não é coincidente, o que sugere que elas não representam uma oscilação real nos movimentos próprios. Poderíamos ainda induzir que essas diferenças nas médias sejam devidas aos erros nos movimentos próprios em cada catálogo.

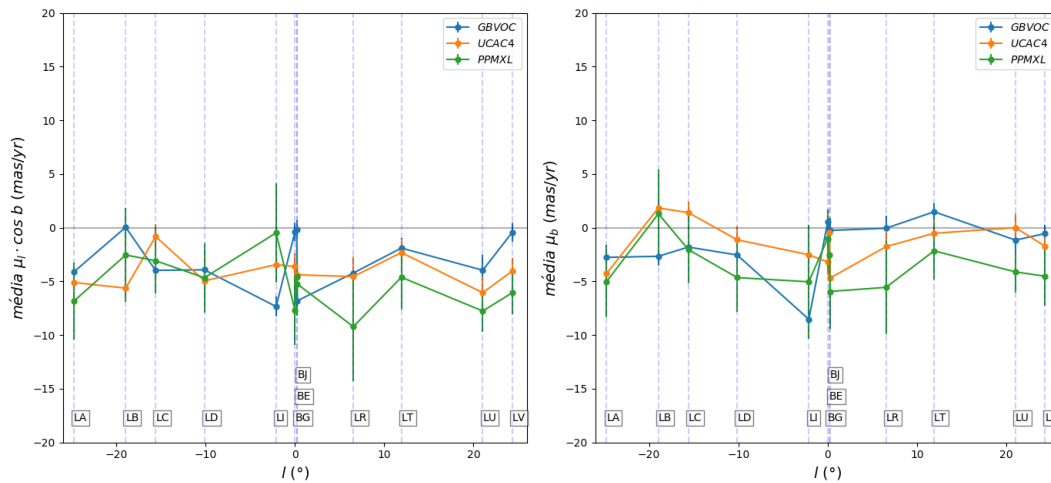


Figura 2.8: Movimentos próprios médios por janela, para as 9962 estrelas em comum entre GBVOC, PPMXL e UCAC4.

No caso da janela LI podemos pensar que esse comportamento se deva ao baixo número de estrelas de referência Tycho-2 nessa região (apenas 14 objetos), o que pode ter prejudicado a redução desses dados, como mostra a Figura 2.9. Além disso, outro fator que pode ter influenciado na confiabilidades desses dados é a distribuição dessas estrelas de referência em cada janela. Nas duas janelas que apresentam saltos, LI e LB, vemos que as estrelas de referência, além de escassas, estão distribuídas de maneira não uniforme (Figuras 2.10 e 2.11). O contrário acontece nas outras janelas, como por exemplo a LR (Figura

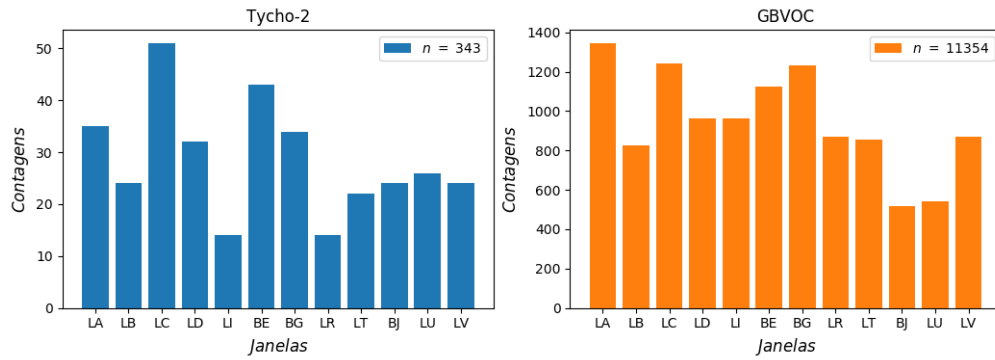


Figura 2.9: Histogramas das estrelas de referências Tycho-2 e das estrelas do GBVOC por janela.

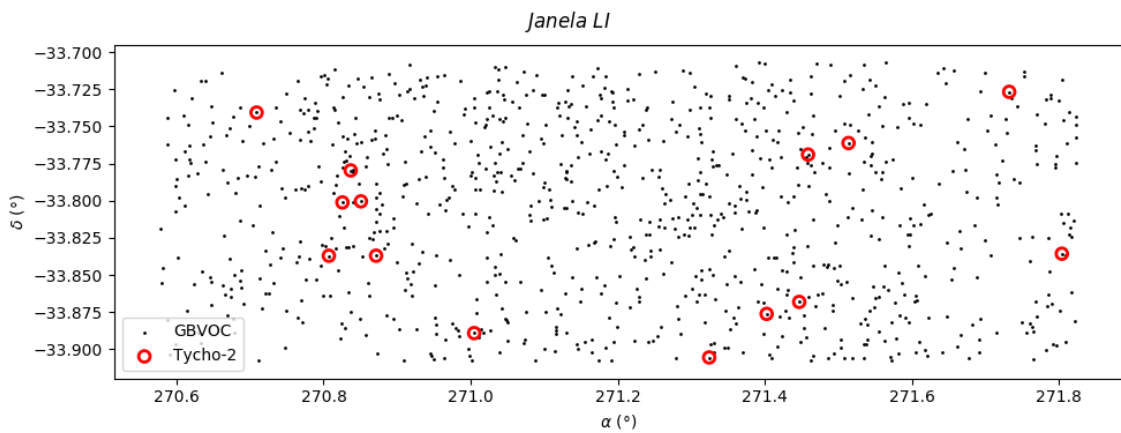


Figura 2.10: Distribuição das estrelas de referência Tycho-2 na janela LI.

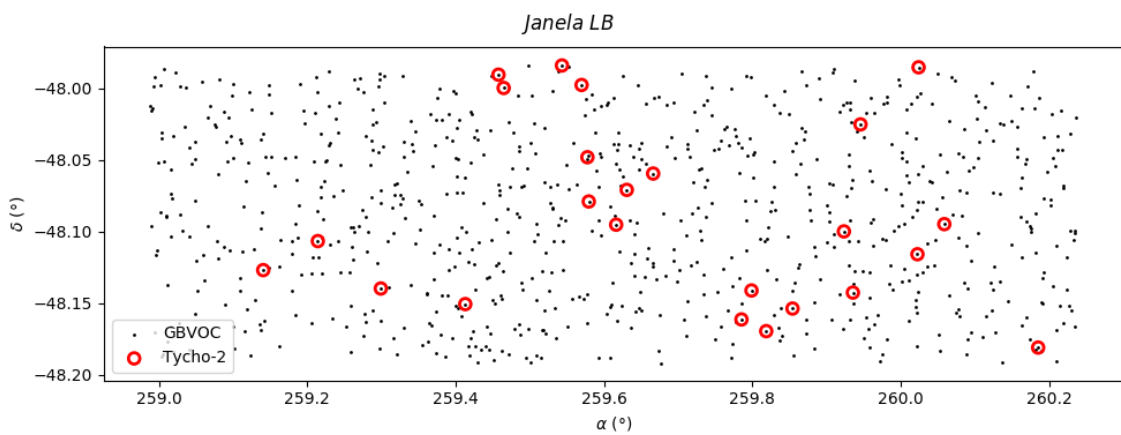


Figura 2.11: Distribuição das estrelas de referência Tycho-2 na janela LB.

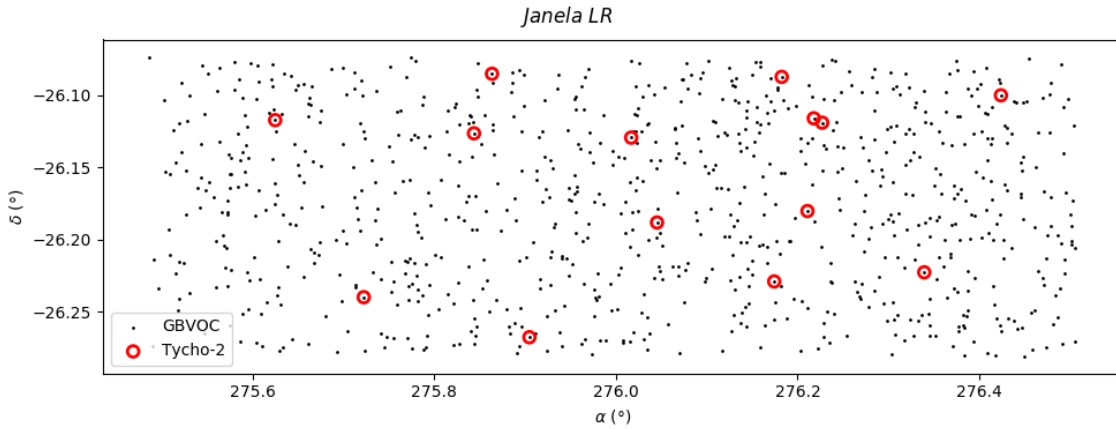


Figura 2.12: Distribuição das estrelas de referência Tycho-2 na janela LR.

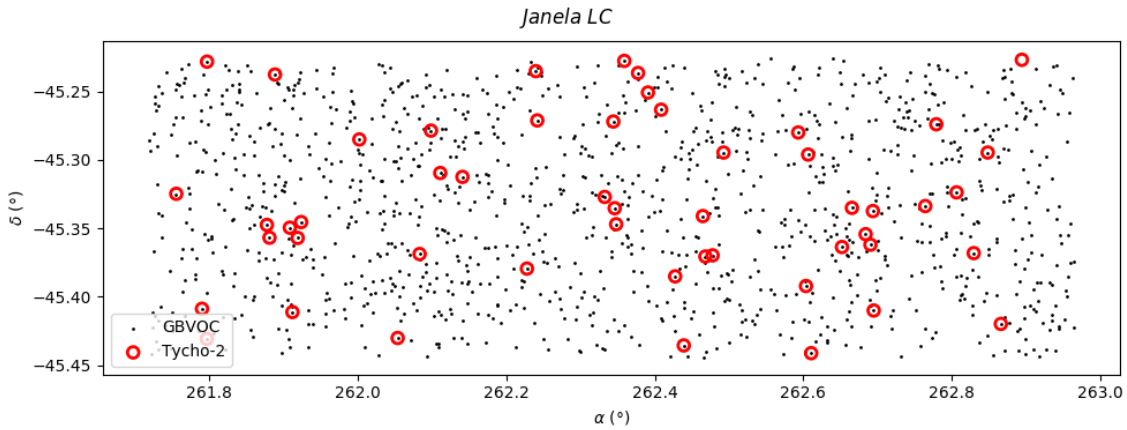


Figura 2.13: Distribuição das estrelas de referência Tycho-2 na janela LC.

2.12), que apesar de também possuir poucas estrelas de referência (14 objetos), apresenta uma distribuição mais uniforme das mesmas. Outro exemplo de janela que não apresenta esse salto é a LC, que possui 51 estrelas de referência e uniformemente distribuídas (Figura 2.13).

Ainda na Figura 2.8 vemos que existe uma tendência geral nos movimentos próprios médios por janela, que vale para todos os catálogos. Nos movimentos próprios em longitude galáctica (à esquerda), essas médias por janela são de  $-4.0 \text{ mas/ano}$ , enquanto que em latitude (à direita) estão perto de  $-2.1 \text{ mas/ano}$ . Em ambos os casos essa tendência varia muito pouco ao longo das longitudes galácticas das janelas.

Devido a essas oscilações e motivados pela publicação do primeiro *release* do catálogo

---

Gaia, resolvemos determinar novos valores de movimentos próprios para as estrelas do GBVOC. Para isso, combinamos os dados de posição e época do GBVOC e de outros catálogos astrométricos, como descrito no Capítulo 3 a seguir.





## Determinação de novos movimentos próprios

### 3.1 Metodologia

#### 3.1.1 Identificação cruzada dos catálogos

Para calcular novos movimentos próprios, em um primeiro passo, além das posições do próprio GBVOC, trabalhamos com aquelas do primeiro *release* do Gaia e dos catálogos 2MASS e SPM4-URAT1, bastante densos, porém, menos precisos que o Gaia-DR1. Todos esses catálogos fornecem posições independentes entre si e relativas ao ICRS.

Ao selecionar as estrelas comuns em cada catálogo na região das 12 janelas do GBVOC, aplicamos primeiramente um corte em posição, delimitando todos os catálogos nos campos dessas janelas. Em seguida, realizamos outro corte, agora em magnitudes, para diminuir o risco de identificações falsas. Na Tabela 3.1 mostramos os filtros fotométricos e os limites em magnitude de cada catálogo e o limite comum a todos os catálogos (magnitude de corte). Os filtros de banda do GBVOC, Gaia-DR1 e SPM4-URAT1 não são exatamente os mesmos, mas são muito próximos (Jordi et al., 2010), portanto adotamos o valor de corte como sendo o  $V_{max}$  do GBVOC original (16.2 *mag*) para esses catálogos. Já o catálogo 2MASS não possui magnitudes na faixa do visível, portanto, neste caso, utilizamos o valor de J de 14.9 *mag*, que corresponde à estrela mais fraca no GBVOC.

No caso do Gaia-DR1, utilizamos também um filtro para os erros em ascensão reta e em declinação, pois, apesar da grande maioria dos objetos ter erros pequenos, menores que 10 *mas*, algumas estrelas tem erros de até 80 *mas*. Assim, resolvemos excluir todos os pontos que tivessem erros  $\sigma_{\alpha^*} > 10 \cdot std(\sigma_{\alpha^*})$  e  $\sigma_{\delta} > 10 \cdot std(\sigma_{\delta})$ , onde *std* é o desvio padrão da distribuição dos erros nas coordenadas. Neste caso, e para esses campos, temos  $std(\sigma_{\alpha^*}) = 5.1 \text{ mas}$  e  $std(\sigma_{\delta}) = 4.3 \text{ mas}$ . Desta maneira (Figura 3.1), aproveitamos uma

Tabela 3.1 - Comparação dos filtros fotométricos, limites de magnitude e número de estrelas selecionadas em cada catálogo.

Catálogo	GBVOC	Gaia-DR1	2MASS	SPM4-URAT1
$\lambda_o$ (nm)	600	673	1220	551
$\Delta\lambda$ (nm)	80	440	213	85
banda	V	G	J (Johnson)	V (Johnson)
$mag_{lim}$	16.2	20.7	15.8	17.5-18.0
$mag_{corte}$	16.2	16.2	14.9	16.2
$n_{estrelas}$	11354	56887	67524	32410

grande quantidade de dados do Gaia-DR1 sem perder muito em qualidade.

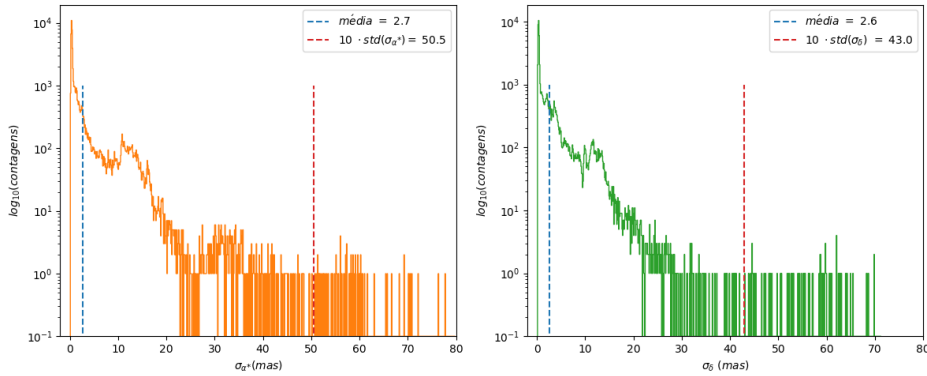


Figura 3.1: Erros em ascensão reta e em declinação no Gaia-DR1 para todas as estrelas no campo e o filtro utilizado.

Com os dados já selecionados de cada catálogo, fazemos uma comparação dos erros totais em posição  $\sigma_{pos} = \sqrt{\sigma_{\alpha^*}^2 + \sigma_{\delta}^2}$  em cada catálogo na Figura 3.2, onde mostramos esses erros em função da magnitude e os seus histogramas. No caso do 2MASS, os erros são fornecidos em termos da *point spread function* (PSF) elíptica ajustada em cada objeto. Realizamos então a conversão para coordenadas equatoriais de acordo com as expressões a seguir, onde  $A$ ,  $B$  e  $\phi$  são, respectivamente, os semieixos maior e menor e a inclinação da PSF elíptica.

$$\sigma_{\alpha^*2mass} = \sqrt{(A \cdot \sin(\phi))^2 + (B \cdot \cos(\phi))^2} \quad (3.1)$$

$$\sigma_{\delta2mass} = \sqrt{(A \cdot \cos(\phi))^2 + (B \cdot \sin(\phi))^2} \quad (3.2)$$

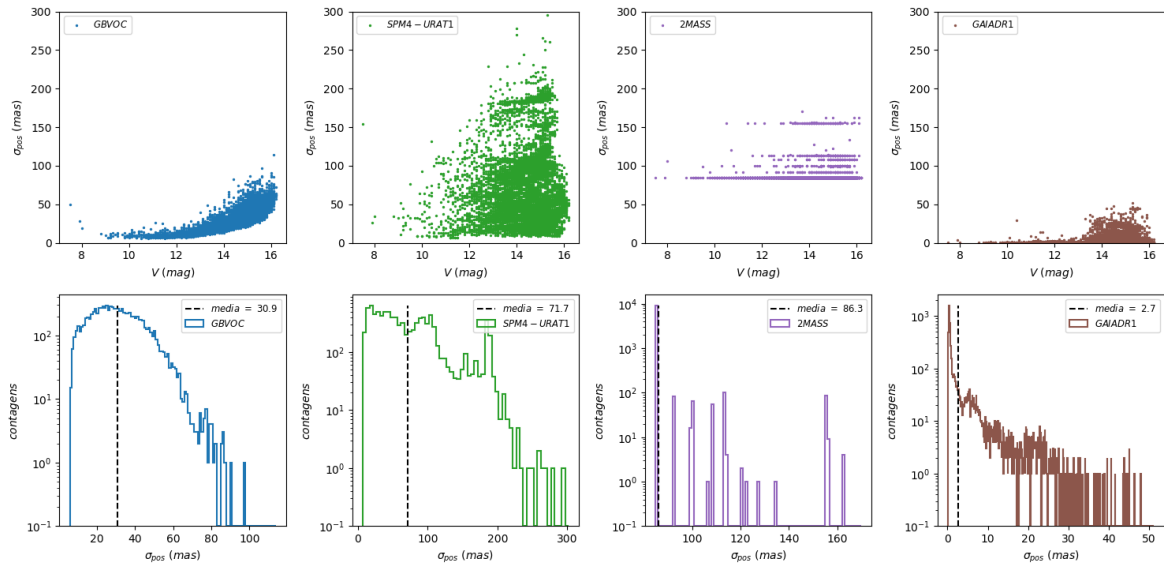


Figura 3.2: Erro total em posição, para as estrelas em comum, nos catálogos utilizados no cálculo dos novos movimentos próprios.

Nessa Figura vemos que, desses quatro catálogos, o Gaia-DR1 é o mais preciso, como já sabíamos. Depois vem o GBVOC, com erros indo até  $\approx 100$  mas. As posições do 2MASS tem erros pouco maiores, de  $\approx 80$  mas a  $\approx 170$  mas. Porém é o conjunto SPM4-URAT1 que possui os erros mais diversos em posição, indo desde  $\approx 10$  mas até  $\approx 300$  mas, sendo que é do SPM4 que vem os maiores erros, como veremos na próxima sessão, na Figura 3.3.

Na estratégia adotada, partimos do Gaia-DR1, procurando para cada estrela  $i$  deste, sua correspondente  $j$  em cada um dos outros catálogos. Definimos um raio de busca para cada par  $(i, j)$  como função da diferença entre as épocas e de um limite máximo geral para o movimento próprio, de acordo com a Equação a seguir.

$$r_{ij} = \mu_{lim} \cdot (t_{gaia_i} - t_{cat_j}) \quad (3.3)$$

Restringimos o raio de busca com esse limite em movimento próprio pois, além de nossa amostra consistir de apenas quatro pontos para cada estrela, esses catálogos não possuem a mesma densidade, apesar de já estarem filtrados para o mesmo limite de magnitude. Se não colocássemos um valor máximo para os movimentos próprios, aumentaríamos o risco identificações falsas, principalmente para estrelas com grandes deslocamentos entre dois catálogos. Impusemos para esse limite o valor de  $\mu_{lim} = 100$  mas/ano para, desta forma, diminuirmos o número de identificações falsas, porém sem perder muitos objetos durante

este processo.

Para cada estrela do Gaia-DR1, construímos uma lista, para cada catálogo, com as distâncias de todas as estrelas que estejam dentro dos raios de busca das respectivas combinações. Se para os três catálogos a lista tiver um ou mais elementos, então selecionamos, em cada catálogo, o ponto que possui a menor distância como correspondente. A alta resolução do GDR1 aumenta as chances de dupla identificação, isto é, quando uma estrela em um dos demais catálogos é identificada com duas ou mais estrelas no GDR1. Nesses casos, as estrelas foram eliminadas. Assim, obtivemos um total de 9441 estrelas em comum aos quatro catálogos.

### 3.1.2 Cálculo dos movimentos próprios

Para essa intersecção entre GBVOC, Gaia-DR1, 2MASS e SPM4-URAT1, realizamos para cada estrela, ajustes lineares de mínimos quadrados (MMQ) ponderados em cada coordenada ( $\alpha = \mu_\alpha \cdot t + \alpha_0$ ,  $\delta = \mu_\delta \cdot t + \delta_0$ ), onde  $t$  representa à época de cada posição utilizada, enquanto que  $\mu_\alpha \cdot \cos(\delta)$  e  $\mu_\delta$  são os movimentos próprios em ascensão reta e em declinação. Os parâmetros e seus erros foram obtidos segundo a formulação a seguir:

$$\mu_{(\alpha,\delta)} = \frac{\sum \frac{t_i \cdot (\alpha,\delta)_i}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2} \cdot \sum \frac{1}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2} - \sum \frac{t_i}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2} \cdot \sum \frac{(\alpha,\delta)_i}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2}}{\sum \frac{t_i^2}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2} \cdot \sum \frac{1}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2} - \left(\sum \frac{t_i}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2}\right)^2} ; \quad (\alpha, \delta)_0 = \frac{\sum \frac{(\alpha,\delta)_i}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2} - a_{(\alpha,\delta)} \cdot \sum \frac{t_i}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2}}{\sum \frac{1}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2}} \quad (3.4)$$

$$\sigma_{\mu_{(\alpha,\delta)}} = \sqrt{\frac{\sum \frac{1}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2}}{\sum \frac{t_i^2}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2} \cdot \sum \frac{1}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2} - \left(\sum \frac{t_i}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2}\right)^2}} ; \quad \sigma_{(\alpha,\delta)_0} = \sqrt{\frac{\sum \frac{t_i^2}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2}}{\sum \frac{t_i^2}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2} \cdot \sum \frac{1}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2} - \left(\sum \frac{t_i}{\sigma_{(\alpha,\delta)_i}^2}\right)^2}} \quad (3.5)$$

Foram utilizados pesos fixos para cada catálogo com base nos erros médios fornecidos nos mesmos. No caso do Gaia-DR1, arbitrariamente atribuímos um erro médio de 10 *mas* em ambas as coordenadas. Esse valor superestimado foi imposto para dar um certo equilíbrio à ponderação. Para o catálogo 2MASS, utilizamos um valor de 100 *mas* e, para o GBVOC, 80 *mas*, que se aproxima do valor limite dos erros em cada catálogo. No caso do SPM4-URAT1, entretanto, adotamos o erro médio por janela (Tabela 3.2) devido às oscilações desses erros em função da ascensão reta, como mostram as Figuras 3.3 e 3.4.

Tabela 3.2 - Erros médios em posição por janela no SPM4-URAT1 em cada coordenada, utilizados como pesos nos ajustes MMQ. Apenas as janelas LU e LV vem do URAT1.

Catálogo	SPM4										URAT1	
Janela	LA	LB	LC	LD	LI	BE	BG	LR	LT	BJ	LU	LV
$\overline{\sigma}_\alpha^*$ (mas)	25	25	28	67	128	74	60	36	22	67	30	13
$\overline{\sigma}_\delta$ (mas)	26	25	28	68	128	81	64	35	22	68	29	13

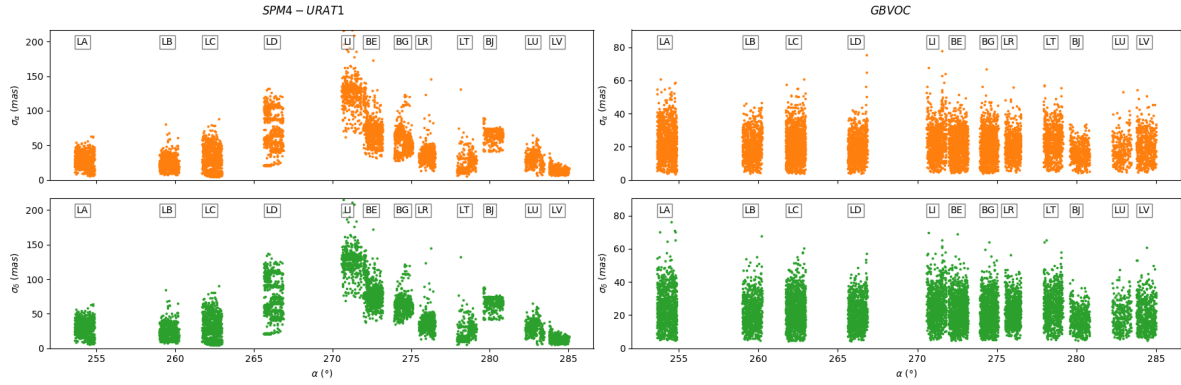


Figura 3.3: Erros em posição, por janela, no SPM4-URAT1 e no GBVOC.

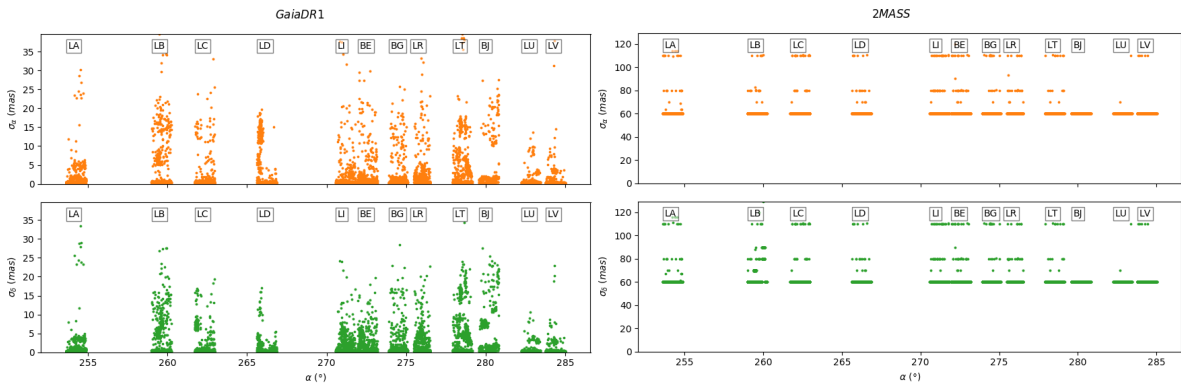


Figura 3.4: Erros em posição, por janela, no GaiaDR1 e no 2MASS.

Para deixar a amostra mais consistente, eliminamos as estrelas cujos resíduos quadráticos médios (RMS) se afastavam mais de 5 vezes do desvio padrão em cada coordenada, para cada catálogo, de todos os 9441 ajustes. Desta forma, ficamos com um conjunto de 9064 estrelas em nossa amostra.

### 3.1.3 GBVOC2

Na Figura 3.5 vemos que os movimentos próprios obtidos nesses ajustes são mais estáveis ao longo da longitude galáctica do que aqueles do GBVOC original, o que representa um avanço na qualidade desses dados. Entretanto, vemos que essas médias ainda oscilavam um pouco em algumas janelas.

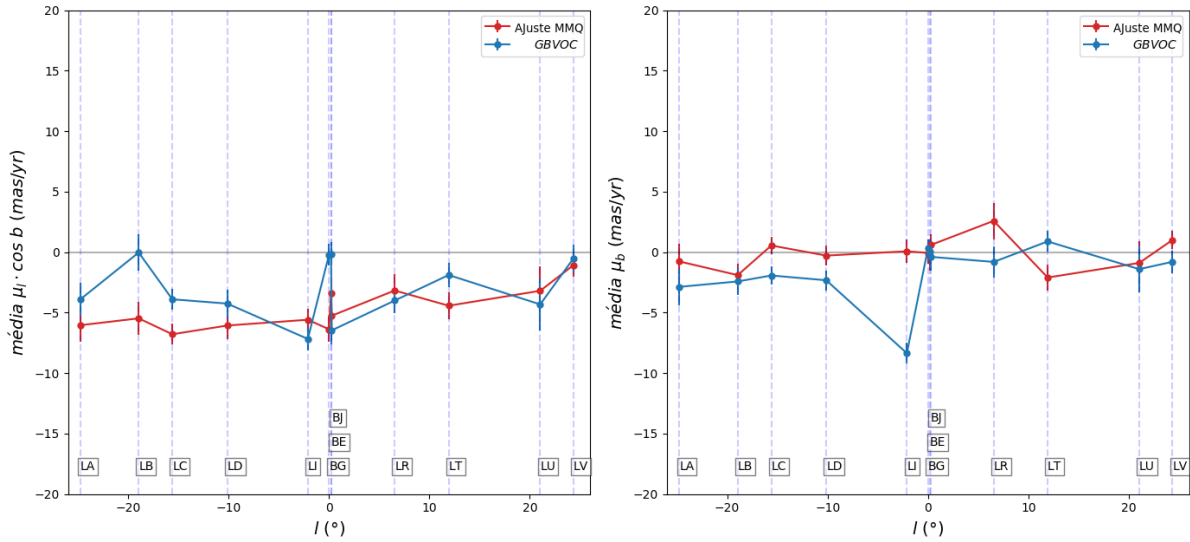


Figura 3.5: Comparação dos movimentos próprios médios por janela entre o GBVOC original e os ajustes MMQ.

A fim de tornar esses movimentos ainda mais estáveis, utilizamos os dados catálogo UCAC5, publicado em março de 2017. Este catálogo foi produzido a partir da combinação de uma nova redução dos dados do UCAC, utilizando o TGAS como catálogo de referência, com as posições do GDR1. A partir dessas novas posições e daquelas do Gaia-DR1, foram obtidos movimentos próprios para  $\approx 107$  milhões de estrelas, até magnitude  $G = 16$  mag. Seus movimentos próprios apresentam precisões em torno de 1 a 5 mas/ano para magnitudes até  $G = 15$ . Porém, para estrelas mais fracas,  $15 \text{ mag} < G < 16 \text{ mag}$ , esses erros ficam em torno de 5 mas/ano a 15 mas/ano.

Devido às qualidades características do UCAC5, optamos por trabalhar com movimentos próprios obtidos a partir da média aritmética daqueles oriundos dos nossos ajustes de mínimos quadrados com esses do UCAC5. Assim, obtivemos um novo catálogo com excelentes movimentos próprios, como veremos também na Figura 3.10, com 8978 estrelas, o qual denominamos GBVOC2. Este conjunto de movimentos próprios é utilizado no

Capítulo 4, em nossa busca por aglomerados.

### 3.2 Análise dos movimentos próprios do GBVOC2

Os movimentos próprios que assim obtivemos para nossa amostra de 8978 estrelas possuem distribuições gaussianas. As médias e dispersões dos movimentos próprios em ascensão reta e declinação para este novo catálogo ficaram em  $\overline{\mu_\alpha^*} = -1.9 \text{ mas/ano}$ ,  $\sigma_{\mu_\alpha^*} = 5.9 \text{ mas/ano}$  e  $\overline{\mu_\delta} = -4.5 \text{ mas/ano}$ ,  $\sigma_{\mu_\delta} = 6.9 \text{ mas/ano}$ . Os movimentos próprios totais em módulo vão de  $|\mu_{total}|^{min} = 0.1 \text{ mas/ano}$  até  $|\mu_{total}|^{max} = 97.6 \text{ mas/ano}$ , porém a maioria fica abaixo de  $60 \text{ mas/ano}$  (Figura 3.6). Essa tendência nos movimentos próprios, também observada no GBVOC original e no UCAC5, parece refletir a contribuição do movimento do Sol nessa direção média.

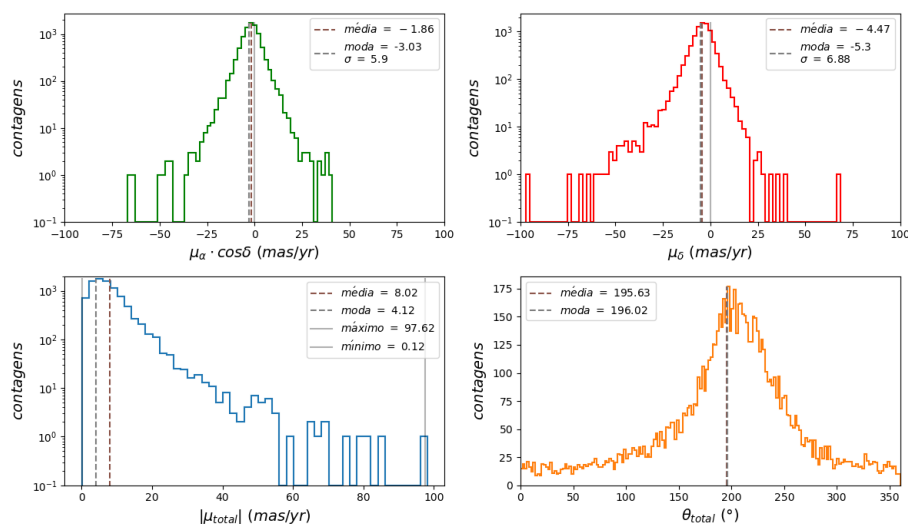


Figura 3.6: Distribuição dos movimentos próprios em ascensão reta, declinação e total do GBVOC2.

Os erros desses novos movimentos próprios em ascensão reta e declinação tem médias de  $\sigma_{\mu_\alpha^*}^- = 1.9 \text{ mas/ano}$  e  $\sigma_{\mu_\delta}^- = 1.9 \text{ mas/ano}$ , indo de  $\sigma_{\mu_\alpha^*}^{min} = 0.8 \text{ mas/ano}$  a  $\sigma_{\mu_\alpha^*}^{max} = 3.7 \text{ mas/ano}$ , e de  $\sigma_{\mu_\delta}^{min} = 0.9 \text{ mas/ano}$  a  $\sigma_{\mu_\delta}^{max} = 3.6 \text{ mas/ano}$  (Figura 3.7). Porém, a grande maioria dos erros fica abaixo de  $2.5 \text{ mas/ano}$  nas duas coordenadas. Isto representa um avanço em qualidade em relação às precisões dos movimentos dessas estrelas no GBVOC original (Figura 2.5), devido em grande parte às posições do Gaia-DR1 que tem erros pequenos, menores que  $5 \text{ mas}$  para a maioria desses objetos.

Na parte inferior da Figura 3.8 podemos ver melhor como esses erros se comparam com

os do GBVOC original (Figura 2.6), em função da magnitude  $V$ . Nessas distribuições, tanto em ascensão reta como em declinação, vemos que existem grupos distintos nos valores dos erros, produzidos pelo caráter heterogêneo de nossos dados. De maneira geral, esses erros também possuem uma dependência com a magnitude, apesar de ser menos acentuada que a observada nos erros do GBVOC original. Na parte superior dessa Figura, podemos ver também que o espalhamento dos movimentos próprios tende a aumentar com a magnitude. Em parte, isto se deve ao fato de que a tendência é termos erros maiores nas posições das estrelas mais fracas como uma consequência, por exemplo, de sub-amostragem da imagem. Na Figura 3.9 vemos como a dispersão dos movimentos próprios do GBVOC2 é menor que a do GBVOC original.

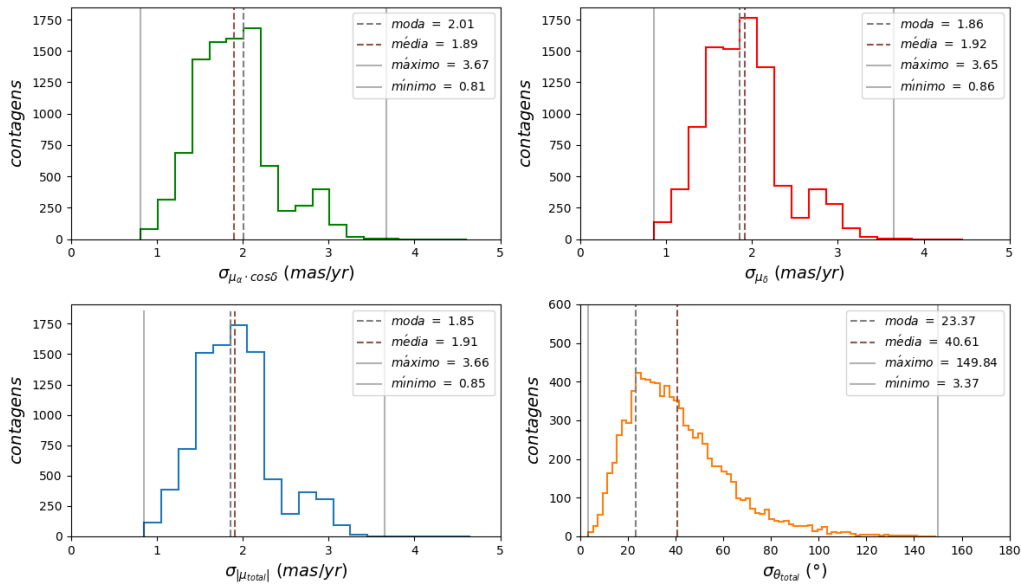


Figura 3.7: Distribuição dos erros absolutos nos movimentos próprios em ascensão reta e declinação, seus módulos e direções no GBVOC2.

Comparando as médias por janela dos movimentos próprios do GBVOC2 com os do GBVOC original (Figura 3.10), vemos que as oscilações presentes no catálogo original não aparecem nesses novos dados. O comportamento dessas médias é muito mais suave ao longo da longitude galáctica. Esses movimentos próprios apresentam, portanto, um comportamento de acordo com nossas expectativas e substituem os dados do GBVOC original neste trabalho de mestrado. Ainda assim, como veremos nos Capítulos 5 e 6, alguns movimentos do GBVOC original complementarão esses novos dados na busca por pares de estrelas com movimentos próprios comuns e candidatas à vizinhança solar.



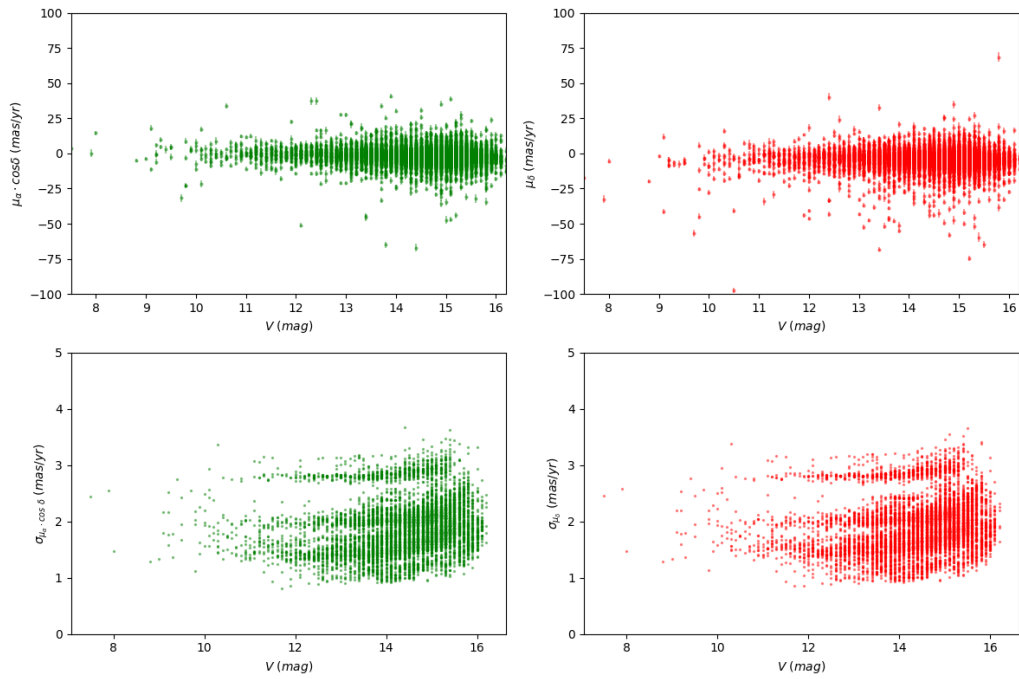


Figura 3.8: Movimentos próprios do GBVOC2 em ascensão reta e declinação, e seus erros, em função da magnitude  $V$ .

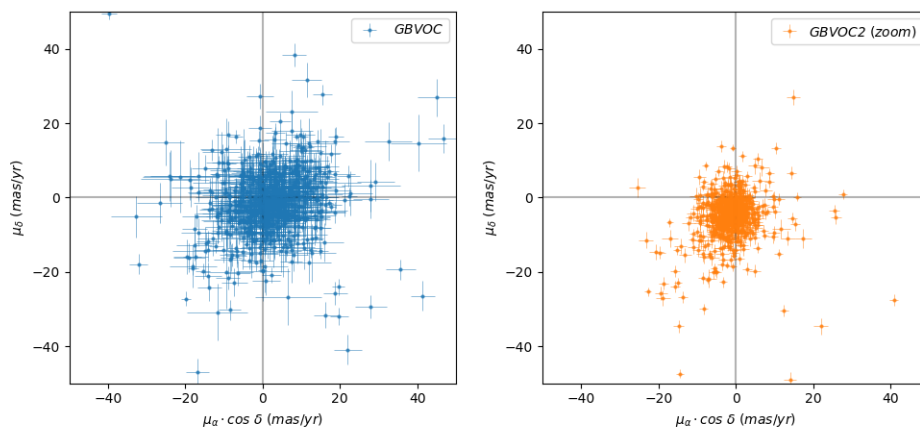


Figura 3.9: Diagramas de fase de movimentos próprio para a janela LB no GBVOC original e no GBVOC2.

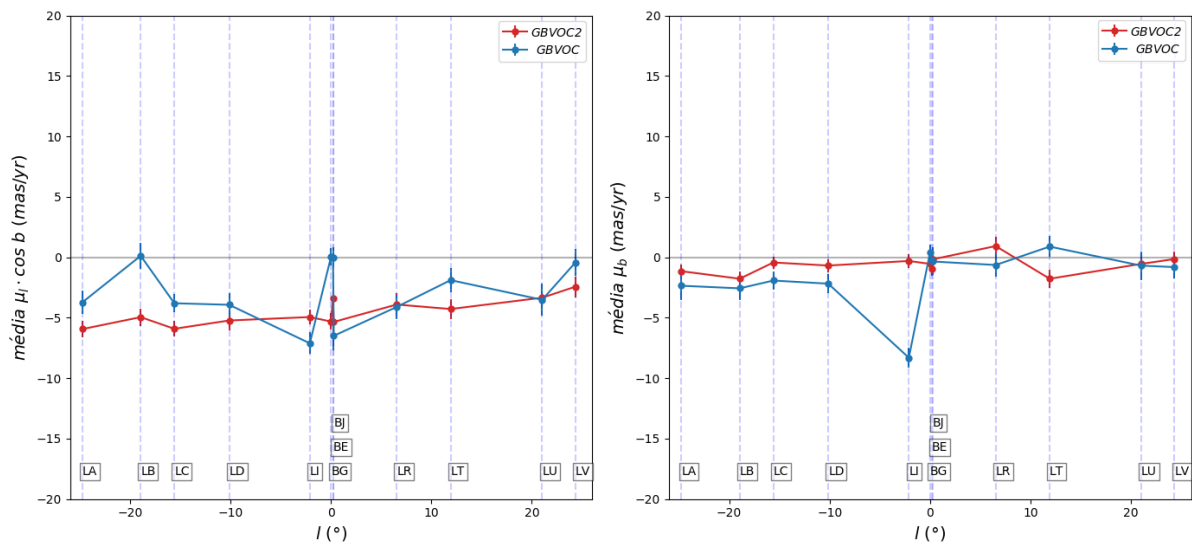


Figura 3.10: Comparação dos movimentos próprios médios por janela entre o GBVOC original e o GBVOC2.

## Aglomerados

### 4.1 Busca por aglomerados nas janelas

Uma grande parte das estrelas da Galáxia são observadas em grupos no céu. No caso de um aglomerado aberto, seus componentes estão tão próximos entre si que pode-se considerar que estão a uma mesma distância do Sol sem grande perda em precisão. Isso permite construir um diagrama HR substituindo a luminosidade pela magnitude aparente (Milone e Mermilliod, 1996), desde que se consiga separar suas estrelas membros dos objetos de campo, o que requer um critério de pertinência bem definido. O diagrama HR de um aglomerado aberto, desde que contendo um grande número de estrelas bem distribuídas em magnitude, permite determinar sua idade (Girardi et al., 2002) e, conseqüentemente, fazer um estudo realista de sua origem e evolução. Em geral, suas estrelas tem a mesma idade, muito embora estejam em estágios evolutivos distintos, devido a diferenças em massa. Além disso, seus membros compartilham o mesmo movimento através da Galáxia, o que é observado no diagrama de fase de movimentos próprios como uma concentração ao redor do movimento próprio médio, e cujo espalhamento corresponde a uma pequena dispersão de velocidades, da ordem de alguns  $km/s$  (Dias et al., 2014) e aos erros nos movimentos próprios. Aglomerados abertos, em geral, são objetos jovens e encontram-se no disco da Galáxia. No caso de aglomerados globulares, estes são muito mais antigos, possuem em geral muito mais estrelas e estão distribuídos também pelo halo galáctico.

Existem também outros agrupamentos de estrelas que compartilham a mesma velocidade espacial, genericamente chamados de *moving groups*. Esses podem ser associações de estrelas OB jovens, antigos aglomerados abertos já diluídos no disco galáctico ou até mesmo efeitos de ressonância nas órbitas de estrelas individuais ao redor do centro da

Galáxia (De Zeeuw et al., 1999). Nesses três casos, porém, diferentemente dos aglomerados, essas estrelas não estão gravitacionalmente ligadas. Assim, não se observa para esses objetos uma sobredensidade em posição (Sánchez et al., 2010).

A detecção e o estudo de pertinência de associações em geral, incluindo aglomerados abertos e *moving groups*, baseiam-se muito nas características cinemáticas de seus membros. Os aglomerados, diferentemente dos *moving groups*, podem apresentar uma sobredensidade em posição. Nesses casos, é possível detectar candidatos a aglomerados através de uma inspeção visual em campos estelares. Enquanto que associações e *moving groups*, menos densos, são detectados cinematicamente através da análise de densidade no diagrama de fases de movimentos próprios.

Justamente com esse objetivo procedemos a uma inspeção visual nas imagens CCD, de excelente qualidade, de cada uma das 12 janelas de baixa extinção do bojo galáctico presentes no catálogo astrométrico GBVOC. Como exemplo, podemos ver na Figura 4.1 uma dessas imagens obtidas com o círculo meridiano CCD do Observatório Abrahão de Moraes, correspondente à janela LC.



Figura 4.1: Exemplo de imagem CCD, da janela LC, do catálogo GBVOC.

Nessa busca inicial, superficial certamente, encontramos indícios de aglomerados nas janelas BE e LA, apresentadas nas Figuras 4.2 e 4.3.

Em um segundo passo, procedemos a uma análise dos mapas de densidade em posição para todas as janelas, onde confirmamos a sobredensidade na janela LA (Figura 4.5), porém não detectamos um pico relevante para a janela BE (Figura 4.4). Também suspeitamos que houvesse uma sobredensidade no mapa da janela LR (Figura 4.6).

Em um terceiro passo, utilizamos os mapas de densidade nos diagramas de fase com os movimentos próprios do GBVOC2. Para a janela LA, podemos ver aqui também que há um indício de aglomerado (Figura 4.8), pois vemos que existem duas distribuições, apesar

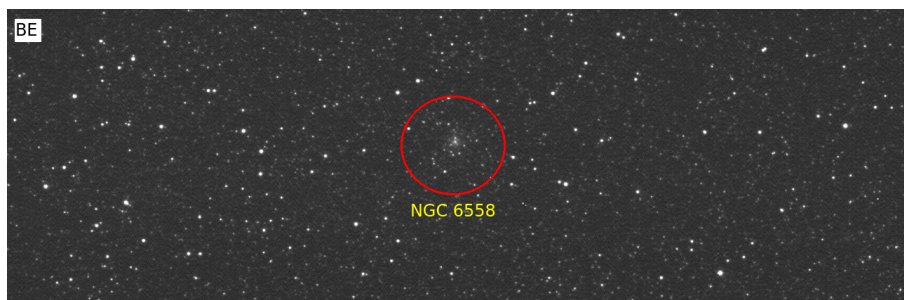


Figura 4.2: Aglomerado globular NGC 6558 na imagem CCD da janela BE do GBVOC.



Figura 4.3: Aglomerado aberto NGC 6253 na imagem CCD da janela LA do GBVOC.

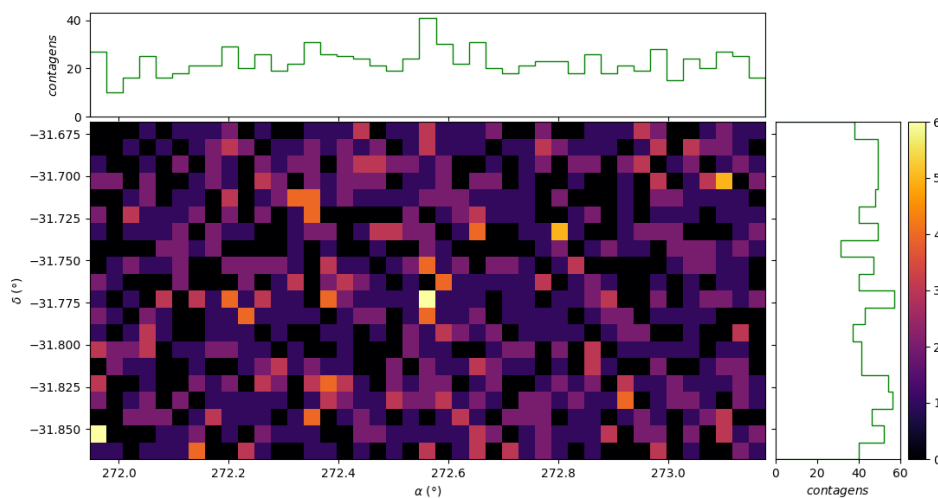


Figura 4.4: Mapa de densidade em posição da janela BE.

de muito próximas. No caso das janelas BE (Figura 4.7) e LR (Figura 4.9), porém, não conseguimos distinguir visualmente entre duas possíveis populações. Nas demais janelas não tivemos qualquer indício da presença de aglomerados em nenhum desses passos.

O possível aglomerado na janela BE infelizmente não foi resolvido pelo Círculo Meridiano CCD e, portanto, as posições e movimentos próprios dessas estrelas não entram no

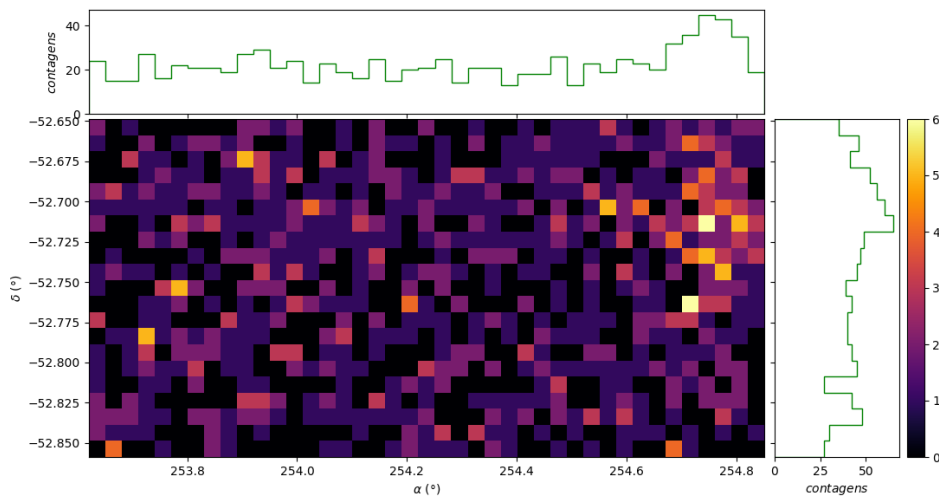


Figura 4.5: Mapa de densidade em posição da janela LA.

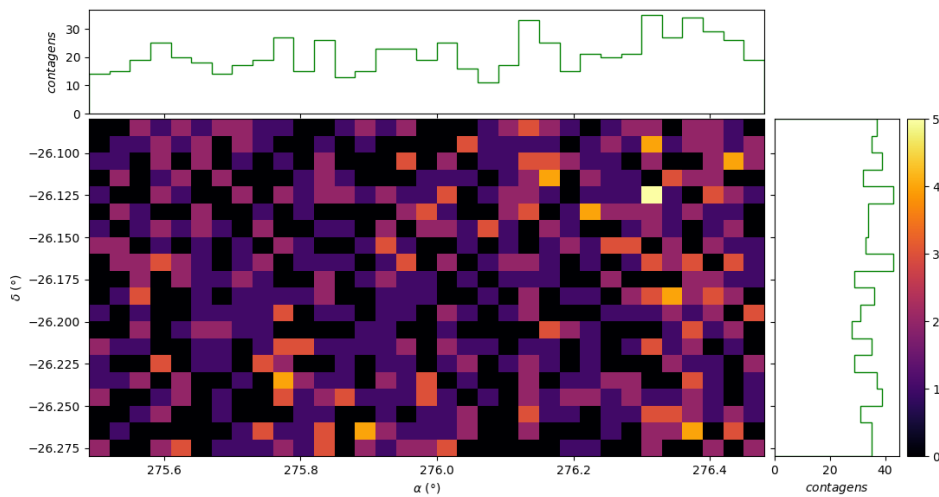


Figura 4.6: Mapa de densidade em posição da janela LR.

catálogo. De todas as 12 janelas, apenas a LA apresentou alguma distinção entre duas populações no diagrama de fase. Embora, como vimos neste caso, tenha sido possível detectar uma aglomeração em posição, indicando tratar-se de um aglomerado, o mesmo não se aplica para os *moving groups* por serem muito dispersos. Porém, é possível que existam *moving groups*, não detectados nessa inspeção visual.

A fim de confirmar a existência de estudos das estruturas encontradas, realizamos uma busca na literatura. Desta forma, verificamos que duas das estruturas encontradas aqui já eram conhecidas na literatura: o aglomerado aberto NGC 6253 na janela LA e o

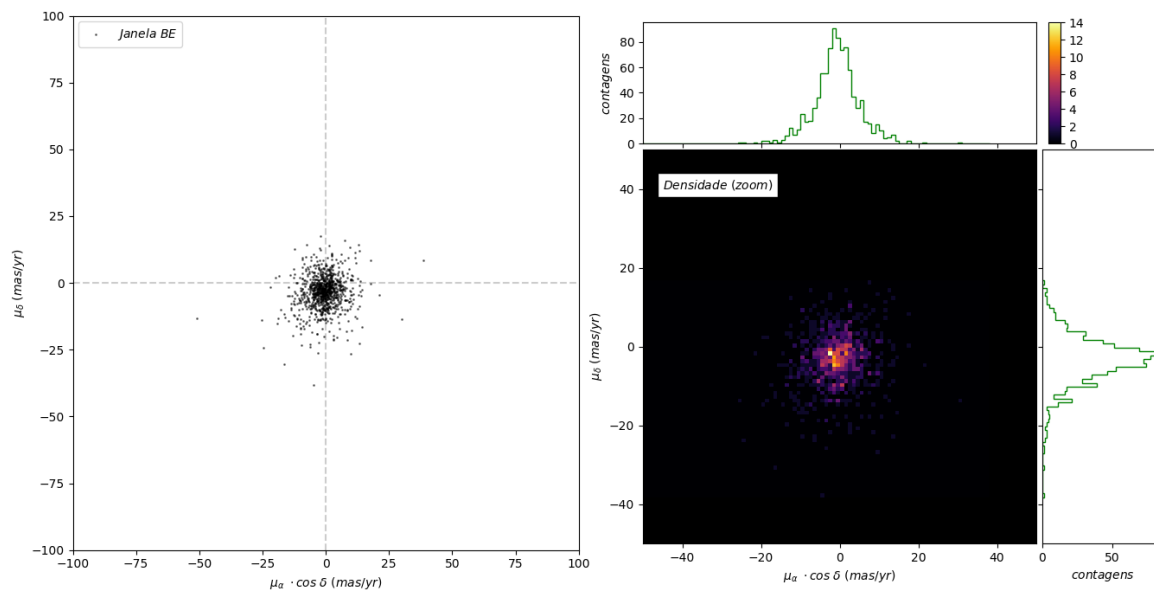


Figura 4.7: Mapa de densidade em movimento próprio da janela BE.

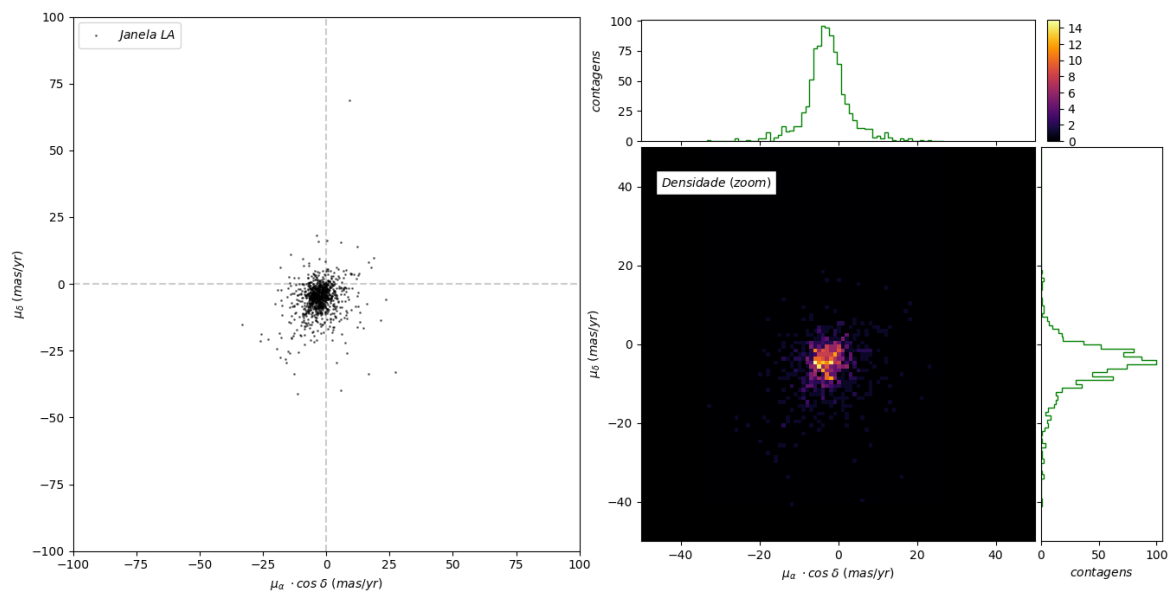


Figura 4.8: Mapa de densidade em movimento próprio da janela LA.

aglomerado globular NGC 6558 na janela BE. Ambos aparecem nas imagens CCD originais do GBVOC, como mostram as Figuras 4.2 e 4.3, e com isso confirmamos nossa suspeita da janela LA. No caso da janela BE, porém, o aglomerado globular NGC 6558 está presente apenas na imagem CCD. Este aglomerado não aparece no catálogo GBVOC original, tanto pelo baixo brilho de seus membros ( $d \approx 6.4 \text{ kpc}$  - Barbuy et al. 2007), quanto pela resolução

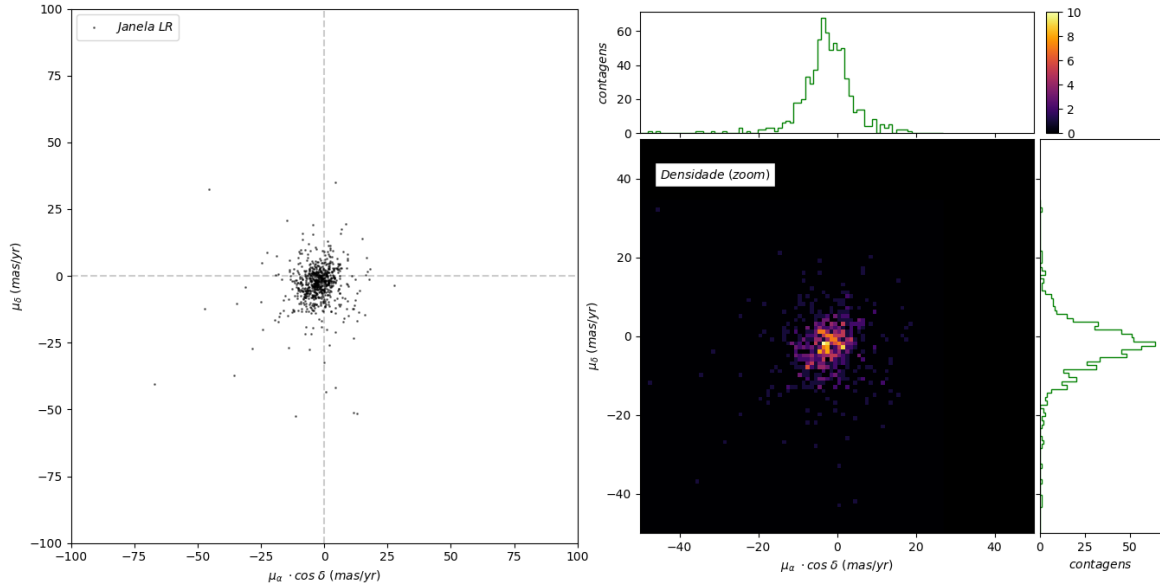


Figura 4.9: Mapa de densidade em movimento próprio da janela LR.

insuficiente do Círculo Meridiano CCD. No caso do NGC 6253, na janela LA, por estar mais próximo, a uma distância de  $d \approx 1.5 \text{ kpc}$  (Bragaglia et al., 1997), seus membros foram detectados no GBVOC e, portanto, estão em grande parte presentes no GBVOC2. Porém, na Figura 4.3, vemos que os limites da janela LA cortam uma parte considerável do aglomerado. Para poder estudar o aglomerado todo, decidimos gerar novos movimentos próprios que abrangessem toda a região. Esses novos movimentos próprios foram gerados pela substituição do GBVOC original por outro catálogo (Montalto et al., 2009) e repetir o procedimento descrito na sessão 3.1.2.

## 4.2 Análise de pertinência

### 4.2.1 Preparação da amostra

Uma vez confirmada a existência de um aglomerado na Janela LA, o NGC 6253, iniciamos um trabalho de análise de pertinência e de algumas de suas características cinemáticas. Entretanto, como pode ser visto na Figura 4.5, o aglomerado ultrapassa os limites da janela, ou seja, os limites do GBVOC2.

Sendo assim, para trabalharmos com o aglomerado todo, tivemos que expandir nosso catálogo nesta região. Poderíamos ter utilizado movimentos próprios baseados apenas nas



posições dos catálogos Gaia-DR1, 2MASS e SPM4 para as estrelas da região não abrangida pelo GBVOC, obtendo um grupo de objetos cujos movimentos próprios teriam sido determinados com apenas três pontos e outro com quatro pontos para o ajuste MMQ. Entretanto, optamos para termos um catálogo que cobrisse toda a região do aglomerado, cujos movimentos próprios fossem determinados com quatro pontos, por razões de confiabilidade. Isso nos obrigou a utilizarmos um novo catálogo de posições abrangendo toda a região em substituição ao GBVOC. Para isso, utilizamos o catálogo de um dos poucos estudos astrométricos desse aglomerado, Montalto et al. (2009), e calculamos os movimentos próprios para as estrelas em comum aos quatro catálogos, seguindo o mesmo procedimento descrito na sessão 3.1.2. Aqui não utilizamos o UCAC5, como anteriormente (Capítulo 3), para evitar uma perda sensível de estrelas. Na Figura 4.10 vemos uma comparação das áreas abrangidas pela janela LA do GBVOC e pelo campo do catálogo de Montalto. Neste catálogo, o campo total de  $34' \times 33'$  foi observado com um mosaico de oito CCDs, orientado de modo que o aglomerado ficasse centralizado em um deles, em verde na Figura 4.10.

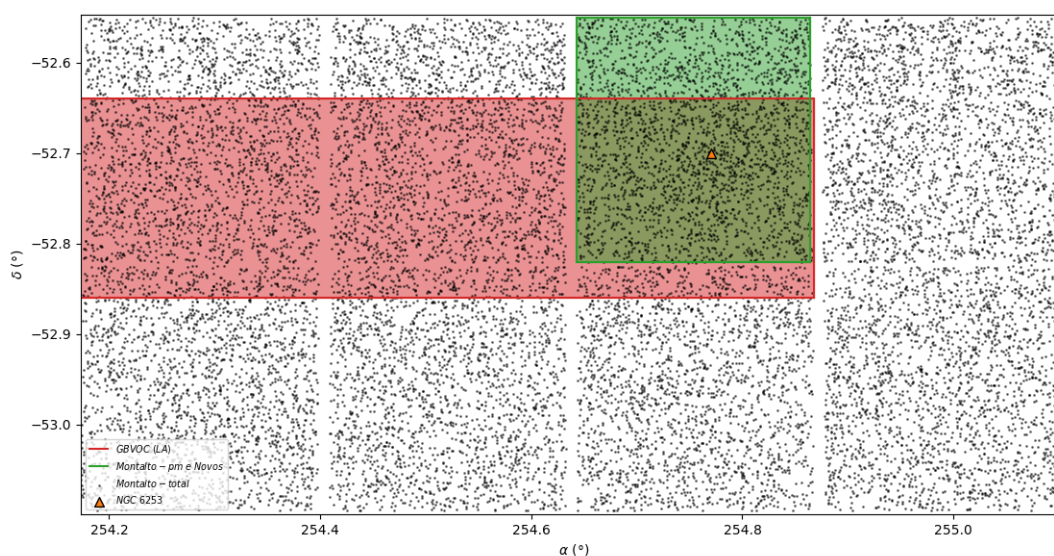


Figura 4.10: Região ao redor de NGC 6253 expandida para além da janela LA (em vermelho). A região em verde é a parte do catálogo de Montalto et al. (2009) que utilizamos.

O catálogo de Montalto et al. (2009) está dividido em duas partes e ambas contém posições no ICRS e magnitudes aparentes nas bandas B, V, R, I, J, H e K. Porém, apenas uma parte contém movimentos próprios (relativos) que foram utilizados por esses autores para calcular as probabilidades de pertinência. Para, ao mesmo tempo que estendemos

nossa base de dados, poderemos comparar e de certa forma, validar nossos resultados através desta referência, decidimos trabalhar unicamente, com a porção desse catálogo que contém dados de movimento próprio. Neste caso trabalhamos com uma região menor, mas que abrange todo o aglomerado (área em verde na Figura 4.10).

Nesta nova região ao redor do aglomerado, os quatro catálogos utilizados (Montalto, Gaia-DR1, 2MASS e SPM4) foram filtrados até as magnitudes correspondentes ao limite mais baixo, que é o do SPM4, como mostra a Tabela 4.1 a seguir. Após a identificação cruzada, obtivemos um total de 632 estrelas em comum.

Tabela 4.1 - Limites de magnitude e número de estrelas selecionadas em cada catálogo para esta região.

Catálogo	Montalto	Gaia-DR1	2MASS	SPM4
$mag_{lim}$	V = 18.5	G = 18.5	J = 16.5	V = 18.5
$n_{estrelas}$	2609	3202	2566	1650

Antes de aplicarmos nosso código de análise de pertinência, realizamos um corte circular em posição ao redor do centro do aglomerado, seguindo o modelo discutido em Sánchez et al. (2010). Nesse trabalho os autores mostram que existe uma relação entre a quantidade de estrelas erroneamente classificadas como membros e o raio da região circular da amostra, sendo que o valor que minimiza o número desses objetos espúrios corresponde ao raio do aglomerado. Foi necessário, então, estimar um raio efetivo para o aglomerado, o que fizemos com base no perfil de densidade radial, através do ajuste de uma função exponencial (Figura 4.11). Nesse perfil ajustado, adotamos um corte de  $\approx 20\%$  do total, que corresponde ao valor da densidade das estrelas de fundo somado de  $3 \cdot std_{ajuste}$ , onde  $std_{ajuste}$  é o desvio padrão do ajuste exponencial. Para construir esse perfil de densidade radial, escolhemos trabalhar com as posições do Gaia-DR1, já que é o catálogo mais completo e preciso de que dispomos.

Com este ajuste obtivemos um valor crítico de  $r_c = 6.2'$  para a estimativa do raio do aglomerado. Aplicando este valor no corte circular de nossa amostra, ficamos com 505 estrelas. A partir destes dados, então, contamos com a colaboração de Laura Sampedro (posdoc IAG-USP, 2017) para determinar os prováveis *outliers* da amostra, utilizando o método OUTKER (Cabrera-Cano e Alfaro, 1985) que determina a probabilidade de cada estrela ser um *outlier*. Retiramos então todos os objetos que tinham uma probabilidade maior que 50% e ficamos com um total de 498 estrelas na amostra final. Na Figura 4.12

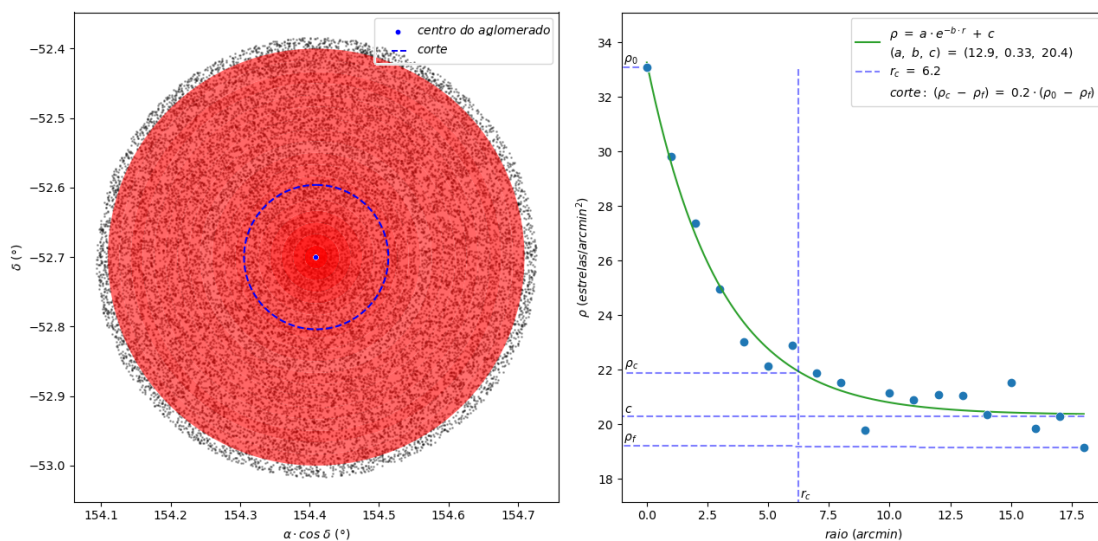


Figura 4.11: Perfil de densidade radial de NGC 6253, com dados do Gaia-DR1.

a seguir vemos a qualidade desses novos movimentos próprios para a região ao redor do aglomerado, com a grande maioria possuindo erros entre  $0.6 \text{ mas/ano}$  e  $0.7 \text{ mas/ano}$  em ambas as coordenadas.

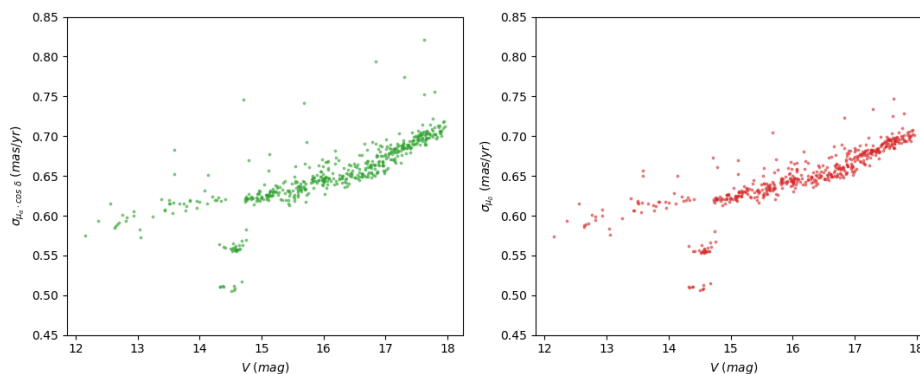


Figura 4.12: Erros nos novos movimentos próprios da região ao redor do NGC 6253 em função da magnitude  $V$ .

#### 4.2.2 Modelo bidimensional

Utilizamos um método paramétrico bidimensional, baseado em Vasilevskis et al. (1958) e Sanders (1971), que utiliza apenas as componentes dos movimentos próprios. Este método supõe que haja um aglomerado na amostra e tenta ajustar duas gaussianas bivariadas. Aqui assumimos, a fim de simplificar o método, que a distribuição dos movimentos

próprios do aglomerado fosse circular e que para as estrelas de campo essa distribuição fosse elíptica. A distribuição do aglomerado foi considerada circular porque supusemos que não existiriam perturbações gravitacionais externas significativas e que, se a dispersão interna das velocidades espaciais for detectável nos movimentos próprios, esta seria simétrica. Assim, a distribuição do aglomerado no diagrama de fase dependeria, neste caso, apenas dos erros nas medidas dos movimentos próprios, que em nossos dados são simétricos em ascensão reta e declinação. Enquanto que a distribuição das estrelas de campo no diagrama de fase é uma composição de diferentes efeitos, principalmente aqueles de distâncias e velocidades transversais distintas. A soma desses fatores resulta em uma distribuição que pode ser aproximada por uma elipse.

A função distribuição de probabilidade (FDP) deste modelo é então uma mistura de duas distribuições gaussianas bivariadas, uma circular e outra elíptica, dadas por:

$$\Phi_{total} = n_c \cdot \Phi_c + (1 - n_c) \cdot \Phi_f \quad (4.1)$$

$$\Phi_c = K_c \cdot e^{-\frac{1}{2(1-\rho_c^2)} \cdot \left( \frac{(\mu_{\alpha,i} - \bar{\mu}_{\alpha,c})^2}{\sigma_{\mu_c}^2 + \epsilon_{\mu_{\alpha,i}}^2} + \frac{(\mu_{\delta,i} - \bar{\mu}_{\delta,c})^2}{\sigma_{\mu_c}^2 + \epsilon_{\mu_{\delta,i}}^2} - \frac{2 \cdot \rho_c \cdot (\mu_{\alpha,i} - \bar{\mu}_{\alpha,c}) \cdot (\mu_{\delta,i} - \bar{\mu}_{\delta,c})}{\sqrt{(\sigma_{\mu_c}^2 + \epsilon_{\mu_{\alpha,i}}^2) \cdot (\sigma_{\mu_c}^2 + \epsilon_{\mu_{\delta,i}}^2)}} \right)} \quad (4.2)$$

$$K_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{(1 - \rho_c^2) \cdot (\sigma_{\mu_c}^2 + \epsilon_{\mu_{\alpha,i}}^2) \cdot (\sigma_{\mu_c}^2 + \epsilon_{\mu_{\delta,i}}^2)}} \quad (4.3)$$

$$\Phi_f = K_f \cdot e^{-\frac{1}{2(1-\rho_f^2)} \cdot \left( \frac{(\mu_{\alpha,i} - \bar{\mu}_{\alpha,f})^2}{\sigma_{\mu_{\alpha,f}}^2 + \epsilon_{\mu_{\alpha,i}}^2} + \frac{(\mu_{\delta,i} - \bar{\mu}_{\delta,f})^2}{\sigma_{\mu_{\delta,f}}^2 + \epsilon_{\mu_{\delta,i}}^2} - \frac{2 \cdot \rho_f \cdot (\mu_{\alpha,i} - \bar{\mu}_{\alpha,f}) \cdot (\mu_{\delta,i} - \bar{\mu}_{\delta,f})}{\sqrt{(\sigma_{\mu_{\alpha,f}}^2 + \epsilon_{\mu_{\alpha,i}}^2) \cdot (\sigma_{\mu_{\delta,f}}^2 + \epsilon_{\mu_{\delta,i}}^2)}} \right)} \quad (4.4)$$

$$K_f = \frac{1}{2\pi \sqrt{(1 - \rho_f^2) \cdot (\sigma_{\mu_{\alpha,f}}^2 + \epsilon_{\mu_{\alpha,i}}^2) \cdot (\sigma_{\mu_{\delta,f}}^2 + \epsilon_{\mu_{\delta,i}}^2)}} \quad (4.5)$$

Onde os dados são os movimentos próprios  $\mu_{\alpha,i}$ ,  $\mu_{\delta,i}$  e seus erros  $\epsilon_{\mu_{\alpha,i}}$ ,  $\epsilon_{\mu_{\delta,i}}$ . Enquanto que os 10 parâmetros a serem encontrados são: as coordenadas do movimento próprio médio do aglomerado  $\bar{\mu}_{\alpha,c}$  e  $\bar{\mu}_{\delta,c}$ , a dispersão dos movimentos próprios do aglomerado  $\sigma_{\mu_c}$ , o coeficiente de correlação do aglomerado  $\rho_c$ , as coordenadas do movimento próprio médio do campo  $\bar{\mu}_{\alpha,f}$  e  $\bar{\mu}_{\delta,f}$ , suas dispersões nas duas coordenadas  $\sigma_{\mu_{\alpha,f}}$  e  $\sigma_{\mu_{\delta,f}}$ , o coeficiente de correlação do campo  $\rho_f$  e a razão do número de membros do aglomerado pelo número de estrelas do campo  $n_c$ . Para obter os valores ótimos desses parâmetros, devemos obter o máximo global da verossimilhança logarítmica, dada pela expressão a seguir.

$$\hat{\mathcal{L}} = \sum_{i=1}^N \log(\Phi_{total}) \quad (4.6)$$

Para encontrar o máximo global no espaço de fase  $\mathbb{R}^{10}$  dos parâmetros, da mesma forma que em Krone-Martins et al. (2010), utilizamos o método RGENOUD (Mebane Jr et al., 2011), que incorpora um algoritmo genético para procurar a região do máximo global, e um algoritmo de escalada *quasi-Newton Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno* (BFGS) (Mebane Jr et al., 2011) para encontrar o máximo nesta região. Assim como em Krone-Martins et al. (2010), restringimos os valores dos parâmetros para tornar a busca mais rápida, e também porque não são quaisquer valores que tem sentido físico neste problema, de modo que o algoritmo só busca no espaço de fase onde valem as seguintes restrições.

- $\min(\mu_{\alpha,i}) < \bar{\mu}_{\alpha,c}, \bar{\mu}_{\alpha,f} < \max(\mu_{\alpha,i})$
- $\min(\mu_{\delta,i}) < \bar{\mu}_{\delta,c}, \bar{\mu}_{\delta,f} < \max(\mu_{\delta,i})$
- $0.01 < \sigma_{\mu_c} < \max(\epsilon_{\mu}), \epsilon_{\mu} = \sqrt{\epsilon_{\mu_{\alpha,i}}^2 + \epsilon_{\mu_{\delta,i}}^2}$
- $0.01 < \sigma_{\mu_{\alpha,f}}, \sigma_{\mu_{\delta,f}} < 5 \cdot \sigma_{\mu_{\alpha,i}, \mu_{\delta,i}}$
- $-0.99 < \rho_c, \rho_f < 0.99$
- $0 < n_c < 1$

Com os valores ótimos desses parâmetros encontrados, utilizamos as Equações 4.1 e 4.7 a seguir para calcular a probabilidade de cada estrela pertencer ao aglomerado.

$$P_i = \frac{n_c \cdot \Phi_c}{n_c \cdot \Phi_c + (1 - n_c) \cdot \Phi_f} \quad (4.7)$$

No caso deste trabalho, adotamos que uma estrela seja selecionada como provável membro do aglomerado se sua probabilidade de pertinência for  $P_i > 50\%$ , como é feito em Sampedro e Alfaro (2016).

### 4.2.3 Validação do método

Antes de aplicarmos o código em nossa amostra do NGC 6253, realizamos dois testes para validá-lo, um com o aglomerado aberto NGC 2682, cujo movimento próprio médio está próximo da média do campo, e outro com o NGC 6840, que está mais distante da

média do campo no diagrama de fase de movimentos próprios. Nos dois casos, escolhemos o catálogo de probabilidades de pertinência de aglomerados produzido por Dias et al. (2014). Este catálogo contém os parâmetros cinemáticos de 1805 aglomerados e, para cada um, as posições e movimentos próprios, vindas do UCAC4, e as probabilidades de pertinência atribuídas às estrelas na região de cada aglomerado. Utilizamos os dados originais de Dias et al. (2014), isto é, os movimentos próprios do UCAC4 para as estrelas dentro do raio aparente de cada aglomerado em nosso modelo e comparamos nossos resultados com aqueles obtidos por esta referência.

No caso do NGC 2682, foi possível separar relativamente bem as duas populações no diagrama de fase, sobretudo em ascensão reta, obtendo médias equivalentes àsquelas da referência, como mostram a Figura 4.13 e a Tabela 4.2 a seguir.

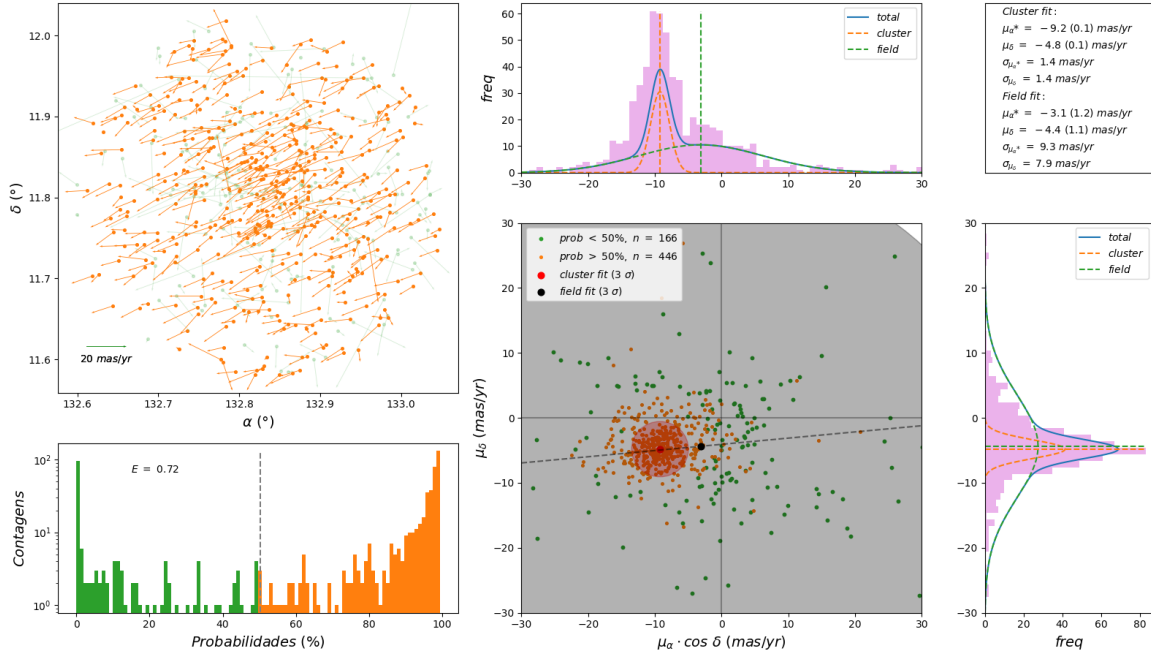


Figura 4.13: Ajuste de pertinência do NGC 2682, com médias próximas ( $\Delta\mu = 6.1 \text{ mas/ano}$ ).

Tabela 4.2 - Comparação entre nossos resultados a partir dos dados de Dias et al. (2014) e os resultados desta referência para o aglomerado NGC 2682.

Resultados	$\mu_{\alpha c} \text{ (mas/ano)}$	$\mu_{\delta c} \text{ (mas/ano)}$	$\mu_{\alpha f} \text{ (mas/ano)}$	$\mu_{\delta f} \text{ (mas/ano)}$	$N_c$	$N_f$
Dias et al. 2014	$-9.4 \pm 1.1$	$-4.9 \pm 0.9$	$-4.9 \pm 10.1$	$-3.8 \pm 7.0$	399	213
Este trabalho	$-9.2 \pm 0.1$	$-4.8 \pm 0.1$	$-3.1 \pm 1.2$	$-4.4 \pm 1.1$	446	166

A intersecção entre os membros aqui determinado e aqueles da referência é mostrada na

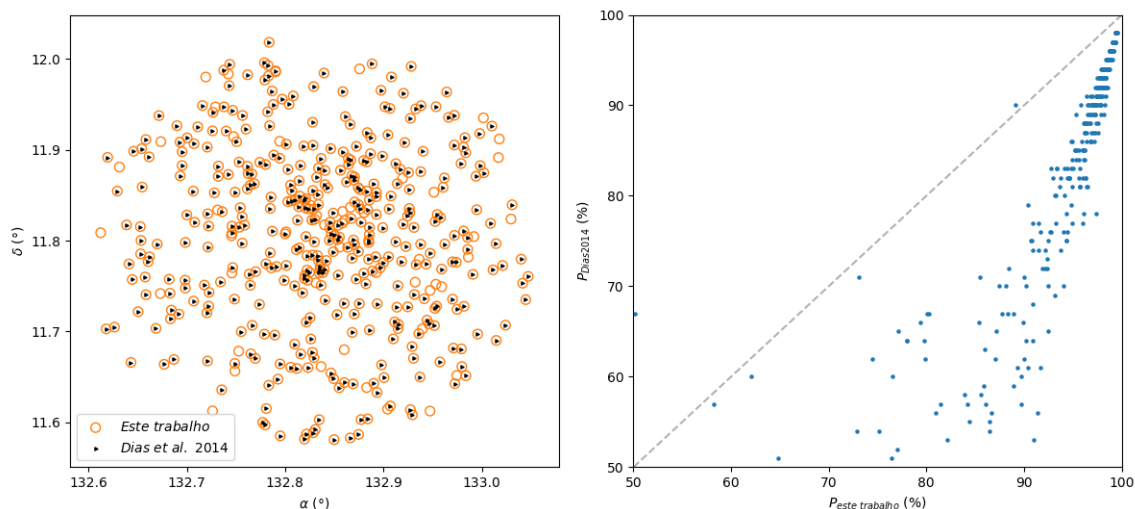


Figura 4.14: Intersecção das estrelas membros do NGC 2682 para este trabalho e para Dias et al. (2014).

Figura 4.14. Dentre as 399 estrelas membro em Dias et al. (2014), apenas 1 não foi por nós classificada como tal. Vemos também que as probabilidades de pertinência que determinamos para as 398 estrelas membro em comum estão ligeiramente maiores que as obtidas por Dias et al. (2014). Além disso, neste caso, classificamos como prováveis membros 47 estrelas a mais que a referência. Devemos ressaltar, porém, que essas probabilidades são apenas relativas, pois dependem tanto do método utilizado no ajuste dos parâmetros quanto das restrições impostas aos seus possíveis valores, que diferem nos dois trabalhos.

Para o aglomerado NGC 6840, nosso resultado também está condizente com a referência (Tabela 4.3), porém o ajuste neste caso ficou melhor, como podemos ver no histograma de probabilidades da Figura 4.15. Isto se deve em grande parte ao maior afastamento do movimento próprio médio do aglomerado em relação às estrelas de campo. Na Figura 4.16 vemos que, neste caso, das 103 estrelas classificadas como membros por Dias et al. (2014), nosso código identificou 92 em comum, de um total de 97 estrelas membro em nosso resultado. Neste caso, vemos que as probabilidades das estrelas membro em comum estão mais simétricas entre ambos os trabalhos. Isto se deve ao fato dessas duas populações estarem mais bem separadas no diagrama de fase, possibilitando um melhor ajuste de pertinência.

Com nosso código, vemos que é possível satisfatoriamente definir os membros de um aglomerado. A qualidade dessa separação das duas populações, entretanto, depende muito mais da precisão dos movimentos próprios e da diferença entre os movimentos próprios

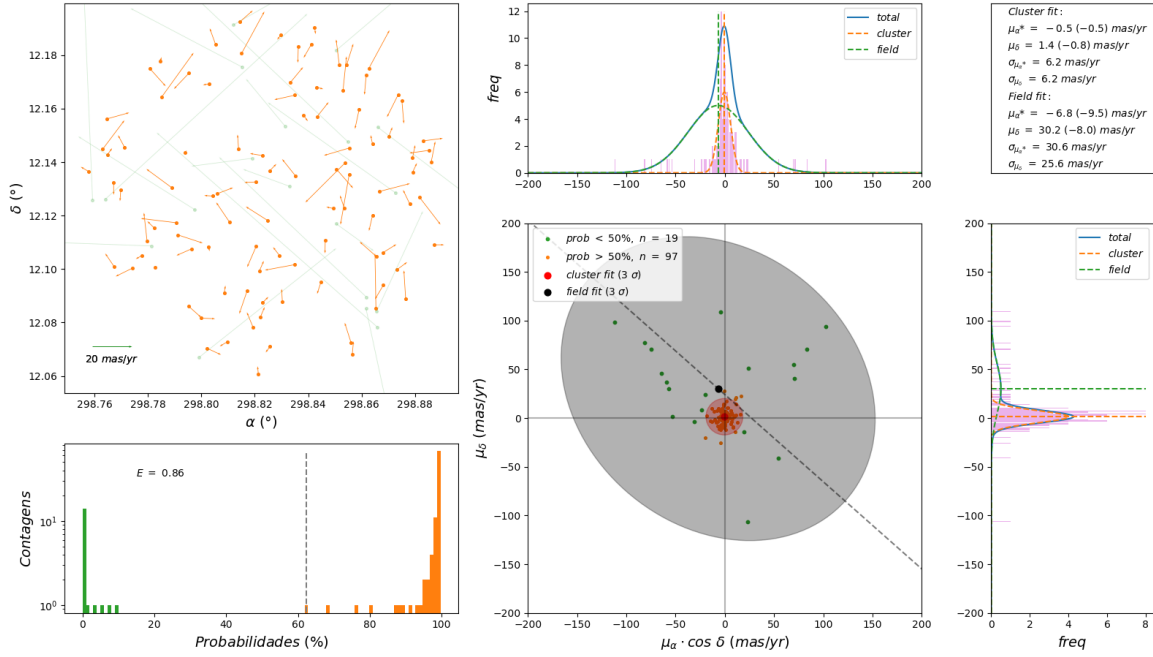


Figura 4.15: Ajuste de pertinência do NGC 6840, com médias distantes ( $\Delta\mu = 29.5 \text{ mas/ano}$ ).

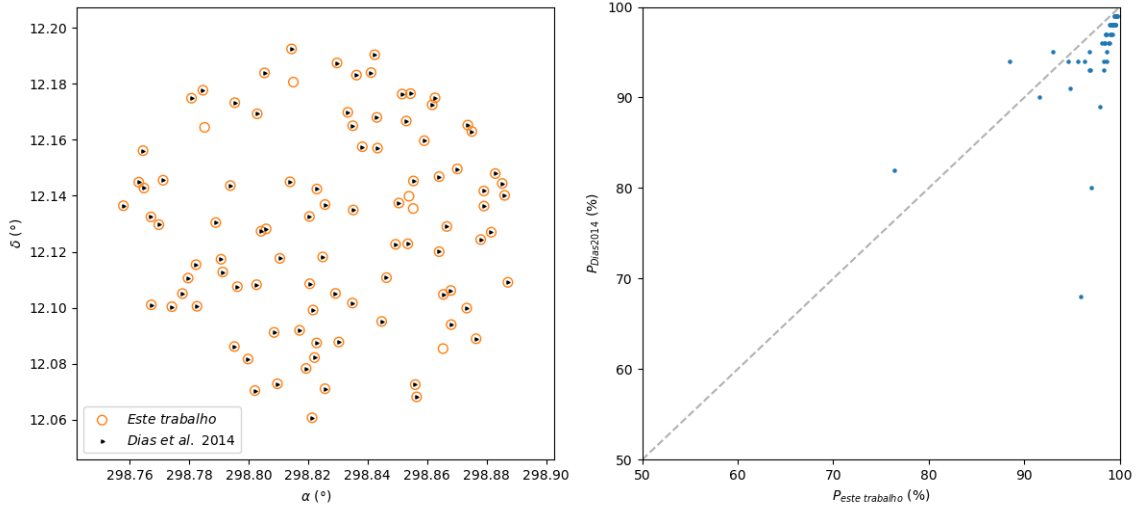


Figura 4.16: Intersecção das estrelas membros do NGC 6840 para este trabalho e para Dias et al. (2014).

Tabela 4.3 - Comparação entre nossos resultados a partir dos dados de Dias et al. (2014) e os resultados desta referência para o aglomerado NGC 6840.

Resultados	$\mu_{\alpha_c} \text{ (mas/ano)}$	$\mu_{\delta_c} \text{ (mas/ano)}$	$\mu_{\alpha_f} \text{ (mas/ano)}$	$\mu_{\delta_f} \text{ (mas/ano)}$	$N_c$	$N_f$
Dias et al. 2014	$-0.6 \pm 3.9$	$1.0 \pm 4.7$	$-6.5 \pm 40.4$	$17.7 \pm 27.4$	103	21
Este trabalho	$-0.5 \pm 0.5$	$1.4 \pm 0.8$	$-6.8 \pm 9.5$	$30.2 \pm 8.0$	97	19



médios do aglomerado e do campo do que do código desenvolvido.

### 4.3 Estudo do aglomerado NGC 6253 (Janela LA)

Em nossa amostra da região ao redor do aglomerado NGC 6253, como descrito na sessão 4.2.1, contamos com movimentos próprios com erros relativamente pequenos. Para este aglomerado obtivemos um movimento próprio de  $\mu_\alpha \cdot \cos \delta = -7.1 \pm 0.1 \text{ mas/ano}$  e  $\mu_\delta = -9.3 \pm 0.1 \text{ mas/ano}$ , com uma dispersão circular de  $\sigma_\mu = 0.9 \text{ mas/ano}$ . Enquanto que para as estrelas de campo, encontramos um movimento próprio médio de  $\mu_\alpha \cdot \cos \delta = -4.1 \pm 0.1 \text{ mas/ano}$  e  $\mu_\delta = -4.4 \pm 0.1 \text{ mas/ano}$ , com dispersões projetadas em coordenadas equatoriais de  $\sigma_{\mu_\alpha \cdot \cos \delta} = 1.9 \text{ mas/ano}$  e  $\sigma_{\mu_\delta} = 3.4 \text{ mas/ano}$ . No total, obtivemos 87 estrelas como prováveis membros do aglomerado, contra 411 para o campo, como mostra a Figura 4.17.

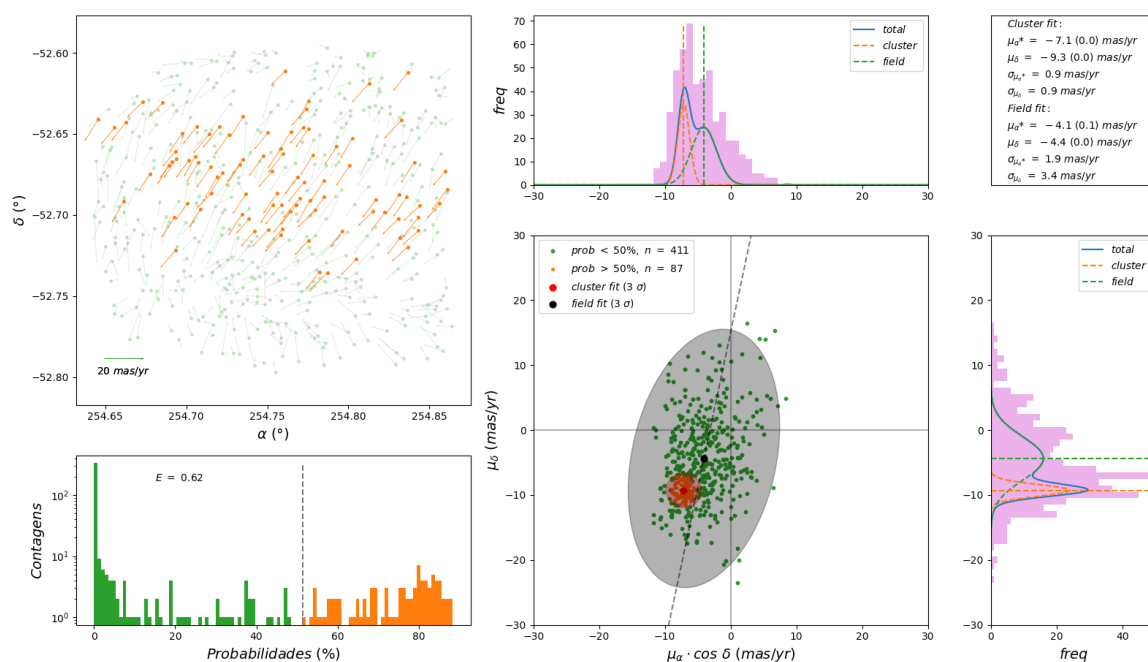


Figura 4.17: Ajuste de pertinência da amostra do NGC 6253.

Podemos ver neste caso que o aglomerado está inserido numa região relativamente densa e, como os movimentos próprios do aglomerado e do campo não são tão diferentes, encontramos dificuldades a mais na determinação das estrelas membro. Essa maior dificuldade fica visível no histograma de probabilidades da Figura 4.17, onde vemos que a altura

do pico correspondente ao aglomerado é proporcionalmente baixa em relação ao resto da distribuição. A proporção de membros neste caso encontra-se em torno de 20 %, enquanto que no caso do aglomerado de teste NGC 2682, esse valor atinge 270 %. Não obstante, devido à qualidade dos movimentos próprios que calculamos para a região do NGC 6253 e aos filtros de raio e *outliers* que aplicamos nessa amostra, o ajuste de pertinência conseguiu separar bem as duas populações de estrelas. Devemos ressaltar, porém, que como utilizamos um método bidimensional, que se vale apenas dos movimentos próprios, devemos ter dentre essas 87 estrelas que foram classificadas como prováveis membros, alguns contaminantes. Seria possível uma separação mais confiável em termos de contaminantes utilizando-se dados qualidade superior, como aqueles que teremos com Gaia-DR2, e eventualmente com estratégias mais robustas que levem em conta outros parâmetros além dos movimentos próprios.

Na Figura 4.18 podemos ver os prováveis membros ajustados e seus movimentos próprios, juntamente com as estrelas de campo e o corte do raio ajustado do aglomerado.

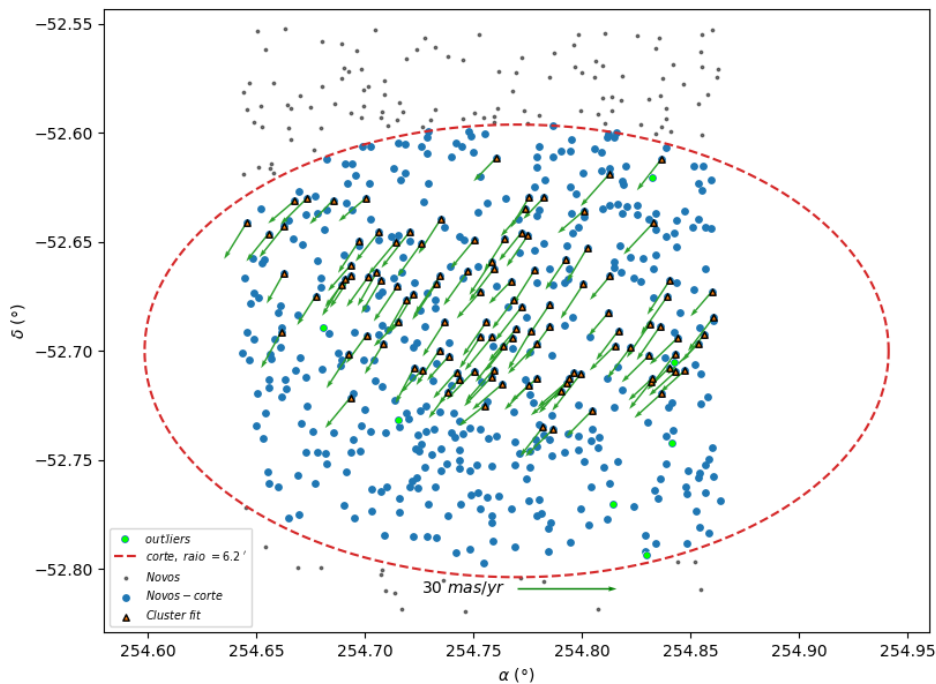


Figura 4.18: Vetores dos movimentos próprios e posições dos prováveis membros do aglomerado e as estrelas de campo.

Para comparar nosso resultado com a referência, realizamos a intersecção entre nosso ajuste de pertinência e as estrelas membros de Montalto et al. (2009), filtradas pelo limite em magnitude e na mesma região de nossa amostra. Na Figura 4.19 vemos que entre as

87 estrelas membros do nosso resultado e as 385 estrelas membro da referência, temos 55 em comum. Para essas estrelas, existe uma dispersão considerável na comparação das probabilidades nos dois casos. Entretanto, essas probabilidades são relativas e dependem, não apenas dos métodos de ajuste dos parâmetros e das restrições utilizadas em cada trabalho, mas também, fundamentalmente, da qualidade e da homogeneidade dos dados. Podemos ver que as probabilidades do resultado da referência atingem valores mais elevados que as nossas. Isso se deve a eles utilizarem movimentos próprios mais homogêneos e locais. Em nosso caso, utilizamos movimentos próprios relativos a um sistema de referência, porém, não homogêneos, cujas posições vieram de catálogos diferentes.

Vemos esse comportamento também na Figura 4.20, onde comparamos nosso corte em probabilidades com o de Montalto et al. (2009), que utiliza uma dependência linear não constante entre a probabilidade de pertinência e a magnitude para selecionar as estrelas membro. A proporção de estrelas membro por estrela de campo em Montalto et al. (2009), 385/475, é consideravelmente maior do que em nosso ajuste, 87/411. Isto se deve também a uma maior quantidade de dados que o trabalho de Montalto et al. (2009) utiliza, 860 contra 498 em nosso catálogo para este aglomerado. Essa diferença na quantidade de estrelas nas duas amostras vem da perda de amostragem que sofremos quando cruzamos os catálogos que utilizamos para calcular os movimentos próprios.

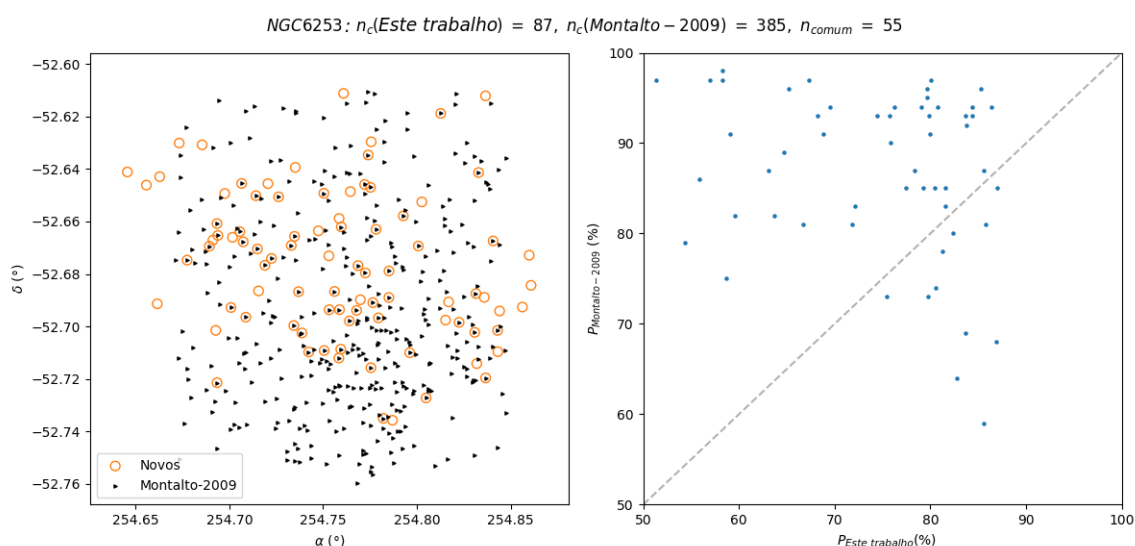


Figura 4.19: Intersecção entre os nossos resultados e os de Montalto et al. (2009) e comparação das probabilidades.

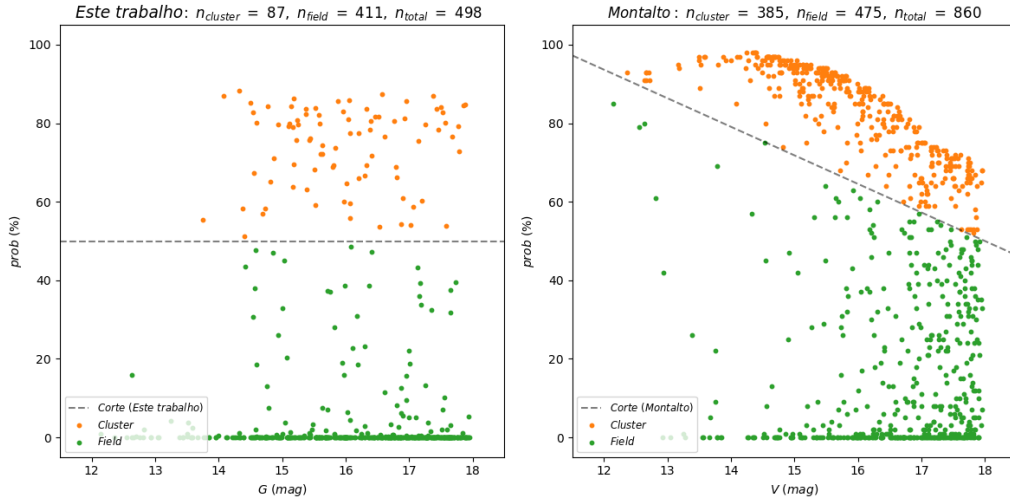


Figura 4.20: Comparação entre os cortes em probabilidade.

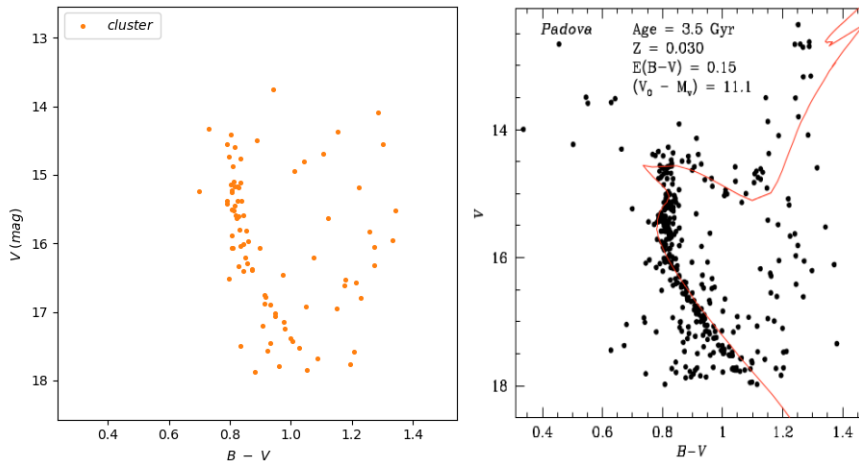


Figura 4.21: Diagrama cor-magnitude para as estrelas do NGC 6253 com os resultados deste trabalho (esquerda) e da referência Montalto et al. (2009) (direita).

Na Figura 4.21 apresentamos o diagrama cor-magnitude  $V \times B - V$  obtido neste trabalho e aquele de Montalto et al. (2009). Partindo do princípio de que as estrelas de um aglomerado estão aproximadamente à mesma distância de nós, podemos dizer, à exceção de alguns contaminantes, que este diagrama representa o diagrama H-R de NGC 6253. O trabalho de Montalto et al. (2009) faz uma estimativa de idade de  $3.5 \text{ Gyr}$  para este aglomerado, a partir de uma distância estimada em  $1.5 \text{ kpc}$  por Bragaglia et al. (1997). Nesta Figura podemos ver distintamente, tanto nos dados da referência quanto em nosso resultado, a sequência principal e o *turnoff point* do aglomerado. Vemos também a presença de estrelas dos ramos das sub-gigantes e gigantes vermelhas em nossos resultados.

---

Porém, ao contrário da referência, nossos dados não abrangem *blue stragglers*, pois nosso diagrama cor-magnitude começa em  $B - V = 0.7 \text{ mag}$ , enquanto que o de Montalto et al. (2009) inicia em  $B - V = 0.4 \text{ mag}$ .



## Pares de estrelas com movimentos próprios comuns

### 5.1 *Sistemas Binários*

Sistemas binários são objetos de fundamental importância em astrofísica. Essencialmente, a única forma direta de se obter a massa de uma estrela é através da determinação dos parâmetros orbitais das componentes de um sistema binário, seja este visual, eclíptico, espectroscópico, astrométrico ou uma combinação dessas classificações. Esses sistemas podem ter separações lineares variáveis. Não existe um limite superior claramente definido, mas podemos adotar um valor de referência de 20000  $UA$ , que corresponde à maior separação linear possível para que um sistema binário permaneça ligado por um período de 10 bilhões de anos (Retterer e King, 1982). No caso do limite inferior, a situação é ainda menos clara, mas sabemos que essas separações podem ser até menores que 10  $UA$  (Halbwachs et al., 2003). No caso de grandes semi-eixos maiores, os períodos podem ser proibitivamente longos, de modo que esses sistemas não podem ser utilizados para se obter as massas das componentes. Entretanto, sistemas com grandes separações lineares podem ser utilizados como indicadores dinâmicos do potencial galáctico (Yoo et al., 2004), uma vez que suas fracas ligações podem ser facilmente rompidas por perturbações gravitacionais externas. Outra característica desse tipo de sistema binário é o fato de suas componentes, além de compartilharem a mesma idade e composição química (no caso de possuírem a mesma origem) e praticamente a mesma distância, evoluírem separadamente, sem interferências mútuas, como transferência de massa, que ocorrem em sistemas com separações lineares menores.

Um par de estrelas no céu pode ser caracterizado como um sistema binário visual se possuir algumas características cinemáticas que o distingam de um mero alinhamento ao

acaso (dupla visual). No presente trabalho, como os únicos dados cinemáticos de que dispomos são a posição e o movimento próprio, podemos apenas obter pares de estrelas que sejam candidatos a sistemas binários. Para confirmar a ligação física entre seus componentes, seria necessário possuir dados de paralaxe e velocidade radial, a fim de termos uma completa descrição no espaço tridimensional.

Neste trabalho, implementamos um método que consiste em selecionar pares de estrelas com separações angulares até um valor definido, e cujos movimentos próprios sejam compatíveis dentro de seus erros. Ao assumir que os movimentos próprios das componentes dos pares sejam semelhantes, estamos cientes de que podemos estar excluindo possíveis sistemas binários com pequenas separações lineares e/ou muito próximos de nós, como discutimos na seção 5.2 a seguir. Entretanto, isso não poderia ser evitado, uma vez que não dispomos de outros dados cinemáticos para essas estrelas em nosso trabalho. Contudo, os eventuais sistemas binários que estejam suficientemente distantes ou que tenham separações lineares grandes o bastante para que o efeito das velocidades orbitais não supere os erros nos movimentos próprios, provavelmente estariam incluídos nos pares que assim selecionamos.

## 5.2 Caso particular de um sistema binário

A forma como observamos um sistema binário no céu depende fundamentalmente da distância, da separação linear, das massas e da orientação das órbitas de seus componentes. Para o caso de um sistema com massas  $m_A$  e  $m_B$ , com órbitas sem excentricidade e perpendiculares à linha de visada do observador, para cada estrela, a velocidade tangencial seria a soma da velocidade orbital com a do centro de massa do sistema, como mostra o esquema da Figura 5.1 a seguir.

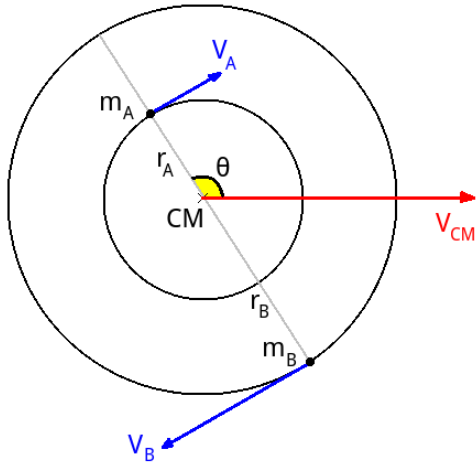
Essas velocidades tangenciais dependem do ângulo  $\theta$  entre a reta que une as componentes e o vetor velocidade do centro de massa (CM) do sistema, como mostra a Figura 5.1, e possuem seus maiores e menores valores absolutos quando  $\theta \pm 90^\circ$ . Para este caso de órbitas circulares, as velocidades orbitais das componentes são dadas por:

$$V_{A,B} = \sqrt{\frac{G \cdot m_{B,A}^2}{m_A + m_B} \cdot \frac{1}{a}} \quad (5.1)$$

Onde  $a$  é a separação linear do sistema binário. Assim, a velocidade angular instantânea



Referencial do centro de massa do sistema



Referencial do observador

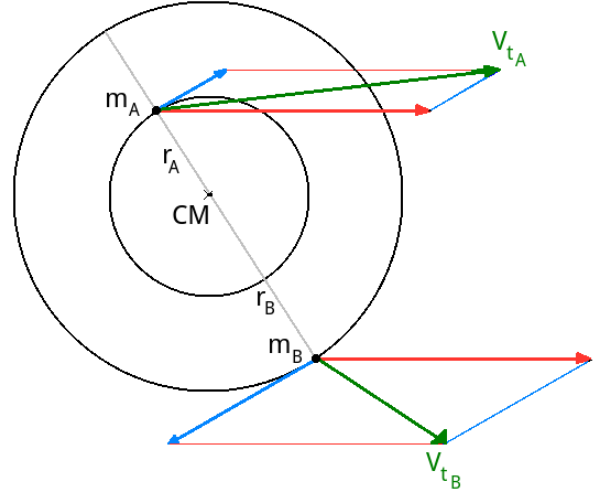


Figura 5.1: Esquema das velocidades tangenciais de um sistema binário com órbitas circulares e *face on*.

$w_{A,B}$  de cada componente (A, B), Equação 5.2, que se observaria para cada estrela no seu máximo valor, dado que o sistema esteja a uma distância  $d$ , é dada por:

$$w_{A,B} = \frac{V_{CM} \pm V_{A,B}}{d} \Rightarrow w_{A,B} = V_{CM} \cdot d^{-1} \pm \sqrt{\frac{G \cdot m_{B,A}^2}{m_A + m_B}} \cdot a^{-1/2} \cdot d^{-1} \quad (5.2)$$

Isso mostra que o efeito do segundo termo de  $w_{A,B}$  nos movimentos próprios medidos para as estrelas do sistema diminui com a distância e com a separação linear. Além disso, mostra também que essa dependência é mais forte com a distância do que com a separação linear. A mesma conclusão vale para o caso geral de órbitas elípticas e inclinadas com diferentes orientações. Utilizando a Equação 5.2, no caso de um sistema com estrelas de  $1 m_{\odot}$  cada e uma velocidade espacial média de  $V_{CM} = 40 \text{ km/s}$ , a diferença máxima entre as velocidades angulares instantâneas de cada componente, ou entre os seus movimentos próprios em função da distância e para vários valores de separação linear é ilustrada na Figura 5.2 a seguir.

Nessa Figura vemos que para sistemas binários de grandes separações lineares, com  $a > 100 \text{ UA}$ , se a distância for de  $100 \text{ pc}$ , a diferença entre os movimentos próprios medidos para as componentes será menor que  $10 \text{ mas/ano}$ , enquanto que neste caso particular, com estrelas de  $1 m_{\odot}$  cada e velocidade espacial média de  $V_{CM} = 40 \text{ km/s}$ , o movimento próprio do sistema seria de  $85 \text{ mas/ano}$ . Neste caso, se os erros relativos em movimento próprio forem da ordem de  $10 \%$ , então essa diferença entre os movimentos próprios das

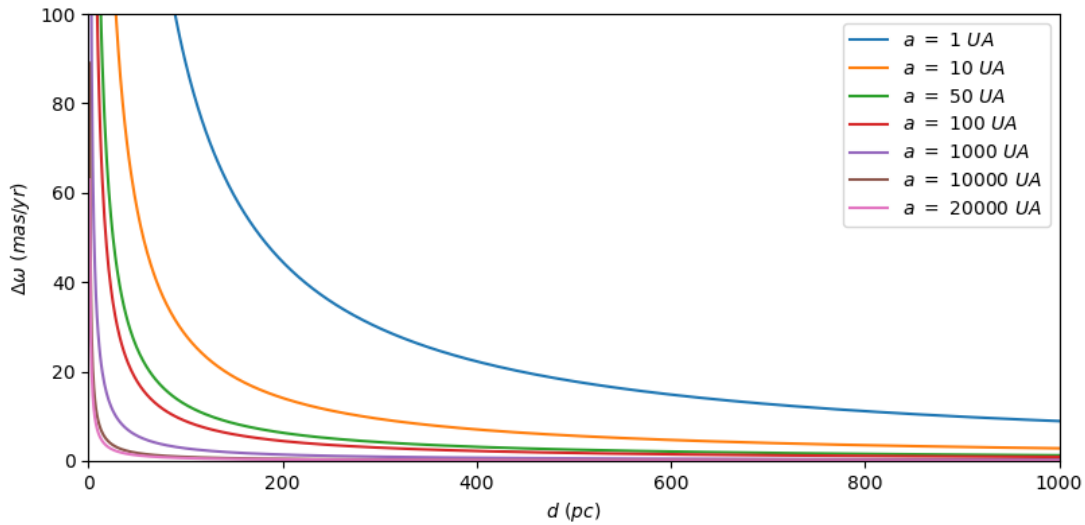


Figura 5.2: Diferença entre os movimentos próprios que seriam medidos para cada estrela como função da distância, para quatro valores diferentes de separação linear.

componentes seria aproximadamente igual ou menor que os erros absolutos, de modo que esses movimentos poderiam ser considerados compatíveis.

### 5.3 GBVOC2-estendido

Como vimos no Capítulo 3, obtivemos movimentos próprios utilizando as posições dos catálogos GBVOC, 2MASS, SPM4-URAT1, GDR1 e UCAC5, constituindo o GBVOC2, com dados mais confiáveis e próximos de nossas expectativas. Entretanto, devido ao filtro de  $100 \text{ mas/ano}$  que aplicamos durante a identificação cruzada, o GBVOC2 ficou limitado a movimentos próprios totais menores que esse limite. Este procedimento trás prejuízos na busca de pares de estrelas com movimentos próprios comuns e de candidatas à vizinhança solar. Buscando compensar essa perda, para o desenvolvimento desses dois temas, acrescentamos ao GBVOC2 as estrelas do GBVOC original com  $\mu > 100 \text{ mas/ano}$ . Tratando-se de grandes movimentos próprios, em geral, a qualidade é melhor e os erros relativos são reduzidos (0.7% a 11%). Portanto, essa estratégia não acarreta prejuízo aos resultados dessas análises. Dessa forma, neste e no próximo Capítulo, trabalharemos também com essas 23 estrelas oriundas do GBVOC original, compondo assim o GBVOC2-estendido, com 9001 estrelas.

## 5.4 Movimentos próprios comuns

Em nossa busca por candidatos a sistemas binários, definimos um critério para distinguir pares de estrelas com separações angulares dentro de um certo intervalo e com movimentos próprios semelhantes. Para definir um raio de busca, estimamos uma separação angular máxima a ser procurada com base na maior separação linear  $a_{max}$  de um sistema ligado e na menor distância  $d_{min}$  de um sistema binário conhecido, com a aproximação de pequenos ângulos.

$$\tan(\Delta\theta_{max}) = \frac{a_{max}}{d_{min}} \implies \Delta\theta_{max} = \frac{a_{max}}{d_{min}} \quad (5.3)$$

Segundo Retterer e King (1982), a maior separação linear possível para um sistema binário permanecer ligado por até 10 *Gyr* seria de 20000 *UA*, ou 0.1 *pc*. Enquanto que o sistema binário mais próximo conhecido, Alpha Centauri AB, está a  $1.325 \pm 0.007$  *pc* (Van Leeuwen, 2007). Isso resulta em uma separação angular máxima de  $4.3^\circ$ . Como a separação média entre as janelas de nosso catálogo é de aproximadamente  $5^\circ$ , decidimos utilizar as próprias janelas, que tem extensões em torno de  $1^\circ$ , como limite máximo de busca.

Podemos afirmar, como em Halbwachs (1986), que duas estrelas possuem movimentos próprios compatíveis a um nível de significância de 95 %, considerando seus erros, se obedecem a relação a seguir.

$$|\overrightarrow{\Delta\mu}|^2 < -2 \cdot \ln(0.05) \cdot (\sigma_i^2 + \sigma_j^2) \quad (5.4)$$

Onde  $\overrightarrow{\Delta\mu} = \overrightarrow{\mu}_i - \overrightarrow{\mu}_j$  é a diferença vetorial entre os movimentos próprios dos componentes de cada par possível, e  $\sigma_{i,j}$  são os erros em  $\overrightarrow{\mu}$  para cada estrela. Na Equação 5.4, se colocamos  $\mu_j = 0$  e  $\sigma_i = \sigma_j = \sigma_{max}$ , obtemos o menor valor abaixo do qual o movimento próprio seria compatível com qualquer estrela fixa.

$$\mu_{min} = \sqrt{-2 \cdot \ln(0.05) \cdot (2 \cdot \sigma_{max}^2)} \quad (5.5)$$

Como o maior erro nos novos movimentos próprios que calculamos é de 3.6 *mas/ano*, consideramos apenas as estrelas com  $\mu > 12.6$  *mas/ano* em nossa análise, ficando com um total de 1349 estrelas. Dessa forma, utilizando o critério da equação 5.4, encontramos um total de 244 pares candidatos a sistemas binários, espalhados pelas 12 janelas do catálogo.

Nas Figuras 5.3 a 5.5 a seguir vemos os exemplos das janelas LA, LR e LU, onde detectamos alguns pares de estrelas com movimentos próprios excepcionalmente grandes.

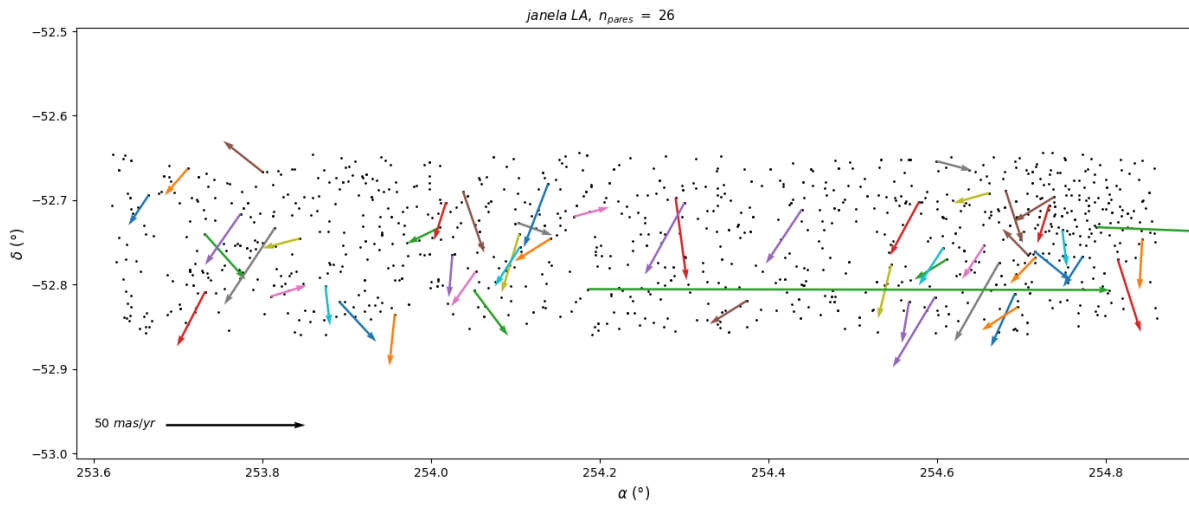


Figura 5.3: Pares com movimentos próprios comuns na janela LA. Aqui, um dos componentes do maior par encontrado (em verde) está com o movimento próprio cortado pela borda direita da figura, devido à escala que utilizamos.

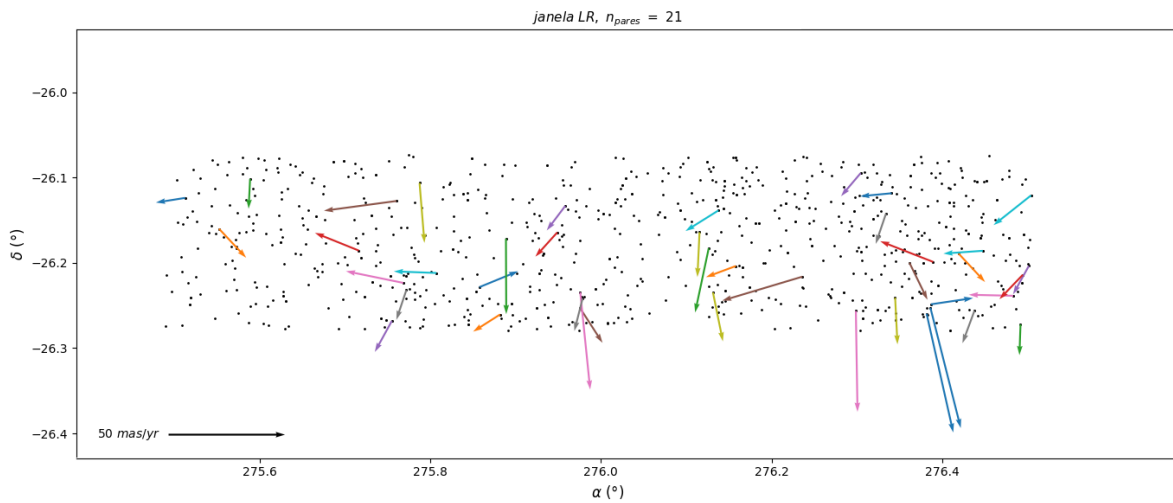


Figura 5.4: Pares com movimentos próprios comuns na janela LR.

Na Figura 5.6 mostramos a distribuição dos pares no espaço de fase das diferenças em movimentos próprios e das separações angulares, onde vemos que eles se concentram essencialmente na região de aproximadamente  $300'' < \Delta\theta < 3000''$  e  $\Delta\mu < 10 \text{ mas/ano}$ . Apenas um par tem uma diferença que se destaca, na parte superior, com  $\Delta\mu = 22.4 \text{ mas/ano}$  e um movimento próprio médio de  $\mu_{\text{medio}} = 197.9 \text{ mas/ano}$ , que é o par de grande movimento

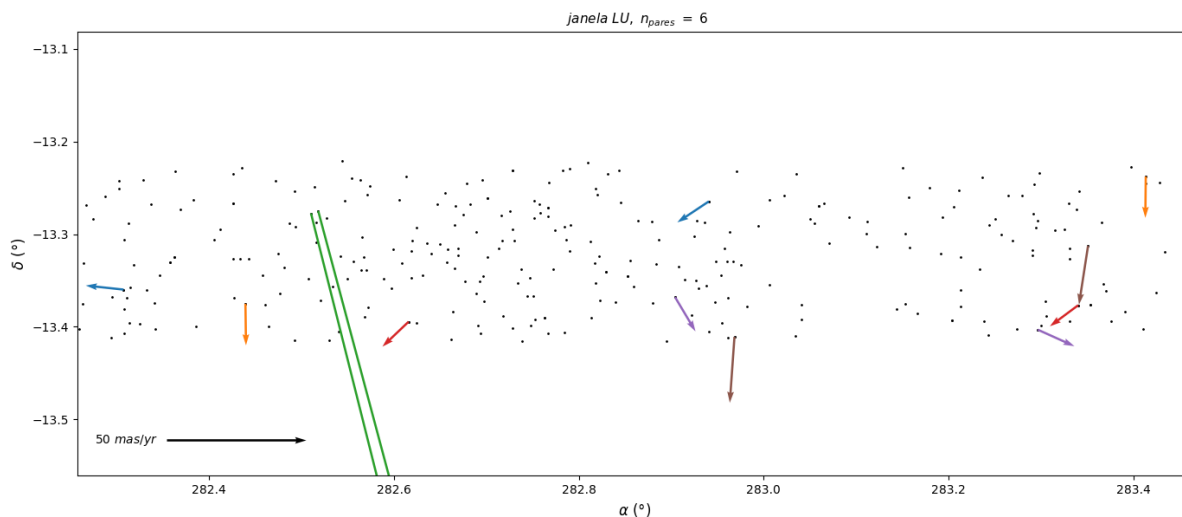


Figura 5.5: Pares com movimentos próprios comuns na janela LU. Nesta janela também o maior par ficou cortado pela borda inferior da figura.

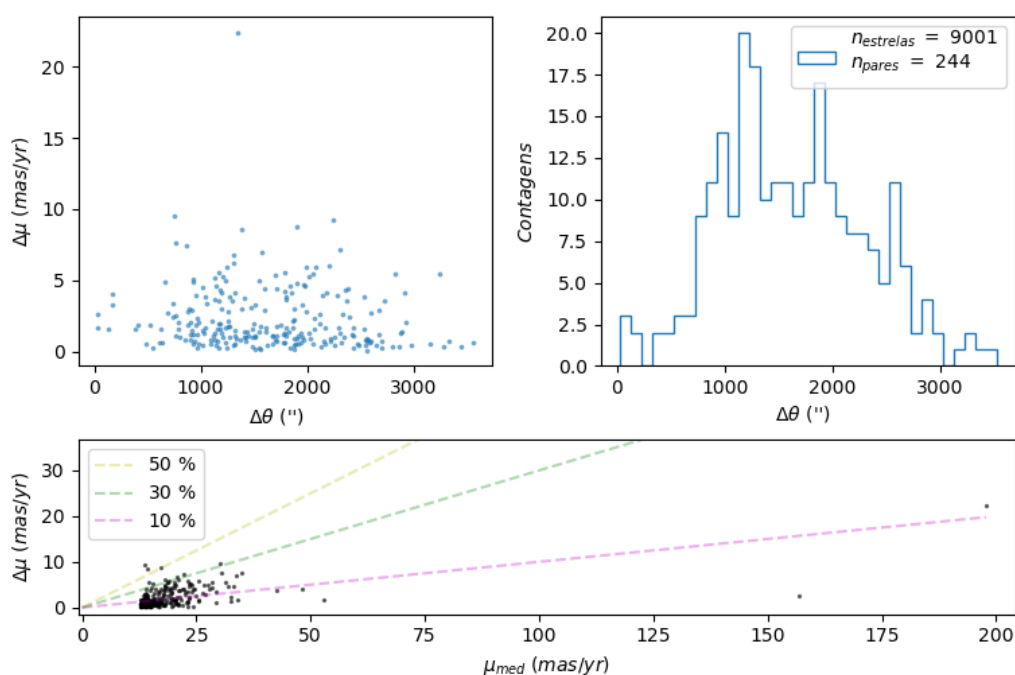


Figura 5.6: Distribuição dos pares no espaço de fase  $\Delta\mu \times \Delta\theta$ , histograma das separações angulares e  $\Delta\mu$  em função do movimento próprio médio.

próprio que se encontra na janela LA. Vemos também que a maior parte dos pares tem uma razão  $\Delta\mu/\mu_{medio} < 30\%$ , sendo que todos que possuem um movimento próprio médio maior que  $40 \text{ mas/ano}$  tem  $\Delta\mu/\mu_{medio} < 12\%$ . Nesta Figura apresentamos também o histograma das separações angulares. O par com a maior separação angular que encontramos ( $3562''$ ) encontra-se na janela LI e tem um movimento próprio  $\mu_{med} = 12.8 \text{ mas/ano}$

e uma diferença  $\Delta\mu = 0.7 \text{ mas/yr}$ . Enquanto que a menor separação que encontramos foi de  $28''$ , que corresponde ao par de maior movimento próprio médio ( $157.0 \text{ mas/ano}$ ) da janela LU.

A fim de conferir se alguns desses candidatos já teriam sido identificados em outros trabalhos, realizamos uma extensa busca na base de dados Vizier. De todos os 244 pares aqui selecionados, encontramos apenas um na literatura, confirmado como sistema binário. Trata-se do par de grande movimento próprio na janela LU (em verde na Figura 5.5). O trabalho de Benavides et al. (2010) identifica este par como um sistema binário, cujas componentes tem tipos espectrais G5V e G7V e massas de  $0.94 m_{\odot}$  e  $0.88 m_{\odot}$ , com uma separação linear de  $2205 \text{ UA}$  e um período orbital de  $P = 76814 \text{ yr}$ . Também no catálogo TGAS seus componentes aparecem como um sistema ligado, segundo Andrews et al. (2017), estando a uma distância média de  $65 \text{ pc}$ .

Destacamos também o par da janela LA (Figura 5.3) que possui o maior movimento próprio médio,  $\mu_{\text{medio}} = 197.9 \text{ mas/ano}$ , e uma separação angular de  $1339''$ . Os grandes movimentos próprios dessas duas estrelas e, também uma separação angular que corresponde ao centro da amostra, sugere que este par constitua um sistema ligado e próximo. Entretanto, este par não pôde ser confirmado pois suas distâncias não são conhecidas. Podemos, contudo, utilizar a Figura 5.2 da seção 5.2 para estimar sua distância, assim como sua separação linear. Através da Equação 5.2, se assumimos que este par seja mesmo um sistema binário e que ambas as componentes possuam massa  $m_{A,B} = 1m_{\odot}$  e cujas órbitas estejam perpendiculares à linha de visada, podemos relacionar a distância e o semi-eixo maior como a seguir.

$$d = \left( \left( \frac{2 \cdot G \cdot m_{\odot}}{\tan(\Delta\theta)} \right)^{1/2} \cdot \frac{1}{\Delta\mu} \right)^{2/3} \quad (5.6)$$

$$a = d \cdot \tan(\Delta\theta) \quad (5.7)$$

Inserindo nessas equações a separação angular ( $1339''$ ) e a diferença entre os movimentos próprios ( $22.4 \text{ mas/ano}$ ), com as hipóteses que utilizamos, estimamos que este suposto sistema esteja a uma distância de  $4.9 \text{ pc}$  e tenha um semi-eixo maior de  $6360 \text{ UA}$ , o que condiz com a proximidade indicada pelos grandes movimentos próprios de suas componentes.

Utilizamos também nossa hipótese de maior separação linear possível dos pares ( $a_{max} = 20000 \text{ UA}$ ) e a medida que obtivemos para a menor separação angular ( $\Delta\theta_{min} = 28''$ ), para estimar a distância máxima em que poderiam se encontrar esses pares, de acordo com a Equação 5.8 a seguir, onde utilizamos a aproximação para pequenos ângulos. Assim, obtemos que todos esses pares devem estar a até uma distância de  $d_{max} = 737 \text{ pc}$ .

$$\tan(\Delta\theta_{min}) = \frac{a_{max}}{d_{max}} \implies d_{max} = \frac{a_{max}}{\Delta\theta_{min}} \quad (5.8)$$

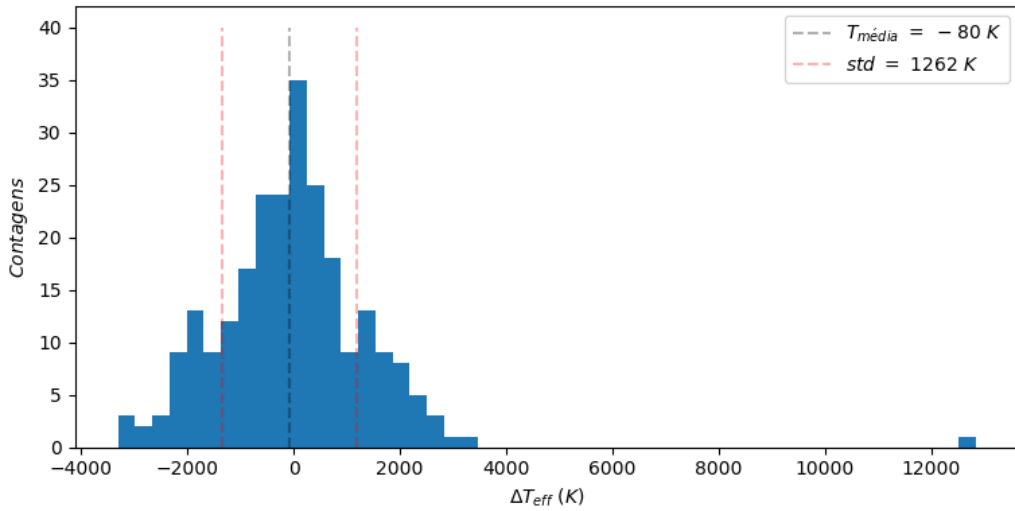


Figura 5.7: Histograma das diferenças entre as temperaturas efetivas das componentes dos pares.

Como vemos na Figura 5.7, a diferença entre as temperaturas das componentes dos pares segue uma distribuição gaussiana, com uma média de  $-80 \text{ K}$  e um desvio padrão de  $1262 \text{ K}$ , à exceção de um único par, o de número 95 (na numeração interna das Tabelas do Apêndice B), na janela LI. Este par é constituído por uma estrela com  $T_{eff_0} = 18866 \text{ K}$  e outra com  $T_{eff_1} = 6035 \text{ K}$ . Essa grande diferença é também observada em suas magnitudes, de  $V_0 = 7.5$  e  $V_1 = 13.5$ . Para além da semelhança entre seus movimentos próprios (com  $\Delta\mu = 0.7 \text{ mas/ano}$  e  $\mu_{med} = 18.1 \text{ mas/ano}$ ), isto indica também que essas estrelas devem constituir um par ligado, estando a distâncias semelhantes.





## Grandes movimentos próprios

A vizinhança solar representa um laboratório muito importante para o estudo da evolução de estrelas e outros objetos, como anãs marrons e exoplanetas. É justamente para esses objetos próximos que se obtém as melhores observações e, conseqüentemente, suas grandezas derivadas. Entretanto, para sabermos se uma estrela encontra-se ou não em nossa vizinhança, necessitamos da medida de sua distância, que em geral é desconhecida.

Ao longo dos séculos, a magnitude aparente tem sido, corretamente, utilizada como o principal indicador de proximidade. Porém, naturalmente esse indicador exclui, por definição, objetos intrinsecamente fracos da vizinhança solar, como seria o caso de anãs marrons.

Um outro possível indicador de proximidade é o movimento próprio. Este também não pode ser utilizado para se obter um valor direto das distâncias ou de maneira individual para cada estrela, pois as velocidades vetoriais das estrelas em relação ao Sol variam em direção e, dentro de certos limites, também em módulo. Porém, podemos utilizar os movimentos próprios de uma amostra de estrelas para dizer quais destas devem, estatisticamente, estar mais próximas. Estrelas com grandes movimentos próprios são objetos próximos. Uma vez sugerida a proximidade pelos movimentos próprios, o passo seguinte se constitui em verificar se se trata de um objeto de interesse astrofísico e, se for o caso, buscar medir sua paralaxe.

Neste trabalho, adotamos como grande movimento próprio aquele que ultrapassa o valor do movimento próprio médio da amostra somado de 5 vezes o desvio padrão (*std*). Essa escolha de 5 *std* foi arbitrária e, com isso, procuramos guardar uma boa relação entre o número de estrelas encontradas e a amplitude dos movimentos próprios. Como a média dos movimentos próprios totais no GBVOC2-estendido é de  $\mu_{medio} = 8.4 \text{ mas/ano}$  e o desvio

padrão da distribuição é de  $10.2 \text{ mas/ano}$ , o valor separador dos movimentos próprios é de  $\mu_{lim} = 59.5 \text{ mas/ano}$ . Dessa forma, temos um total de 34 estrelas com grandes movimentos próprios, dentre as quais, 4 estrelas que compõem 2 pares de movimentos próprios comuns (Figuras 5.3 e 5.5). Na Figura 6.1 vemos que esses objetos se distribuem ao longo das janelas, seguindo aproximadamente a distribuição geral de todo o catálogo.

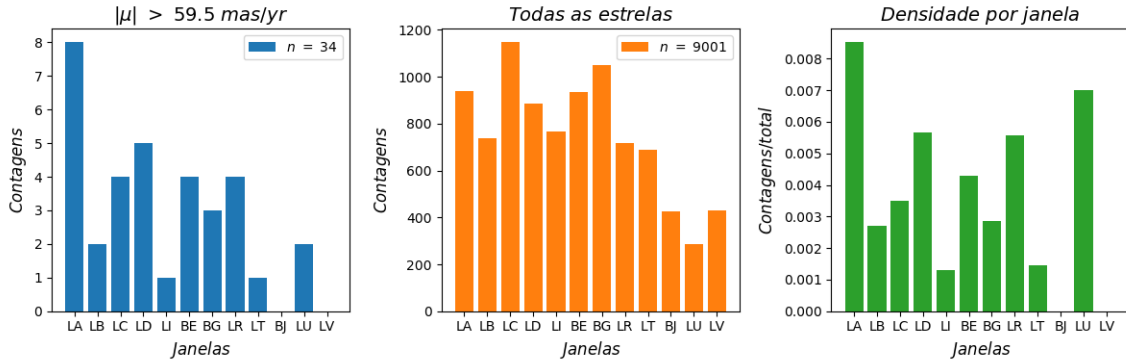


Figura 6.1: Distribuição das estrelas de grande movimento próprio nas janelas do GBVOC2-estendido.

Realizamos uma busca individual para cada uma dessas 34 estrelas nos catálogos UCAC5, GDR1 e UCAC4, a fim de comparar esses movimentos próprios. Na Tabela 6.1, as estrelas de 1 a 23 são as que vieram direto do GBVOC original, enquanto que as de 24 a 34 vem do GBVOC2. Para todos esses objetos encontramos um ponto no UCAC4 dentro do raio de busca e com magnitudes correspondentes, enquanto que no UCAC5 apenas não encontramos as estrelas 2, 8, 18 e 20, sendo que a 18 é a única que não está presente do GDR1. Entretanto, apenas no caso das estrelas 10, 11, 17, 18, 19, 22, 23, 25, 26, 28, 29, 30, 32 e 33 os movimentos próprios são compatíveis, com diferenças menores que 10 % em relação ao movimento próprio total no GBVOC2-estendido.

Identificamos que os objetos 19, 22, 23, 26 e 30 estão presentes também no TGAS, com movimentos próprios de  $\mu_{\alpha 19}^* = -85.0 \pm 5.2 \text{ mas/ano}$ ,  $\mu_{\delta 19} = -64.6 \pm 5.1 \text{ mas/ano}$ ,  $\mu_{\alpha 22}^* = 40.3 \pm 1.2 \text{ mas/ano}$ ,  $\mu_{\delta 22} = -154.2 \pm 1.1 \text{ mas/ano}$ ,  $\mu_{\alpha 23}^* = 40.6 \pm 0.9 \text{ mas/ano}$ ,  $\mu_{\delta 23} = -154.6 \pm 0.9 \text{ mas/ano}$ ,  $\mu_{\alpha 26}^* = -8.5 \pm 1.5 \text{ mas/ano}$ ,  $\mu_{\delta 26} = -90.6 \pm 1.2 \text{ mas/ano}$ ,  $\mu_{\alpha 30}^* = -30.1 \pm 1.6 \text{ mas/ano}$ ,  $\mu_{\delta 30} = -53.8 \pm 1.4 \text{ mas/ano}$ , estando a distâncias de  $d_{19} = 106.3 \pm 8.3 \text{ pc}$ ,  $d_{22} = 65.4 \pm 1.0 \text{ pc}$ ,  $d_{23} = 64.7 \pm 1.0 \text{ pc}$ ,  $d_{26} = 106.8 \pm 2.6 \text{ pc}$  e  $d_{30} = 101.2 \pm 2.5 \text{ pc}$ . Assim, vemos que pelo menos essas cinco estrelas estão de fato na vizinhança solar.

Buscando definir quais desses objetos possam ter um interesse científico particular,

como anãs-marrons ou sistemas binários, realizamos uma análise com o diagrama de cor e movimento próprio reduzido (cor-RPM) para todo o catálogo (GBVOC2-estendido), destacado essa amostra de 34 objetos de grandes movimentos próprios. Calculamos o movimento próprio reduzido a partir da magnitude aparente  $V$ , de acordo com a Equação a seguir, que mostra também sua relação com a magnitude absoluta  $M_V$  e a velocidade transversal  $T$  da estrela.

$$RPM = V + 5 \cdot \log_{10}(\mu) = M_V + 5 \cdot \log_{10}(T) - 5 \quad (6.1)$$

Antes, porém, realizamos um teste com os dados do catálogo HIPPARCOS, que possui as paralaxes e, portanto, as luminosidades de suas estrelas, na banda V, em unidades solares, de acordo com a Equação 6.2 a seguir.

$$\frac{L}{L_{\odot}} = p^{-2} \cdot 10^{\frac{V_{\odot}-V}{2.5}} \quad (6.2)$$

Onde  $V_{\odot} = -26.75 \text{ mag}$  (Cox, 2015) é a magnitude aparente do Sol na banda V e  $p$  é a paralaxe em *arcsec*. De todo o catálogo, utilizamos apenas as estrelas com um erro relativo  $\sigma_{rel} < 30 \%$  em paralaxe e em movimento próprio total, pois este valor representa um bom custo-benefício entre ficar com uma grande amostragem e ter medidas precisas o suficiente para distinguir bem as estruturas no diagrama. Separamos aqui também os grandes movimentos próprios, da mesma forma que em nosso catálogo, porém com uma distância de 10 vezes o desvio padrão a partir da média. Este valor é também arbitrário e foi escolhido para guardar uma proporção semelhante à nossa amostra. Como a média desses movimentos próprios é de  $50 \text{ mas/ano}$  e o desvio padrão é de  $97 \text{ mas/ano}$ , selecionamos o grupo com  $\mu > 1000 \text{ mas/ano}$  para destacar.

Assim pudemos comparar o diagrama cor-RPM com o diagrama HR dessas estrelas, como mostra a Figura 6.2, onde vemos que ambos são aproximadamente equivalentes. Para cada estrela, individualmente, não se poderia utilizar o diagrama cor-RPM para estimar sua luminosidade, pois existe uma dispersão considerável nas diferenças entre os dois diagramas, devido ao fato de o movimento próprio total ser apenas um indicativo da distância. Isto pode ser visto mais claramente no grupo selecionado de estrelas com  $\mu > 1000 \text{ mas/ano}$  nessa Figura. Neste diagrama, com esses dados do HIPPARCOS, podemos identificar pelo menos três grupos distintos: sequência principal, sub-gigantes e gigantes, da mesma forma que no diagrama HR.

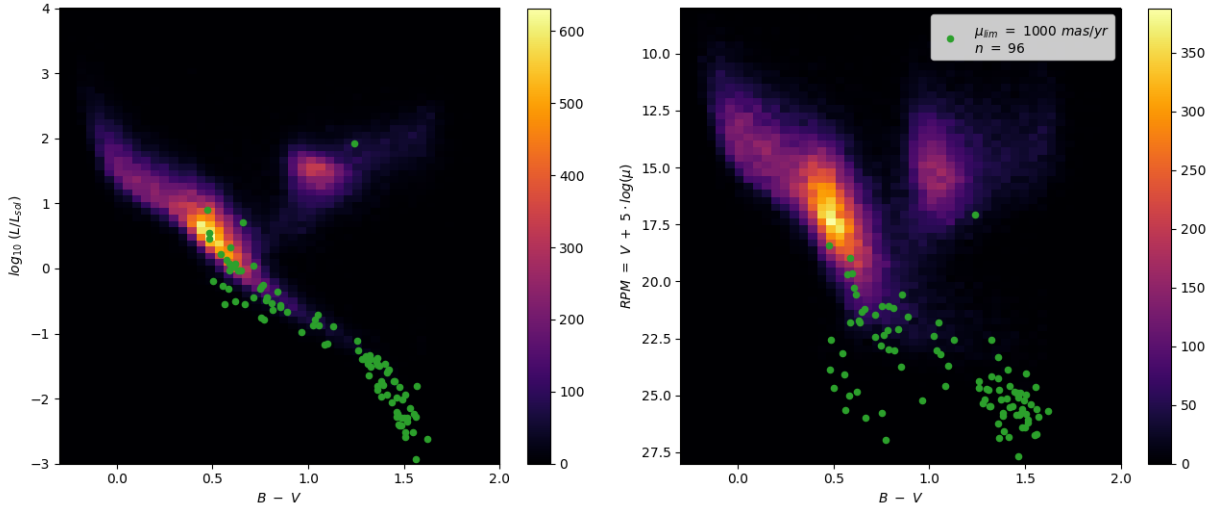


Figura 6.2: Comparação entre os mapas de densidade nos diagramas HR (esquerda) e cor-RPM (direita), com os dados do catálogo Hipparcos, destacando os grandes movimentos próprios (verde).

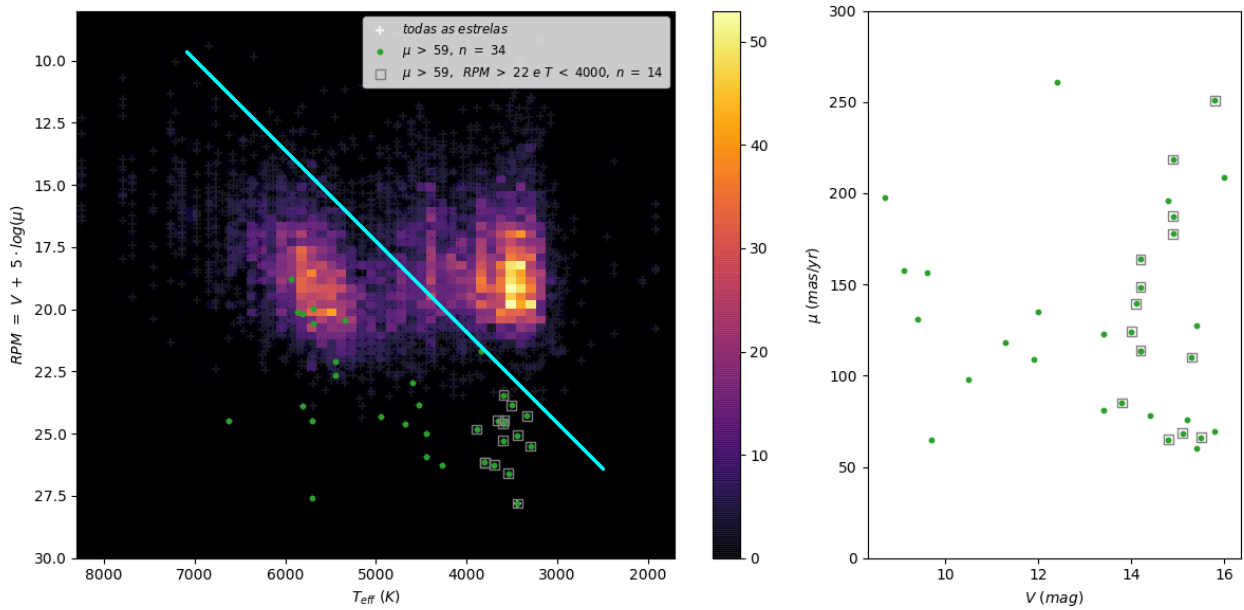


Figura 6.3: Mapa de densidade no diagrama  $T_{eff} - RPM$  (esquerda), com os dados deste trabalho, destacando os grandes movimentos próprios (verde), e a relação desses movimentos próprios com a magnitude  $V$  (direita).

Para nossos dados, construímos o diagrama de RPM em função da temperatura efetiva. Na Figura 6.3 mostramos esse diagrama com todas as estrelas do catálogo (GBVOC2-estendido), onde identificamos duas populações distintas. Do lado esquerdo da linha indicada ficariam as estrelas da sequência principal, enquanto que à sua direita estariam as subgigantes e gigantes vermelhas. Para fazer essa classificação, nos baseamos

nas posições desses grupos relativas entre si e em relação às temperaturas. Destacamos nesta Figura também as estrelas com grandes movimentos próprios, observando que elas se distribuem essencialmente na sequência principal, majoritariamente para temperaturas  $T_{eff} < 6000 K$ . Dessas estrelas de grandes movimentos próprios, selecionamos aquelas que também devem possuir baixas luminosidades, indicadas por grandes movimentos próprios reduzidos ( $RPM > 22 mag$ , que é onde se encontra a maioria desses objetos), e baixas temperaturas ( $T_{eff} < 4000 K$ ). Uma vez que esses objetos estão próximos, devido aos grandes movimentos próprios, devendo ser intrinsecamente fracos, devido aos grandes RPM, e possuem baixas temperaturas, constituem um conjunto de 14 estrelas que provavelmente são anãs vermelhas da vizinhança solar. Isto é indicado também, no gráfico da direita da Figura 6.3, pelo fato desses objetos apresentarem grandes magnitudes aparentes, com  $V > 13.8 mag$ . Realizamos uma busca por todos os catálogos de anãs vermelhas da base de dados VizieR, porém não encontramos nenhum objeto em comum com essas 14 que selecionamos. Na Tabela abaixo exibimos os dados de nosso catálogo para essas estrelas.

No diagrama cor-RPM da Figura 6.3 também vemos que existe uma outra amostra de 14 objetos com temperaturas  $T_{eff} < 2700 K$ , que poderiam ser anãs marrons devido a suas baixas temperaturas (Stauffer et al., 1994) e também a suas grandes magnitudes aparentes, com  $V > 13 mag$ . Porém, esses objetos possuem pequenos movimentos próprios ( $\mu < 50 mas/ano$ ). Desta forma, não podemos deduzir se são anãs marrons próximas, porém com o vetor velocidade espacial mais próximo da linha de visada, ou estrelas gigantes vermelhas frias e distantes. Aqui também procedemos a uma busca detalhada de anãs marrons na literatura e não identificamos nenhuma referência a esses objetos.

Tabela 6.1 - Dados de posições na época 2000.0 (em  $^{\circ}$ ), movimentos próprios (em  $mas/ano$ ), magnitudes (em  $mag$ ) e temperaturas efetivas (em  $K$ ) das 34 estrelas do GBVOC2-estendido com  $\mu > 59.5 mas/ano$ , onde  $ID$  é uma identificação interna para os grandes movimentos próprios. Fornecemos também o tipo espectral dessas estrelas (Kenyon e Hartmann, 1995).

$ID$	$\alpha_{2000}$	$\delta_{2000}$	$\mu_{\alpha}^*$	$\sigma_{\mu_{\alpha}^*}$	$\mu_{\delta}$	$\sigma_{\mu_{\delta}}$	$V$	$J$	$T_{eff}$	$SpT$
1	254.05075129	-52.80676425	-134.6	5.2	36.1	5.9	14.1	11.8	3889	K7
2	254.18595349	-52.80524274	187.3	8.3	-0.3	4.6	14.9	12.7	3694	M1
3	254.28730299	-52.77942116	158.3	5.4	-150.7	6.2	14.9	11.8	3538	M2
4	254.42655134	-52.70316192	-109.7	6.6	-8.6	4.2	15.3	12.0	3292	M4
5	254.44154645	-52.80007524	-119.3	7.7	-220.5	10.9	15.8	12.3	3437	M3
6	254.63172155	-52.75946248	-139.3	8.0	138.1	8.1	14.8	12.7	4272	K5
7	254.78915906	-52.73195991	208.3	9.2	-8.2	5.3	16.0	13.7	5705	G5
8	259.95033710	-48.17407456	-232.2	1.1	-118.8	1.6	12.4	11.0	5705	G5
9	260.18193771	-48.18229586	99.0	5.8	72.6	5.4	13.4	10.7	4523	K4
10	261.75541820	-45.32489621	-84.2	0.9	-105.3	1.1	12.0	10.6	5444	G8
11	266.57294857	-40.72946782	-21.2	1.9	-196.3	1.8	8.7	7.4	5810	G3
12	271.20837765	-33.75376775	25.7	2.9	-110.7	6.2	14.2	12.5	6625	F3
13	272.37840522	-31.77730649	-5.2	4.4	-148.4	9.9	14.2	11.1	3439	M3
14	272.49724901	-31.86002328	-112.9	5.8	12.9	4.2	14.2	10.5	3582	M2
15	272.83913146	-31.71679449	-12.5	5.4	123.4	7.1	14.0	10.4	3656	M1
16	273.00540751	-31.75747201	-160.5	9.1	33.3	8.3	14.2	11.5	3594	M1
17	274.16151348	-32.96662973	28.5	1.7	-114.7	1.9	11.3	8.7	3833	M0
18	275.11406804	-32.80143006	-75.7	1.7	-107.0	2.2	9.4	8.2	5688	G6
19	275.72271396	-26.23997349	88.9	1.3	-63.2	1.4	11.9	10.2	5444	G8
20	276.21897948	-26.18762274	-126.0	12.0	18.6	7.2	15.4	12.8	4440	K4
21	276.40365245	-26.15717407	177.2	8.0	13.1	7.2	14.9	11.6	3799	M0
22	282.51031580	-13.27753391	38.1	1.0	-151.7	1.3	9.6	8.1	5696	G6
23	282.51812822	-13.27492573	40.7	1.5	-152.2	1.1	9.1	7.7	5864	G1
24	253.71745651	-52.80060952	9.3	3.3	68.6	3.4	15.8	13.1	4440	K4
25	262.25692376	-45.43832665	-29.3	1.7	-57.9	1.7	14.8	11.7	3501	M2
26	262.34420741	-45.27211470	-7.9	1.7	-97.3	1.8	10.5	8.9	5339	G9
27	262.72953425	-45.25391793	7.6	2.8	-59.6	3.3	15.4	13.2	4947	K1
28	266.10444978	-40.73067582	-65.0	2.0	-54.9	2.1	13.8	10.6	3592	M1
29	266.41097195	-40.61667437	-13.2	2.3	-64.8	2.3	15.5	12.9	3597	M1
30	266.52614434	-40.76217442	-31.8	2.5	-56.7	2.6	9.7	8.5	5941	G1
31	266.53095083	-40.65590157	-46.8	2.0	-49.8	1.9	15.1	12.3	3333	M4
32	274.83097006	-32.92556101	13.3	1.7	-74.4	1.9	15.2	12.6	4674	K3
33	275.83837034	-26.11939862	-67.0	3.0	-40.5	3.0	14.4	12.5	5810	G3
34	278.22316862	-21.45364419	-44.2	1.7	-68.2	1.7	13.4	11.0	4592	K3

## Conclusões

O foco inicial deste trabalho de mestrado consistia na utilização dos movimentos próprios do GBVOC (*Galactic Bulge Valinhos Observatory Catalog*), construído com base apenas em observações meridianas CCD realizadas no Observatório Abrahão de Moraes - IAG/USP - Valinhos, na direção de 12 janelas de baixa extinção do bojo galáctico. Esses movimentos próprios foram explorados essencialmente em três direções: buscas por aglomerados estelares, pares de estrelas com movimentos próprios comuns e estrelas com grandes movimentos próprios.

Em um primeiro passo, procedemos a uma análise detalhada desses movimentos próprios e verificamos que as suas médias por janela apresentavam oscilações não esperadas, e para as quais não encontramos uma explicação natural. Outros catálogos astrométrico também apresentavam oscilações, porém não coincidentes. Este cenário e também a publicação do primeiro *release* de dados do Gaia (GDR1), em setembro de 2016, nos levou a determinarmos novos movimentos próprios, associando as posições do GBVOC àquelas de outros catálogos astrométricos independentes, sobretudo o GDR1. Pouco tempo depois, foi publicado o catálogo astrométrico UCAC5, com movimentos próprios equivalentes aos nossos em qualidade. De forma que tínhamos dois valores de movimento próprio para a maioria de nossas estrelas alvos, o que nos levou a trabalhar com a média aritmética desses dois catálogos. Com isso, pudemos eliminar essas oscilações.

Em nossa busca por aglomerados encontramos três estruturas, sendo que apenas uma pode ser retida e estudada. Das demais, uma havia sido detectada visualmente nas imagens CCD, porém não foi resolvida no catálogo GBVOC, enquanto que a outra apresentou-se apenas fracamente visível em um mapa de densidade em posição e não foi detectada no diagrama de fase de movimentos próprios. O aglomerado que foi encontrado na janela LA,

NGC 6253, foi estudado do ponto de vista da pertinência de membros e de sua cinemática. Os resultados obtidos são coerentes com o que já havia na literatura.

No caso dos pares de estrelas com movimentos próprios comuns, encontramos 244 pares, dos quais apenas um, até onde pudemos verificar, aparece na literatura. Dois dos pares encontrados, apresentam movimentos próprios excepcionalmente grandes, acima de  $150 \text{ mas/ano}$ . Verificamos também que praticamente todos são compostos por estrelas com diferenças em temperatura chegando a até aproximadamente  $2000 \text{ K}$ . A exceção é um par que possui uma diferença de  $\approx 13000 \text{ K}$ , com uma diferença de  $6 \text{ mag}$  no brilho aparente, indicando que as estrelas deste par talvez estejam a uma mesma distância, reforçando a hipótese de que sejam um par ligado.

Encontramos também 34 estrelas com movimentos próprios acima de  $\approx 60 \text{ mas/ano}$ , aqui consideradas como candidatas à vizinhança solar. Entre elas, temos quatro objetos de dois pares de movimentos próprios comuns.

Uma exploração mais profunda desses resultados com esses dados não faria mais sentido neste momento. Os grandes movimentos próprios sugerem proximidade, e essa será ou não confirmada pelas paralaxes do segundo *release* do Gaia (GDR2) em abril de 2018. Já o estudo dos aglomerados encontrados pode ir adiante, mas com a consciência clara de que muitos outros grupos, que já trabalham e têm experiência grande com aglomerados, estarão também buscando fazer o mesmo. Finalmente, os pares de estrelas candidatos a sistemas binários poderão e deverão ser estudados à luz do GDR2. Neste caso, temos uma pequena vantagem, por já termos uma amostra razoável desses pares em uma região específica do céu. Isso não exclui a grande concorrência, mas nos dá uma boa perspectiva.

Os resultados aqui obtidos, encontram-se dentro de nossas expectativas iniciais, muito embora, inevitavelmente, tenhamos gasto um tempo e esforços na obtenção de novos movimentos próprios que poderia ter sido utilizado de outra maneira.

Diante da nova realidade da astrometria da era Gaia (GDR2), temos um grande desafio pela frente, qual seja de se voltar muito mais para a exploração científica desses dados do que para a obtenção de novos dados astrométricos. A experiência adquirida com essas 12 janelas de baixa extinção do bojo, abre um bom caminho para trabalhos futuros com os dados do GDR2 e outros, sobretudo, pensando no fato de que com o GRD2 teremos uma quantidade enorme de estrelas do bojo, o que não é o caso do GBVOC devido aos limites em magnitude.



## Referências Bibliográficas

- Andrews J. J., Chanamé J., Agüeros M. A., Wide Binaries in Tycho-{\it Gaia}: Search Method and the Distribution of Orbital Separations, arXiv preprint arXiv:1704.07829, 2017
- Arias E., Charlot P., Feissel M., Lestrade J.-F., The extragalactic reference system of the International Earth Rotation Service, ICRS., *Astronomy and Astrophysics*, 1995, vol. 303, p. 604
- Benavides R., Rica F., Reina E., Castellanos J., Naves R., Lahuerta L., Lahuerta S., New Wide Common Proper Motion Binaries, *Journal of Double Star Observations*, 2010, vol. 6, p. 30
- Blanco V., Galactic-latitude distribution of bulge M giants at  $L=0$  deg, *The Astronomical Journal*, 1988, vol. 95, p. 1400
- Blanco V., Terndrup D., Longitude distribution of bulge M giants-The mass and large-scale structure of the spheroid, *The Astronomical Journal*, 1989, vol. 98, p. 843
- Boboltz D. A., Gaume R., Fey A., Ma C., Gordon D., et al., The Second Realization of the International Celestial Reference Frame (ICRF2) by Very Long Baseline Interferometry. In *Bulletin of the American Astronomical Society* , vol. 42, 2010, p. 512
- Bonnarel F., Ziaepour H., Bartlett J., Bienaymé O., Crézé M., Egret D., Florsch J., Genova F., Ochsenbein F., Raclot V., et al., 1997 in , *New Horizons from Multi-Wavelength Sky Surveys*. Springer pp 469–470
- Bragaglia A., Tessicini G., Tosi M., Marconi G., Munari U., UBVR<sub>I</sub> CCD photometry of

the old open cluster NGC 6253, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1997, vol. 284, p. 477

Brown A. G., Vallenari A., Prusti T., De Bruijne J., Mignard F., Drimmel R., Babusiaux C., Bailer-Jones C., Bastian U., Biermann M., et al., Gaia Data Release 1-Summary of the astrometric, photometric, and survey properties, *Astronomy & Astrophysics*, 2016, vol. 595, p. A2

Cabrera-Cano J., Alfaro E., Analysis of relative proper motion-an improved method to assign membership probabilities in open clusters, *Astronomy and Astrophysics*, 1985, vol. 150, p. 298

Cox A. N., *Allen astrophysical quantities*. Springer, 2015

De Zeeuw P., Hoogerwerf R. v., de Bruijne J. H., Brown A., Blaauw A., A Hipparcos census of the nearby OB associations, *The Astronomical Journal*, 1999, vol. 117, p. 354

Dias W., Monteiro H., Caetano T., Lépine J. R. D., Assafin M., Oliveira A., Proper motions of the optically visible open clusters based on the UCAC4 catalog, *Astronomy & Astrophysics*, 2014, vol. 564, p. A79

Dominici T., Teixeira R., Horvath J., Tanco G. M., Benevides-Soares P., Extension of Tycho catalog for low-extinction windows in the galactic bulge, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 1999, vol. 136, p. 261

Girard T. M., Van Altena W. F., Zacharias N., Vieira K., Casetti-Dinescu D. I., Castillo D., Herrera D., Lee Y. S., Beers T. C., Monet D. G., et al., The Southern Proper Motion Program. IV. The SPM4 Catalog, *The Astronomical Journal*, 2011, vol. 142, p. 15

Girardi L., Bertelli G., Bressan A., Chiosi C., Groenewegen M., Marigo P., Salasnich B., Weiss A., Theoretical isochrones in several photometric systems-I. Johnson-Cousins-Glass, HST/WFPC2, HST/NICMOS, Washington, and ESO Imaging Survey filter sets, *Astronomy & Astrophysics*, 2002, vol. 391, p. 195

Halbwachs J., Common proper motion stars in the AGK 3, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 1986, vol. 66, p. 131

- Halbwachs J., Mayor M., Udry S., Arenou F., Multiplicity among solar-type stars-III. Statistical properties of the F7–K binaries with periods up to 10 years, *Astronomy & Astrophysics*, 2003, vol. 397, p. 159
- Høg E., Fabricius C., Makarov V. V., Urban S., Corbin T., Wycoff G., Bastian U., Schwenk P., Wicenc A., The Tycho-2 catalogue of the 2.5 million brightest stars, *Astronomy and Astrophysics*, 2000, vol. 355, p. L27
- Jordi C., Gebran M., Carrasco J., de Bruijne J., Voss H., Fabricius C., Knude J., Vallenari A., Kohley R., Mora A., Gaia broad band photometry, *Astronomy & Astrophysics*, 2010, vol. 523, p. A48
- Kenyon S. J., Hartmann L., Pre-main-sequence evolution in the Taurus-Auriga molecular cloud, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 1995, vol. 101, p. 117
- Krone-Martins A., Soubiran C., Ducourant C., Teixeira R., Le Campion J., Kinematic parameters and membership probabilities of open clusters in the Bordeaux PM2000 catalogue, *Astronomy & Astrophysics*, 2010, vol. 516, p. A3
- Lindgren L., Lammers U., Bastian U., Hernandez J., Klioner S., Hobbs D., Bombrun A., Michalik D., Ramos-Lerate M., Butkevich A., et al., Gaia Data Release 1-Astrometry: one billion positions, two million proper motions and parallaxes, *Astronomy & Astrophysics*, 2016, vol. 595, p. A4
- Ma C., Arias E., Eubanks T., Fey A., Gontier A.-M., Jacobs C., Sovers O., Archinal B., Charlot P., The international celestial reference frame as realized by very long baseline interferometry, *The Astronomical Journal*, 1998, vol. 116, p. 516
- Mebane Jr W. R., Sekhon J. S., et al., Genetic optimization using derivatives: the rgenoud package for R, *Journal of Statistical Software*, 2011, vol. 42, p. 1
- Michalik D., Lindgren L., Hobbs D., The Tycho-Gaia astrometric solution-How to get 2.5 million parallaxes with less than one year of Gaia data, *Astronomy & Astrophysics*, 2015, vol. 574, p. A115
- Milone B., Mermilliod J., Extracting Information From Color-Magnitude Diagrams for Young Open Clusters, *Origins*, 1996, vol. 443, p. 90

- Montalto M., Piotto G., Desidera S., Platais I., Carraro G., Momany Y., De Marchi F., Recio-Blanco A., BVRIJHK photometry and proper motion analysis of NGC 6253 and the surrounding field, *Astronomy & Astrophysics*, 2009, vol. 505, p. 1129
- Pecaut M. J., Mamajek E. E., Intrinsic colors, temperatures, and bolometric corrections of pre-main-sequence stars, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 2013, vol. 208, p. 9
- Perryman M. A., Lindegren L., Kovalevsky J., Hoeg E., Bastian U., Bernacca P., Crézé M., Donati F., Grenon M., Grewing M., van Leeuwen F., van der Marel H., Mignard F., Murray C. A., Le Poole R. S., Schrijver H., Turon C., Arenou F., Froeschl M., Petersen C. S., The HIPPARCOS catalogue, *Astronomy and Astrophysics*, 1997, vol. 323, p. L49
- Prusti T., De Bruijne J., Brown A. G., Vallenari A., Babusiaux C., Bailer-Jones C., Bastian U., Biermann M., Evans D., Eyer L., et al., The Gaia mission, *Astronomy & Astrophysics*, 2016, vol. 595, p. A1
- Retterer J. M., King I. R., Wide binaries in the solar neighborhood, *The Astrophysical Journal*, 1982, vol. 254, p. 214
- Roeser S., Demleitner M., Schilbach E., The PPMXL catalog of positions and proper motions on the ICRS. Combining USNO-B1. 0 and the Two Micron All Sky Survey (2MASS), *The Astronomical Journal*, 2010, vol. 139, p. 2440
- Sampedro L., Alfaro E. J., Stellar open clusters membership probabilities: an N-dimensional geometrical approach, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 2016, vol. 457, p. 3949
- Sánchez N., Vicente B., Alfaro E. J., Cluster radius and sampling radius in the determination of cluster membership probabilities, *Astronomy & Astrophysics*, 2010, vol. 510, p. A78
- Sanders W., An improved method for computing membership probabilities in open clusters., *Astronomy and Astrophysics*, 1971, vol. 14, p. 226

- Skrutskie M., Cutri R., Stiening R., Weinberg M., Schneider S., Carpenter J., Beichman C., Capps R., Chester T., Elias J., et al., The two micron all sky survey (2MASS), *The Astronomical Journal*, 2006, vol. 131, p. 1163
- Stauffer J. R., Hamilton D., Probst R. G., A CCD-based search for very low mass members of the Pleiades cluster, *The Astronomical Journal*, 1994, vol. 108, p. 155
- Teixeira R., Galli P., Benevides-Soares P., Le Campion J., Fidêncio M., Krone-Martins A., Ducourant C., Sinachopoulos D., Proper motion and densification of the International Celestial Reference Frame in the direction of the Galactic bulge, *Astronomy & Astrophysics*, 2011, vol. 534, p. A91
- Teixeira R., Galli P., Le Campion J., Fidencio M., Benevides-Soares P., Ferreira A., Ducourant C., Krone-Martins A., Astrometric Catalogs: Be Careful!, *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 2014, vol. 43
- Van Leeuwen F., Validation of the new Hipparcos reduction, *Astronomy & Astrophysics*, 2007, vol. 474, p. 653
- Vasilevskis S., Klemola A., Preston G., Relative proper motions of stars in the region of the open cluster NGC 6633., *The Astronomical Journal*, 1958, vol. 63, p. 387
- Viateau B., Réquière Y., Le Campion J., Benevides-Soares P., Teixeira R., Montignac G., Mazurier J., Monteiro W., Bosq F., Chauvet F., et al., The Bordeaux and Valinhos CCD meridian circles, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 1999, vol. 134, p. 173
- Worthey G., Lee H.-c., An Empirical UBV RI JHK Color-Temperature Calibration for Stars, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 2011, vol. 193, p. 1
- Yoo J., Chaname J., Gould A., The end of the MACHO era: limits on halo dark matter from stellar halo wide binaries, *The Astrophysical Journal*, 2004, vol. 601, p. 311
- Zacharias N., Finch C., Frouard J., UCAC5: New Proper Motions Using Gaia DR1, *The Astronomical Journal*, 2017, vol. 153, p. 166

Zacharias N., Finch C., Girard T., Hambly N., Wycoff G., Zacharias M., Castillo D., Corbin T., DiVittorio M., Dutta S., et al., The third US Naval Observatory CCD astrograph catalog (3), *The Astronomical Journal*, 2010, vol. 139, p. 2184

Zacharias N., Finch C., Girard T., Henden A., Bartlett J., Monet D., Zacharias M., The fourth US naval observatory CCD astrograph catalog (UCAC4), *The Astronomical Journal*, 2013, vol. 145, p. 44

Zacharias N., Finch C., Subasavage J., Bredthauer G., Crockett C., DiVittorio M., Ferguson E., Harris F., Harris H., Henden A., et al., The first US naval observatory robotic astrometric telescope catalog, *The Astronomical Journal*, 2015, vol. 150, p. 101

# Apêndice





# Apêndice A

---

## Figuras dos pares por janela

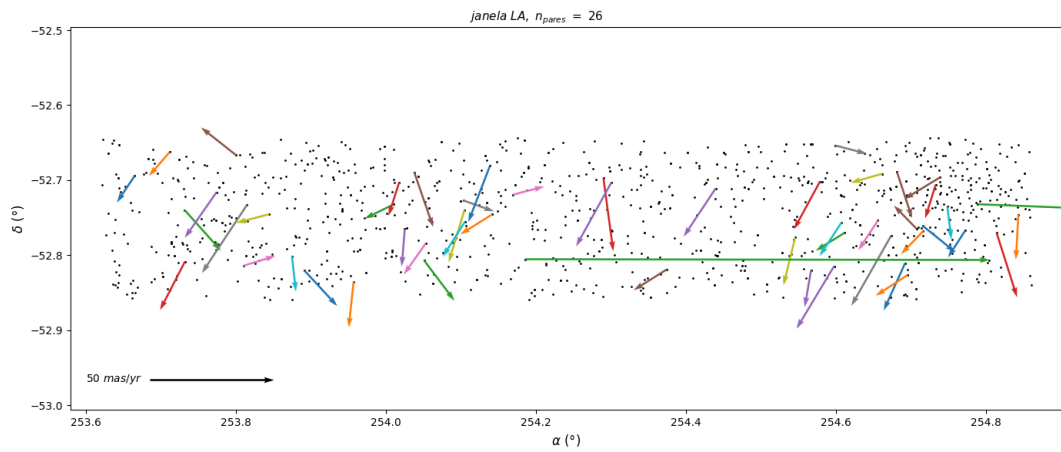


Figura A.1: Pares com movimentos próprios comuns na janela LA.

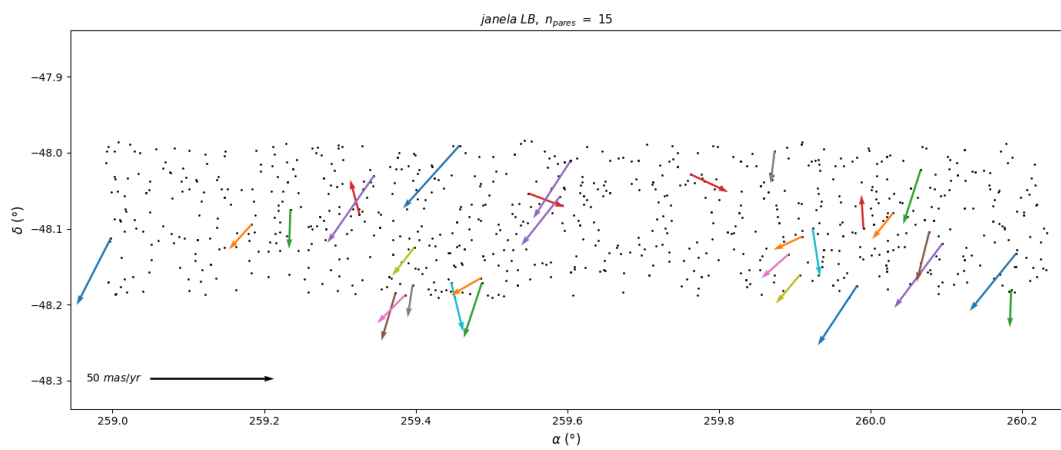


Figura A.2: Pares com movimentos próprios comuns na janela LB.

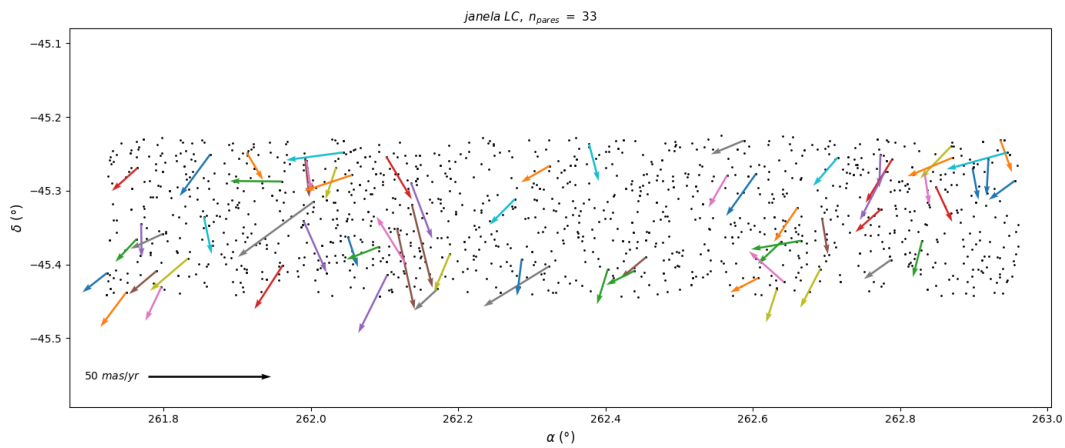


Figura A.3: Pares com movimentos próprios comuns na janela LC.

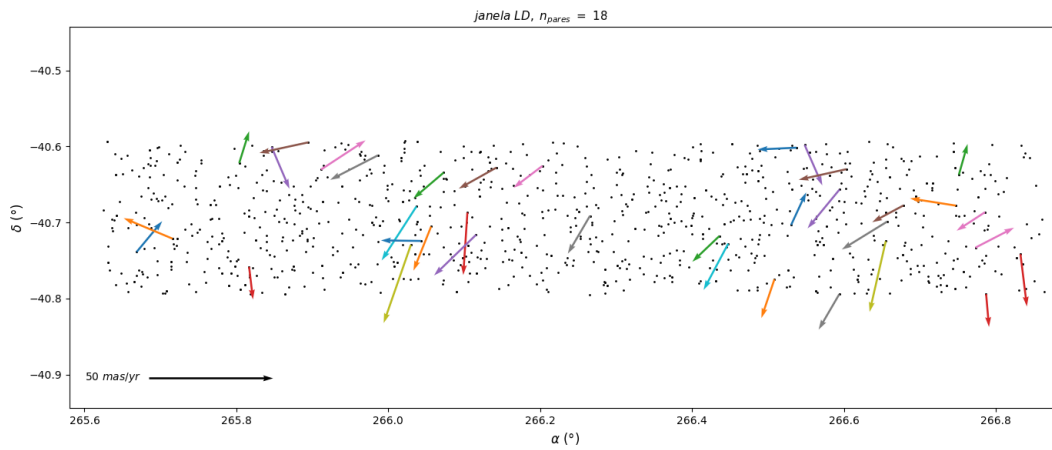


Figura A.4: Pares com movimentos próprios comuns na janela LD.

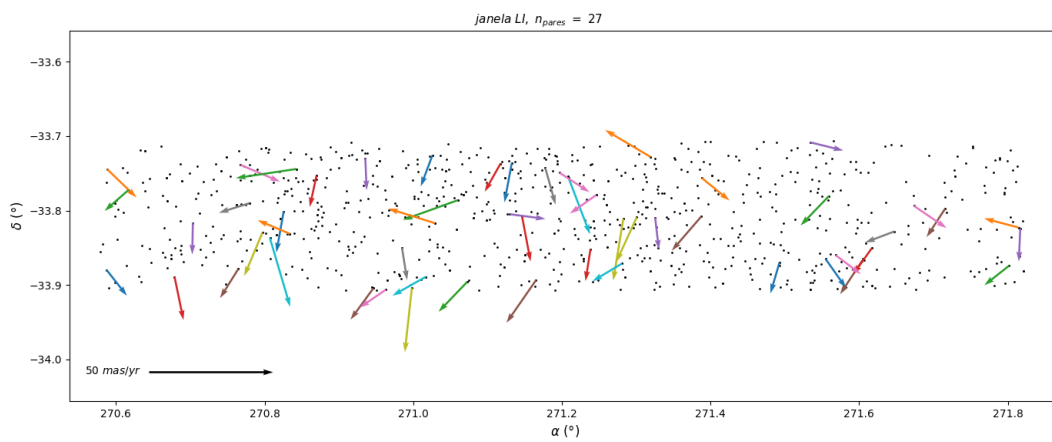


Figura A.5: Pares com movimentos próprios comuns na janela LI.

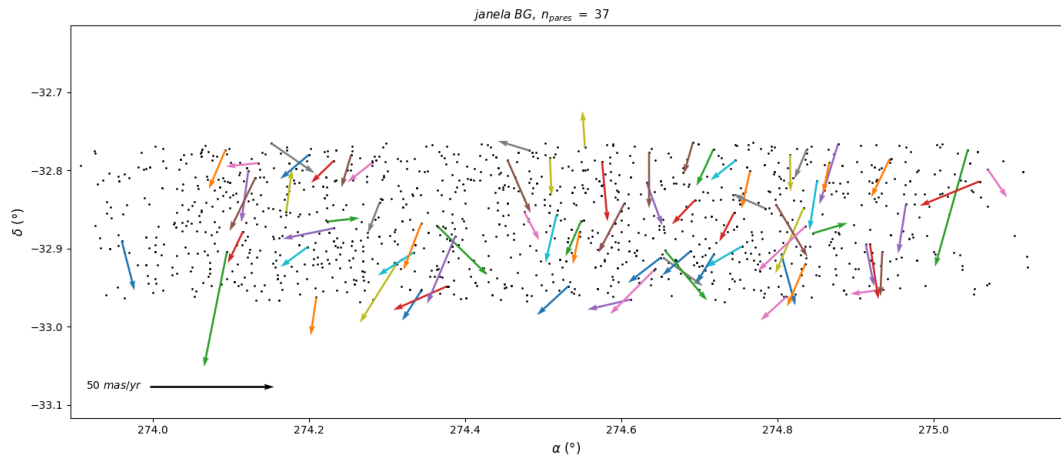


Figura A.6: Pares com movimentos próprios comuns na janela BG.

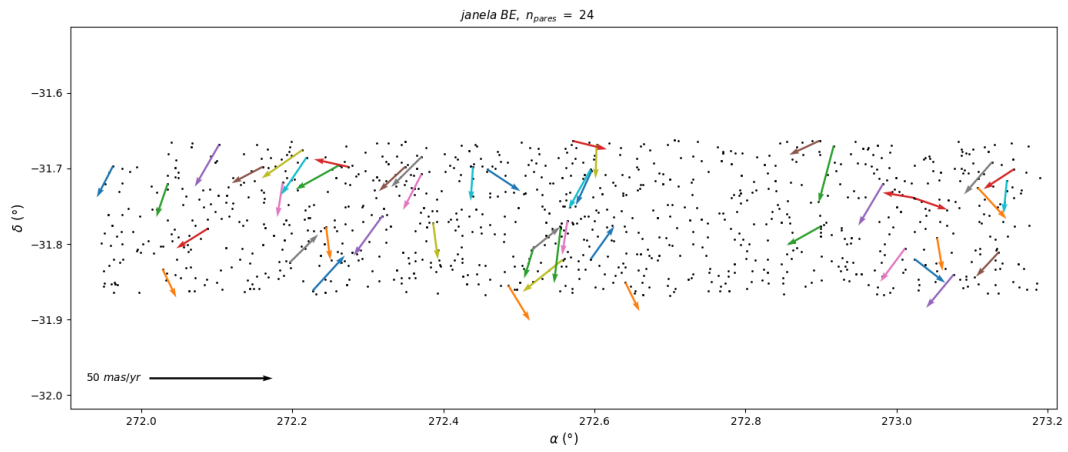


Figura A.7: Pares com movimentos próprios comuns na janela BE.

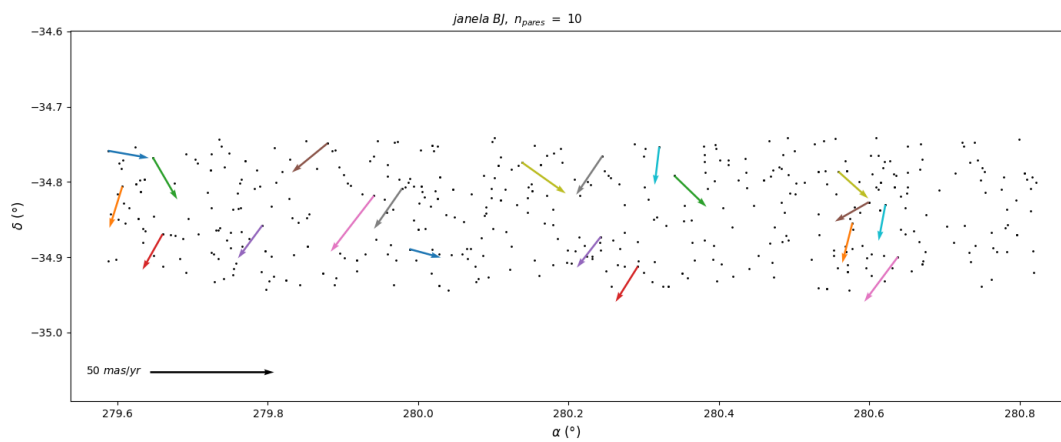
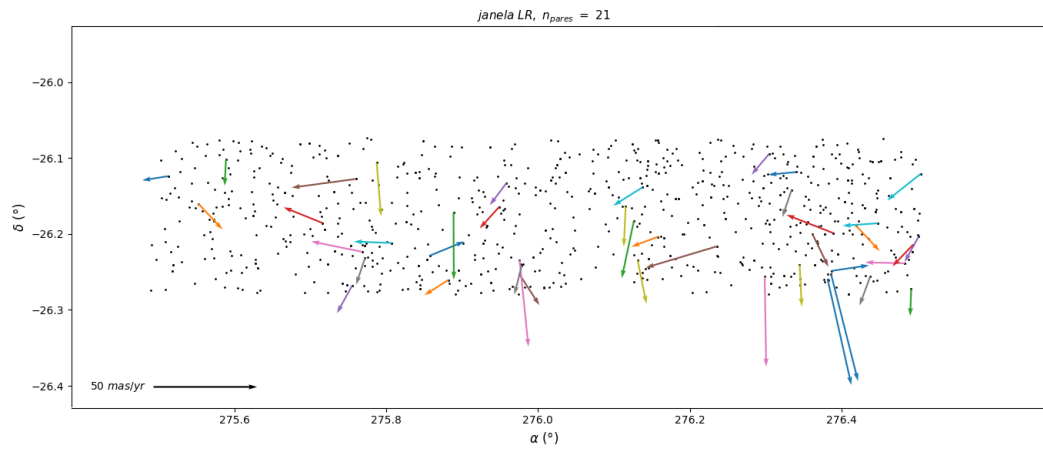
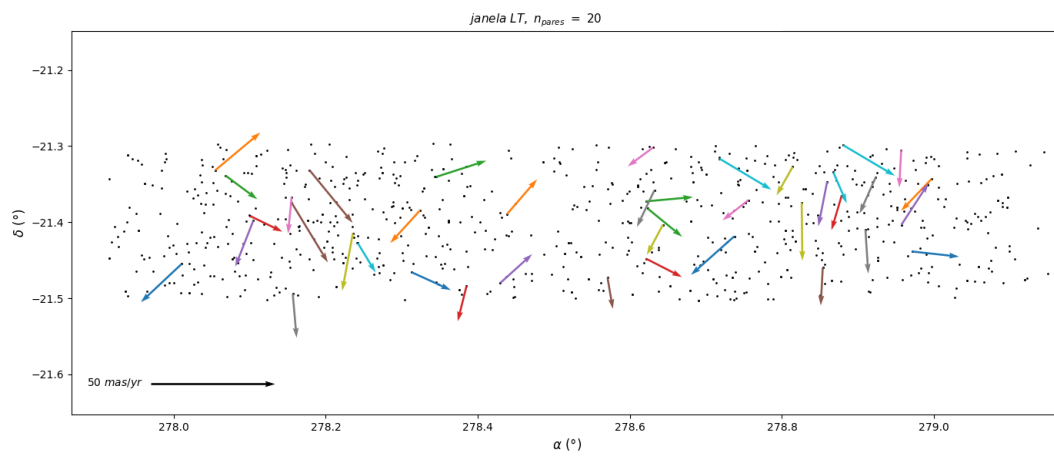


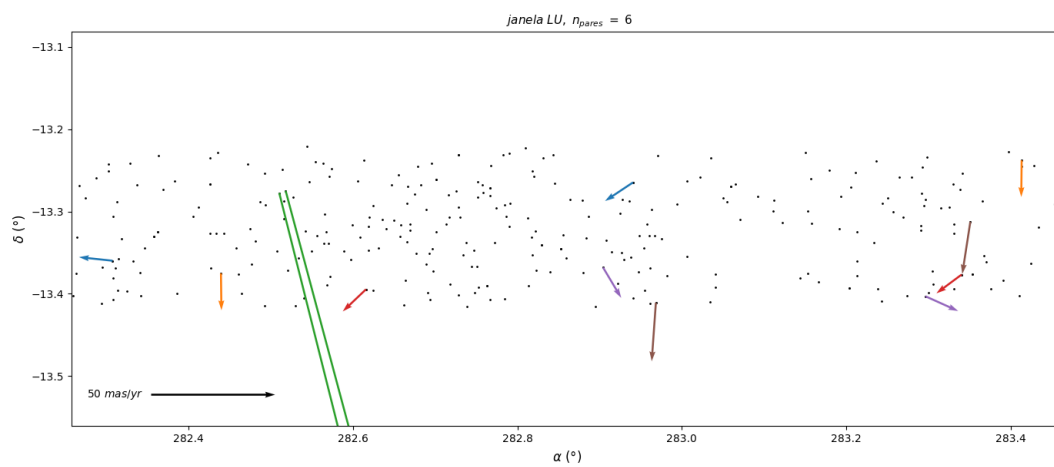
Figura A.8: Pares com movimentos próprios comuns na janela BJ.



*Figura A.9: Pares com movimentos próprios comuns na janela LR.*



*Figura A.10: Pares com movimentos próprios comuns na janela LT.*



*Figura A.11: Pares com movimentos próprios comuns na janela LU.*

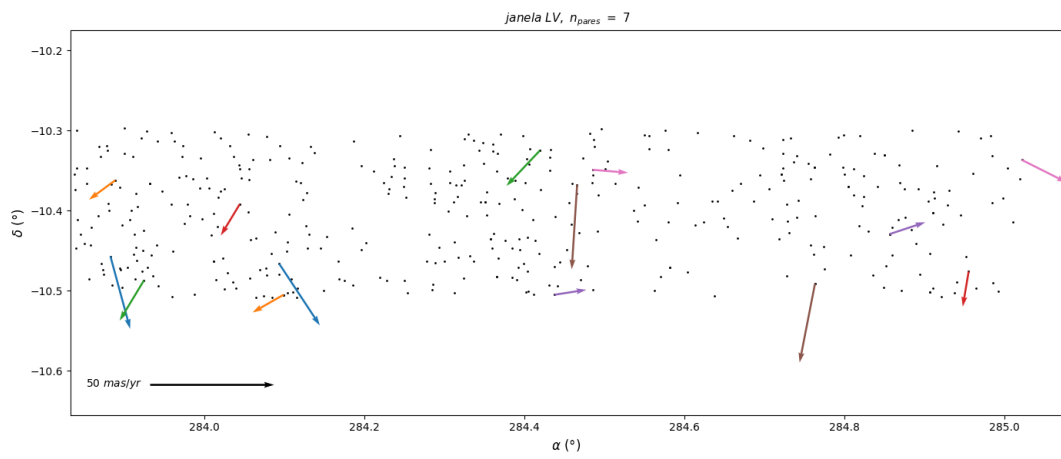


Figura A.12: Pares com movimentos próprios comuns na janela LV.



## Apêndice B

---

### Tabelas dos pares por janela

Nas Tabelas a seguir, apresentamos as posições (em  $^{\circ}$ ), os movimentos próprios e seus erros (em  $mas/yr$ ), as magnitude  $V$  (em  $mag$ ) e as temperaturas efetivas (em  $K$ ) para todas as estrelas dos pares, assim como a separação angular (em  $arcsec$ ), a diferença entre os movimentos próprios, o movimento próprio médio (em  $mas/yr$ ) e a identificação de cada par.

Tabela B.1 - Janela LA

par	$\alpha$	$\delta$	$\mu_{\alpha}^*$	$\mu_{\delta}$	$\sigma_{\mu_{\alpha}^*}$	$\sigma_{\mu_{\delta}}$	$V$	$T_{eff}$	$\Delta\theta$	$\mu_{med}$	$\Delta\mu$
0	253.66447736	-52.69431209	-7.2	-10.7	1.8	1.8	15.8	5173	2429	12.9	0.2
	254.77228720	-52.76697901	-7.0	-10.8	1.4	1.4	15.9	5550			
1	253.71115358	-52.66257784	-8.3	-9.6	1.9	2.0	14.7	3604	2224	12.9	0.7
	254.71627263	-52.76766723	-9.0	-9.4	2.0	2.0	15.5	5418			
2	253.73123020	-52.73970450	14.7	-16.4	1.5	1.5	15.1	2992	736	21.2	2.4
	254.05057049	-52.80676534	12.3	-16.3	1.1	1.1	14.1	3889			
3	253.73164022	-52.80839031	-10.1	-19.5	2.3	2.3	15.9	5852	1884	21.9	0.5
	254.57844551	-52.70184889	-10.4	-19.2	2.0	2.0	14.4	5839			
4	253.77365356	-52.71609614	-12.8	-18.4	1.2	1.2	14.9	5292	1451	22.8	1.1
	254.43933862	-52.71099027	-12.9	-19.4	1.1	1.1	15.3	4681			
5	253.79979301	-52.66654861	-14.1	11.1	2.0	2.0	15.8	5418	2010	15.5	5.2
	254.70746936	-52.76476589	-9.2	9.4	2.7	2.8	15.8	5390			
6	253.80956414	-52.81395340	13.0	4.0	1.8	1.8	15.5	3403	854	13.3	0.8
	254.16925508	-52.71923722	12.6	3.3	1.3	1.3	14.9	4422			
7	253.81422180	-52.73310086	-18.2	-27.4	1.7	1.7	16.0	5173	1877	32.7	2.3

	254.67327792	-52.77419602	-16.0	-28.2	1.7	1.8	15.1	4754				
8	253.84397795	-52.74527977	-13.4	-3.5	2.2	2.3	16.1	4668	1793	13.6	0.6	
	254.66157783	-52.69135724	-12.8	-3.6	2.3	2.3	16.2	5177				
9	253.87434081	-52.80115317	1.6	-14.3	1.4	1.4	14.4	4593	1918	13.8	1.1	
	254.74841661	-52.73536545	1.6	-13.2	1.9	1.9	15.1	5616				
10	253.89104814	-52.82037770	13.2	-14.3	1.8	1.8	15.9	4609	1807	18.2	3.6	
	254.71536009	-52.76053574	13.2	-10.7	2.0	1.9	16.0	6247				
11	253.95658522	-52.83495751	-1.9	-18.5	1.3	1.3	14.7	5444	1956	18.4	1.0	
	254.84312980	-52.74606100	-1.0	-18.1	1.9	1.9	15.8	5538				
12	254.01008765	-52.73213678	-11.8	-5.7	1.9	1.8	15.9	3889	1317	13.4	1.5	
	254.61161692	-52.76988145	-11.7	-7.3	1.8	1.9	14.5	3752				
13	254.01731746	-52.70281704	-4.3	-13.5	2.4	2.4	16.0	5396	1560	14.2	0.1	
	254.73282191	-52.70588974	-4.2	-13.6	1.5	1.6	12.5	3550				
14	254.02484486	-52.76515958	-1.2	-15.1	1.5	1.6	15.9	4353	1195	15.0	1.3	
	254.56657700	-52.82035527	-2.5	-14.7	1.4	1.5	15.8	5244				
15	254.03751381	-52.68958207	7.6	-22.0	1.4	1.4	15.4	5688	1404	21.4	3.7	
	254.68129192	-52.68902738	6.1	-18.6	1.6	1.6	14.0	4956				
16	254.05261241	-52.78440855	-8.8	-12.5	1.4	1.3	15.2	5556	1318	14.8	1.0	
	254.65572903	-52.75381542	-7.9	-12.0	1.6	1.6	15.9	3631				
17	254.10296945	-52.72693946	12.4	-4.4	1.3	1.3	14.4	3406	1114	13.1	1.1	
	254.59933299	-52.65374919	12.6	-3.3	2.0	2.1	14.9	5418				
18	254.10431233	-52.73996863	-6.3	-21.0	1.3	1.3	15.3	5238	969	20.9	2.3	
	254.54545536	-52.77636464	-4.7	-19.3	2.4	2.3	16.1	5444				
19	254.10498496	-52.75544066	-9.0	-14.1	1.7	1.7	16.1	5339	1094	16.5	0.5	
	254.60734500	-52.75603524	-8.9	-13.6	1.9	2.0	14.9	5383				
20	254.13837664	-52.68090317	-8.7	-22.6	1.3	1.4	14.8	5051	1293	22.6	3.6	
	254.69204326	-52.81055497	-8.6	-19.0	1.8	1.8	15.5	5553				
21	254.14129348	-52.74561592	-12.8	-8.0	1.2	1.2	15.2	3763	1240	15.2	0.3	
	254.69521352	-52.82645301	-12.8	-8.3	1.9	2.0	14.7	5705				
22	254.18591046	-52.80524274	187.3	-0.3	8.3	4.6	14.9	3694	1339	197.9	22.4	
	254.78905396	-52.73195991	208.3	-8.2	9.2	5.3	16.0	5705				



23	254.28970825	-52.69711102	4.0	-29.5	1.7	1.9	15.8	3592	1172	28.5	5.5
	254.81408820	-52.77012111	8.3	-26.0	1.9	2.0	14.8	4609			
24	254.30030860	-52.70295910	-14.2	-25.8	1.6	1.5	15.5	4774	761	29.4	1.1
	254.59734622	-52.81457120	-15.2	-25.2	1.6	1.6	14.6	5418			
25	254.37427155	-52.81885877	-13.4	-8.3	1.2	1.3	15.7	4255	908	16.4	1.2
	254.73872508	-52.69612432	-14.5	-8.8	1.9	1.9	15.2	4600			

Tabela B.2 - Janela LB

par	$\alpha$	$\delta$	$\mu_\alpha^*$	$\mu_\delta$	$\sigma_{\mu_\alpha^*}$	$\sigma_{\mu_\delta}$	$V$	$T_{eff}$	$\Delta\theta$	$\mu_{med}$	$\Delta\mu$
26	258.99755571	-48.11297773	-13.7	-26.8	1.5	1.5	13.5	5556	2374	29.4	3.6
	259.98162763	-48.17553658	-15.8	-23.9	1.5	1.6	14.5	5550			
27	259.18346648	-48.09433703	-9.1	-10.1	1.9	1.9	14.6	3502	2034	13.6	0.9
	260.02934773	-48.07929554	-8.4	-10.6	1.9	2.0	15.7	4970			
28	259.23461326	-48.07544396	-0.5	-15.6	1.0	1.0	13.3	6035	2315	15.3	0.6
	260.18507339	-48.18106980	-0.5	-15.0	1.5	1.6	11.3	4861			
29	259.32559235	-48.08074549	-3.7	13.8	1.5	1.6	14.3	3346	1599	13.8	2.9
	259.99019559	-48.09915148	-0.8	13.4	0.9	0.9	11.9	6131			
30	259.34483363	-48.03024570	-18.9	-27.1	2.2	2.1	15.2	4039	1830	32.6	1.4
	260.09401624	-48.12005174	-19.3	-25.8	2.0	1.9	15.7	5556			
31	259.37314796	-48.18503225	-5.7	-19.1	1.3	1.3	11.9	4527	1715	20.3	1.1
	260.07701786	-48.10439009	-5.1	-20.1	1.6	1.6	15.3	5415			
32	259.38583083	-48.18754047	-11.3	-11.3	1.2	1.2	14.1	5279	1229	15.3	1.6
	259.89151959	-48.13367385	-11.0	-9.7	1.2	1.2	14.4	4876			
33	259.39573162	-48.17424798	-2.0	-13.1	1.4	1.4	13.1	3376	1311	13.2	0.4
	259.87315343	-47.99791682	-1.6	-13.0	1.1	1.1	13.8	5667			
34	259.39803478	-48.12462493	-9.0	-11.5	2.3	2.4	15.8	4970	1227	14.8	0.6
	259.90623798	-48.16116946	-9.6	-11.5	1.9	1.9	15.1	5602			
35	259.44669090	-48.17121641	4.8	-19.7	1.8	1.8	14.6	4958	1173	19.9	1.9
	259.92327602	-48.09990464	3.0	-19.2	1.6	1.6	10.3	3798			
36	259.45764661	-47.99039772	-22.8	-25.3	1.1	1.1	9.8	3956	1838	31.9	4.6

	260.19156049	-48.13273691	-18.7	-23.1	1.7	1.7	14.4	5705				
37	259.48572114	-48.16515490	-12.2	-7.0	2.1	2.1	15.5	5048	1037	13.4	1.7	
	259.90971326	-48.11037225	-11.7	-5.4	1.5	1.6	15.2	3889				
38	259.48698434	-48.17171707	-7.3	-22.1	1.0	1.0	13.6	5147	1491	23.1	0.3	
	260.06567436	-48.02275336	-7.0	-21.9	2.5	2.5	15.9	5367				
39	259.54879404	-48.05357050	14.6	-5.5	1.5	1.5	8.0	3419	521	16.3	1.9	
	259.76203005	-48.02820136	15.3	-7.2	1.6	1.6	13.6	2726				
40	259.59020234	-48.05761825	-15.7	-19.8	1.5	1.6	14.7	4697	169	26.3	3.3	
	259.60351948	-48.01147239	-14.9	-23.0	1.3	1.3	13.7	3956				

Tabela B.3 - Janela LC

par	$\alpha$	$\delta$	$\mu_\alpha^*$	$\mu_\delta$	$\sigma_{\mu_\alpha^*}$	$\sigma_{\mu_\delta}$	$V$	$T_{eff}$	$\Delta\theta$	$\mu_{med}$	$\Delta\mu$
41	261.72301316	-45.41153688	-10.0	-7.9	1.5	1.5	16.0	5916	3149	12.9	0.6
	262.95530701	-45.28664014	-10.5	-7.7	2.1	2.2	15.1	4881			
42	261.74901506	-45.43799395	-10.5	-14.0	2.1	2.1	15.3	5339	2341	17.2	1.0
	262.66034906	-45.32300577	-9.5	-13.9	1.5	1.5	13.3	3809			
43	261.76332225	-45.36543782	-8.7	-9.3	2.1	2.1	15.4	3376	2212	12.9	0.9
	262.63824050	-45.36946483	-9.5	-8.9	2.6	2.6	15.6	5705			
44	261.76420550	-45.26924429	-10.4	-9.3	2.6	2.6	15.7	5142	2564	14.0	0.1
	262.77386576	-45.32491587	-10.5	-9.4	1.9	2.0	14.7	5655			
45	261.76936846	-45.34537261	0.2	-13.6	1.9	1.9	15.2	5279	2564	13.5	0.7
	262.77313006	-45.25095970	-0.5	-13.4	2.2	2.2	15.6	4433			
46	261.79029243	-45.40878716	-11.2	-9.4	1.6	1.6	10.0	3205	1680	14.0	1.1
	262.45473104	-45.39024410	-10.4	-8.6	2.2	2.2	14.9	4039			
47	261.79673642	-45.43080132	-6.5	-13.7	1.4	1.4	11.1	3333	2018	15.1	1.3
	262.56491768	-45.27912993	-7.6	-13.0	1.7	1.7	11.4	3255			
48	261.79839326	-45.35866742	-13.1	-6.0	1.1	1.2	13.9	3889	2050	14.4	0.5
	262.58768193	-45.23190029	-13.4	-5.6	2.0	2.0	14.3	4143			
49	261.83300419	-45.39177659	-15.4	-13.1	1.5	1.5	15.7	3181	2678	19.2	2.9
	262.86890653	-45.23987790	-12.5	-13.0	1.1	1.1	13.9	4289			
50	261.85458015	-45.33555561	3.1	-15.1	1.3	1.4	14.4	3398	1371	15.5	0.8

	262.37751754	-45.23646897	3.9	-15.1	1.2	1.2	11.9	5941			
51	261.86303334	-45.25081584	-12.5	-16.9	2.3	2.3	15.7	5048	1879	20.9	0.4
	262.60385053	-45.27738345	-12.1	-17.0	2.1	2.2	14.5	4876			
52	261.91298769	-45.24860090	6.5	-11.1	2.2	2.2	15.8	5244	2594	13.4	2.7
	262.93612040	-45.23149574	4.7	-13.1	1.0	1.0	14.0	4970			
53	261.96081915	-45.28748063	-21.3	0.2	1.3	1.3	12.9	4669	1806	21.0	3.8
	262.66539932	-45.36775224	-20.4	-3.5	1.2	1.2	13.7	5375			
54	261.96137891	-45.40150340	-11.5	-17.7	2.5	2.6	15.7	4946	2157	20.8	0.7
	262.78887803	-45.25764393	-10.7	-17.6	1.7	1.8	15.3	5538			
55	261.99012606	-45.34125446	9.3	-20.9	1.2	1.2	14.2	5550	413	23.5	1.9
	262.13591153	-45.28956449	8.6	-22.6	1.5	1.5	15.7	3889			
56	261.99213198	-45.25738297	1.7	-15.4	1.4	1.3	14.5	5553	1800	15.2	1.0
	262.69387485	-45.33740979	2.4	-14.6	2.2	2.2	10.0	3348			
57	261.99377094	-45.25896767	2.0	-13.0	2.5	2.5	15.7	5550	2127	13.0	0.3
	262.83328093	-45.27692551	1.9	-12.6	2.2	2.2	15.2	5553			
58	262.00369685	-45.31479238	-30.9	-22.5	2.5	2.5	15.4	5051	867	34.7	7.5
	262.32311943	-45.40257681	-26.7	-16.3	2.4	2.4	15.1	5407			
59	262.03401111	-45.26833228	-4.3	-13.0	2.6	2.6	15.7	5630	1626	13.9	0.4
	262.63234009	-45.43380440	-4.3	-13.4	1.6	1.6	15.1	5375			
60	262.04396172	-45.24802164	-23.3	-3.1	2.4	2.4	15.8	5244	2284	24.6	4.0
	262.94517933	-45.24817587	-24.7	-6.8	2.9	2.8	15.8	5493			
61	262.05035873	-45.36319172	4.0	-12.1	1.0	1.0	14.4	3437	2172	12.8	1.7
	262.89822028	-45.27004107	2.4	-12.7	2.1	2.2	15.6	5244			
62	262.05583822	-45.27867993	-19.4	-6.4	1.9	1.9	14.8	3956	2066	20.1	1.6
	262.87083717	-45.25532091	-18.3	-7.5	2.1	2.1	15.0	5339			
63	262.09246814	-45.37593982	-13.3	-5.2	2.2	2.2	15.6	3392	884	13.6	1.9
	262.43925593	-45.40847795	-11.5	-5.8	1.8	1.9	15.4	3501			
64	262.10224444	-45.25383914	10.4	-17.3	1.0	1.0	14.5	5286	1896	18.0	4.8
	262.84846480	-45.29461667	6.6	-14.3	1.8	1.8	10.3	6218			
65	262.10333064	-45.41440869	-11.8	-23.6	2.0	2.0	15.4	4446	1783	24.3	4.2
	262.77919627	-45.27392108	-10.2	-19.7	1.9	1.9	11.5	6337			

66	262.11686042	-45.35174717	7.1	-32.7	1.9	1.8	15.9	4853	127	34.1	1.6
	262.13703878	-45.31925855	8.4	-33.7	2.4	2.4	15.4	4142			
67	262.12787710	-45.39800797	-11.7	18.9	2.3	2.4	15.8	4766	1302	20.6	6.8
	262.64197919	-45.42381947	-14.3	12.6	2.4	2.3	15.1	5402			
68	262.17186952	-45.43320078	-9.6	-8.8	1.5	1.5	13.6	3656	1561	13.2	1.7
	262.78736242	-45.39370893	-11.0	-7.8	1.6	1.6	15.9	4285			
69	262.18852734	-45.38572185	-6.4	-15.2	2.2	2.3	14.9	5538	1272	17.0	1.7
	262.69117506	-45.40671368	-8.1	-15.6	2.5	2.5	15.7	5444			
70	262.27668165	-45.31141758	-10.2	-10.4	2.5	2.5	15.5	5049	1129	15.0	1.2
	262.71512947	-45.25483222	-10.0	-11.6	2.0	2.0	14.5	3663			
71	262.28598614	-45.39273990	-1.9	-15.0	2.0	1.9	15.8	5407	1676	15.0	1.1
	262.91977319	-45.25717602	-0.8	-14.9	2.1	2.1	15.0	5444			
72	262.32394012	-45.26621954	-11.6	-6.7	1.2	1.2	13.6	3825	902	13.1	0.9
	262.60720540	-45.41842529	-11.4	-5.9	2.2	2.3	15.0	3739			
73	262.40301087	-45.40640381	-4.4	-14.3	2.4	2.3	15.5	3280	1087	15.1	0.8
	262.82959958	-45.36811551	-3.7	-14.7	1.8	1.8	10.6	6581			

Tabela B.4 - Janela LD

par	$\alpha$	$\delta$	$\mu_\alpha^*$	$\mu_\delta$	$\sigma_{\mu_\alpha^*}$	$\sigma_{\mu_\delta}$	$V$	$T_{eff}$	$\Delta\theta$	$\mu_{med}$	$\Delta\mu$
74	265.66866024	-40.73862417	10.3	12.4	1.8	1.8	14.7	6056	2354	15.3	4.3
	266.53042549	-40.70311077	6.1	13.1	2.5	2.5	14.6	3597			
75	265.71576984	-40.72120548	-19.7	8.3	2.0	1.9	15.1	3398	2819	20.0	5.5
	266.74719357	-40.67775872	-18.5	2.9	1.9	1.9	15.3	3956			
76	265.80369108	-40.62180890	4.0	12.8	1.8	1.8	14.9	3376	2589	13.1	0.7
	266.75127895	-40.63702450	3.5	12.4	2.2	2.3	13.7	3905			
77	265.81668003	-40.75834216	1.6	-13.1	1.7	1.7	15.3	5744	2648	13.2	0.4
	266.78713192	-40.79421641	1.1	-13.2	2.3	2.4	13.8	4509			
78	265.84633801	-40.60068173	7.2	-16.8	2.0	1.9	15.7	4956	1918	18.1	0.5
	266.54816253	-40.59798344	7.1	-16.3	2.3	2.3	15.4	4853			
79	265.89466976	-40.59454959	-19.7	-4.3	2.0	1.8	15.6	4697	1939	19.9	0.6

	266.60280986	-40.62990717	-19.1	-4.3	2.7	2.8	15.0	5550			
80	265.91154204	-40.63026115	17.9	11.7	2.2	2.2	9.1	6131	2380	19.5	4.4
	266.77307580	-40.73302568	15.6	8.0	2.7	2.8	15.3	4669			
81	265.98607986	-40.61174104	-19.2	-9.8	1.7	1.8	14.5	4946	1858	21.5	1.7
	266.65671230	-40.69886597	-18.2	-11.2	2.4	2.4	15.3	6035			
82	266.02970111	-40.72934654	-11.0	-31.5	2.1	2.1	14.9	4609	1705	31.3	5.4
	266.65493829	-40.72463524	-6.5	-28.5	2.3	2.3	14.7	5177			
83	266.03706299	-40.67877646	-14.0	-21.8	2.1	2.1	12.6	5688	1133	23.5	5.2
	266.44752276	-40.72775053	-9.9	-18.7	2.2	2.3	13.2	5553			
84	266.04293311	-40.72422755	-16.1	0.2	2.5	2.4	15.5	3592	1420	15.9	1.0
	266.53738788	-40.60156778	-15.7	-0.7	1.9	2.0	15.4	4515			
85	266.05633325	-40.70532598	-7.1	-17.8	2.5	2.5	15.0	3162	1258	17.8	2.8
	266.50836185	-40.77469652	-5.3	-15.6	1.5	1.6	14.5	3833			
86	266.07280837	-40.63441310	-12.2	-10.4	2.2	2.1	14.8	4053	1035	15.5	1.3
	266.43588229	-40.71777815	-10.9	-10.4	2.2	2.2	14.9	3439			
87	266.10411352	-40.68698236	-1.7	-25.1	2.0	2.0	13.5	5825	1996	23.2	5.9
	266.83233459	-40.74168712	2.6	-21.1	2.2	2.2	13.7	5522			
88	266.11546420	-40.71624436	-16.9	-16.4	2.3	2.2	15.4	5688	1323	21.9	4.1
	266.59405993	-40.65666723	-12.9	-15.6	2.2	2.3	14.6	5411			
89	266.14233495	-40.62771933	-15.2	-8.5	2.3	2.3	15.5	5852	1474	15.8	3.1
	266.67826760	-40.67753864	-12.6	-6.7	2.4	2.3	13.9	5688			
90	266.20286348	-40.62554394	-11.7	-8.8	2.2	2.3	14.1	3365	1606	14.1	1.4
	266.78553201	-40.68650635	-11.4	-7.4	1.6	1.8	15.1	3597			
91	266.26550768	-40.69122842	-8.9	-15.2	2.2	2.2	14.5	5553	969	17.1	1.2
	266.59375400	-40.79435259	-8.3	-14.3	1.8	1.9	15.2	4036			

Tabela B.5 - Janela LI

par	$\alpha$	$\delta$	$\mu_\alpha^*$	$\mu_\delta$	$\sigma_{\mu_\alpha^*}$	$\sigma_{\mu_\delta}$	$V$	$T_{eff}$	$\Delta\theta$	$\mu_{med}$	$\Delta\mu$
92	270.58744961	-33.87990667	8.2	-10.4	2.0	2.0	13.9	4039	2891	13.8	1.4
	271.55480267	-33.86502219	8.3	-11.8	2.5	2.5	14.9	3969			
93	270.58826501	-33.74451761	11.8	-11.4	2.3	2.4	15.6	5667	2395	15.4	2.4

	271.38842197	-33.75636876	11.1	-9.0	2.5	2.6	14.9	5051				
94	270.61690589	-33.77235470	-9.7	-8.4	2.1	2.1	14.3	5787	3562	12.8	0.7	
	271.80189169	-33.87410034	-10.0	-7.9	2.1	2.1	13.1	6371				
95	270.67883446	-33.88914167	3.6	-17.4	2.4	2.5	7.5	18866	1428	18.1	0.7	
	271.14648182	-33.80821652	3.4	-18.1	2.0	2.0	13.5	6035				
96	270.70348653	-33.81685556	-0.3	-12.7	2.1	2.1	14.8	5744	3329	13.0	0.7	
	271.81676340	-33.82403371	-0.6	-13.3	2.1	2.1	14.6	4220				
97	270.76453152	-33.87866237	-7.3	-11.7	2.0	2.0	13.9	6218	2858	13.7	0.3	
	271.71560937	-33.79761708	-7.5	-11.4	2.1	2.1	13.2	5667				
98	270.76773824	-33.73876750	15.9	-6.7	2.0	2.0	13.8	5643	2718	16.6	3.6	
	271.67379128	-33.79376899	13.1	-8.9	2.6	2.5	15.2	5864				
99	270.77934052	-33.79018217	-12.2	-3.9	2.2	2.2	15.0	5444	2600	12.8	0.7	
	271.64761690	-33.82801712	-11.9	-4.5	2.1	2.1	13.6	3889				
100	270.79709262	-33.82965104	-7.4	-17.5	2.2	2.2	15.0	5602	1507	19.4	1.0	
	271.30068414	-33.80916553	-8.3	-18.0	2.3	2.4	14.6	5256				
101	270.80719685	-33.83717164	8.2	-27.7	2.0	2.0	10.0	3419	1236	26.6	5.0	
	271.20896521	-33.75603123	8.7	-22.7	1.9	1.9	11.6	4609				
102	270.82565096	-33.80125351	-2.9	-16.5	2.0	2.0	10.6	6377	947	16.4	0.7	
	271.13253460	-33.73636769	-2.9	-15.8	2.0	2.0	13.1	5795				
103	270.83403719	-33.83123358	-13.0	5.5	2.1	2.3	14.7	3141	2931	14.2	2.0	
	271.81437587	-33.82280040	-13.9	3.7	2.1	2.1	13.6	6193				
104	270.84270159	-33.74415566	-24.4	-3.7	2.7	2.6	15.1	2732	667	24.1	4.8	
	271.05989230	-33.78614502	-22.1	-7.9	2.2	2.3	14.9	4021				
105	270.86981569	-33.75319259	-2.7	-12.6	2.1	2.1	14.0	3216	1158	12.9	0.8	
	271.23849466	-33.85198211	-2.0	-12.8	2.1	2.1	14.9	4518				
106	270.93550280	-33.72968232	0.5	-12.9	2.0	2.0	14.7	3628	1202	12.9	1.0	
	271.32550809	-33.80958145	1.5	-12.9	2.2	2.1	14.6	5570				
107	270.94639684	-33.90445773	-9.2	-12.7	2.0	2.0	15.2	3487	1968	15.8	0.8	
	271.60368161	-33.86803250	-8.8	-13.3	2.3	2.2	14.8	3802				
108	270.96317371	-33.90635561	-10.6	-7.3	2.1	2.1	15.1	3279	962	12.9	0.2	
	271.24621073	-33.77919603	-10.6	-7.5	2.1	2.1	14.7	4289				

109	270.98488004	-33.85016411	2.1	-13.0	2.0	2.0	14.3	3525	694	14.2	2.7
	271.17770078	-33.74279959	4.1	-14.7	2.1	2.2	14.6	3339			
110	270.99816523	-33.90433002	-2.8	-25.8	2.1	2.1	14.9	4053	914	25.6	1.5
	271.28269099	-33.81103520	-4.1	-24.9	2.0	2.0	13.7	5530			
111	271.01672041	-33.88916858	-13.4	-7.6	2.0	2.0	14.6	3398	792	14.6	1.6
	271.28096353	-33.87119144	-11.9	-7.1	2.1	2.2	14.7	5980			
112	271.02563362	-33.72615933	-4.6	-12.4	2.0	2.0	13.0	4217	1490	13.1	1.0
	271.49282987	-33.86987179	-3.7	-12.5	2.0	2.0	13.4	3833			
113	271.02908407	-33.81693137	-18.8	5.8	2.0	2.0	13.3	5049	925	20.5	5.1
	271.31934772	-33.72798942	-18.3	10.9	2.8	2.9	15.1	4440			
114	271.07260773	-33.89593491	-11.5	-12.0	2.1	2.2	15.0	2969	1513	16.6	0.2
	271.55939635	-33.78051231	-11.5	-11.9	2.3	2.3	14.8	6035			
115	271.11722289	-33.73733752	-6.3	-11.2	2.2	2.2	15.3	4056	1550	12.9	1.4
	271.61710020	-33.85052646	-7.5	-10.6	2.2	2.2	14.6	3389			
116	271.13005414	-33.80496674	14.4	-1.9	2.4	2.4	15.2	5655	1258	14.1	1.8
	271.53415365	-33.70827261	13.4	-3.3	2.4	2.4	15.3	3376			
117	271.16510955	-33.89378716	-11.9	-17.1	2.1	2.2	15.1	5482	732	19.5	3.4
	271.38751940	-33.80812607	-11.9	-13.7	2.2	2.1	15.2	3439			
118	271.19683691	-33.74917878	12.1	-7.8	2.1	2.1	14.9	3437	1180	13.6	1.9
	271.56829573	-33.85994001	10.1	-7.6	2.3	2.3	13.8	3683			

Tabela B.6 - Janela BE

par	$\alpha$	$\delta$	$\mu_\alpha^*$	$\mu_\delta$	$\sigma_{\mu_\alpha^*}$	$\sigma_{\mu_\delta}$	$V$	$T_{eff}$	$\Delta\theta$	$\mu_{med}$	$\Delta\mu$
119	271.96258449	-31.69739881	-6.5	-12.6	1.9	1.9	14.5	3548	1940	14.7	1.3
	272.59618322	-31.70332371	-6.4	-13.9	1.5	1.6	14.1	3592			
120	272.02836124	-31.83344122	5.6	-11.5	1.9	2.0	14.8	3370	1874	12.8	0.2
	272.64109582	-31.85113392	5.7	-11.6	2.1	2.0	15.3	5051			
121	272.03523484	-31.72020154	-4.6	-13.5	2.4	2.5	15.2	4755	1513	13.8	1.1
	272.51961948	-31.80403391	-3.9	-12.7	1.5	1.6	14.0	4039			
122	272.08777632	-31.78003780	-12.6	-7.9	2.4	2.4	13.2	5244	3280	14.8	0.3

	273.15525818	-31.70110022	-12.3	-8.1	1.7	1.8	14.7	5173			
123	272.10304270	-31.66886663	-9.8	-17.0	2.2	2.3	14.4	5687	2698	19.6	0.3
	272.98190161	-31.72065110	-10.0	-16.9	1.7	1.8	14.9	5244			
124	272.16094214	-31.69788516	-12.6	-6.7	1.8	1.7	14.0	3459	2261	13.9	1.0
	272.89786876	-31.66346184	-12.3	-5.7	1.6	1.7	14.9	3493			
125	272.18740272	-31.71897012	-2.2	-13.9	1.5	1.6	14.7	3439	1167	14.0	0.2
	272.56410228	-31.76959197	-2.1	-13.7	1.6	1.7	14.5	6016			
126	272.19657941	-31.82468086	11.6	11.5	1.5	1.7	14.1	5553	981	15.6	2.1
	272.51693820	-31.80805690	11.6	9.4	2.2	2.4	14.3	5444			
127	272.21336579	-31.67580614	-16.5	-11.5	1.9	1.9	14.8	3571	1176	20.5	1.6
	272.55778385	-31.82092716	-16.2	-13.0	1.6	1.8	14.8	3398			
128	272.21875885	-31.68583483	-10.2	-15.1	1.9	1.8	14.4	5383	1153	18.3	1.6
	272.59482822	-31.70154120	-9.0	-16.1	1.6	1.7	14.8	3348			
129	272.22699227	-31.86193506	13.1	14.3	1.9	2.0	14.1	4353	1136	17.9	3.7
	272.59523316	-31.81993757	9.5	13.3	1.8	1.8	14.5	3292			
130	272.24481837	-31.77759939	1.7	-13.4	2.1	2.0	15.1	5810	2475	13.6	0.5
	273.05352347	-31.79175531	2.2	-13.4	1.8	1.8	15.2	3439			
131	272.26257505	-31.69563011	-17.8	-9.9	2.9	3.2	15.0	5444	1970	18.0	4.7
	272.89894617	-31.77701813	-13.7	-7.6	2.2	2.2	15.1	3893			
132	272.27428188	-31.69801420	-13.9	3.1	1.8	1.8	14.8	3439	2295	13.5	1.7
	273.02237536	-31.73886649	-12.5	2.1	1.7	1.8	15.0	3956			
133	272.31925257	-31.76315672	-11.7	-16.0	1.9	1.9	15.1	5852	2330	18.7	2.6
	273.07544972	-31.84044457	-11.2	-13.5	1.5	1.6	12.9	4755			
134	272.34972853	-31.69773592	-10.7	-10.0	1.5	1.6	14.1	3459	2437	14.0	1.6
	273.13478767	-31.81111208	-9.1	-9.8	1.7	1.7	14.8	3216			
135	272.37104272	-31.70782924	-7.5	-14.5	1.5	1.6	14.1	3592	1990	16.6	2.8
	273.01107907	-31.80593395	-10.1	-13.5	1.6	1.7	14.8	3661			
136	272.37131836	-31.68467788	-12.4	-12.3	1.5	1.6	13.8	3602	2313	17.4	1.3
	273.12636715	-31.69163108	-11.4	-13.1	1.5	1.5	13.3	5630			
137	272.38653041	-31.77224229	1.9	-14.8	1.6	1.6	14.6	3287	760	14.4	2.6
	272.60287820	-31.66835968	-0.5	-13.9	1.7	1.8	14.4	3738			



138	272.43916704	-31.69832897	-0.9	-13.7	1.5	1.6	15.0	3821	2165	13.6	0.5
	273.14585929	-31.71597766	-1.3	-13.4	1.5	1.6	14.4	3571			
139	272.45797792	-31.70132831	13.5	-8.8	2.1	2.2	14.7	3292	1782	16.0	1.3
	273.02353726	-31.81982913	12.5	-9.7	2.0	2.0	14.6	3542			
140	272.48612833	-31.85511446	8.7	-14.3	1.8	1.8	14.1	3279	1957	17.0	3.3
	273.10736899	-31.72565534	11.6	-12.7	1.9	2.0	15.2	3889			
141	272.55517570	-31.77957190	-2.7	-22.2	1.5	1.5	14.0	4353	1174	23.1	3.5
	272.91665047	-31.67024921	-6.1	-23.0	2.0	2.1	15.4	5522			
142	272.57188156	-31.66391401	13.7	-3.3	1.4	1.5	12.9	3501	1412	13.9	1.3
	273.02441759	-31.73974853	13.0	-4.5	1.4	1.5	13.9	3956			

Tabela B.7 - Janela BG

par	$\alpha$	$\delta$	$\mu_\alpha^*$	$\mu_\delta$	$\sigma_{\mu_\alpha^*}$	$\sigma_{\mu_\delta}$	$V$	$T_{eff}$	$\Delta\theta$	$\mu_{med}$	$\Delta\mu$
143	273.95993368	-32.89043886	5.1	-19.9	1.4	1.5	13.2	5244	2554	21.0	0.9
	274.80487699	-32.90739853	5.7	-20.6	2.1	2.1	15.4	5696			
144	274.09266886	-32.77394938	-6.7	-15.7	1.5	1.6	14.2	3255	2575	17.1	0.8
	274.94346913	-32.78551625	-7.4	-15.4	1.5	1.5	14.3	4143			
145	274.09448432	-32.90450283	-9.2	-46.2	1.4	1.4	12.0	5864	2909	48.0	4.1
	275.04364733	-32.77358861	-13.2	-47.1	1.4	1.5	13.6	3162			
146	274.11504664	-32.87845290	-6.1	-12.7	1.5	1.5	14.7	4143	1905	13.6	1.0
	274.74448673	-32.85380110	-6.0	-11.7	1.5	1.6	15.0	4036			
147	274.12195298	-32.80073934	-2.8	-20.7	1.5	1.6	14.5	4156	2553	20.5	0.8
	274.96437726	-32.84311876	-3.1	-19.9	1.9	1.9	15.0	6208			
148	274.13086925	-32.80970484	-10.4	-21.3	1.4	1.5	14.1	4956	1435	23.2	1.4
	274.60396181	-32.84184992	-10.6	-20.0	1.8	2.0	14.6	4142			
149	274.13484121	-32.79054581	-13.1	-1.4	2.0	2.0	14.2	3551	2489	13.3	0.4
	274.93543685	-32.95257238	-13.3	-1.7	1.4	1.4	13.1	3192			
150	274.15170654	-32.76552696	17.4	-12.0	1.6	1.6	14.4	5920	1607	20.3	1.6
	274.65384879	-32.91199354	15.9	-11.3	1.8	1.7	15.2	4358			
151	274.17064054	-32.85303977	2.3	17.2	1.7	1.8	15.1	5810	1194	16.1	4.1

	274.55319648	-32.77050914	-1.0	14.7	2.5	2.7	15.1	3050			
152	274.19793394	-32.89789399	-10.9	-8.1	1.8	1.8	15.2	4853	1705	13.2	0.8
	274.74612397	-32.78732216	-10.1	-7.9	2.1	2.2	15.1	6193			
153	274.19950609	-32.77991807	-11.5	-9.8	1.5	1.6	14.5	5142	1543	15.0	0.3
	274.68821680	-32.90360600	-11.3	-9.6	1.6	1.8	15.3	4434			
154	274.20912302	-32.96259930	-2.3	-15.3	1.4	1.4	13.4	3216	1777	15.5	1.2
	274.76464042	-32.80110572	-3.4	-15.1	2.0	1.9	15.0	4498			
155	274.22377226	-32.86536363	12.8	1.4	1.5	1.6	15.1	5550	1879	13.7	3.0
	274.84521798	-32.88043945	14.0	4.1	1.6	1.7	13.9	4766			
156	274.23156260	-32.78748359	-9.2	-9.0	1.4	1.5	12.7	6193	1412	13.3	1.0
	274.69454804	-32.83762828	-9.4	-9.9	1.6	1.7	15.4	4289			
157	274.23159370	-32.87394932	-20.6	-4.2	1.6	1.6	14.6	5878	1195	19.5	3.0
	274.61205295	-32.96503534	-17.5	-4.1	1.6	1.9	15.0	4756			
158	274.25359291	-32.78038713	-3.9	-13.0	1.3	1.4	12.2	5980	1326	13.3	0.5
	274.69147870	-32.76457642	-3.6	-12.6	1.5	1.6	14.8	3530			
159	274.28079077	-32.79002597	-10.0	-7.8	1.6	1.7	14.9	5864	1718	13.4	1.7
	274.81125143	-32.96162927	-10.4	-9.5	1.4	1.5	13.5	4593			
160	274.29020779	-32.84075564	-4.7	-12.3	1.4	1.4	12.8	6035	1673	13.0	0.5
	274.83748119	-32.77280187	-5.0	-11.9	1.5	1.5	14.6	3339			
161	274.31174883	-32.91995762	-14.8	-23.6	2.1	2.1	14.9	3183	1598	28.4	4.4
	274.83338758	-32.84782718	-11.4	-26.5	1.5	1.5	12.8	5396			
162	274.33419590	-32.90467808	-14.5	-9.4	1.6	1.5	14.8	3551	1270	17.1	1.0
	274.75444091	-32.89709210	-14.6	-8.4	1.6	1.6	14.7	4090			
163	274.34316444	-32.95441089	-7.6	-11.9	1.8	1.7	15.4	3694	1147	14.0	0.4
	274.71860065	-32.90706721	-7.2	-11.9	1.6	1.7	15.2	4665			
164	274.34387625	-32.86714850	-7.3	-18.9	1.5	1.6	14.0	3504	1497	19.4	1.9
	274.83533018	-32.92029175	-7.4	-17.0	2.1	2.3	14.3	5688			
165	274.36571098	-32.87256780	19.7	-19.3	2.1	2.1	15.2	3244	883	26.9	2.8
	274.65582740	-32.90254435	17.0	-20.1	1.6	1.7	13.6	4440			
166	274.37601996	-32.94846930	-21.5	-9.5	1.7	1.7	14.8	6218	2119	24.7	2.6
	275.05863413	-32.81400338	-24.1	-9.8	1.4	1.5	14.8	5980			

167	274.38716190	-32.88421443	-11.4	-27.2	1.4	1.5	13.3	5705	1542	27.4	5.0
	274.87734275	-32.76658028	-7.5	-24.1	1.7	1.8	15.1	5825			
168	274.45406043	-32.78683290	9.3	-21.3	1.4	1.4	14.5	3448	1060	24.0	3.4
	274.79809796	-32.84373121	12.7	-21.1	1.7	1.6	15.1	4358			
169	274.47550906	-32.85313902	6.1	-11.5	1.4	1.4	13.2	6625	1807	13.4	1.7
	275.06934137	-32.79865812	7.8	-11.4	1.4	1.4	14.0	3784			
170	274.48195065	-32.77451012	-12.7	3.9	1.6	1.6	15.1	4946	952	13.7	1.9
	274.78427533	-32.84860366	-13.0	5.7	1.7	2.0	14.9	3348			
171	274.50839693	-32.78420787	0.6	-15.1	1.4	1.4	12.4	6208	930	15.0	0.5
	274.81594045	-32.77968293	0.2	-14.9	1.5	1.6	14.5	5878			
172	274.51695281	-32.85653532	-4.5	-19.4	1.6	1.6	14.9	3398	1021	20.0	1.5
	274.85056040	-32.81333074	-3.1	-19.9	1.8	1.8	15.3	5339			
173	274.53153884	-32.94849772	-12.5	-11.6	1.4	1.5	13.9	5687	382	16.8	1.6
	274.65018754	-32.91164298	-13.1	-10.1	1.5	1.5	14.3	4958			
174	274.54621430	-32.87876165	-2.7	-13.0	1.5	1.5	13.9	5878	1019	13.0	0.4
	274.86622767	-32.78983021	-2.5	-12.6	1.4	1.4	12.5	5916			
175	274.54843428	-32.86459264	-6.3	-14.3	1.7	1.7	14.8	3672	608	15.9	0.6
	274.71768622	-32.77319519	-6.8	-14.7	1.4	1.5	13.1	3656			
176	274.57520335	-32.78922814	2.2	-24.0	1.7	1.7	15.1	4143	1104	23.3	2.2
	274.91836615	-32.89444025	3.4	-22.2	1.7	1.6	15.2	4876			
177	274.63235888	-32.81589013	6.3	-17.2	1.6	1.6	14.8	4217	893	17.8	3.0
	274.91291540	-32.89402155	3.3	-17.1	1.4	1.4	12.0	6131			
178	274.63535690	-32.77702570	0.0	-22.4	1.5	1.6	14.3	5839	1012	20.2	4.5
	274.93411047	-32.90402976	-0.8	-18.0	1.4	1.4	11.6	3849			
179	274.64130204	-32.92802289	-17.6	-17.6	1.6	1.7	15.0	4774	621	25.6	1.6
	274.83556115	-32.87168936	-19.1	-17.9	1.8	1.8	15.0	4353			

Tabela B.8 - Janela LR

par	$\alpha$	$\delta$	$\mu_\alpha^*$	$\mu_\delta$	$\sigma_{\mu_\alpha^*}$	$\sigma_{\mu_\delta}$	$V$	$T_{eff}$	$\Delta\theta$	$\mu_{med}$	$\Delta\mu$
180	275.51272086	-26.12392992	-12.5	-2.0	2.0	2.0	13.9	3339	2676	13.1	1.2

	276.34070761	-26.11846758	-13.5	-1.3	2.2	2.2	14.4	3339			
181	275.55250068	-26.16015157	11.6	-12.4	2.2	2.2	15.0	6625	2801	16.9	0.3
	276.41902602	-26.18906510	11.4	-12.2	2.1	2.1	14.9	4523			
182	275.58886595	-26.10169975	-0.6	-12.8	2.4	2.5	14.9	3302	2980	13.0	0.4
	276.49166570	-26.27219009	-0.5	-13.2	2.1	2.1	13.4	3889			
183	275.71624864	-26.18565347	-18.8	7.6	2.0	2.0	14.5	3439	2174	22.3	4.1
	276.38927204	-26.19892153	-22.7	8.9	2.2	2.3	14.4	5142			
184	275.75495830	-26.26810575	-7.3	-13.3	2.3	2.2	15.1	3205	2421	14.6	1.2
	276.50147665	-26.20349080	-6.8	-12.2	2.0	2.0	13.3	3365			
185	275.76034094	-26.12755175	-31.1	-4.2	2.6	2.7	14.9	3333	1569	33.7	7.0
	276.23610980	-26.21620669	-34.5	-10.3	2.3	2.2	15.0	3333			
186	275.76834090	-26.22351619	-24.6	5.0	2.2	2.2	15.0	5256	2308	22.1	7.2
	276.48312815	-26.23861018	-19.1	0.4	2.0	2.0	13.1	3725			
187	275.77198645	-26.23184413	-4.3	-12.8	2.3	2.3	15.1	3287	1843	13.6	0.2
	276.33398482	-26.14239511	-4.4	-13.0	2.1	2.1	14.9	2934			
188	275.78742565	-26.10637077	2.1	-25.8	2.1	2.1	12.0	5339	1203	23.6	5.2
	276.13128070	-26.23480114	4.3	-21.0	2.0	2.1	14.3	4946			
189	275.80710617	-26.21189321	-18.3	0.7	2.1	2.1	14.5	3439	2070	17.6	2.3
	276.44743966	-26.18590173	-16.9	-1.2	2.0	2.0	14.8	4592			
190	275.85762901	-26.22847116	16.6	6.8	2.2	2.2	14.3	3167	1710	18.1	4.4
	276.38689597	-26.24857560	18.0	2.7	2.3	2.3	14.4	4523			
191	275.88187836	-26.26047842	-11.6	-7.4	2.0	2.0	13.4	4440	914	13.7	2.9
	276.15801467	-26.20375181	-12.8	-4.8	2.1	2.2	13.7	4143			
192	275.88867784	-26.17158438	0.1	-32.4	2.6	2.6	7.9	6208	768	30.3	7.7
	276.12631524	-26.18281391	-5.9	-27.6	2.0	2.0	14.1	4853			
193	275.94880985	-26.16435308	-9.4	-10.4	2.4	2.2	15.2	3913	1771	14.2	0.6
	276.49422935	-26.21413244	-10.0	-10.4	2.3	2.3	15.1	3369			
194	275.95817909	-26.13326780	-7.9	-10.5	2.7	2.3	14.8	3454	1127	13.1	0.8
	276.30431537	-26.09491945	-8.4	-9.9	2.2	2.2	15.1	3653			
195	275.97564141	-26.25322481	9.6	-14.8	2.0	2.1	14.6	5470	1260	17.7	2.1
	276.36147635	-26.19984242	7.8	-15.9	2.3	2.3	15.1	4353			

196	275.97576452	-26.23457367	4.3	-41.7	2.3	2.3	15.1	3464	1045	42.6	3.9
	276.29871132	-26.25639021	0.7	-43.3	2.0	2.0	12.4	5339			
197	275.97851792	-26.24170247	-3.5	-14.0	2.1	2.1	15.0	3784	1483	14.6	1.6
	276.43764414	-26.25619116	-5.1	-13.9	2.1	2.2	15.0	3467			
198	276.11551288	-26.16416026	-0.9	-19.2	2.1	2.1	13.5	5339	790	19.7	2.1
	276.34474640	-26.24082866	1.0	-20.0	2.0	2.0	14.3	3582			
199	276.13771001	-26.13858907	-14.2	-8.9	2.0	2.1	14.4	3369	1185	18.6	4.4
	276.50399980	-26.12098772	-16.1	-12.8	2.0	2.1	14.5	6035			
200	276.38162130	-26.25961888	11.4	-51.0	2.0	2.0	13.8	4255	28	52.7	1.7
	276.38613604	-26.25289594	13.0	-51.6	1.9	2.0	13.5	4440			

Tabela B.9 - Janela LT

par	$\alpha$	$\delta$	$\mu_\alpha^*$	$\mu_\delta$	$\sigma_{\mu_\alpha^*}$	$\sigma_{\mu_\delta}$	$V$	$T_{eff}$	$\Delta\theta$	$\mu_{med}$	$\Delta\mu$
201	278.01045232	-21.45487484	-16.4	-15.4	2.0	2.0	15.5	3255	2439	23.0	1.1
	278.73729239	-21.41856607	-17.5	-15.5	1.7	1.7	13.5	5048			
202	278.05468030	-21.33175079	18.2	15.2	2.0	2.0	14.5	4853	1302	21.2	6.2
	278.43834303	-21.38945406	12.2	14.1	1.9	1.9	14.6	5244			
203	278.06815450	-21.33867422	12.8	-9.6	1.8	1.8	15.1	3922	1867	17.0	2.1
	278.62329731	-21.38203208	13.9	-11.4	1.9	1.9	15.3	3050			
204	278.10057614	-21.39189798	13.0	-6.3	1.9	1.9	15.4	5677	1756	15.4	1.8
	278.62121750	-21.44790057	14.5	-7.4	1.7	1.7	13.2	5553			
205	278.10468031	-21.39805951	-7.3	-18.5	1.8	1.8	15.1	4039	2536	19.0	3.8
	278.85935444	-21.34715751	-3.5	-17.9	1.7	1.7	13.8	5688			
206	278.15481352	-21.37394492	14.7	-24.2	1.7	1.7	13.4	5238	171	27.9	4.0
	278.17874202	-21.33174970	17.4	-21.2	1.9	1.9	14.9	5160			
207	278.15509556	-21.36701868	-1.4	-14.7	2.1	2.1	15.5	5444	2697	14.9	0.7
	278.95681290	-21.30539802	-0.8	-15.0	1.6	1.6	13.0	3889			
208	278.15657912	-21.49417051	1.5	-17.7	1.6	1.6	15.4	5810	2541	17.7	0.4
	278.90976309	-21.40993093	1.1	-17.7	1.5	1.5	15.4	3685			
209	278.23563682	-21.41472379	-4.3	-23.1	1.8	1.9	14.9	5157	1984	23.5	4.6

	278.82593840	-21.37421314	0.3	-23.4	1.7	1.7	14.9	4523			
210	278.24203691	-21.42734181	7.2	-11.9	2.3	2.1	15.0	6035	2123	13.7	1.9
	278.86758895	-21.33446710	5.4	-12.5	2.0	1.9	15.6	4353			
211	278.31296803	-21.46578574	15.8	-7.2	2.0	2.0	15.4	5418	2207	18.2	6.0
	278.97114267	-21.43848214	19.0	-2.1	1.6	1.6	13.8	3956			
212	278.32404260	-21.38441528	-12.0	-13.2	1.8	1.8	15.3	4013	2259	17.8	0.4
	278.99662660	-21.34332426	-12.3	-12.8	1.8	1.8	15.0	3672			
213	278.34537564	-21.34043504	20.2	6.5	2.1	2.1	15.2	4353	931	20.1	4.9
	278.62113601	-21.37265956	19.0	1.7	1.7	1.8	14.0	3162			
214	278.38511417	-21.48385847	-3.5	-14.2	1.7	1.8	13.8	3288	1706	14.5	0.7
	278.87835331	-21.36565420	-4.1	-13.7	1.9	1.9	15.4	5550			
215	278.42966897	-21.47973031	12.8	11.6	2.0	2.0	13.8	4697	1788	18.6	5.5
	278.95708423	-21.40344346	10.9	16.8	1.8	1.8	14.5	3470			
216	278.57051247	-21.47251151	2.2	-12.7	2.3	1.9	15.5	3303	949	14.1	3.9
	278.85366258	-21.45967088	-0.8	-15.2	1.6	1.6	13.1	3205			
217	278.63059162	-21.30175682	-10.3	-7.6	1.7	1.8	14.7	3629	488	13.0	0.5
	278.75566931	-21.37106662	-10.4	-8.1	1.8	1.8	15.4	3547			
218	278.63214018	-21.35830344	-7.1	-14.7	2.0	2.0	15.3	5705	978	16.2	0.5
	278.92343156	-21.34070453	-6.5	-14.6	1.9	1.9	15.2	4220			
219	278.64346064	-21.40336232	-6.5	-12.1	1.7	1.6	15.4	3454	634	13.5	0.6
	278.81412447	-21.32734821	-6.5	-11.5	1.7	1.7	15.1	5048			
220	278.71768332	-21.31640001	21.0	-12.5	1.8	1.8	15.3	4853	550	24.3	0.3
	278.88061289	-21.29886758	20.8	-12.3	1.9	1.9	14.3	5244			
221	279.58742563	-34.75857034	16.4	-2.9	1.5	1.5	12.5	5051	1275	14.9	3.9
	279.98853340	-34.88926464	12.6	-3.4	1.6	1.7	13.5	5864			

Tabela B.10 - Janela BJ

par	$\alpha$	$\delta$	$\mu_\alpha^*$	$\mu_\delta$	$\sigma_{\mu_\alpha^*}$	$\sigma_{\mu_\delta}$	$V$	$T_{eff}$	$\Delta\theta$	$\mu_{med}$	$\Delta\mu$
222	279.60640377	-34.80601239	-5.2	-16.7	2.1	2.2	15.0	4789	2875	17.1	1.3
	280.57757172	-34.85451527	-4.1	-16.1	1.7	1.8	14.2	5286			
223	279.64700238	-34.76741489	9.9	-17.0	2.1	2.1	14.5	4958	2053	18.8	5.4

	280.34084249	-34.79186211	12.9	-12.5	1.6	1.6	13.5	5553			
224	279.65993448	-34.86941552	-8.1	-14.3	1.5	1.5	12.6	6847	1873	16.7	0.9
	280.29212354	-34.91235372	-9.0	-14.3	1.6	1.6	12.8	3614			
225	279.79276464	-34.85759432	-9.9	-13.3	1.6	1.6	13.3	4849	1330	16.1	0.9
	280.24284796	-34.87293280	-9.6	-12.4	1.6	1.6	13.2	5920			
226	279.87921106	-34.74876907	-14.3	-11.7	1.5	1.5	12.3	4143	2147	17.1	3.9
	280.59939956	-34.82684701	-13.7	-7.8	2.0	2.0	14.6	6131			
227	279.94112174	-34.81835246	-17.5	-22.5	2.3	2.3	14.7	5553	2079	25.6	5.9
	280.63802559	-34.89966480	-13.5	-18.1	1.7	1.7	13.8	5513			
228	279.97845382	-34.80885490	-11.3	-16.2	2.0	2.0	14.9	5152	803	19.3	1.0
	280.24494124	-34.76567118	-10.5	-15.6	2.2	2.3	15.4	5053			
229	280.13782839	-34.77391915	17.7	-12.5	1.7	1.7	14.1	3592	1245	19.0	5.9
	280.55889640	-34.78620053	12.1	-10.8	2.4	2.4	15.2	5049			
230	280.32066427	-34.75335318	-1.8	-15.3	1.6	1.6	13.7	6218	931	15.1	1.2
	280.62145912	-34.83030509	-2.7	-14.5	1.5	1.6	12.8	5810			

Tabela B.11 - Janela LU

par	$\alpha$	$\delta$	$\mu_\alpha^*$	$\mu_\delta$	$\sigma_{\mu_\alpha^*}$	$\sigma_{\mu_\delta}$	$V$	$T_{eff}$	$\Delta\theta$	$\mu_{med}$	$\Delta\mu$
231	282.30761139	-13.35982638	-13.6	1.4	3.0	3.0	14.9	3684	2243	13.6	9.2
	282.94059196	-13.26463944	-11.3	-7.5	2.8	2.9	13.0	3369			
232	282.43940789	-13.37513087	0.2	-14.9	2.8	2.9	15.0	5051	3447	14.8	0.4
	283.41319430	-13.23780490	-0.2	-14.8	3.2	3.2	13.7	5513			
233	282.51031472	-13.27753391	38.1	-151.7	1.0	1.3	9.6	5696	28	157.0	2.6
	282.51812590	-13.27492573	40.7	-152.2	1.5	1.1	9.1	5864			
234	282.61581800	-13.39454947	-9.4	-8.9	2.8	2.9	13.0	3292	2537	12.8	1.6
	283.34015685	-13.37666480	-10.2	-7.5	3.2	3.3	15.0	3634			
235	282.90412137	-13.36802996	7.3	-12.2	2.9	2.9	14.8	5339	1379	14.4	8.6
	283.29631352	-13.40307248	13.2	-5.9	3.2	3.2	14.1	4789			
236	282.96834214	-13.41082222	-1.7	-23.6	3.0	3.0	14.5	5570	1385	22.5	3.0
	283.35077749	-13.31251073	-3.3	-21.1	3.2	3.2	13.9	3672			

Tabela B.12 - Janela LV

par	$\alpha$	$\delta$	$\mu_\alpha^*$	$\mu_\delta$	$\sigma_{\mu_\alpha^*}$	$\sigma_{\mu_\delta}$	$V$	$T_{eff}$	$\Delta\theta$	$\mu_{med}$	$\Delta\mu$
237	283.88242816	-10.45699552	7.9	-29.2	2.8	2.8	11.3	5810	747	30.0	9.5
	284.09326214	-10.46597065	16.4	-24.9	2.8	2.8	12.6	5279			
238	283.88848633	-10.36181741	-10.6	-7.8	3.0	2.9	14.2	3464	905	13.8	2.0
	284.09879520	-10.50486143	-12.5	-7.1	2.9	3.0	11.6	3784			
239	283.92419558	-10.48705956	-9.8	-16.2	2.7	2.7	14.2	5048	1846	19.2	4.2
	284.41906235	-10.32488162	-13.5	-14.2	2.8	2.8	11.3	5810			
240	284.04400256	-10.39178837	-7.6	-12.6	2.8	2.8	13.4	3592	3240	14.6	5.5
	284.95518534	-10.47572436	-2.4	-14.2	3.0	3.1	14.6	5470			
241	284.43760327	-10.50481815	12.8	2.0	3.0	2.9	14.2	5916	1506	14.1	3.2
	284.85627901	-10.42911937	14.4	4.8	2.9	2.9	14.3	5655			
242	284.46574174	-10.36753009	-2.2	-34.1	2.8	2.8	11.1	5375	1142	33.3	4.6
	284.76310190	-10.49099704	-6.2	-31.8	2.7	2.7	13.5	5553			
243	284.48508293	-10.34879283	14.3	-1.2	2.8	2.8	12.5	6344	1900	17.3	8.8
	285.02156579	-10.33643495	18.1	-9.1	3.1	3.1	13.3	5049			